

Liceo “Regina Elena” - Acireale

Progetto PON C-1-FSE-2013-2006

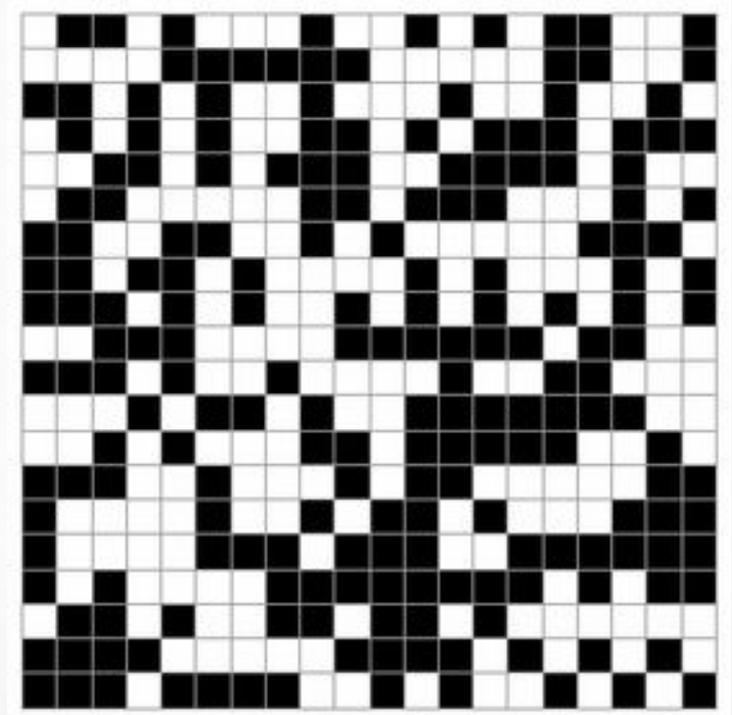
Studio della complessità del mondo che ci circonda

**Orlo del caos, resilienza, biforcazioni
catastrofiche, adattamento ed evoluzione**

Prof. Salvatore Lizzio

Automati cellulari

- Sono modelli matematici semplice ma che descrivono sistemi complessi discreti.
- Consistono in una **griglia di celle** connesse a quelle vicine, ognuna delle quali può avere un insieme finito di stati (es. vivo o morto), un colore, una forma, ecc.



Conway's [Game of Life](#)

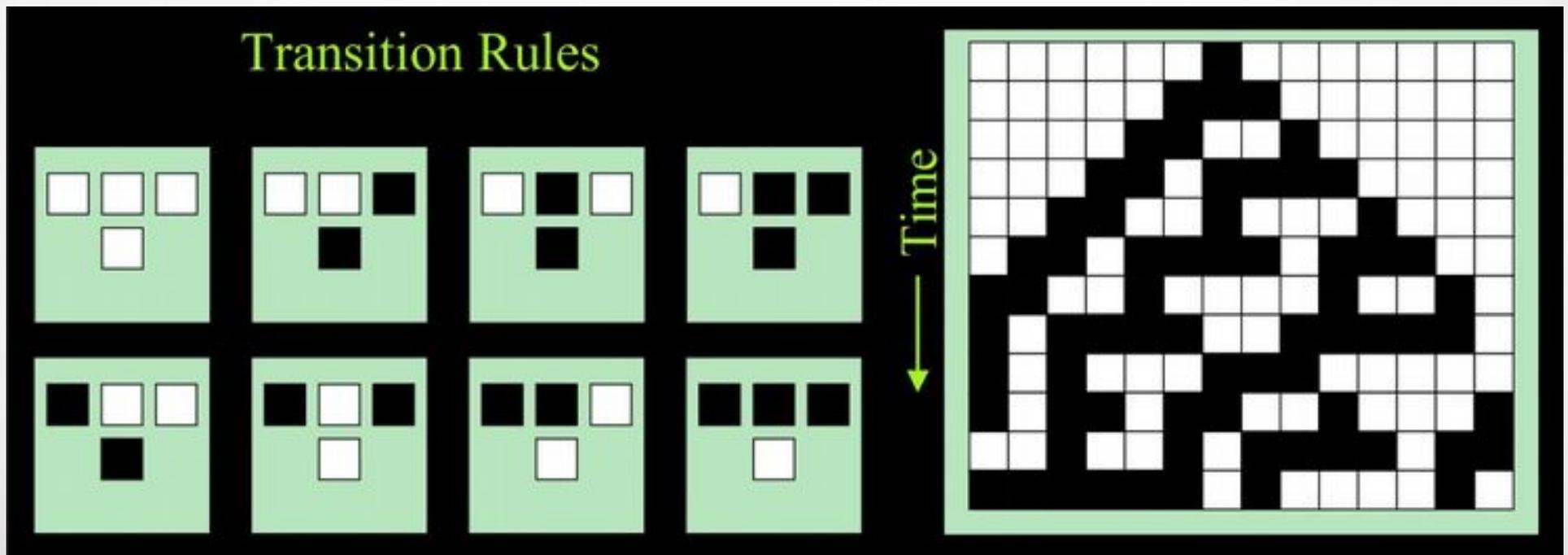
Automati cellulari lineari di Wolfram

- Gli automati cellulari (CA) più semplici sono quelli lineari, studiati da [Stephen Wolfram](#).



Automati cellulari lineari di Wolfram

- Lo stato di ogni cella (bianca=0, nera=1) dipende dalla cella centrale e da quelle (due) adiacenti della riga precedente.



- Regole transizione più o meno semplici...

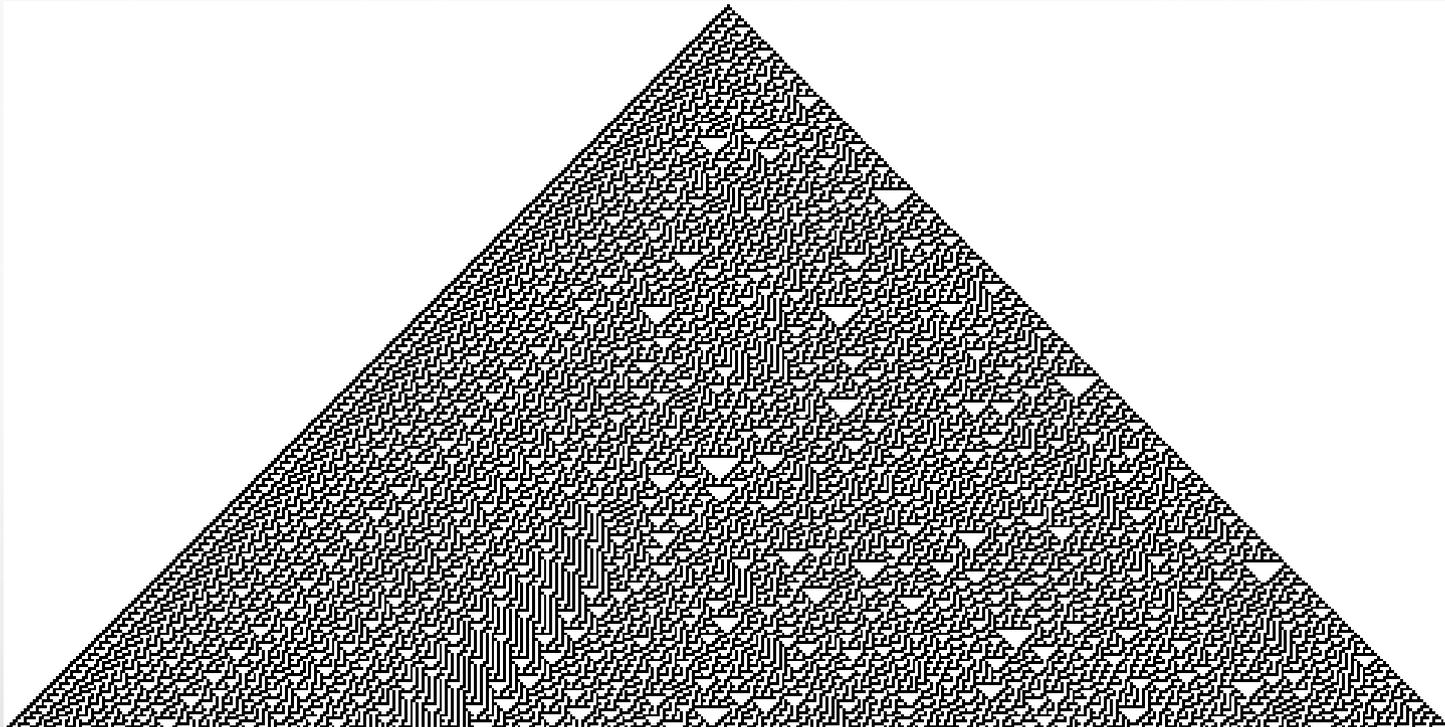
Automati cellulari lineari di Wolfram

- Una cella con quelle adiacenti costituisce un **vicinato di 3** celle, quindi ci sono $2^3=8$ configurazioni possibili per un vicinato. Le regole possibili sono quindi $2^8=256$.
- Le regole sono descritte utilizzando la cosiddetta **notazione di Wolfram** che consiste in un **numero decimale** che in **notazione binaria** fornisce la **tabella delle regole** con elencati gli 8 vicinati possibili.

Automati cellulari lineari di Wolfram

- Es. CA30

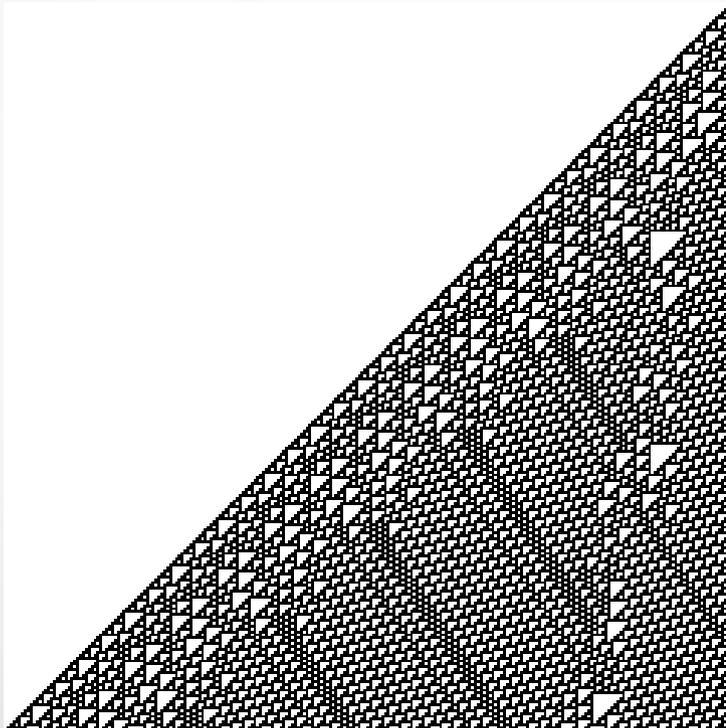
Regola	111	110	101	100	011	010	001	000
Stato cella centrale	0	0	0	1	1	1	1	0



Automati cellulari lineari di Wolfram

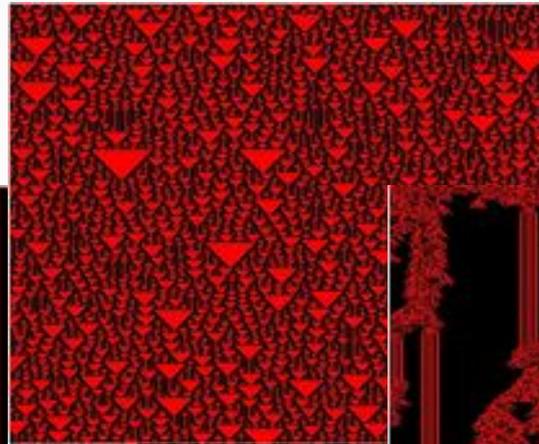
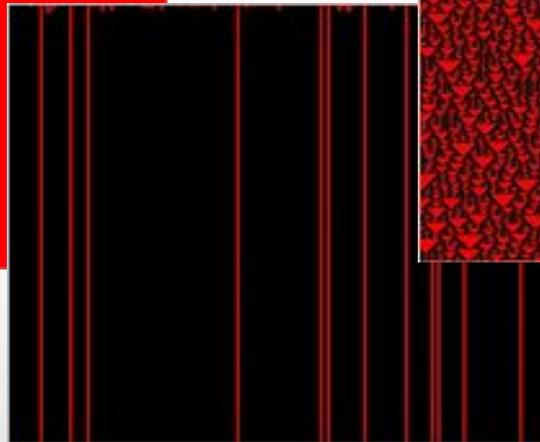
- Es. CA110

Regola	111	110	101	100	011	010	001	000
Stato cella centrale	0	1	1	0	1	1	1	0



Automati cellulari lineari di Wolfram

- Stephen Wolfram, in *A New Kind of Science* alla metà degli anni ottanta, definì quattro classi (Classi di universalità) in cui possono essere classificati gli automi in base al loro comportamento.



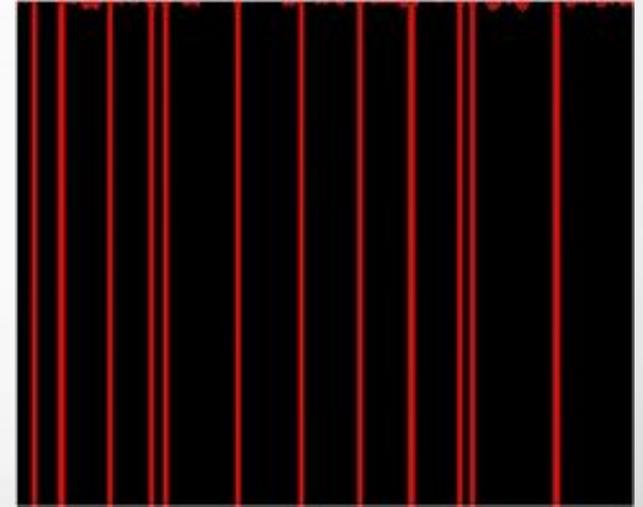
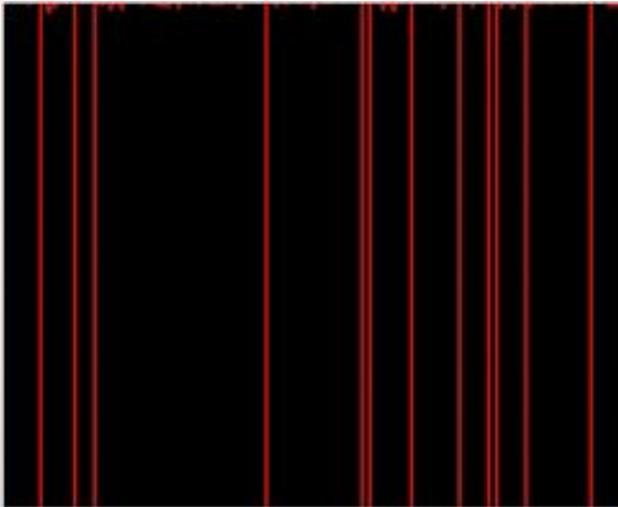
Classe I di Wolfram

- Quasi tutti i pattern iniziali evolvono velocemente per arrivare in **stati stabili** e omogenei. Qualsiasi casualità dei pattern iniziali scompare. (**Comportamento banale**)



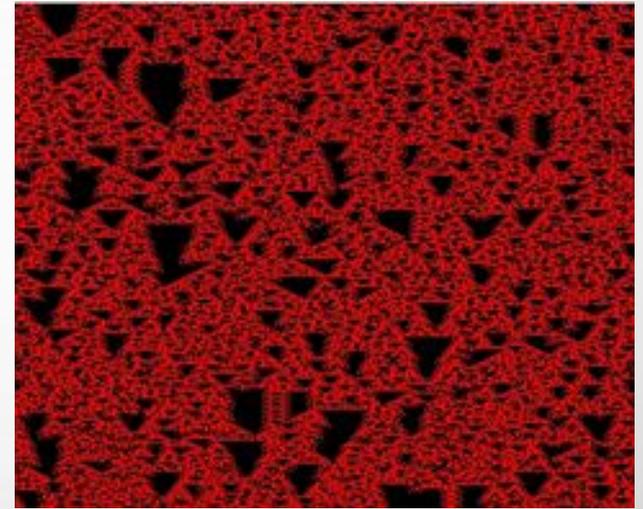
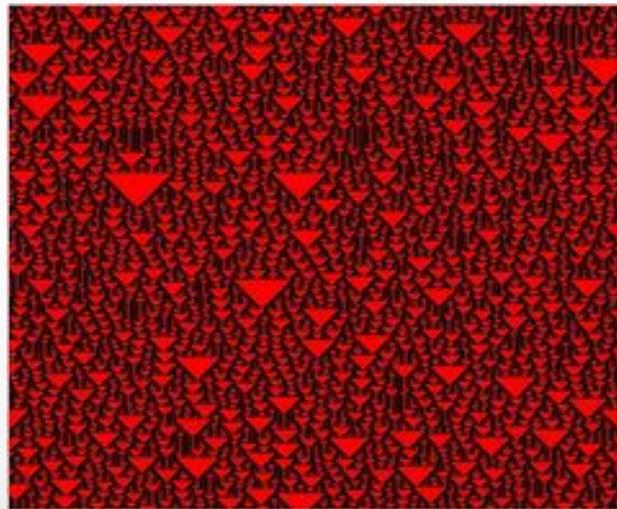
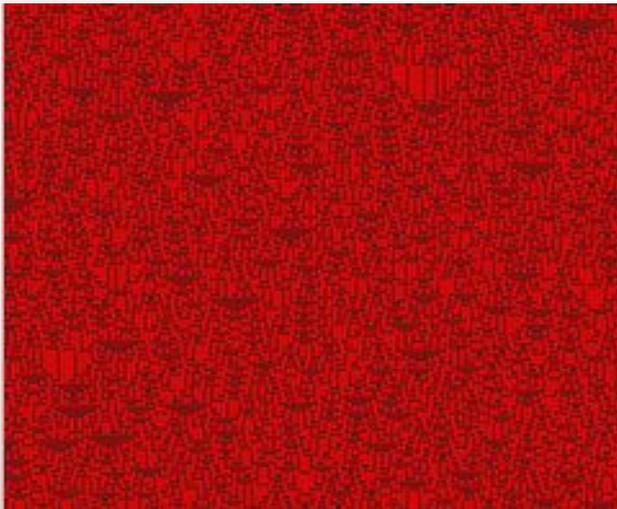
Classe II di Wolfram

- Quasi tutti i pattern iniziali evolvono velocemente in **strutture stabili o oscillanti**. La casualità nei pattern iniziali può essere ignorata, ma per alcuni è presente.
(**Comportamento lineare complicato**)



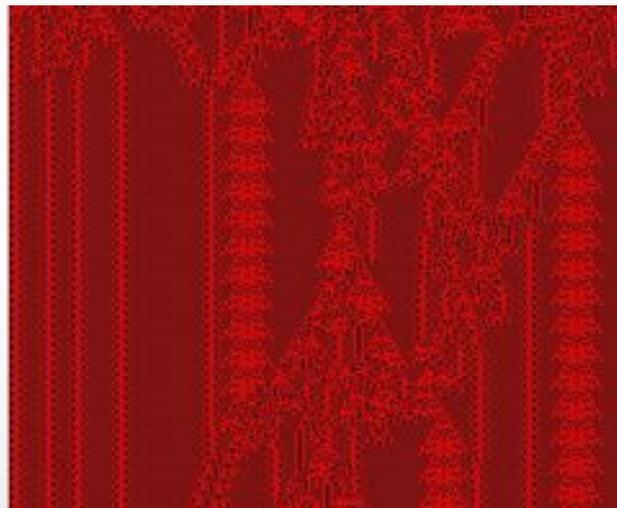
Classe III di Wolfram

- Quasi tutti i pattern iniziali evolvono in una maniera **pseudo-casuale**. Ogni struttura stabile appare essere velocemente distrutta dal rumore circostante. (**Comportamento caotico**)



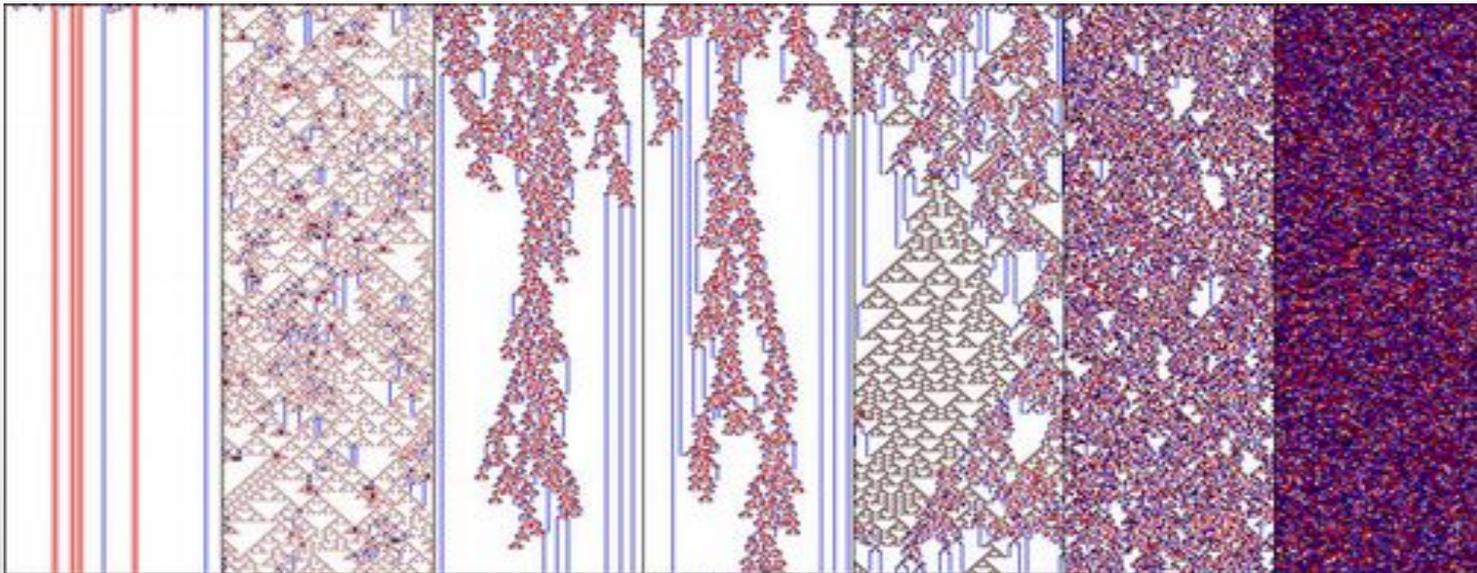
Classe IV di Wolfram

- **Quasi** tutti i pattern iniziali evolvono in un **comportamento complesso** (**edge of chaos**). Risultati di Classe II o di strutture oscillanti possono essere il risultato finale, ma il numero di passi richiesto per raggiungerle può essere grande.



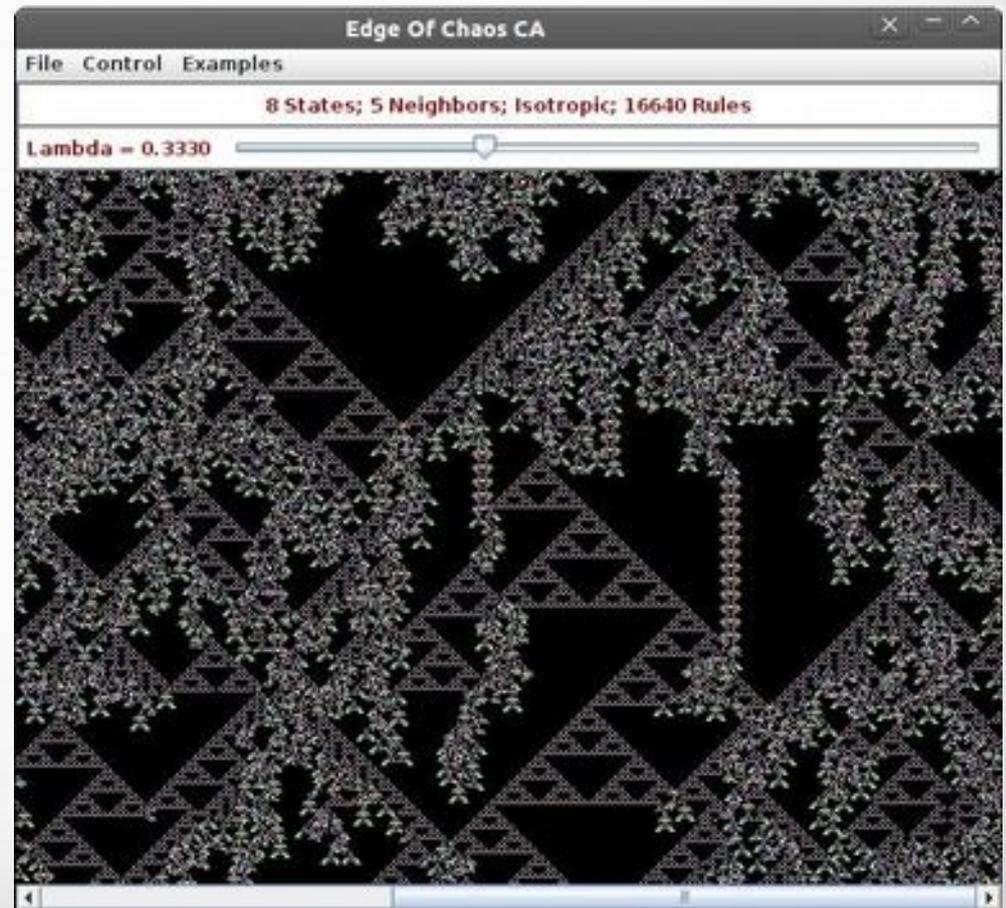
Classe IV di Wolfram

- **Quasi** tutti i pattern iniziali evolvono in un **comportamento complesso** (**edge of chaos**). Risultati di Classe II o di strutture oscillanti possono essere il risultato finale, ma il numero di passi richiesto per raggiungerle può essere grande.



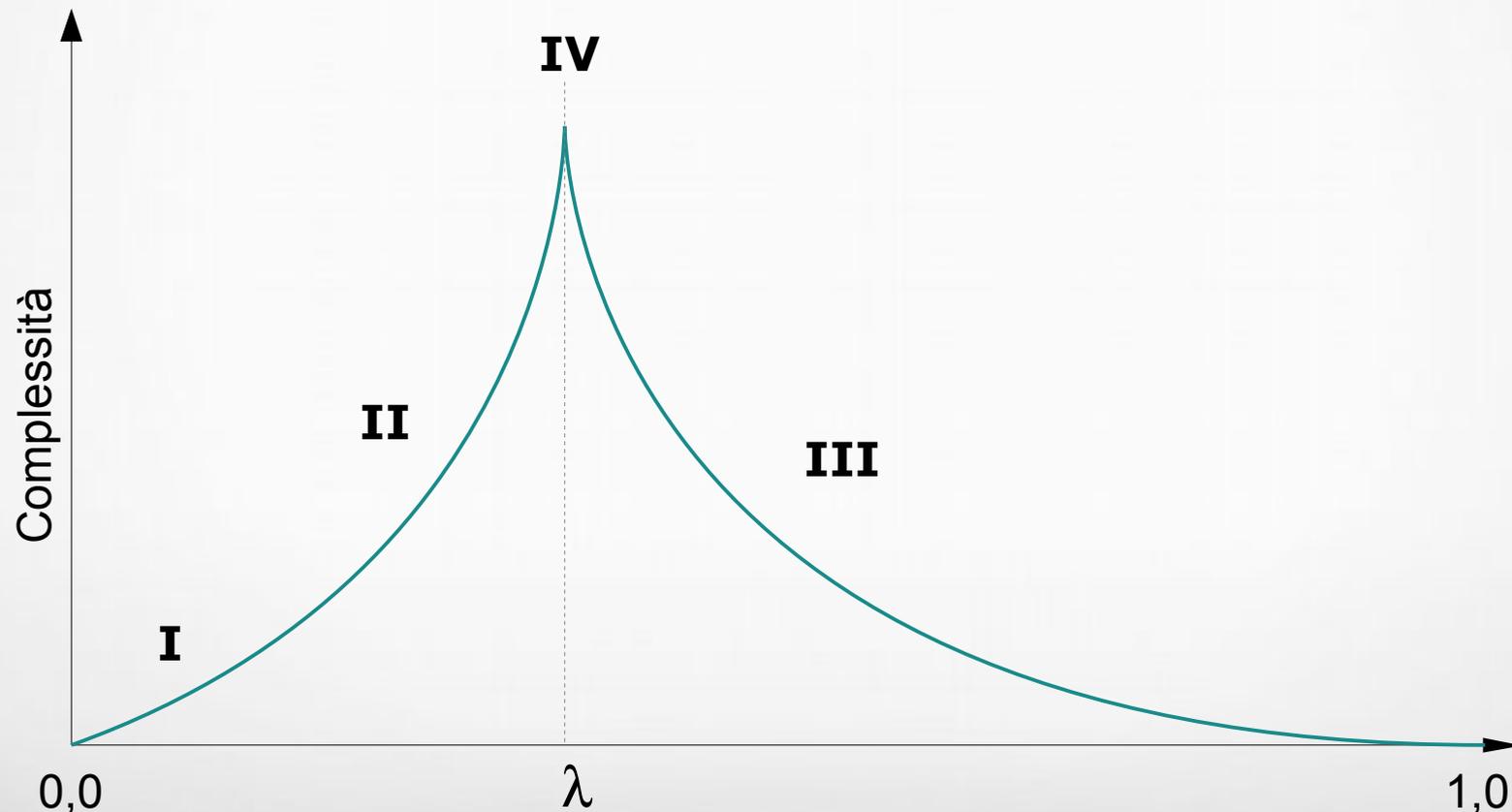
Parametro λ di Langton

- Unico parametro per osservare facilmente il comportamento degli automi cellulari.
- Esprime la frazione decimale di regole che danno luogo a una cella viva.
- Il valore oscilla da un minimo di 0 a un massimo di 1.



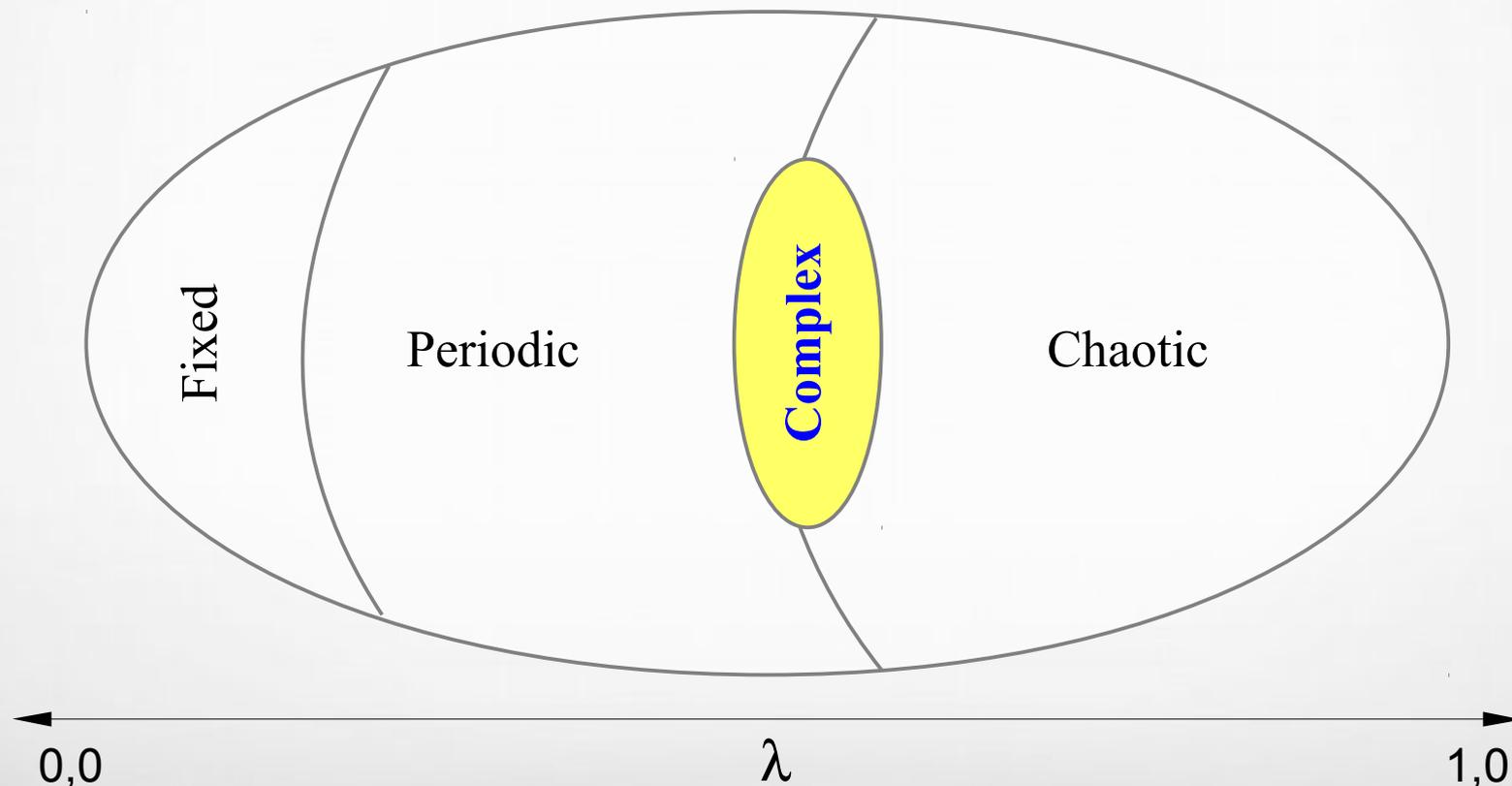
Parametro λ di Langton

- La **maggiore complessità** negli automi cellulari lineari si osserva nella classe IV.



The edge of chaos

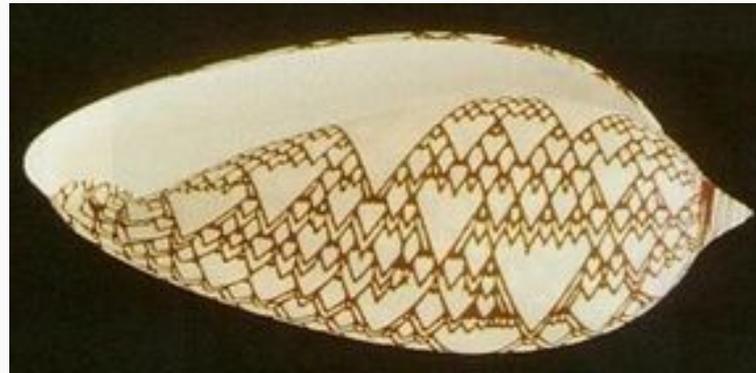
- La **maggiore complessità** di un sistema non si osserva nella zona caotica bensì nella **zona di confine** (**orlo del caos**).



CA e Shell patterns

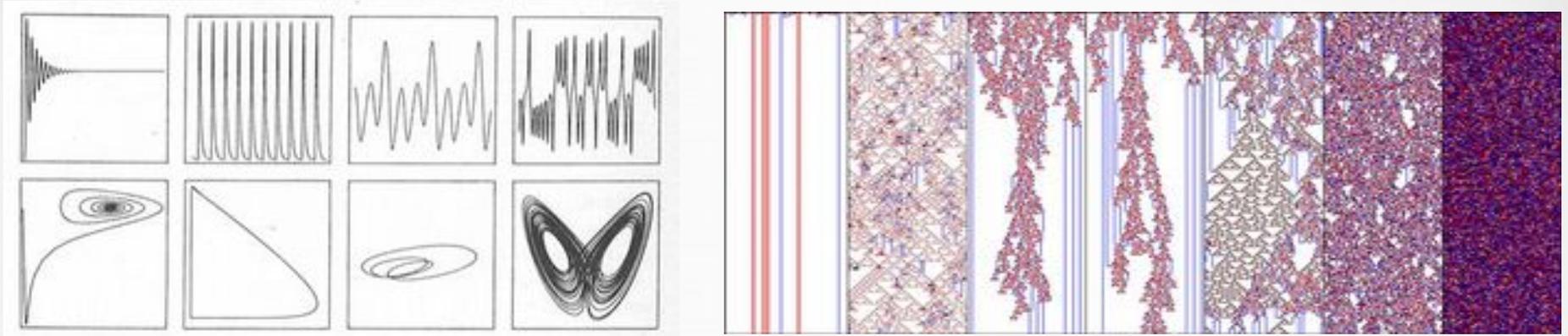
- Gli automi cellulari sono in genere molto eleganti per descrivere i **pattern che si trovano in natura** (strisce delle zebre, manto maculato del ghepardo, striature delle dune del deserto)

Alcune
conchiglie
marine
del genere
Conus.



Regimi dei sistemi complessi

- Sulla base di ...

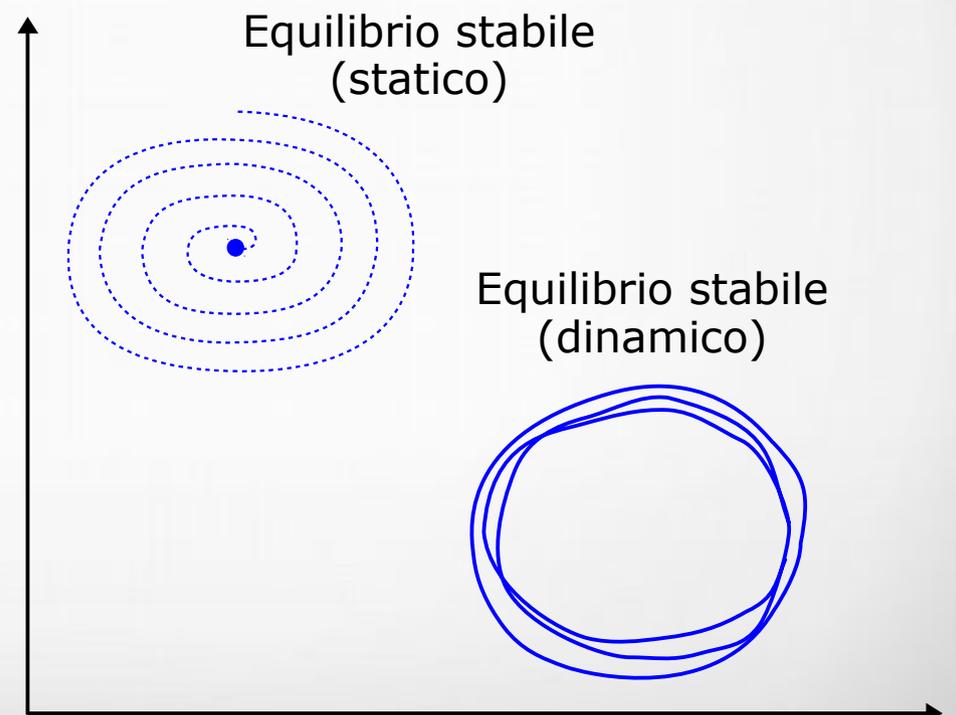


si ipotizza che i sistemi possono evolvere, in un continuum dal più ordinato al più disordinato, verso

3 comportamenti o regimi

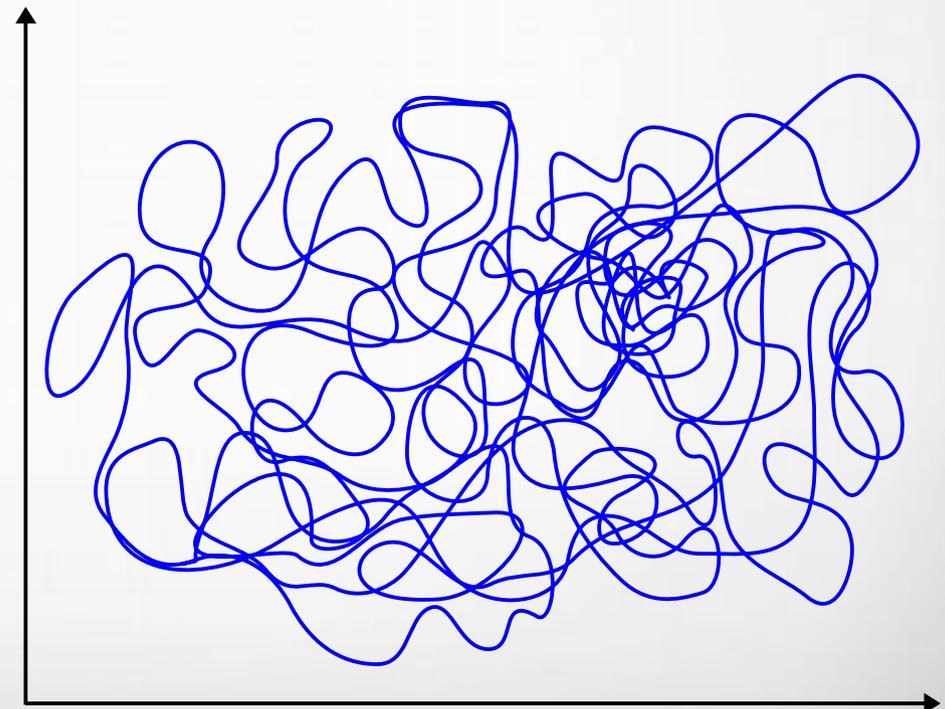
Primo regime: l'ordine

- La traiettoria delle variabili raggiunge sempre un **punto** (**attrattore puntuale**) o un **orbita** (**attrattore ciclo limite**) all'interno di una regione e lì si stabilizza
- Chiamiamo **regime ordinato** tale comportamento ed **equilibrio stabile** lo stato del sistema che corrisponde all'attrattore di arrivo



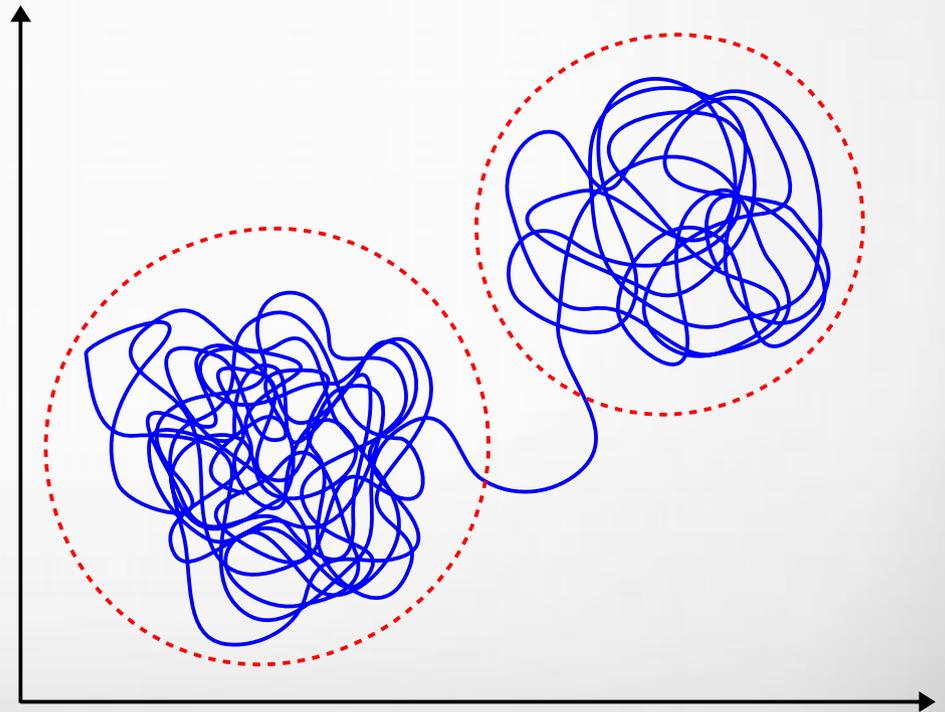
Secondo regime: il caos

- La traiettoria delle variabili è estremamente sensibile alle condizioni iniziali (**imprevedibile**) e si muove **apparentemente senza ordine**
- Chiamiamo **regime caotico o caos** tale comportamento
- Il sistema è **instabile** e **non raggiunge un equilibrio**



Terzo regime: l'orlo del caos

- La traiettoria è "attratta" da particolari regioni (**attrattori**) all'interno delle quali **si muove in modo più o meno irregolare**
- Chiamiamo **margin** **o orlo del caos** questo regime
- Chiamiamo **equilibrio instabile** gli stati del sistema all'interno dei bacini d'attrazione



Regimi dei sistemi complessi

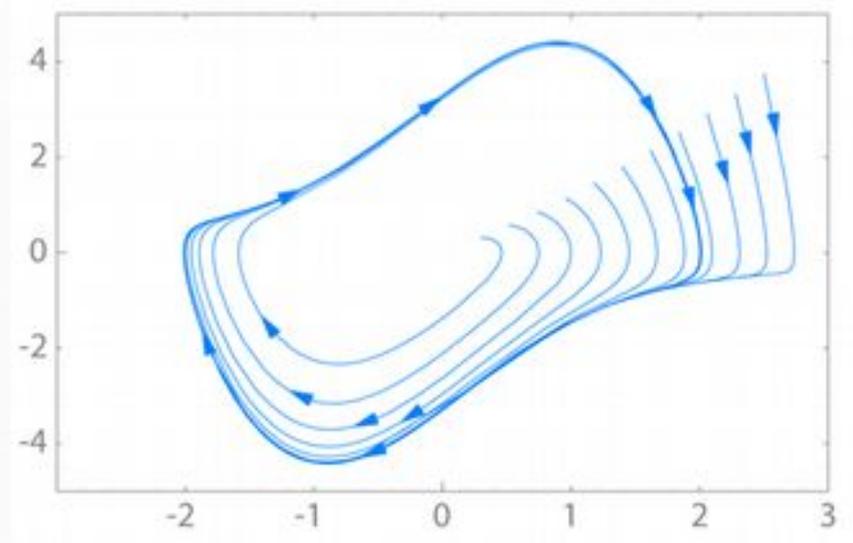


Chaos
Chaos
Chaos
Chaos

- Cosa succede ai sistemi complessi quando si trovano in un certo regime?
- Da cosa dipende il passaggio da un regime ad un altro?

Il regime ordinato

- Quando un sistema raggiunge un equilibrio stabile, il suo stato non muta più, oppure “**gira a vuoto**”:
il sistema smette di evolvere.
- In queste condizioni il sistema “non gode di buona salute”, è **rigido**, **fragile**, **cristallizzato**, **immutabile** ...



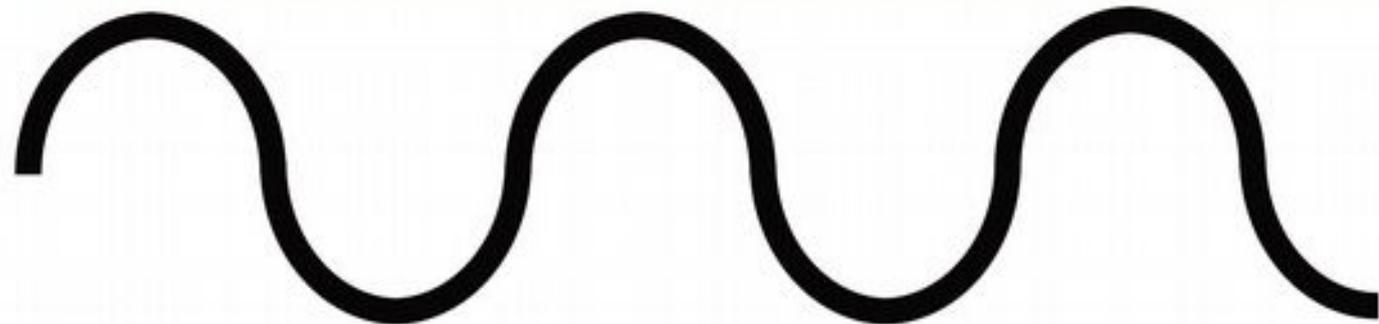
Regime ordinato, vita e salute

- La **vita** e lo stato di **salute** rappresentano un delicato **equilibrio dinamico** tra ordine e caos.

Order



Life

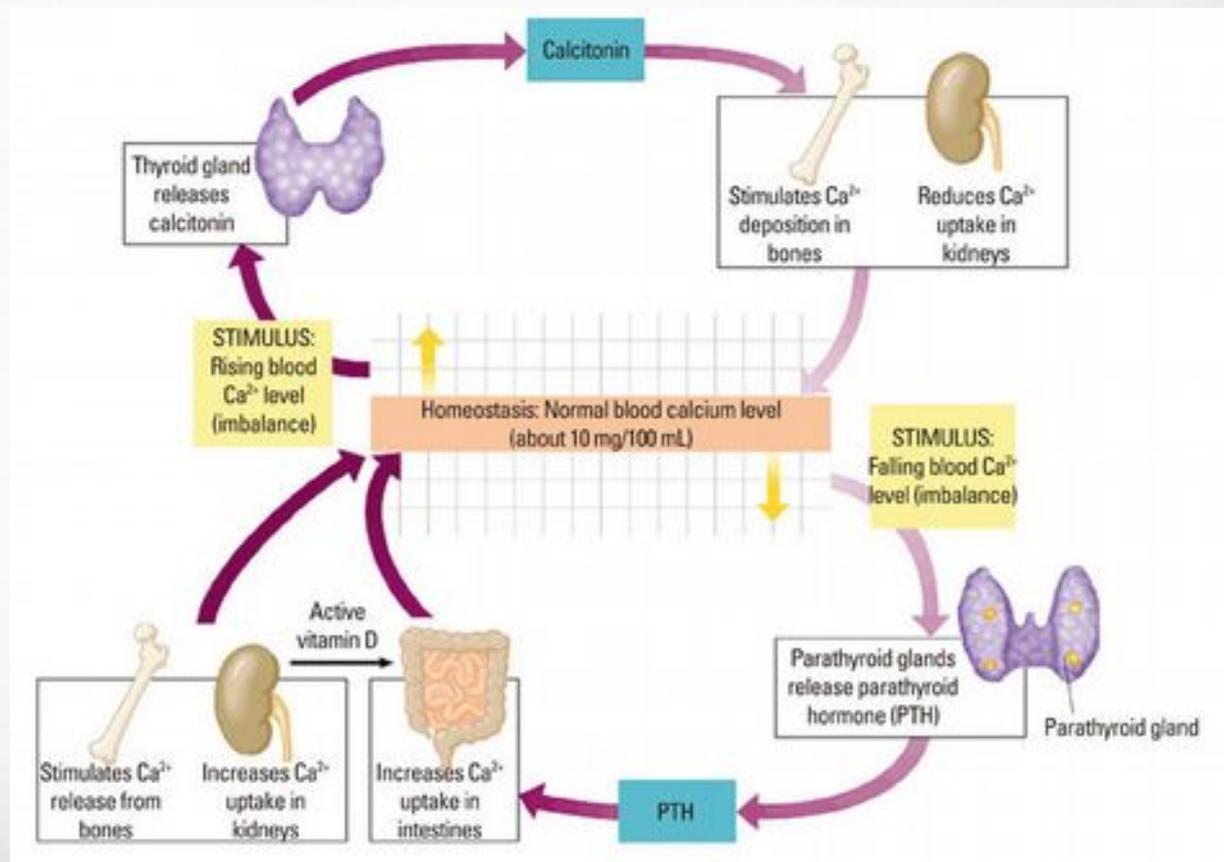
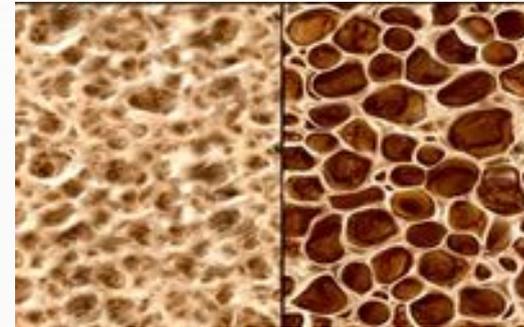


Chaos



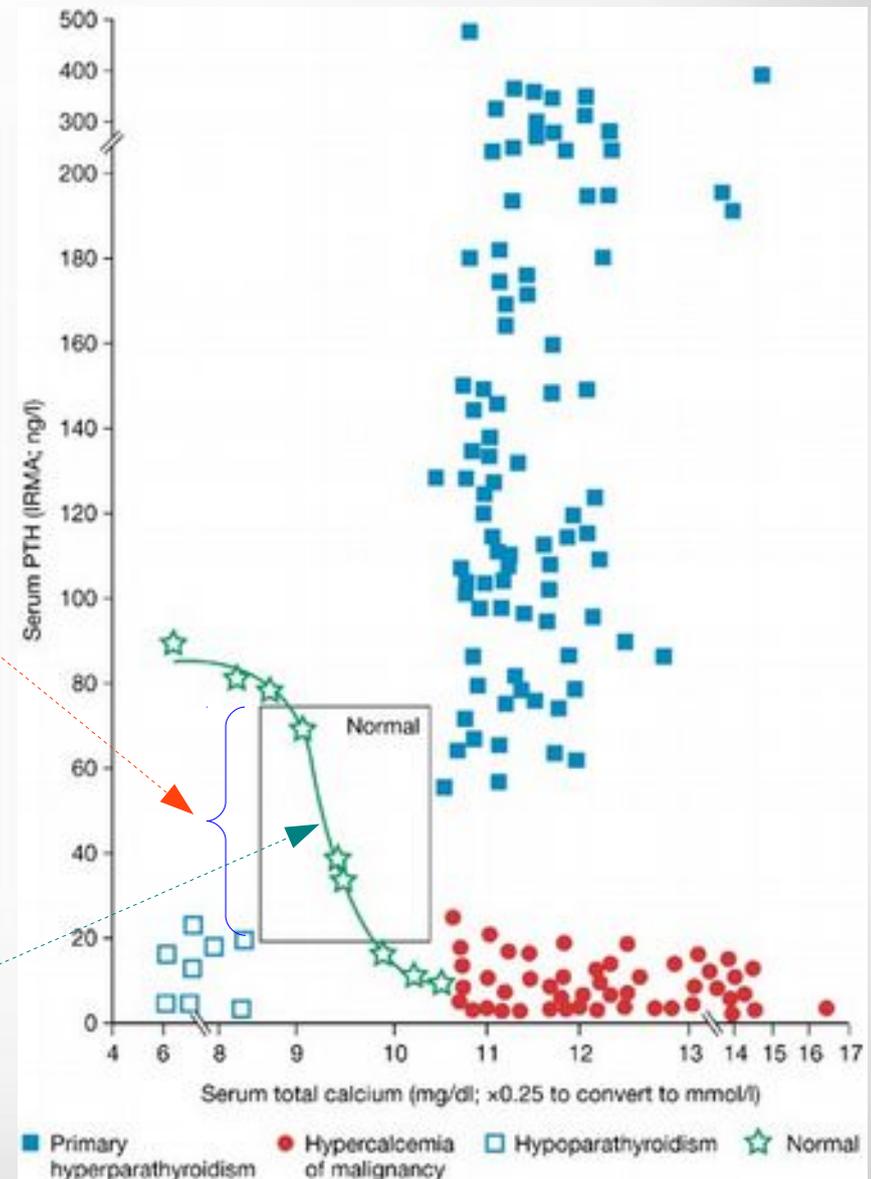
Il regime ordinato e l'osteoporosi

- Il livello di calcio nel sangue (**calcemia**) e la **calcificazione delle ossa** sono controllati da diversi fattori (ormoni - calcitonina, **PTH** - luce, **vitamina D**, alimentazione, età, sesso, ecc.)



Il regime ordinato e l'osteoporosi

- In condizioni di salute i livelli di paratormone (PTH) oscillano ampiamente (**regime complesso**)
- In presenza di **osteoporosi** i livelli di PTH si mantengono costanti sul valore medio (**regime ordinato**)



Il regime ordinato e le società

- Nelle società con un forte controllo il regime ordinato corrisponde alla **paralisi sociale** (incapacità di evolvere ed affrontare problemi complessi)



Il regime ordinato e le società

- Imporre l'ordine dall'alto può cristallizzare il sistema o spingerlo verso il caos



ORGANIGRAMMA AZIENDALE



Il regime caotico

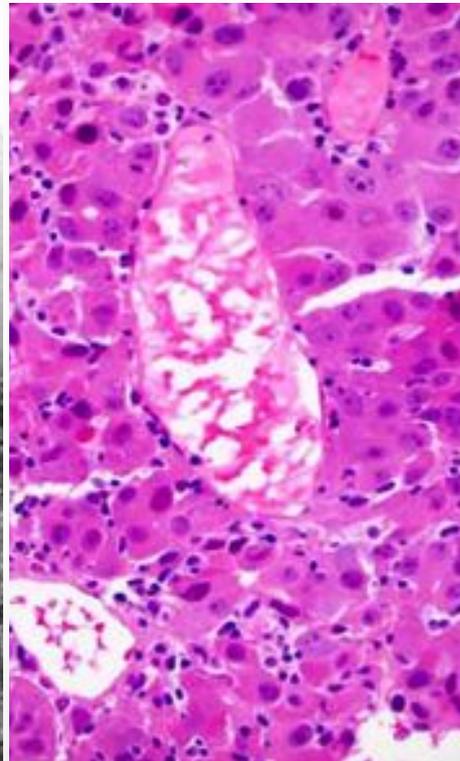
- Anche nei casi in cui i sistemi complessi si trovano nel regime caotico “non godono di buona salute”



- Nel caos, il sistema è per così dire “impazzito” e non riesce a trovare un equilibrio

Il regime caotico

- Qualunque sistema “fuori controllo” è un buon esempio di regime caotico: dalle guerre allo sviluppo dei tumori.



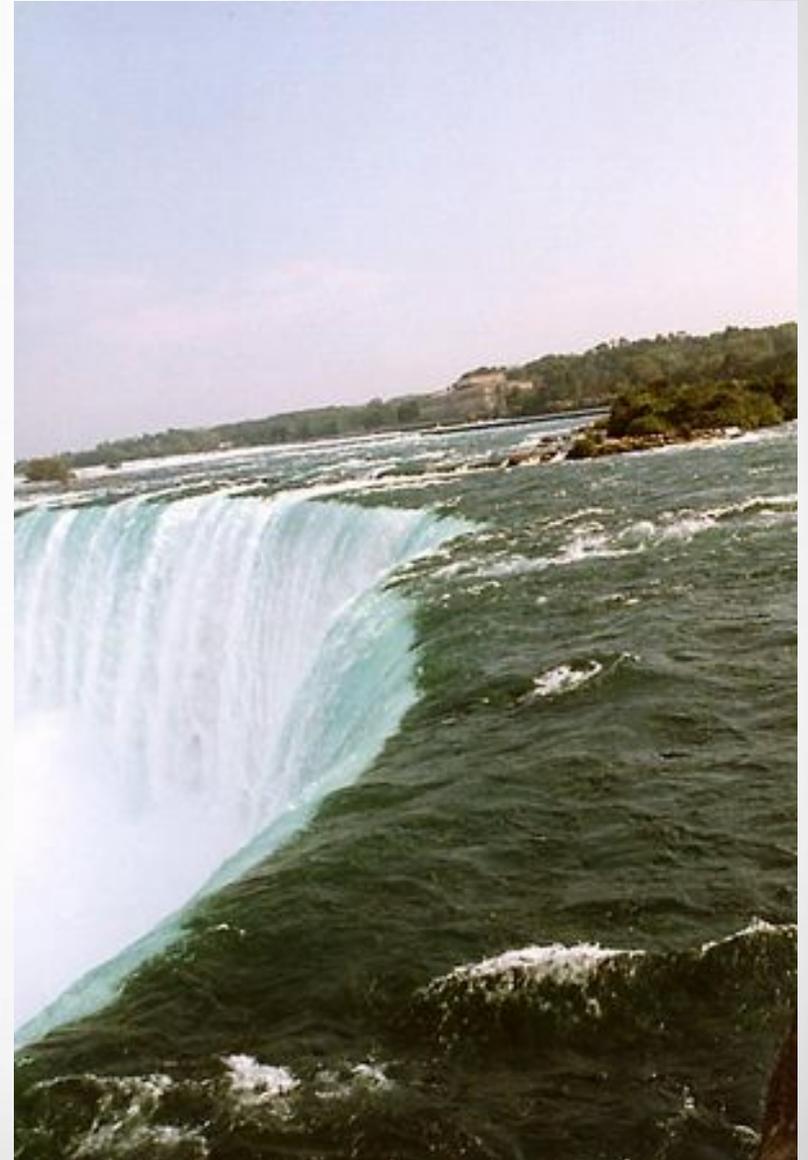
Il regime caotico

- Qualunque sistema “fuori controllo” è un buon esempio di regime caotico: es. caos climatico.



L'orlo del caos

- Diversa è la situazione al **margine del caos**: in questo regime **i sistemi complessi trovano un "equilibrio"**
- Si tratta di un **equilibrio dinamico**, vitale, creativo, ben diverso dalla cristallizzazione tipica del regime ordinato



L'orlo del caos

- La vita è un brivido che vola via.
E' tutto un equilibrio sopra la follia.

Sally, 1996



L'orlo del caos

- Un sistema con un certo grado di disordine è **flessibile, adattativo, creativo...**
- Il funzionamento "al margine del caos" è la **condizione ideale**



L'orlo del caos

- Il **grado ottimale di disordine**, che rende massima la capacità dei sistemi complessi di **perdurare ed eventualmente evolvere**, è difficile (o impossibile) da determinare.

- **Troppo disordine** fa precipitare il sistema nel caos, **troppo poco** lo irrigidisce



L'orlo del caos

- Sistemi sociali → **disordine** = **libertà**



- Sistemi sociali → **disordine** = **libertà**
- **Orlo del caos** = un certo grado di libertà
(né troppa né troppo poca)

- **Libertà** =
 - ✓ diversità
 - ✓ libero arbitrio
 - ✓ possibilità
 - ✓ conflittualità
 - ✓ eccedenze
 - ✓ sbagli
 - ✓ ...



L'orlo del caos

- Chi ha interesse a **controllare il sistema sociale**, ad imporre un modello di vita unico, si oppone a questo tipo di libertà ...



L'orlo del caos

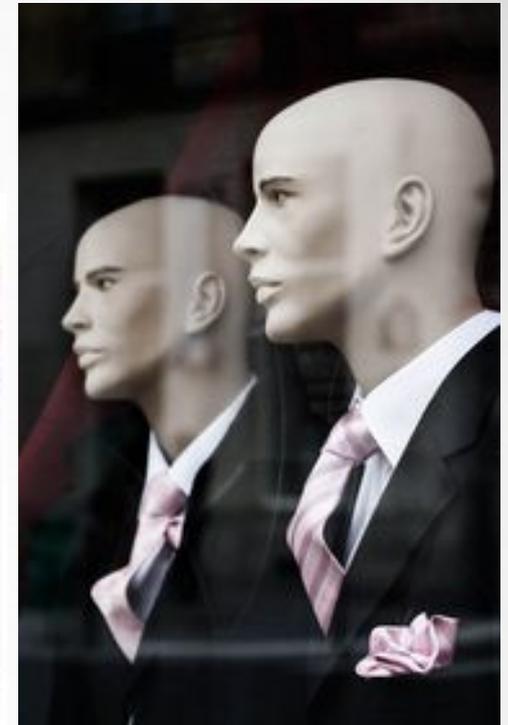
attraverso:

- ✓ omologazione
- ✓ standardizzazione
- ✓ livellamento culturale
- ✓ razionalizzazione
- ✓ ottimizzazione
- ✓ pensiero unico
(TINA)
- ✓ ...



L'orlo del caos

- ✓ ipersemplicificazione,
- ✓ banalizzazione
- ✓ omologazione
- ✓ ignoranza
- ✓ TV spazzatura
- ✓ ...



Regimi dei sistemi complessi

Disordine



Caos

Orlo del Caos

Ordine

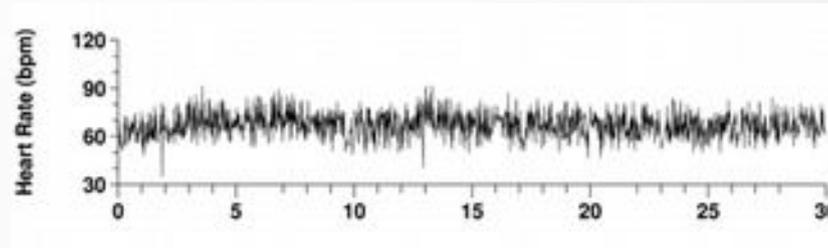


I tre regimi nella salute

Disordine

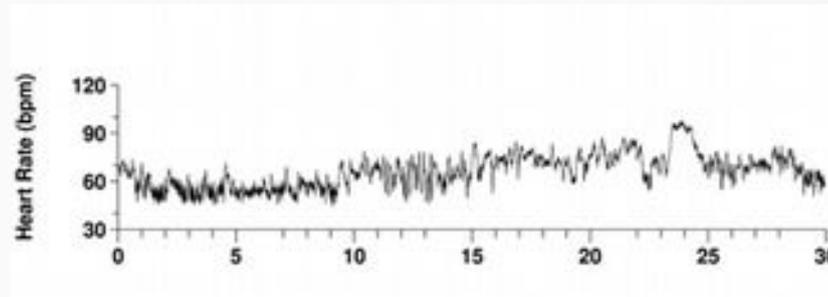


Caos



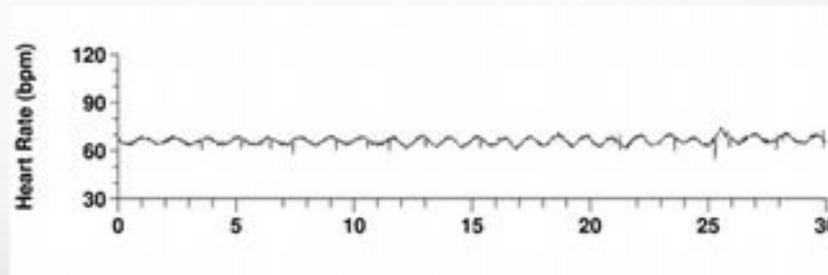
Grave
aritmia
cardiaca

Orlo del Caos



Soggetto
sano

Ordine



Grave
insuffic.
cardiaca

I tre regimi negli ecosistemi

Disordine



Caos



Stasi
Distruzione

Orlo del Caos



Evoluzione
Adattamento
Resilienza
Varietà

Ordine



Fragilità
Fissità
Semplificazione

I tre regimi nel sistema mente

Disordine



Caos



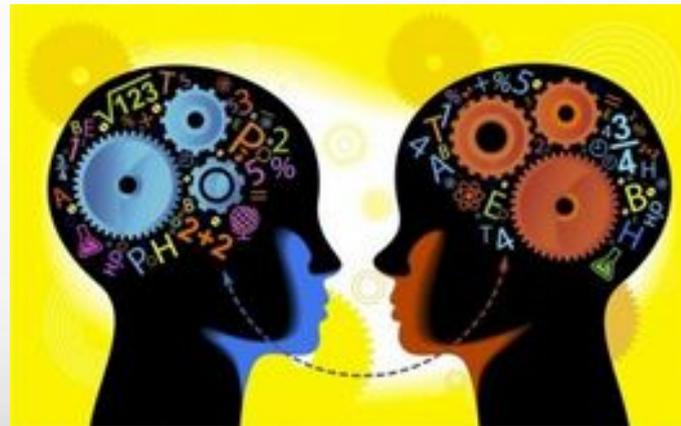
Follia
Irrazionalità
Distruzione

Orlo del Caos



Adattamento
Creatività
Genialità
Estro
Impulsività

Ordine



Pacatezza
Razionalità
Fissità
cognitiva

I tre regimi nella musica

Disordine



Caos



Distruzione
Fragilità

Orlo del Caos



Originalità
Creatività
Sperimentazione

Ordine



Sicurezza
Tradizione
Classicità

I tre regimi nell'attività fisica

Disordine



Caos



Distruzione
Rischio
Stress

Orlo del Caos



Salute
Longevità
Resilienza
Autostima

Ordine



Malattia
Stasi
Apatia
Depressione

I tre regimi nei sistemi sociali

Disordine



Caos



Distruzione
Guerre
Rivolte
Anarchia

Orlo del Caos



Errori
Eccessi
Libertà

Ordine



Controllo
Monarchia
Dittature

L'orlo del caos

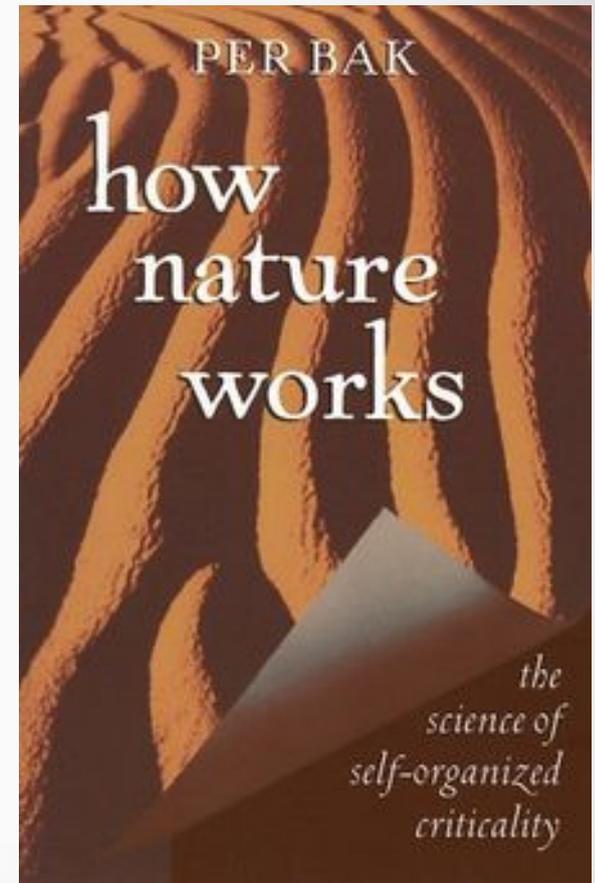
- Al margine del caos tutti i sistemi complessi si trovano in un **equilibrio dinamico** e quindi **sono instabili**



I mucchi di sabbia di Peter Bak

"Certi sistemi grandi e complessi possono crollare non solo per effetto di un urto formidabile ma anche per la semplice caduta di uno spillo."

Per Bak



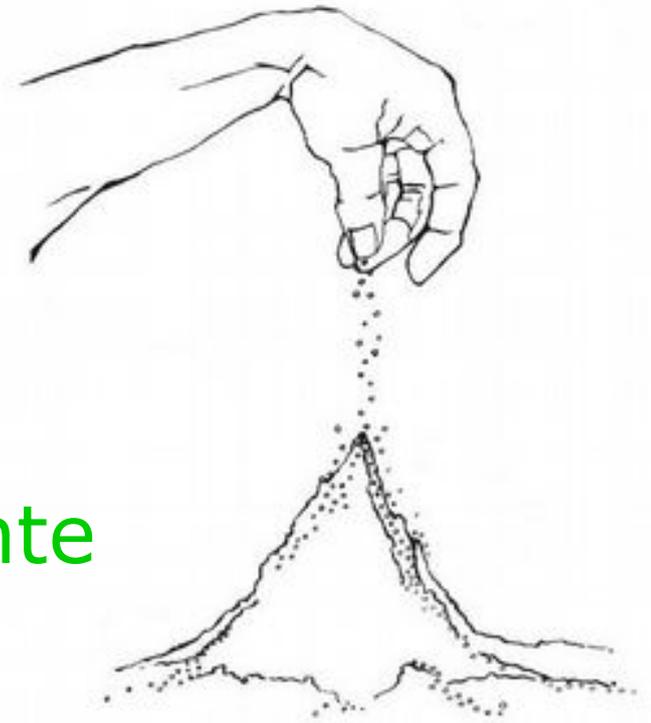
I mucchi di sabbia di Peter Bak

- Nonostante si aggiungono granelli di sabbia (**aumento della complessità interna e/o perturbazioni esterne**) la pendenza dei versanti rimane mediamente costante (**stato critico**) a causa delle piccole valanghe che si originano nei punti di instabilità.
- Lo stato critico funge da **attrattore del sistema**.



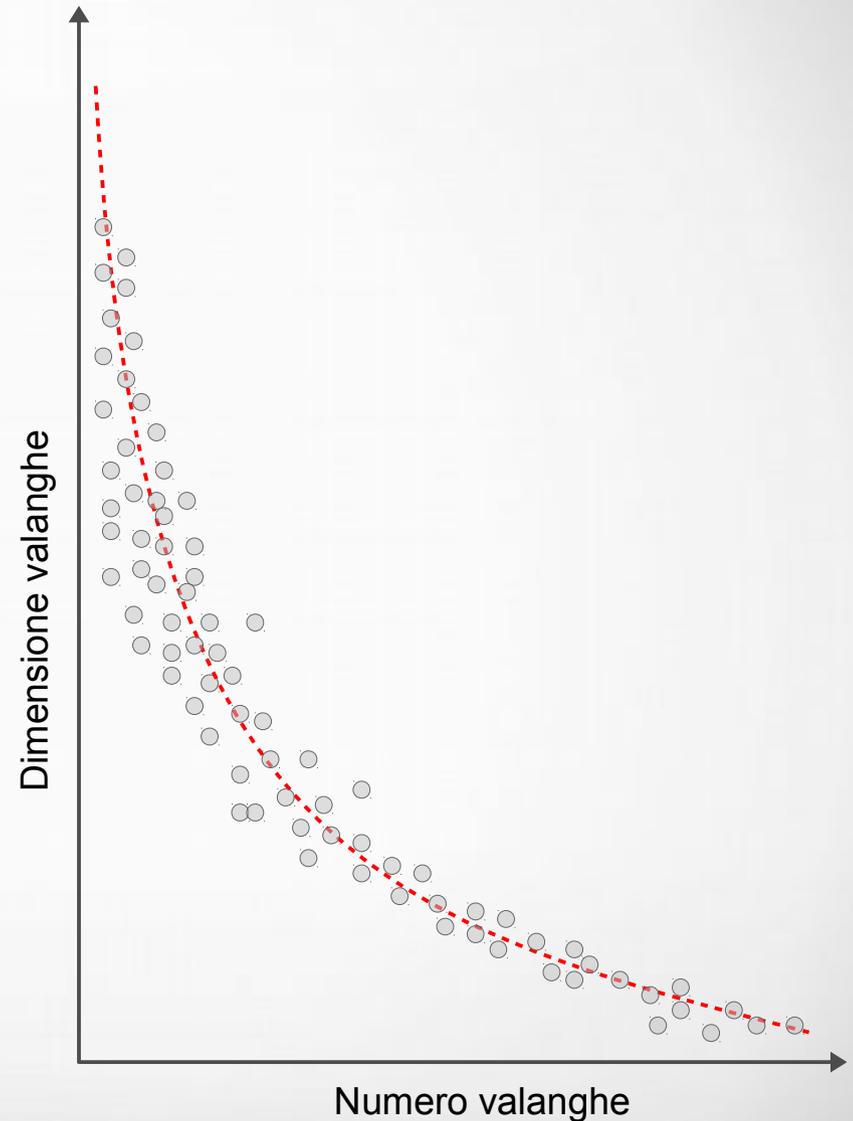
I mucchi di sabbia di Peter Bak

- **Nella maggior parte** dei casi il disturbo causa conseguenze minime (piccole valanghe) sull'intero sistema ed esse si esauriranno subito.
- **Raramente ed imprevedibilmente** piccole perturbazioni si estendono a macchia d'olio (**feedback positivo**) provocando vere e proprie **catastrofi globali**.



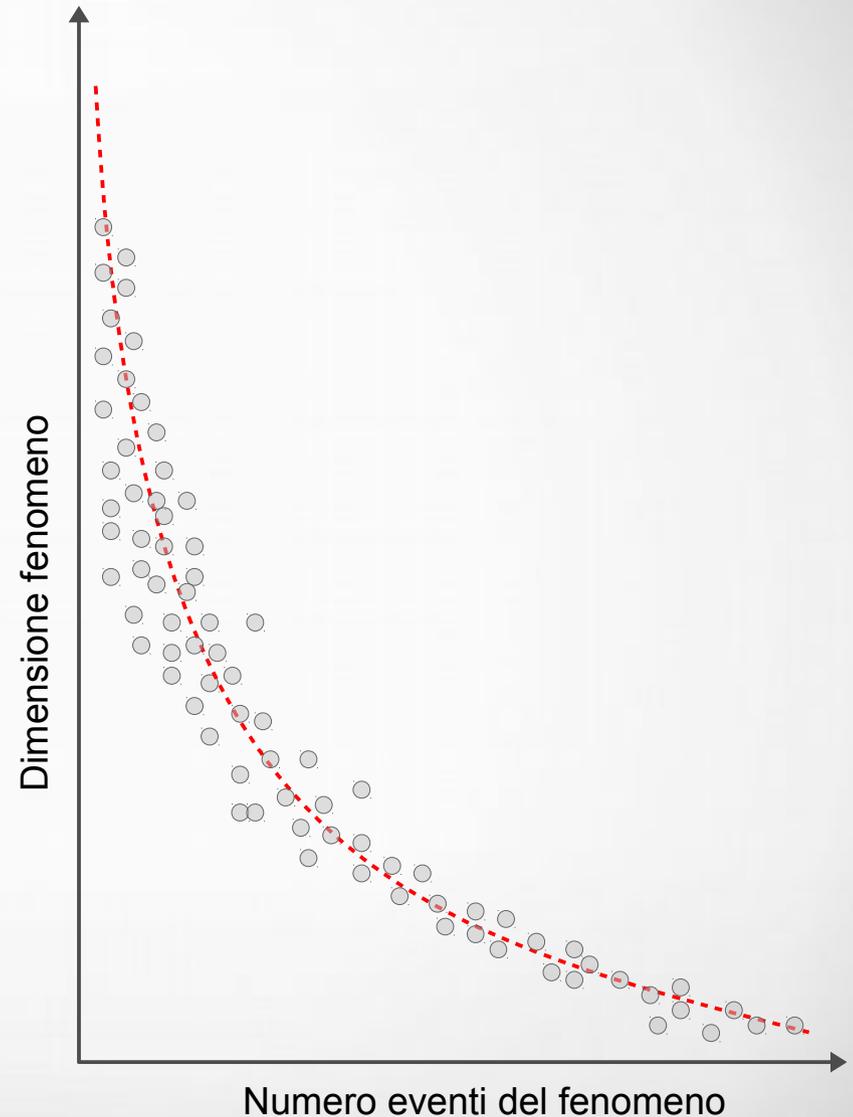
La legge di potenza

- Bak osservò che le grandi valanghe erano molto rare, mentre la frequenza aumentava in modo non lineare man mano che la dimensione delle valanghe diminuiva (**Legge di potenza o *Power law***).



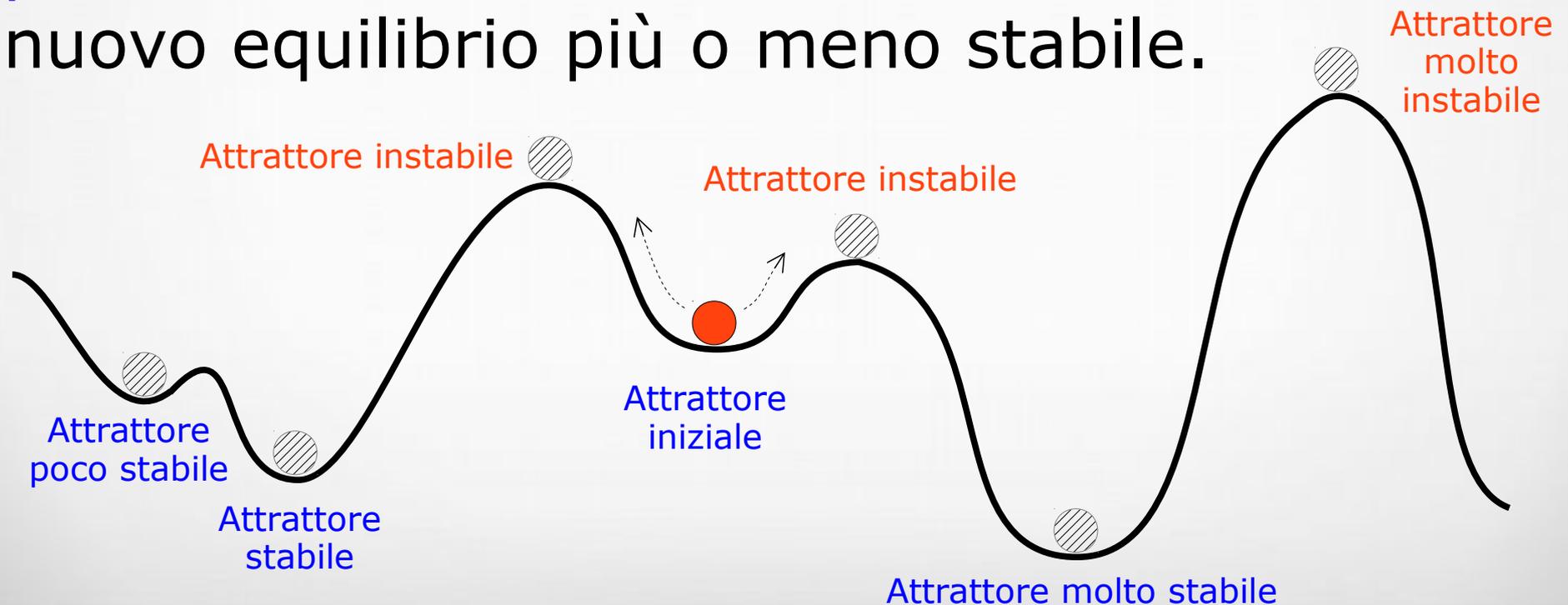
La legge di potenza

- La legge di potenza si osserva in molti **fenomeni naturali**:
 - ✓ magnitudo terremoti
 - ✓ estinzioni
 - ✓ brillamenti solari
 - ✓ morti nelle guerre
 - ✓ popolazione nelle città
 - ✓ distribuzione della ricchezza



L'orlo del caos e la precarietà

- In seguito a mutazioni endogene e/o perturbazioni esogene tali da allontanarlo dalla zona di linearità e superare i meccanismi omeostatici il sistema raggiunge il cosiddetto **punto di catastrofe** ed eventualmente un nuovo equilibrio più o meno stabile.

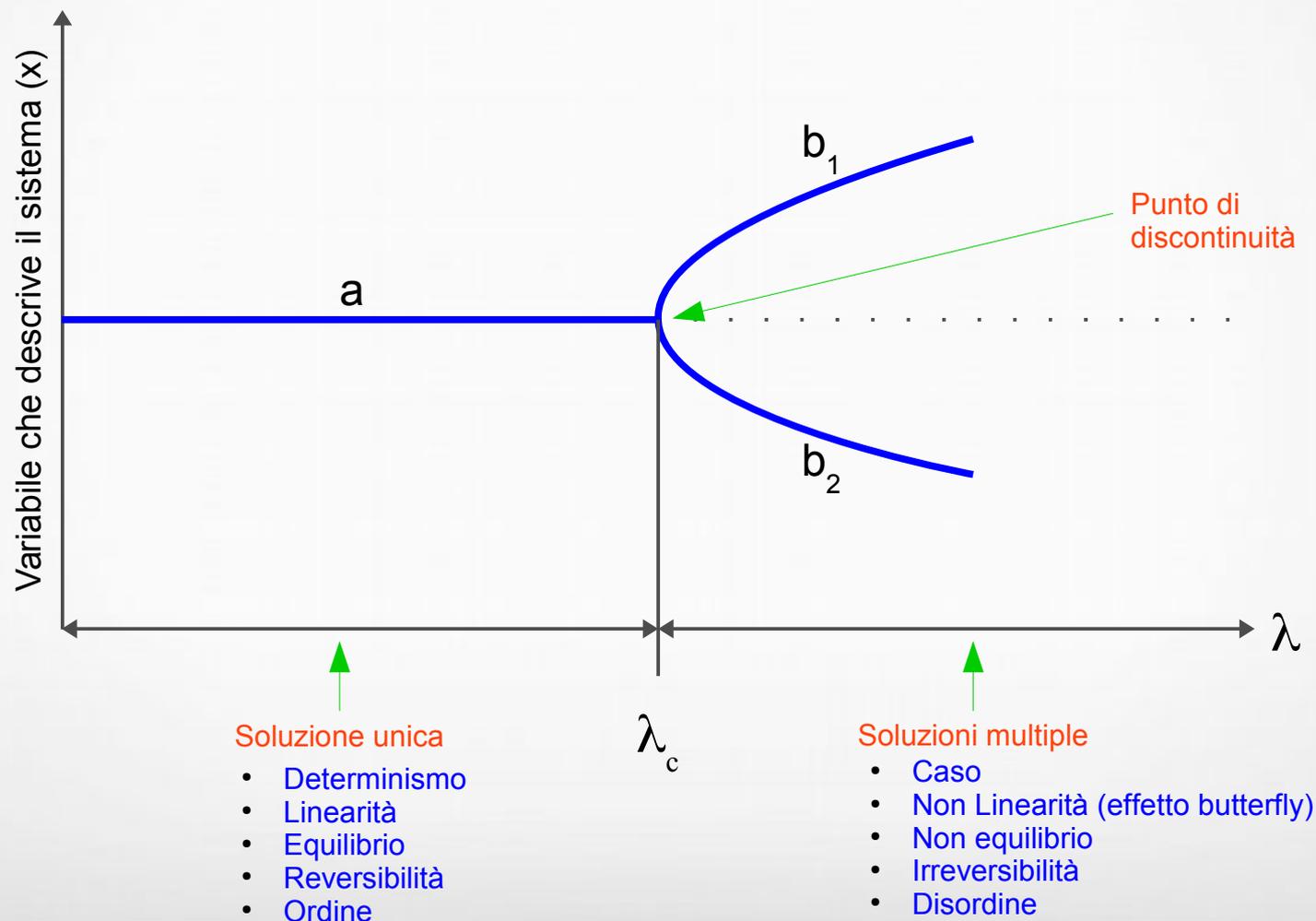


Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Quando il sistema raggiunge il **punto di catastrofe** può accadere quanto segue:
 - ✓ il sistema trova un **nuovo equilibrio instabile** sull'**orlo del caos**, caratterizzato da non linearità, disordine, caso, adattamento ed evoluzione
 - ✓ il sistema trova un **nuovo equilibrio stabile** e **ordinato** caratterizzato da linearità, e determinismo e immutabilità
 - ✓ il sistema precipita nel **caos**

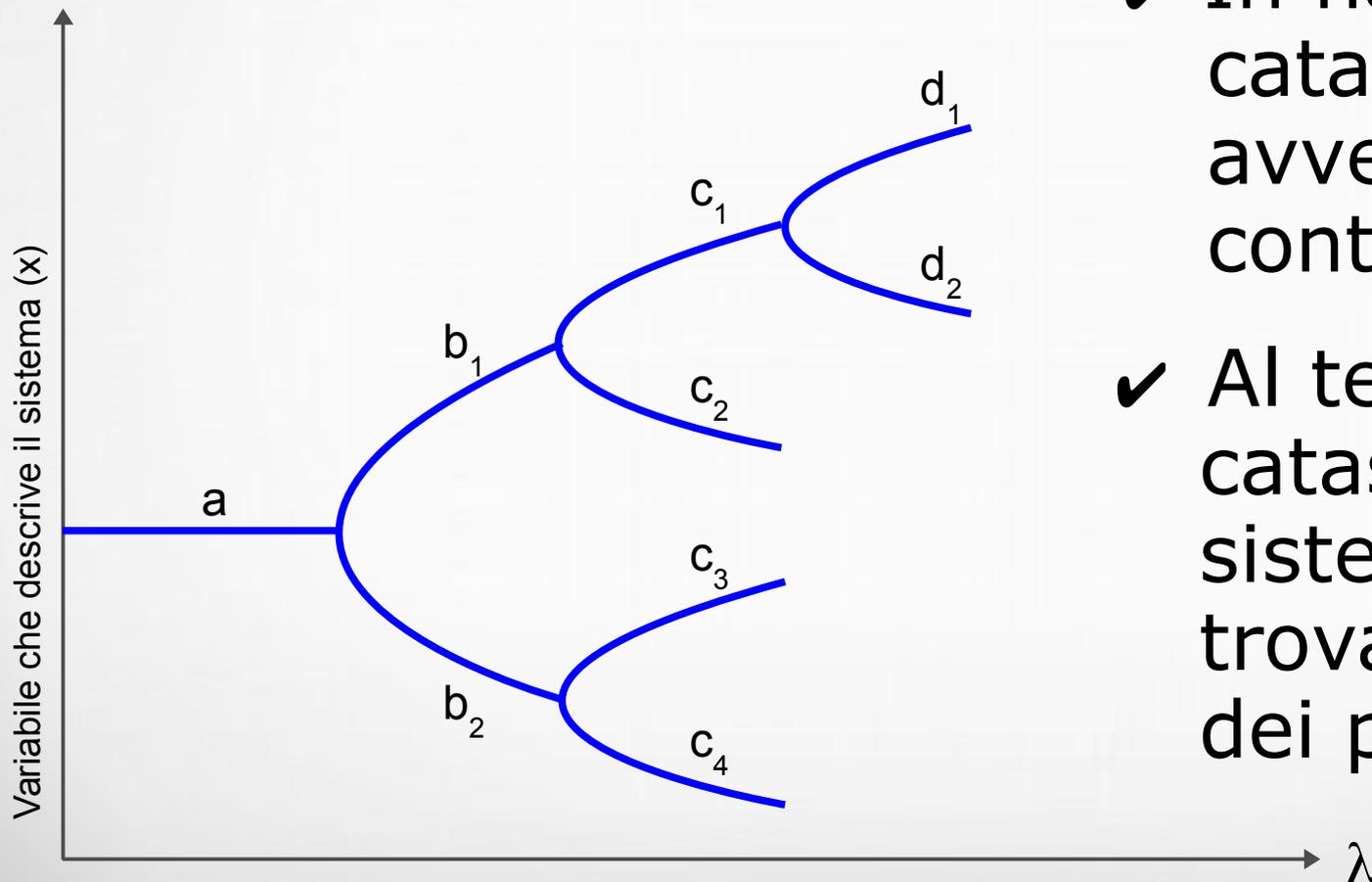
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Evoluzione del sistema al variare del parametro di controllo λ



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

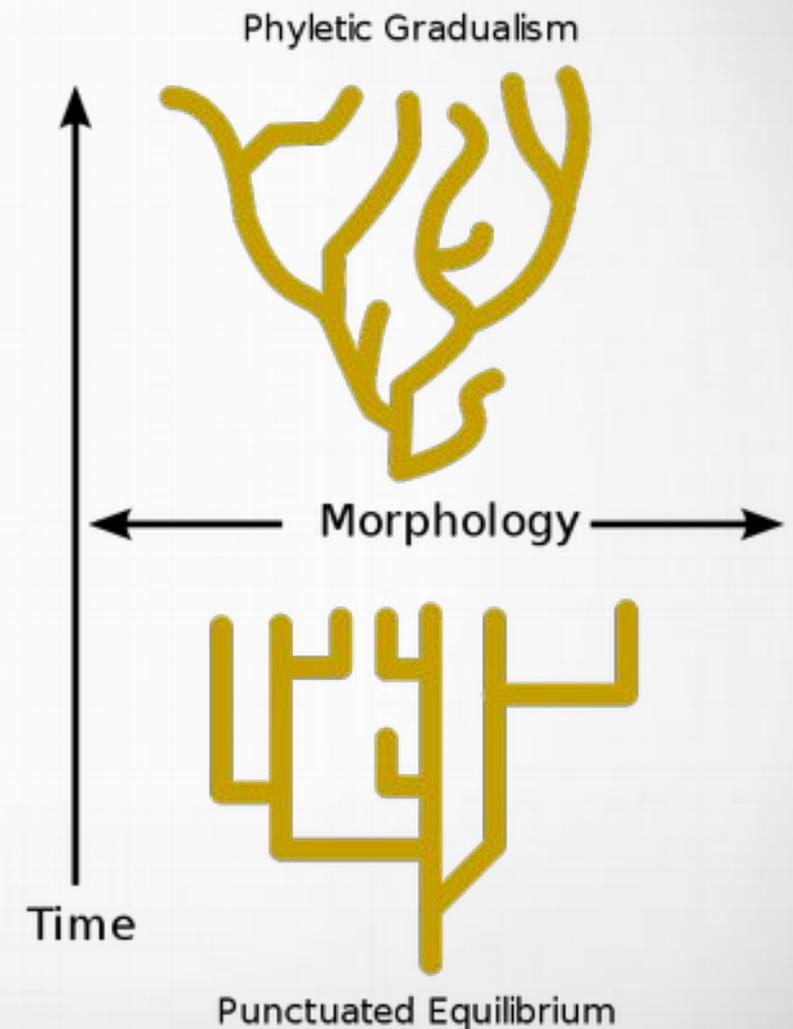
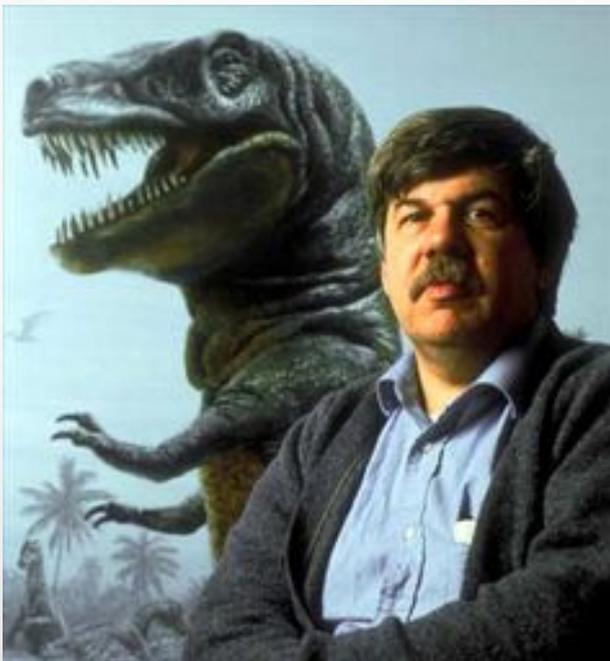
- Evoluzione del sistema al variare del parametro di controllo λ



- ✓ In natura le catastrofi avvengono continuamente.
- ✓ Al termine delle catastrofi il sistema potrebbe trovarsi in uno dei possibili rami

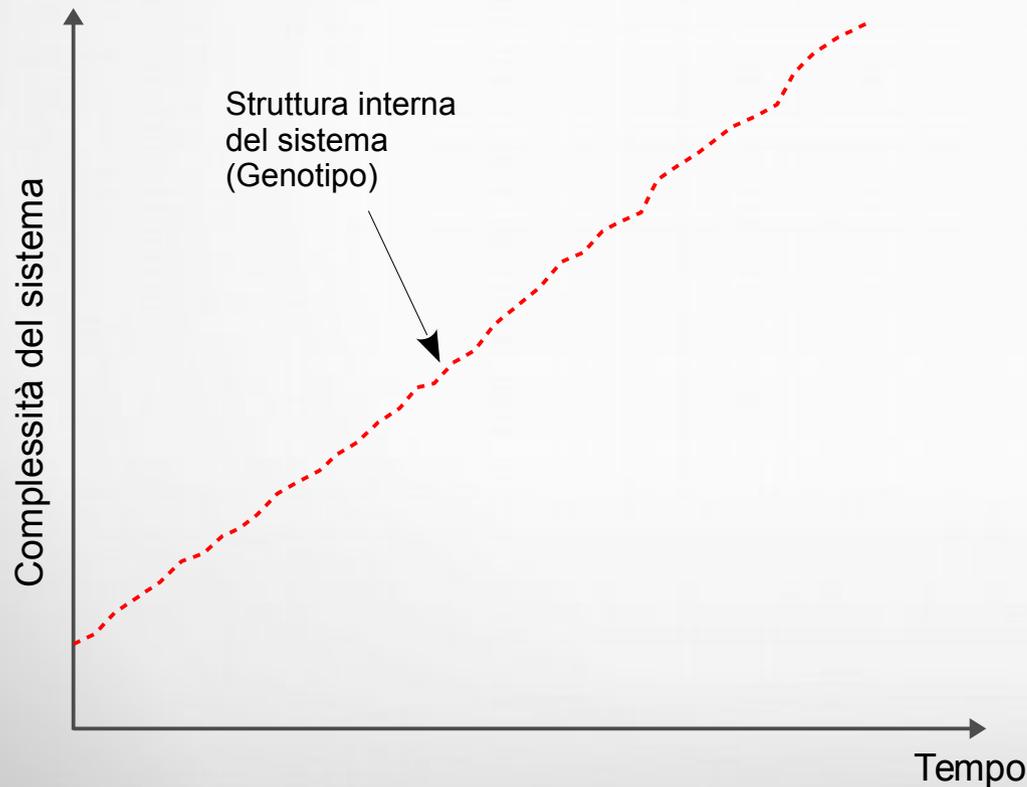
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Secondo Stephen Gould, l'evoluzione naturale è discontinua, da un equilibrio sull'orlo del caos ad un altro



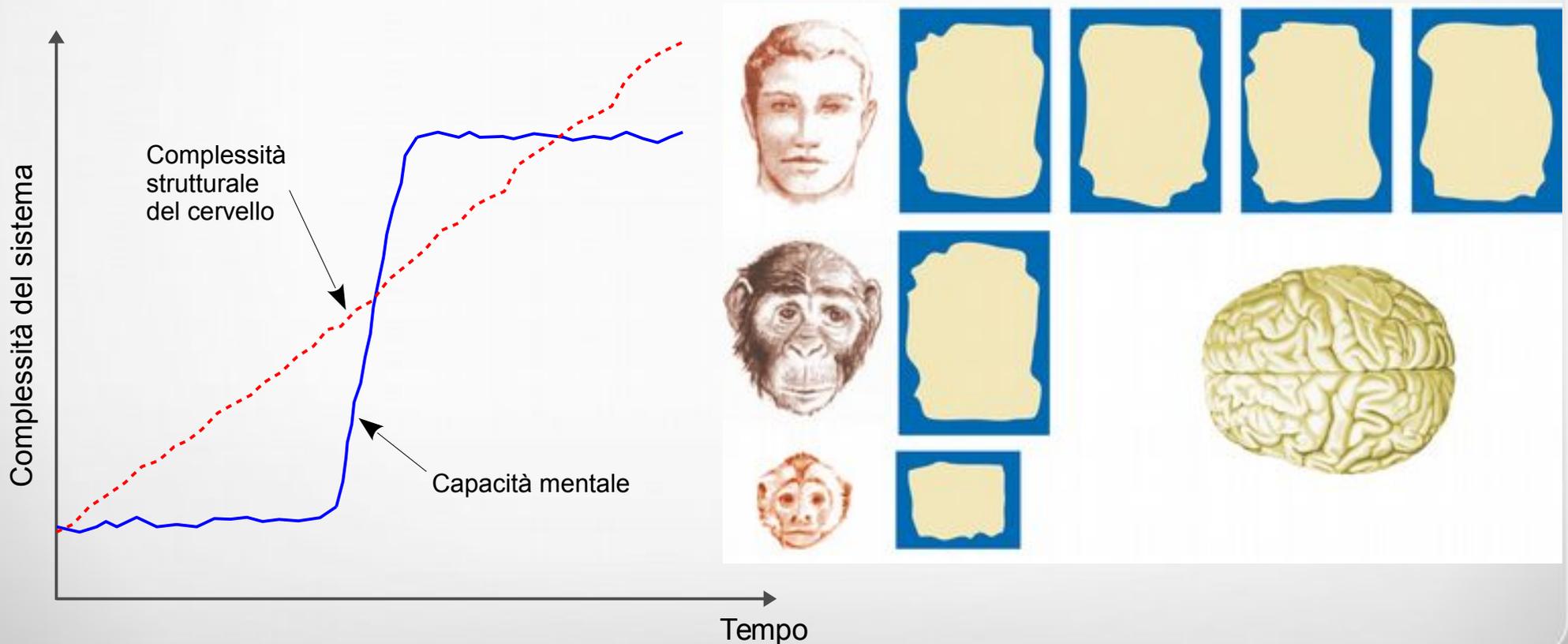
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Piccole e continui cambiamenti singolarmente insignificanti rimangono invisibili per molto tempo.



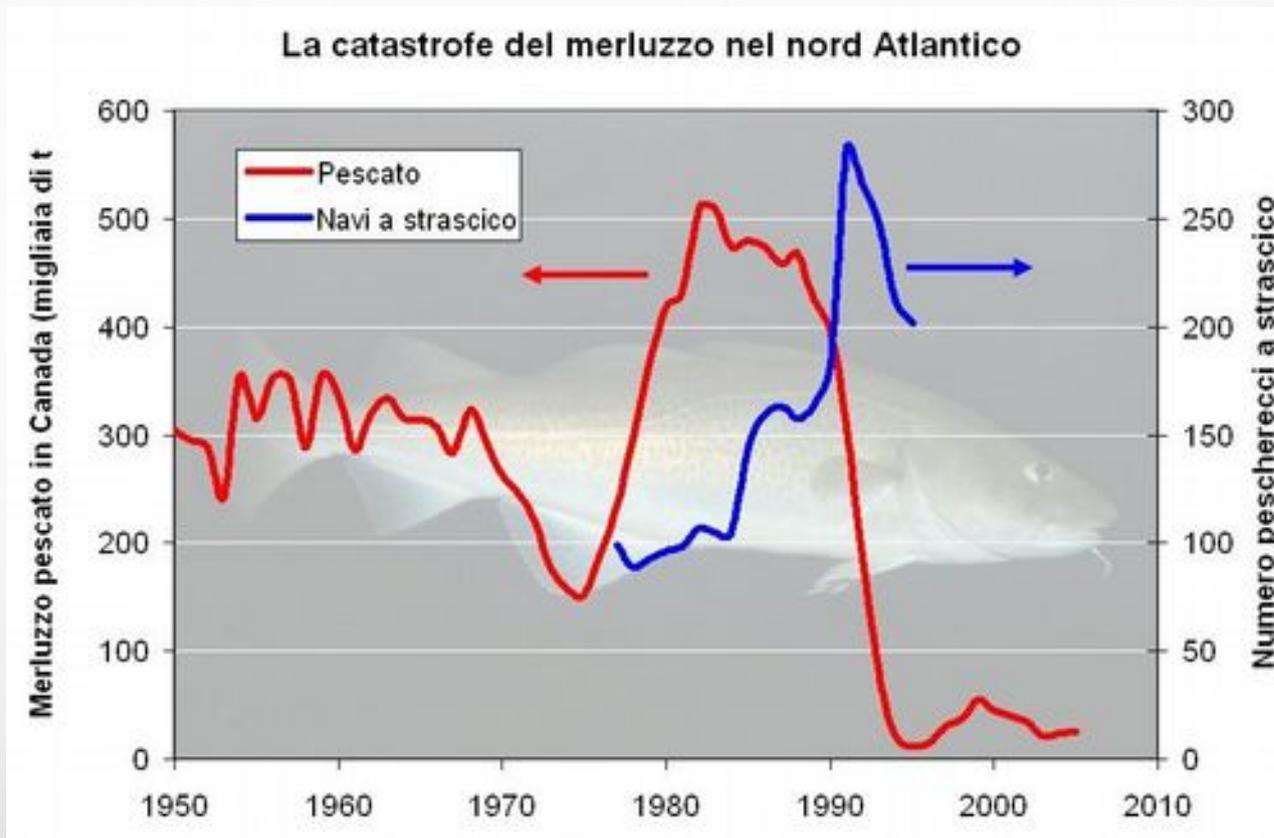
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Raggiunto una certa soglia le mutazioni si manifestano improvvisamente con effetti macroscopici (es. emergenza dell'intelligenza)



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Evolvendo in condizioni caotiche, un sistema complesso può improvvisamente trovare un **equilibrio stabile** coincidente con **la morte del sistema**



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Una nazione può precipitare nel caos senza più trovare un equilibrio



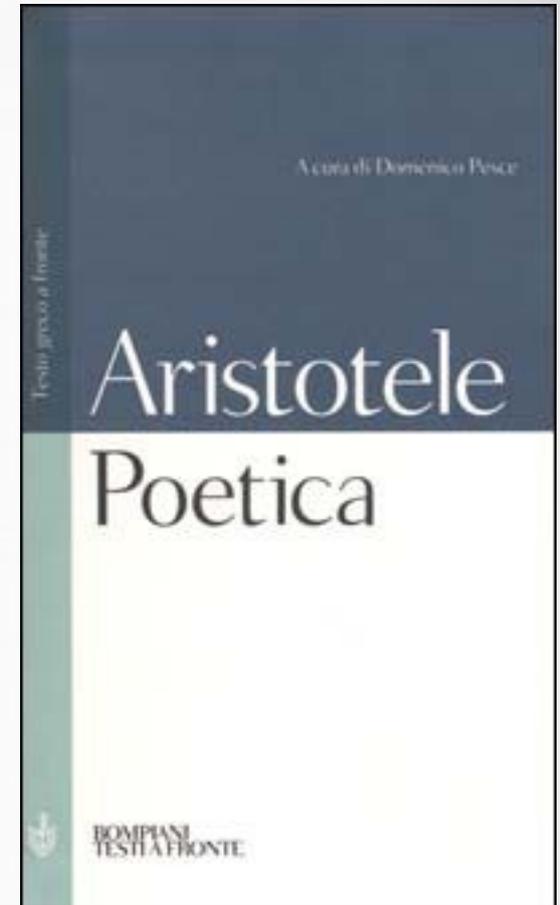
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Dopo un trauma, **una persona** può cambiare radicalmente la propria vita e trovare un **nuovo equilibrio** con se stessa e con gli altri

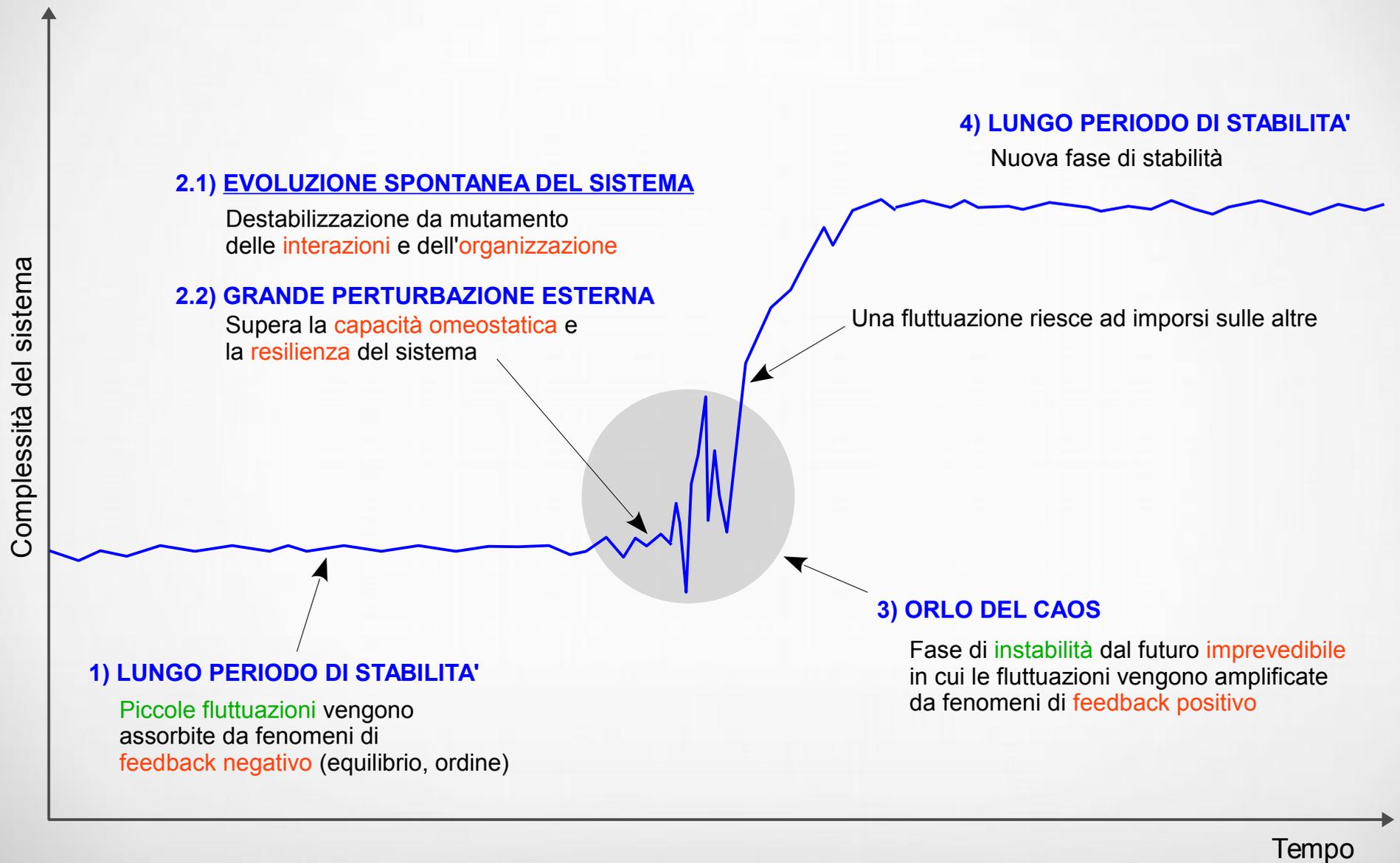


Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Il termine **catastrofe** deriva dal greco *katastrofé* (**rivolgimento, rovesciamento**) ed etimologicamente non ha connotazione negativa.
- Nella *Poetica* di Aristotele indica un cambiamento repentino, il momento critico della tragedia, in cui il protagonista passa da uno stato di felicità ad uno di infelicità.

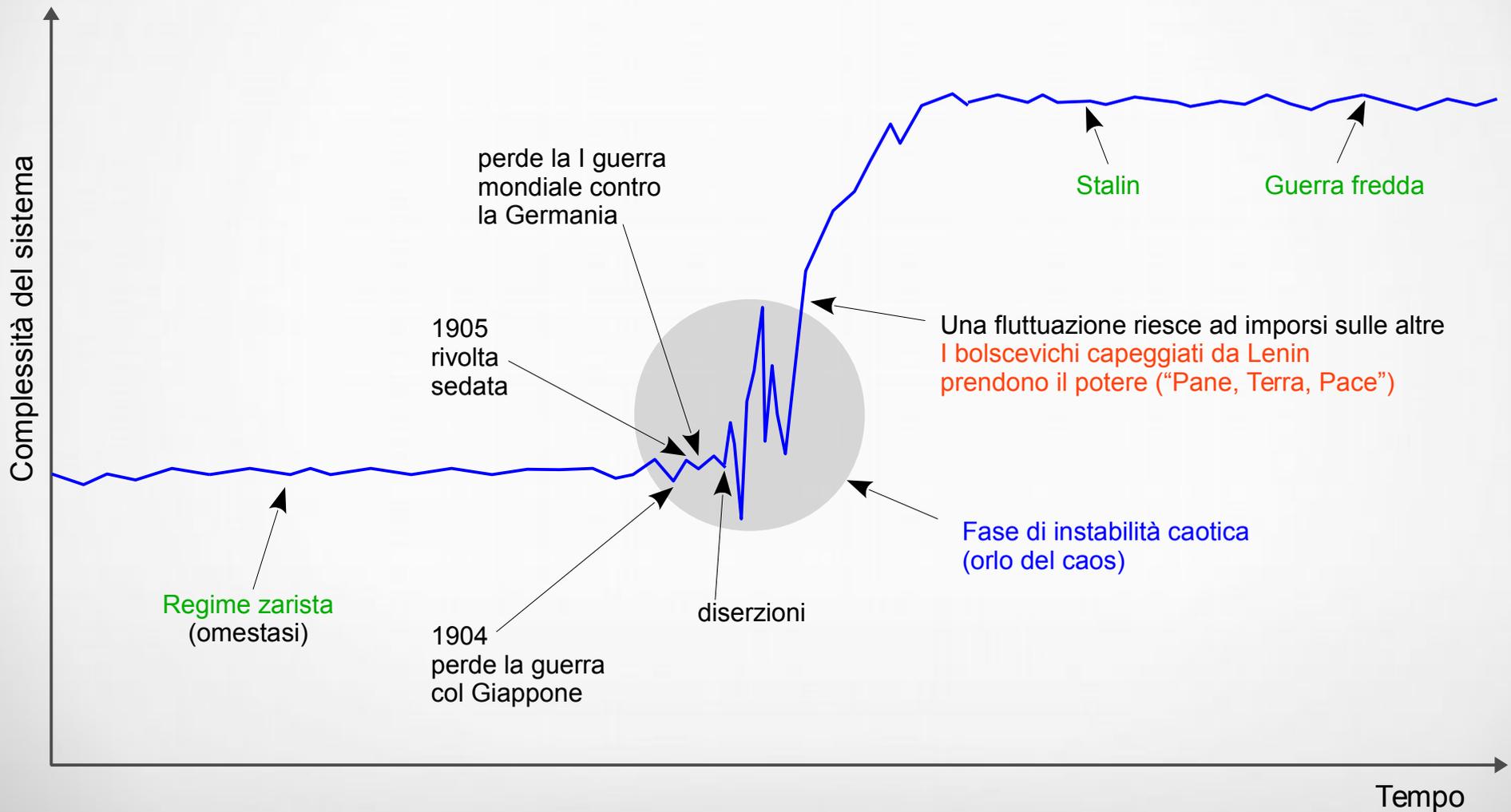


Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche



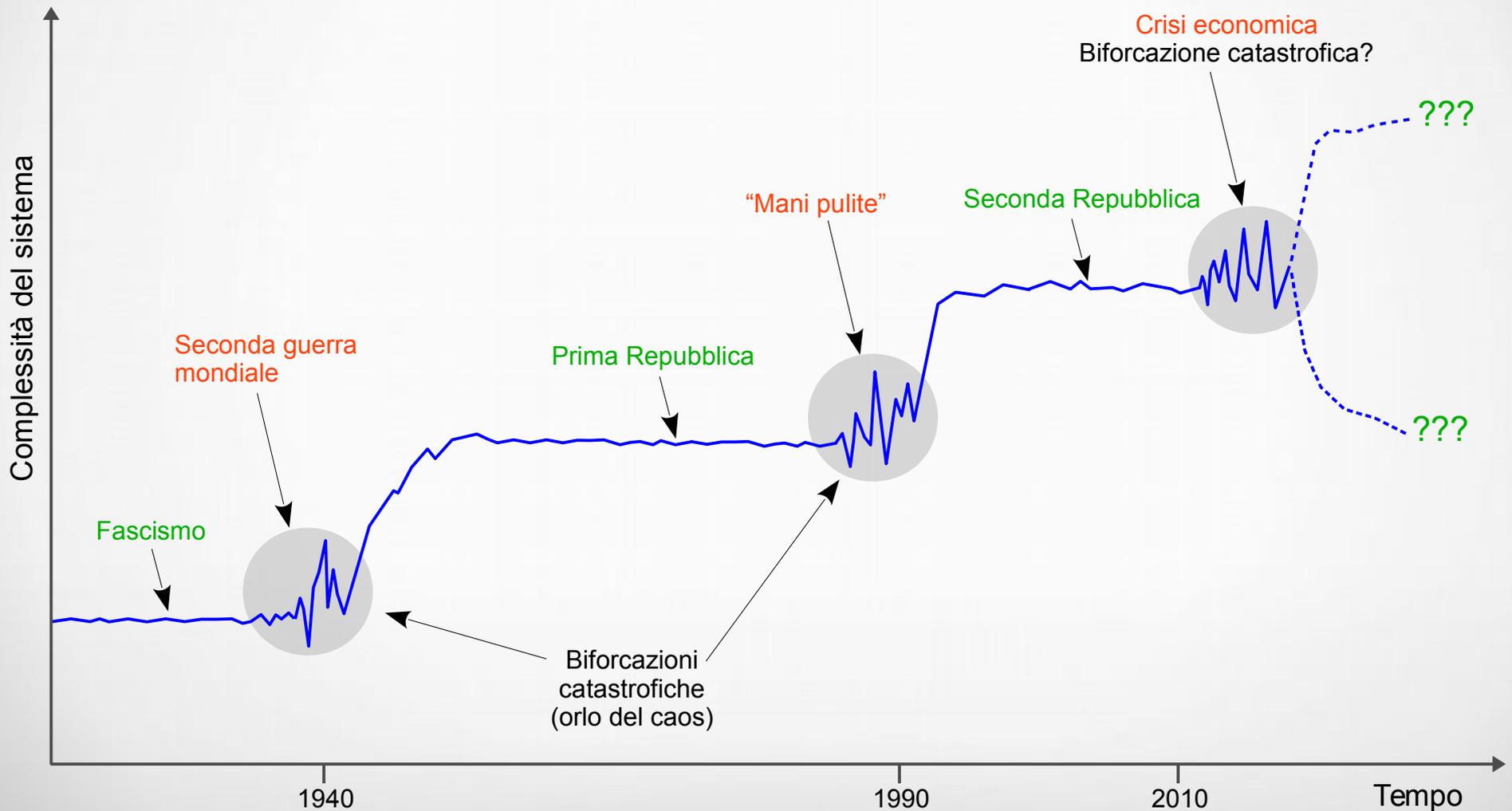
Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- **Sistema politico-sociale: Rivoluzione Russa**



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Sistema politico-sociale: **l'Italia**



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Sull'orlo del caos anche un'insignificante fluttuazione può divenire determinante

"L'esito della battaglia dipende da un istante, da un'idea. Si viene alla mischia, si combatte un po'. Poi l'istante decisivo: la scintilla che fa prendere una direzione invece di un'altra"

Napoleone Bonaparte



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Sull'orlo del caos anche un'insignificante fluttuazione può divenire determinante
- La morte dell'arciduca Francesco Ferdinando d'Austria e di sua moglie per mano dello studente serbo Gavrilo Princip, scatenò la **Prima Guerra Mondiale** (9 mil. di soldati e 5 mil. di civili morti)



Orlo del caos e biforcazioni catastrofiche

- Sull'orlo del caos anche un'insignificante fluttuazione può divenire determinante



A far esplodere la contestazione il comportamento del ministro Calderoli che ha indossato in tv una maglietta con una vignetta su Maometto

Vignette, 11 morti durante la protesta davanti al consolato italiano di Bengasi

Secondo fonti ufficiali, tra i libici ci sono anche almeno 25 feriti
Il personale italiano si è rifugiato in un albergo, la folla è poi stata dispersa

BENGASI - Undici libici morti e 25 feriti a Bengasi, cittadina sul mare Mediterraneo nel golfo della Sirte a 1000 chilometri da Tripoli, durante una manifestazione di protesta davanti al consolato italiano. Una protesta contro l'iniziativa del ministro italiano per le Riforme, Roberto Calderoli, di indossare nei giorni scorsi una maglietta anti Islam sulla quale era stampata una delle vignette satiriche su Maometto. Il presidente del Consiglio Berlusconi si è detto totalmente in disaccordo con l'iniziativa di Calderoli, e ha chiesto le dimissioni del ministro leghista.

Ad assaltare il consolato, secondo quanto ha detto il console generale Giovanni Pirrello, raggiunto telefonicamente nell'edificio dove è stato portato dalla polizia assieme alla moglie e agli altri dipendenti, sono state "un migliaio" di persone: le forze dell'ordine, una sessantina di agenti, sono state praticamente travolte e non sono riuscite a contenere la protesta.

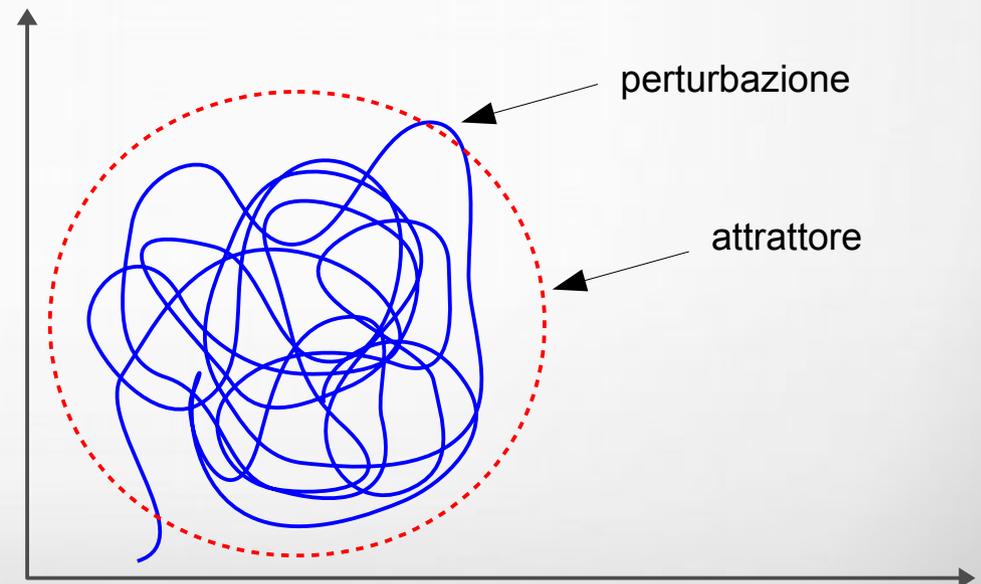
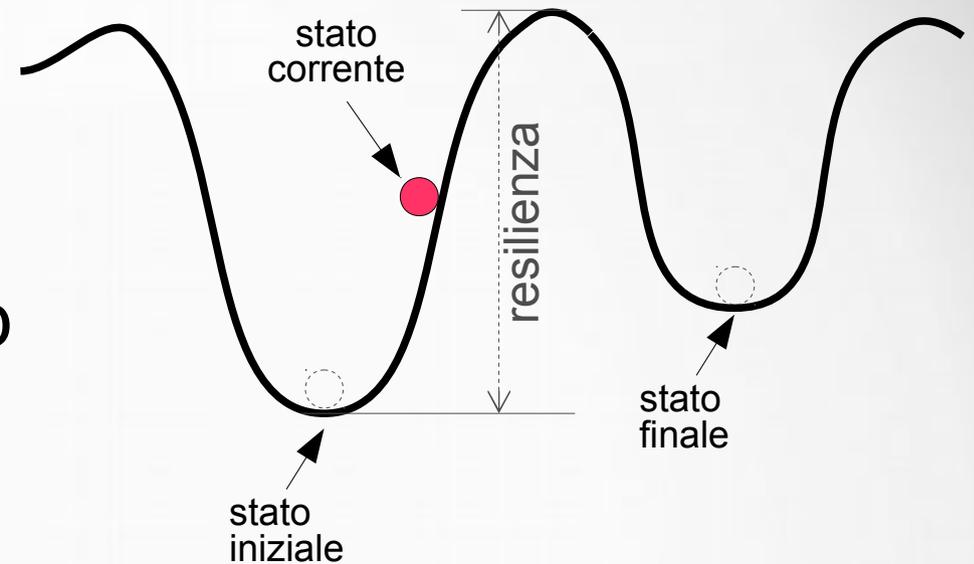


Il consolato italiano assaltato oggi dalla folla a Bengasi

- Non sottovalutare mai le conseguenze di un gesto...

Fragilità e resilienza

- La **resilienza** è la capacità di un sistema a **ritornare allo stato iniziale** dopo aver subito una **perturbazione**
- E' una delle proprietà che più differenzia i sistemi complessi (molto resilienti) dai quelli complicati (poco o per nulla resilienti)



Fragilità e resilienza



- Andrea Bollino
Presidente Grtn
(Gestore della Rete
di Trasmissione
Nazionale)

- Parlando di black-out ...
« in Italia non può mai accadere »
(17 agosto 2003)

Fragilità e resilienza



- Andrea Bollino
Presidente Grtn
(Gestore della Rete
di Trasmissione
Nazionale)

- Parlando di black-out ...
« in Italia non può mai accadere »
(17 agosto 2003)
- 28 settembre 2003: black-out in Italia...

Fragilità e resilienza

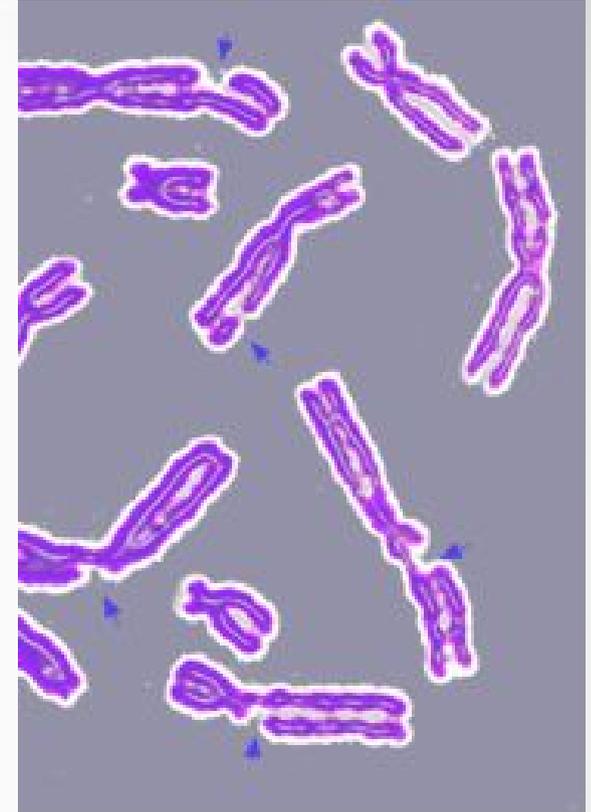
- Il blackout del 2003 è stato causato **da un albero** (!!) che ha interrotto la linea italo-svizzera (linea del Lucomagno)



- Il dott. Bollino non aveva considerato che il sistema elettrico nazionale, essendo un **sistema complicato**, è molto **fragile** (cioè **poco resiliente**)

Ridondanza e resilienza

- Diversa è la situazione dei sistemi complessi (es. **genoma**)
- Ogni giorno il DNA di ogni cellula subisce almeno **500.000** singole alterazioni molecolari (da danni ambientali e mutazioni casuali) in genere, **quasi tutte riparate !!!**



Ridondanza e resilienza

- La caratteristica dei sistemi complessi che permette loro di essere resilienti è la **ridondanza delle componenti**

- Nei sistemi complicati in genere non c'è mai ridondanza: ogni componente è praticamente indispensabile

		Second letter					
		U	C	A	G		
U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	U C A G		
	UUC } Leu	UCC } Ser	UAC } Tyr	UGC } Cys			
	UUA } Leu	UCA } Ser	UAA Stop	UGA Trp			
	UUG } Leu	UCG } Ser	UAG Stop	UGG Trp			
C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg	U C A G		
	CUC } Leu	CCC } Pro	CAC } His	CGC } Arg			
	CUA } Leu	CCA } Pro	CAA } Gln	CGA } Arg			
	CUG } Leu	CCG } Pro	CAG } Gln	CGG } Arg			
A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser	U C A G		
	AUC } Ile	ACC } Thr	AAC } Asn	AGC } Ser			
	AUA } Met	ACA } Thr	AAA } Lys	AGA Stop			
	AUG } Met	ACG } Thr	AAG } Lys	AGG Stop			
G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly	U C A G		
	GUC } Val	GCC } Ala	GAC } Asp	GGC } Gly			
	GUA } Val	GCA } Ala	GAA } Glu	GGA } Gly			
	GUG } Val	GCG } Ala	GAG } Glu	GGG } Gly			

Ridondanza e resilienza

- La ridondanza permette ai sistemi complessi di **sopportare la perdita di molte o moltissime componenti**: la morte di una o più formiche non danneggia la colonia.
- Provate invece a distruggere una sola componente di un personal computer...



Ridondanza e resilienza

- Dalla nascita all'età di circa 20 anni nel cervello umano **muoiono "svariati" miliardi di neuroni** senza che ciò pregiudichi l'attività mentale!
- Nonostante tale "strage", **i sopravvissuti funzionano bene (ridondanza), anzi... meglio** (gli stimoli ambientali selezionano e catalizzano la formazione di **connessioni...**).



Ridondanza e resilienza

- Il corpo umano è un sistema **altamente resiliente**.
- Malgrado gli abusi riesce a tamponare, ad adattarsi, ma anche **collassare**...



Ridondanza e resilienza

- La **biosfera** è un sistema **altamente resiliente** malgrado il dissennato sfruttamento delle risorse, l'esplosione demografica, l'effetto serra, mutamenti climatici, inquinamento ...
- E se la Terra fosse sul punto di raggiungere il limite naturale di resilienza?



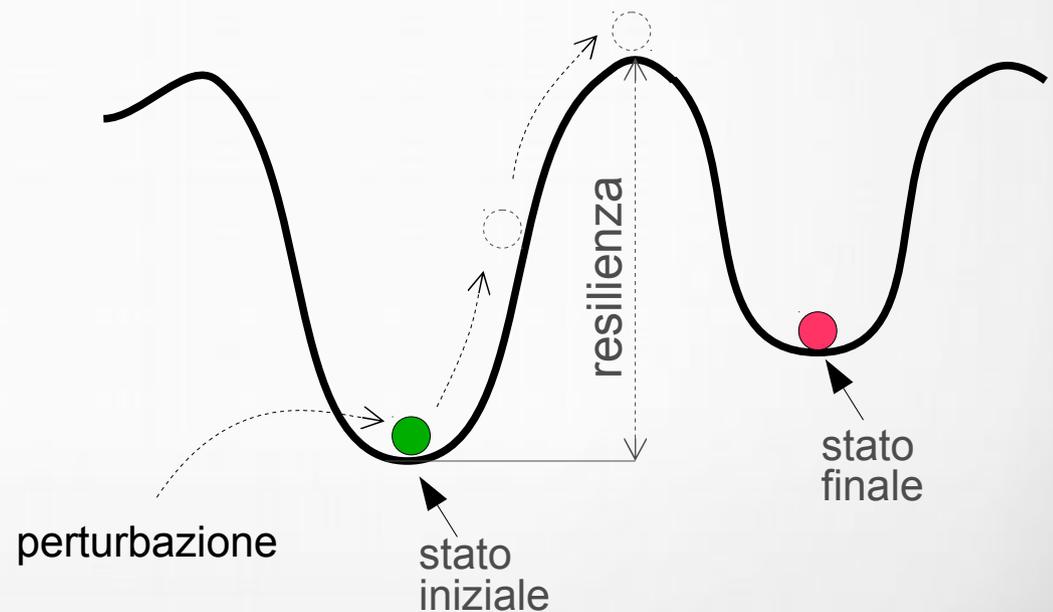
Ridondanza e resilienza

- Nei sistemi complicati per accrescere la resilienza si agisce sulla modularità e sulla ridondanza delle componenti.



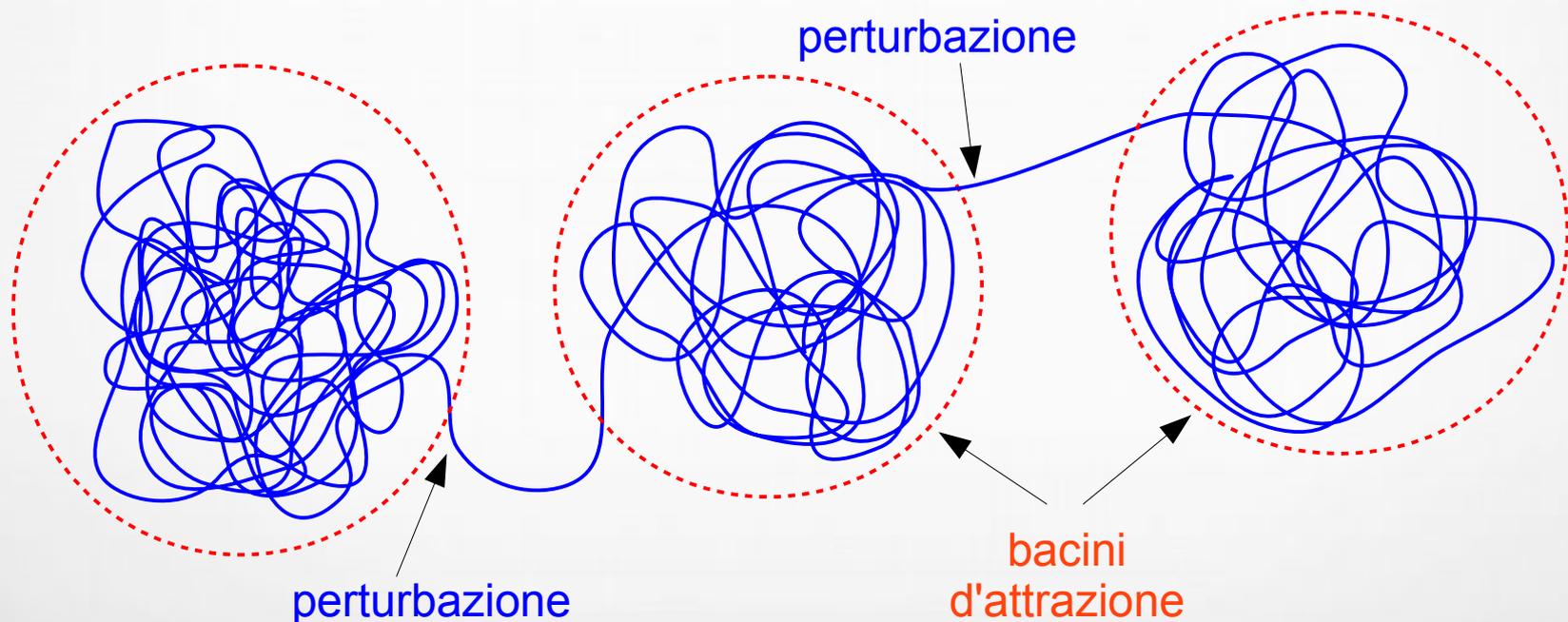
Ridondanza e resilienza

- In un **sistema complicato** quando una perturbazione è maggiore della resilienza in genere il sistema **smette di funzionare**
- In un **sistema complesso** quando una **perturbazione** è maggiore della resilienza in genere il **sistema evolve** cercando un **nuovo equilibrio**.

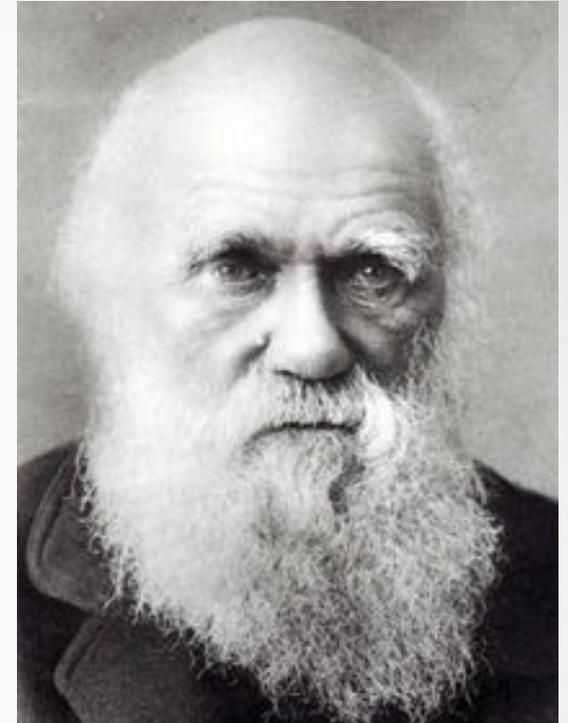
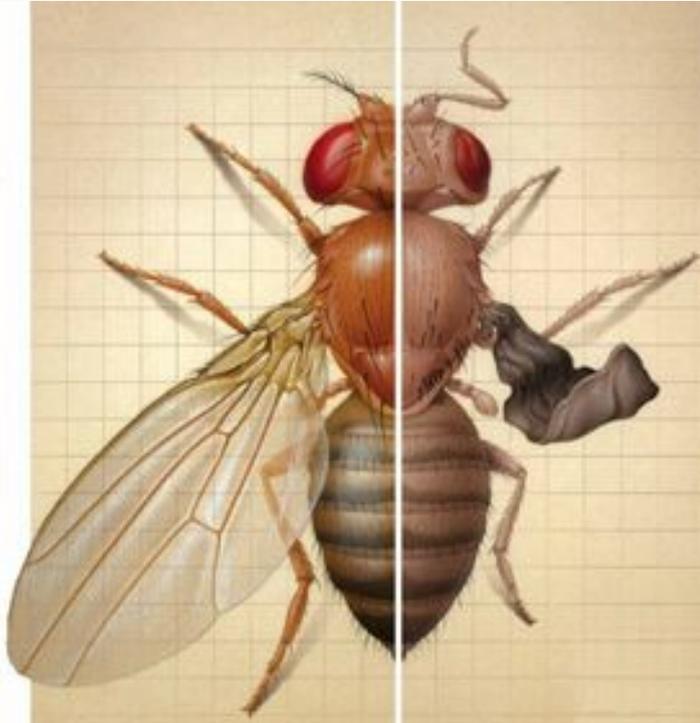
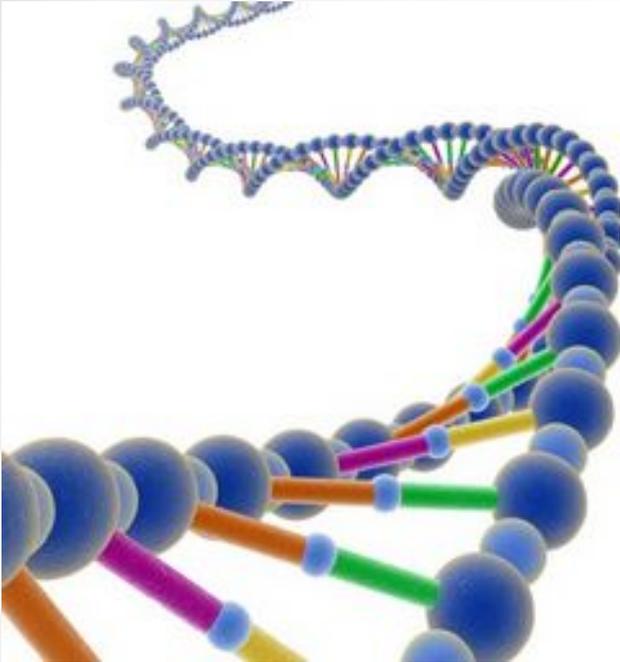


Adattamento

- Chiamiamo **capacità adattativa o adattiva** la velocità con cui un sistema ritrova un **nuovo equilibrio** dopo aver perso quello precedente



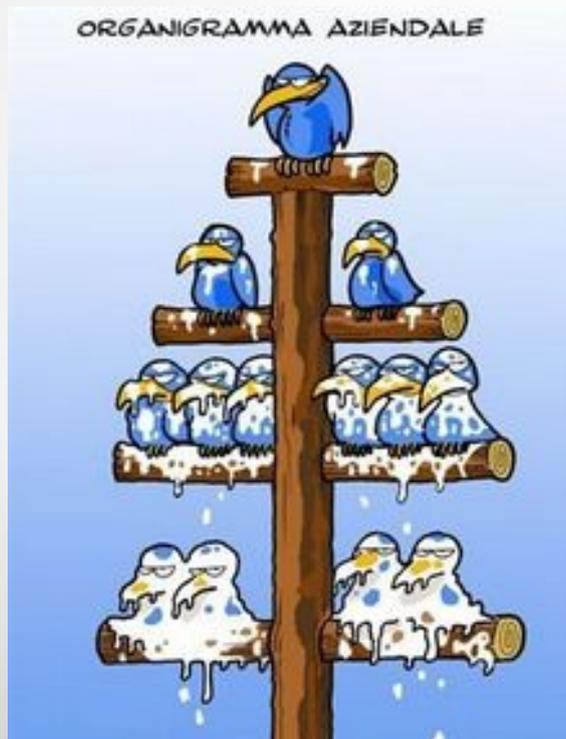
Sistemi complessi adattativi



- Chiamiamo **adattativi** i sistemi più complessi (biologici, ecologici, sociologici) proprio per sottolineare la loro grande capacità di mutare e di adattarsi all'ambiente.

Organizzazione

- Quando i sistemi complessi si trovano in regime di **caos**, nessuna organizzazione è possibile



- Quando si trovano in condizioni di **regime ordinato**, l'organizzazione è possibile ma si basa su un forte controllo (**organizzazione top-down**)

Auto-organizzazione

- Quando invece un sistema complesso si trova in **equilibrio al margine del caos**, le sue componenti si auto-organizzano (nessun leader, ruoli specializzati e caste)
- L'auto-organizzazione non dipende da fattori esterni ma solo dall'**autonomia** e dalle **interazioni locali** delle componenti (**organizzazione bottom-up**)

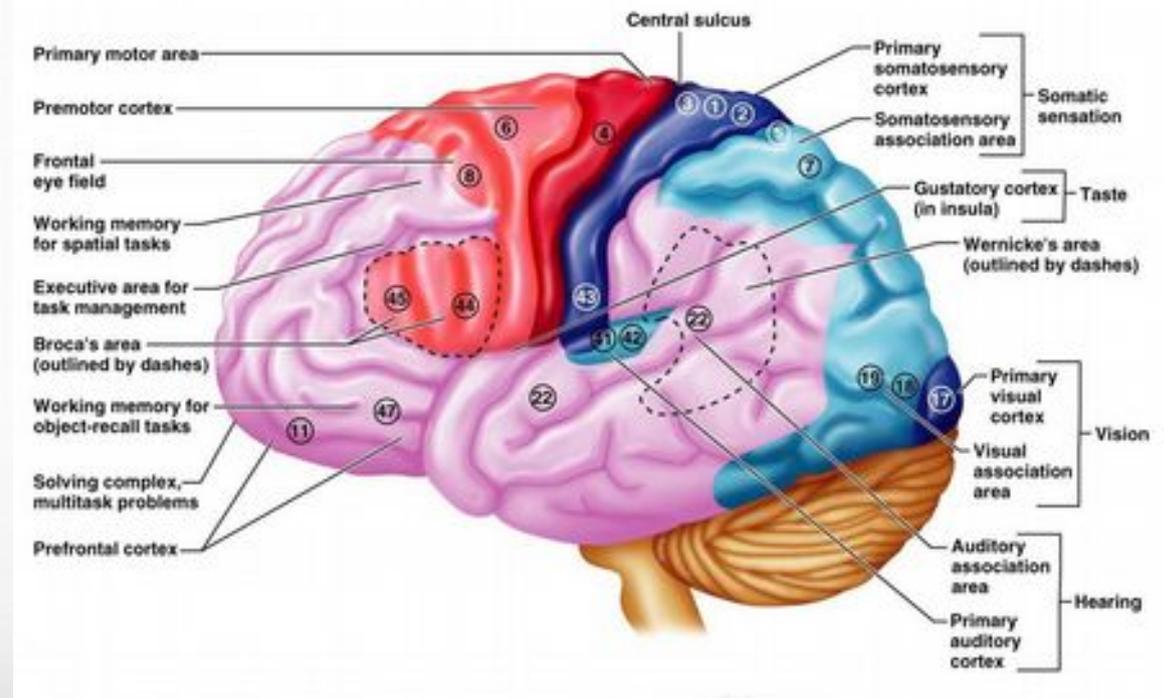


Auto-organizzazione ed Evoluzione

- **Morfogenesi**: differenziazione e specializzazione delle cellule a partire da un'unica cellula fecondata



- **Cervello**: specializzazione delle aree cerebrali e localizzazione delle funzioni mentali



Auto-organizzazione ed Evoluzione

- Colonie
- Città
- Società
- Economia



Auto-organizzazione ed Evoluzione

