

Alessandro Pluchino

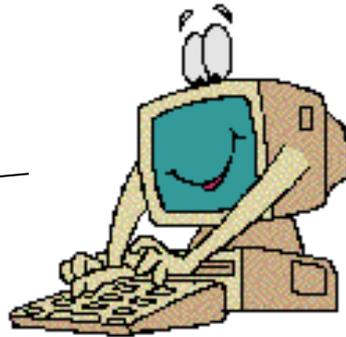
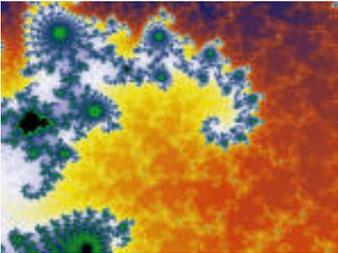
**Dipartimento di Fisica e Astronomia
dell'Università di Catania**

Simulare la Complessità

**Punti Critici, Reti e Leggi di Potenza:
Introduzione alla nuova scienza
dei Sistemi Complessi**

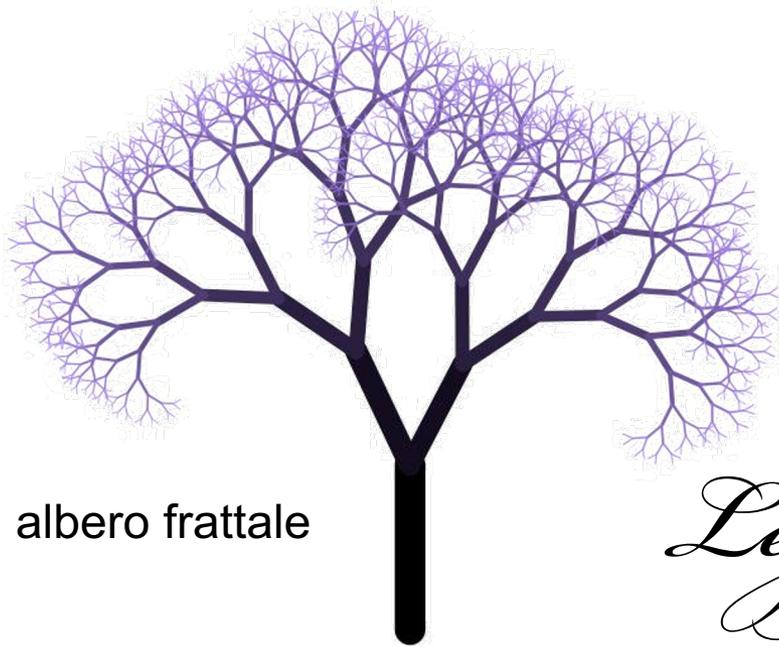
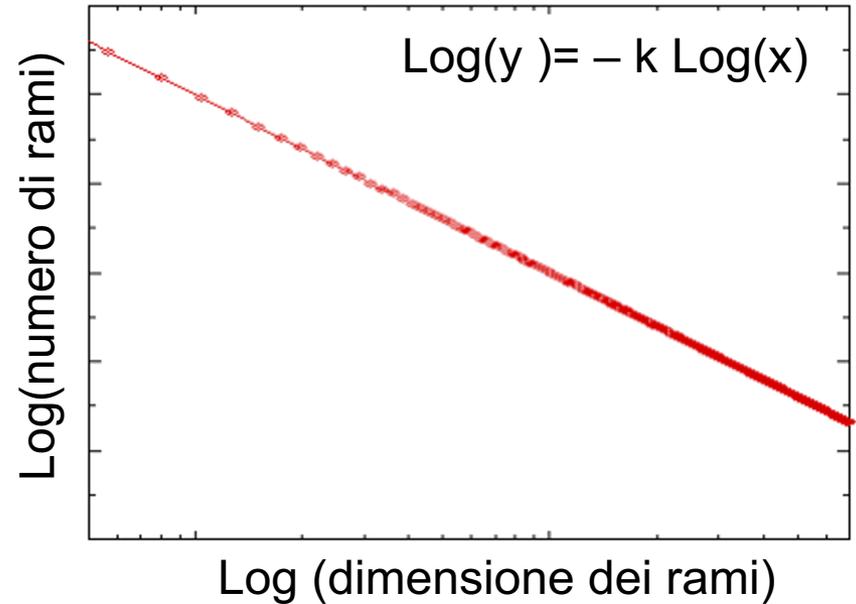


Autosimilarità e Invarianza di Scala



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

**La 'firma' matematica
dell'autosimilarità e della
invarianza di scala è la
legge di potenza!
(power law)**



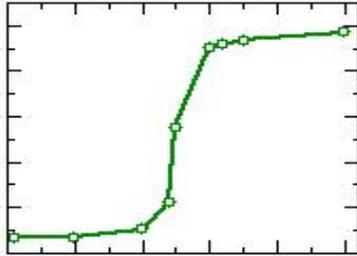
albero frattale

$$y = x^{-k}$$

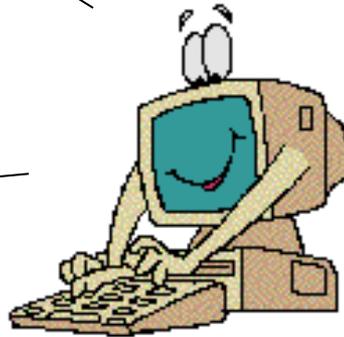
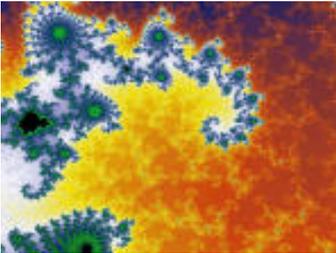
Legge di Potenza



Non linearità e Soglie Critiche



Autosimilarità e Invarianza di Scala

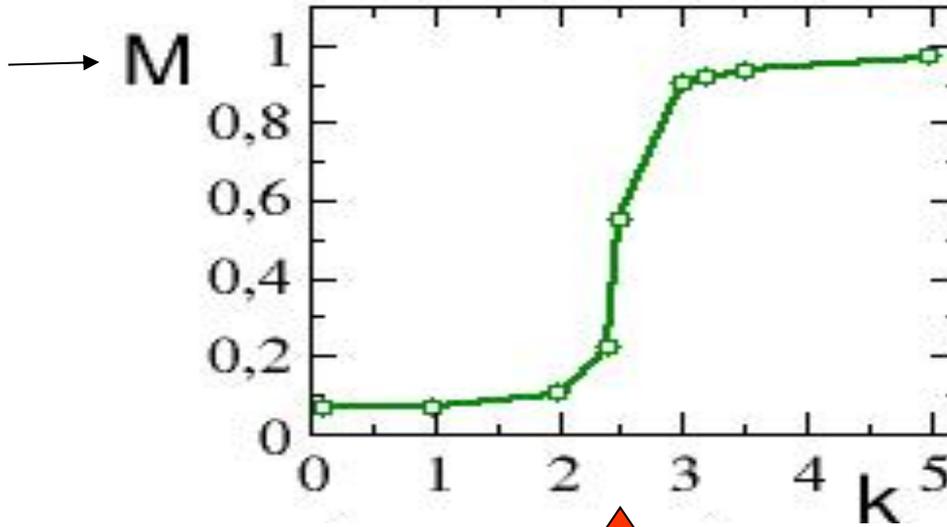


**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Non linearità e Soglie critiche

I sistemi non lineari di solito non cambiano gradualmente ma attraversano delle **SOGLIE CRITICHE** dopo le quali la loro **struttura** (nello spazio) e/o il loro **comportamento** (nel tempo) cambia drasticamente...

parametro
d'ordine



parametro di
controllo

Punto Critico



i terremoti

le valanghe



gli incendi

Le guerre



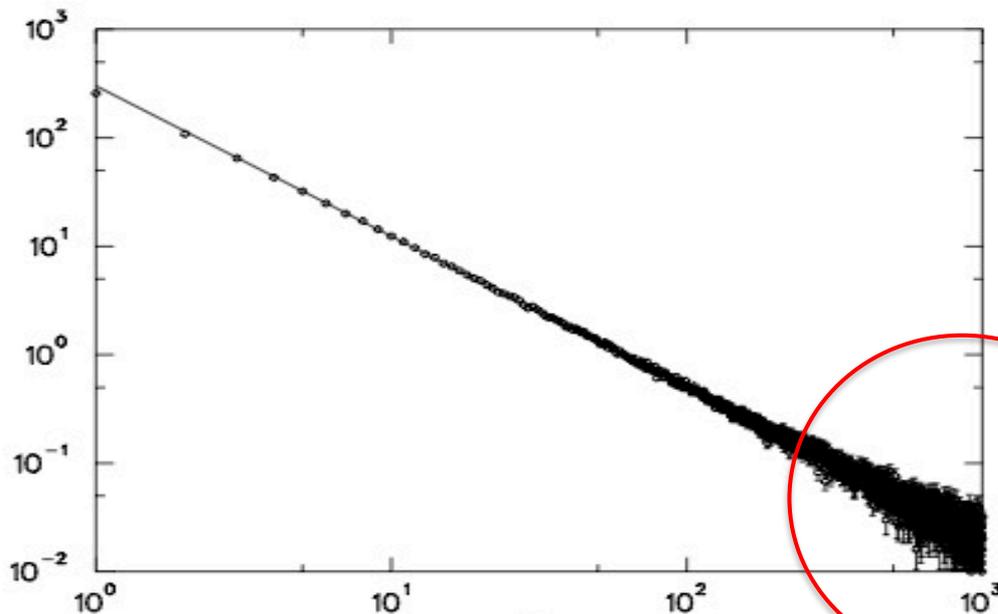
i crolli in Borsa

Le epidemie



La presenza di **leggi di potenza e invarianza** di scala in molti sistemi fisici, biologici, economici o sociali, indica che tali sistemi, per quanto apparentemente diversi tra loro, si organizzano **spontaneamente** in uno stato dalle caratteristiche comuni, detto:

"Stato Critico"

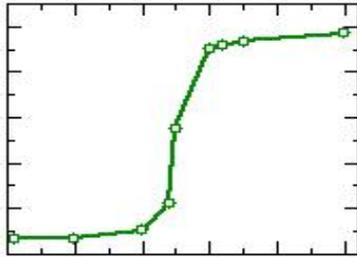


La Legge di Potenza

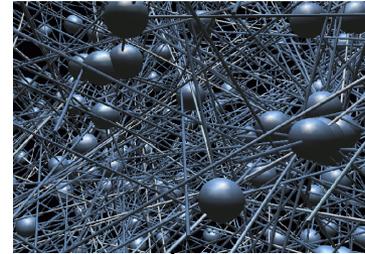


Eventi Estremi

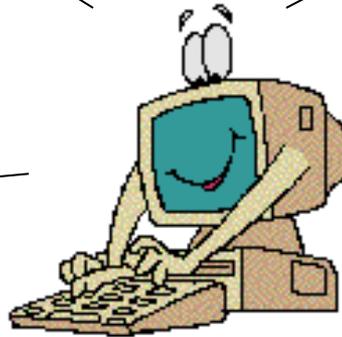
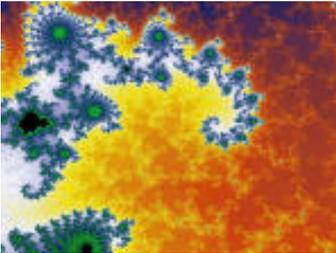
**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Reti Complesse tra
Ordine e Caos**

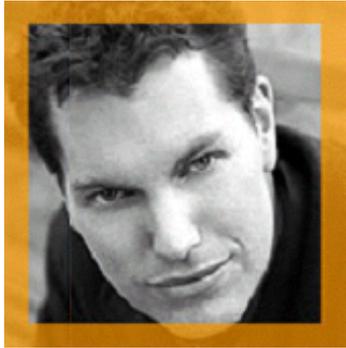


**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

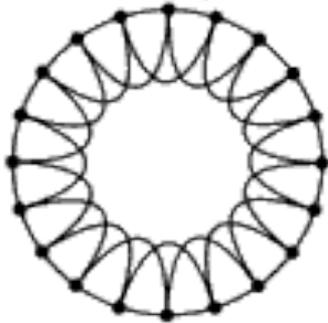
La scoperta delle Reti Complesse



1998 - Watts e Strogatz (USA)
Scoprono che il segreto delle reti “piccolo mondo” si trova al confine tra ordine e disordine!

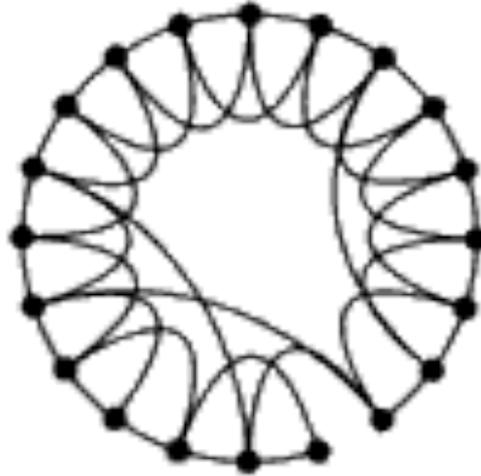


rete regolare



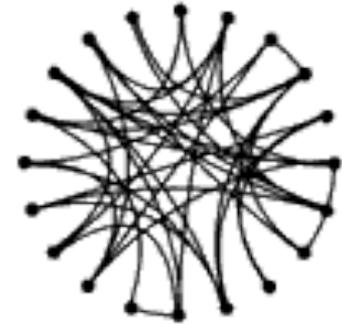
Ha una forte aggregazione, ma non è un ‘piccolo mondo’

rete small world



E' un ‘piccolo mondo’ ma ha anche una forte aggregazione!

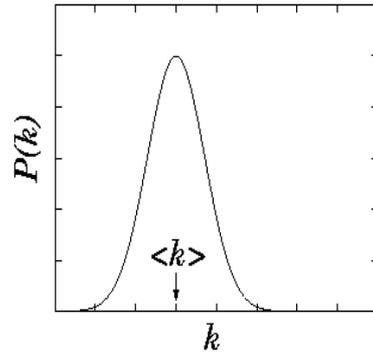
rete casuale



E' un ‘piccolo mondo’, ma non ha aggregazione

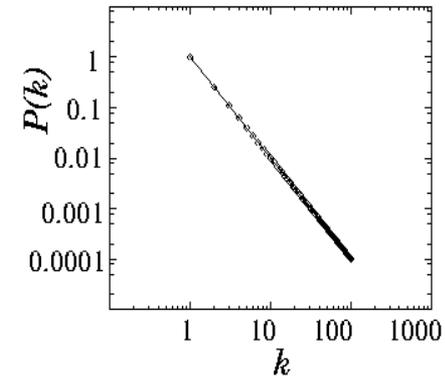
In conclusione: esistono due tipi fondamentali di reti small world:

Gaussiana

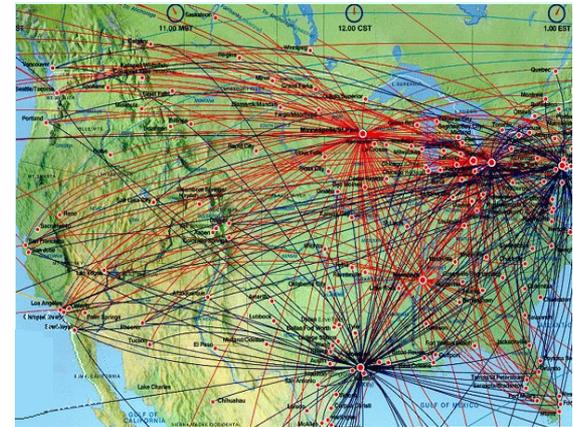


**Distribuzioni
dei links**

Legge di Potenza



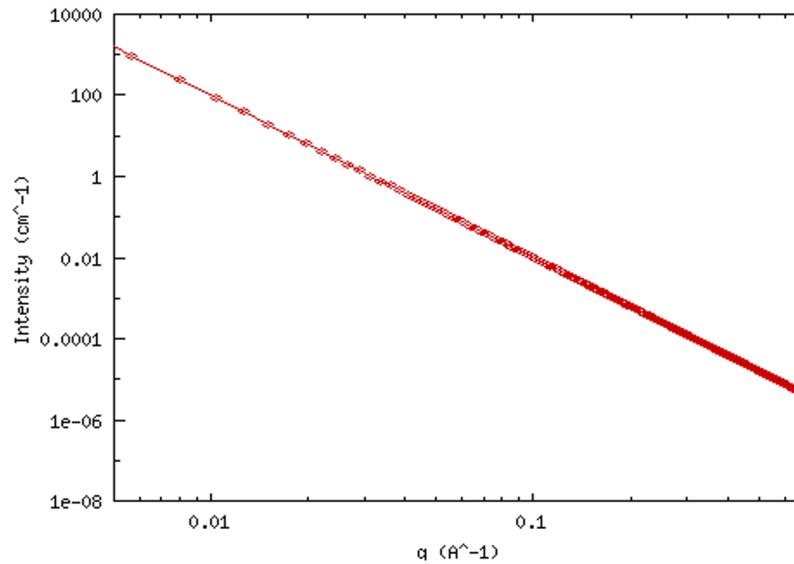
**A.L. Barabási
(USA, 1999)**



**Reti "Egualitarie":
hanno una scala
caratteristica e non
hanno "hub"**

**Reti "Aristocratiche":
sono prive di scala
(reti "scale free") ma
dotate di "hub"**

Esempi di reti scale-free



*La Legge di
Potenza*

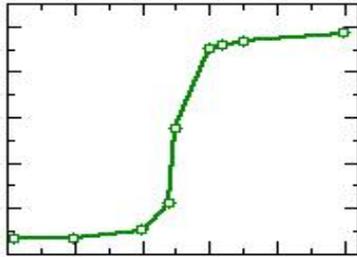




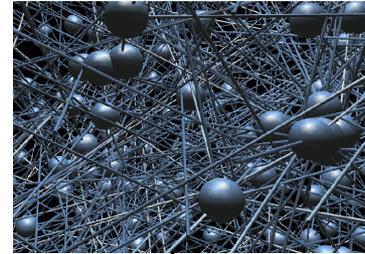
Effetti collaterali in un mondo di Reti e Sistemi Complessi



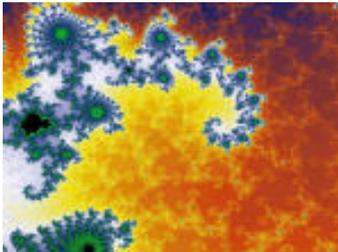
**Non linearità e
Soglie Critiche**



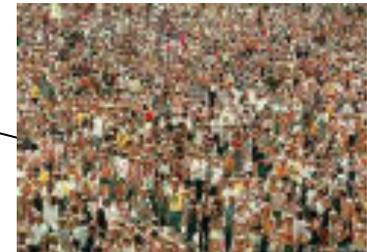
**Reti Complesse tra
Ordine e Caos**



**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**



**Fenomeni Emergenti
at the Edge of Chaos**



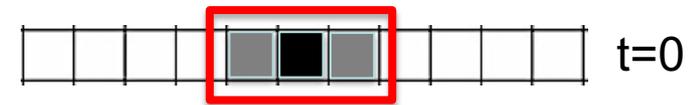
**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Fenomeni Emergenti: gli Automi Cellulari

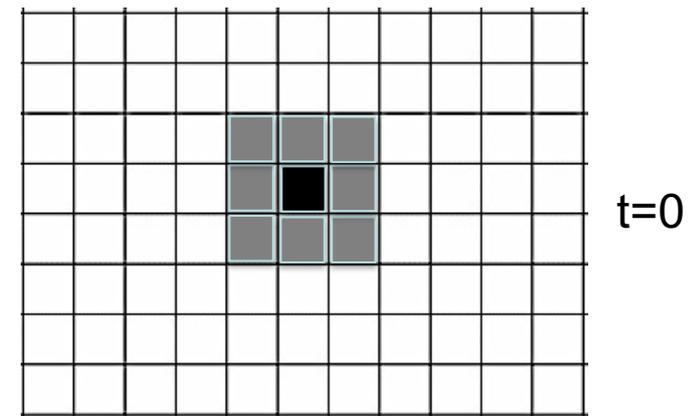
Un **automa cellulare** (dall'inglese *Cellular automaton* o *Cellular automata*, abbrev. **CA**) è un modello matematico discreto usato per descrivere l'evoluzione di **sistemi complessi**, studiati in teoria della computazione, matematica, fisica e biologia.

Un automa cellulare consiste di una **griglia** (il "*mondo*"), di solito 1D o 2D, costituita da un numero finito o infinito di celle. Ciascuna di queste celle può assumere un **insieme finito di stati** (ad esempio, "vivo" o "morto", on-off, bianco-nero). Per ogni cella è necessario anche definire l'insieme delle celle che sono da considerare "**vicine**" alla cella data. Ad un certo **tempo $t=0$** si assegna ad ogni cella un determinato **stato**. L'insieme di questi stati costituisce lo *stato iniziale* dell'automa cellulare. Dopo un tempo prefissato ogni cella cambierà stato *contemporaneamente* a tutte le altre, secondo una **regola fissata** (che varia a seconda dell'automa cellulare preso in considerazione). Il modo in cui cambia stato una cella dipende solamente **dal proprio stato attuale e dagli stati delle celle "vicine"**.

automa cellulare 1D



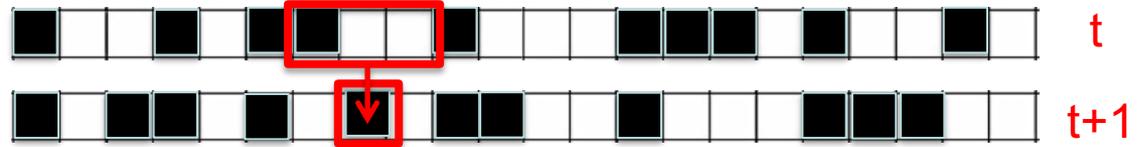
automa cellulare 2D



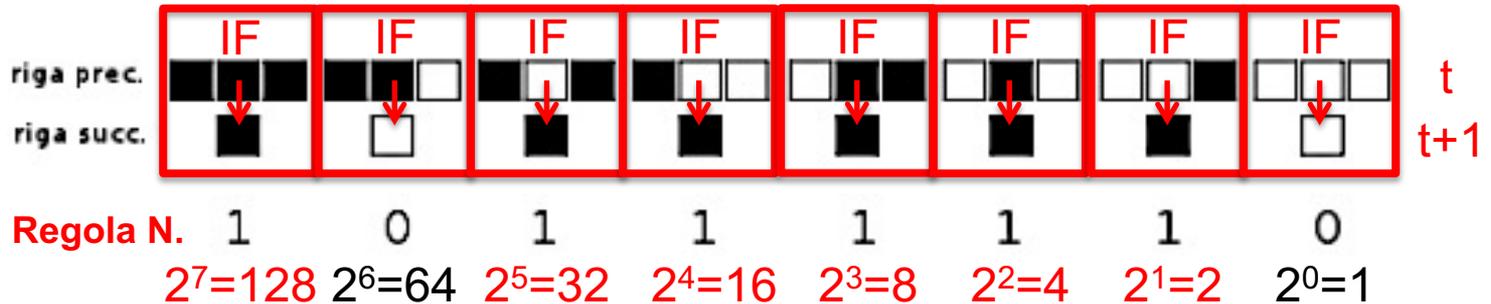
- celle "vive"
- celle "morte"
- "vicinato" della cella viva

Automi Cellulari 1D: la notazione di Wolfram

Gli **automi cellulari unidimensionali** sono rappresentati da una successione di righe ciascuna delle quali contiene una certa **configurazione di celle accese o spente** ad un certo tempo (iterazione). Dalla configurazione delle celle di una riga (**al tempo t**) è possibile ricavare la configurazione di ogni cella della riga successiva (**al tempo t+1**) per mezzo di certe **regole**:



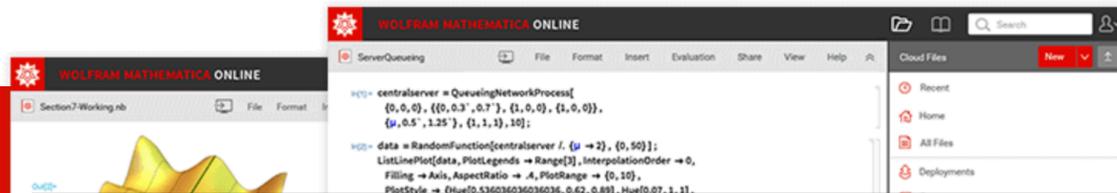
Poiché lo stato al tempo t+1 di ogni cella dipende, oltre che dal proprio stato al tempo t, anche dallo stato delle sue 2 vicine al tempo t, e poiché ogni cella può assumere 2 stati, esistono $2^3=8$ **possibili configurazioni** delle 3 celle al tempo t. Ma per ciascuna di queste configurazioni, la nuova cella al tempo t+1 avrà anch'essa 2 possibili stati, quindi vi saranno in totale $2^8 = 256$ **regole possibili, del tipo**:



Per descrivere sinteticamente queste regole il fisico **Stephen Wolfram** ha proposto di usare il numero binario che si viene a formare, in questo caso **10111110**. Questo numero equivale, in notazione decimale, a 190 ($128+32+16+8+4+2$), da cui il nome della regola secondo la **notazione di Wolfram** sarà **“regola 190”**.

WOLFRAM MATHEMATICA ONLINE

Bring Mathematica to life in the cloud




WolframAlpha[®] computational intelligence.

Enter what you want to calculate or know about



[Browse Examples](#) [Surprise Me](#)

Compute expert-level answers using Wolfram's breakthrough algorithms, knowledgebase and AI technology

Mathematics >

-  Step-by-Step Solutions
-  Elementary Math
- x^2-1 Algebra
-  Plotting & Graphics
- $\int f(x) dx$ Calculus & Analysis
- $\frac{x}{12}^9$ Geometry

Science & Technology >

-  Units & Measures
-  Physics
-  Chemistry
-  Engineering
-  Computational Sciences
-  Earth Sciences

Society & Culture >

-  People
-  Arts & Media
-  Dates & Times
-  Words & Linguistics
-  Money & Finance
-  Food & Nutrition

Everyday Life >

-  Personal Health
-  Personal Finance
-  Surprises
-  Entertainment
-  Household Science
-  Household Math



Share as Public Web Page

 Public Web Page

 Cloud (SIP)

Public web page without tunable and dynamic Wolfram Cloud.

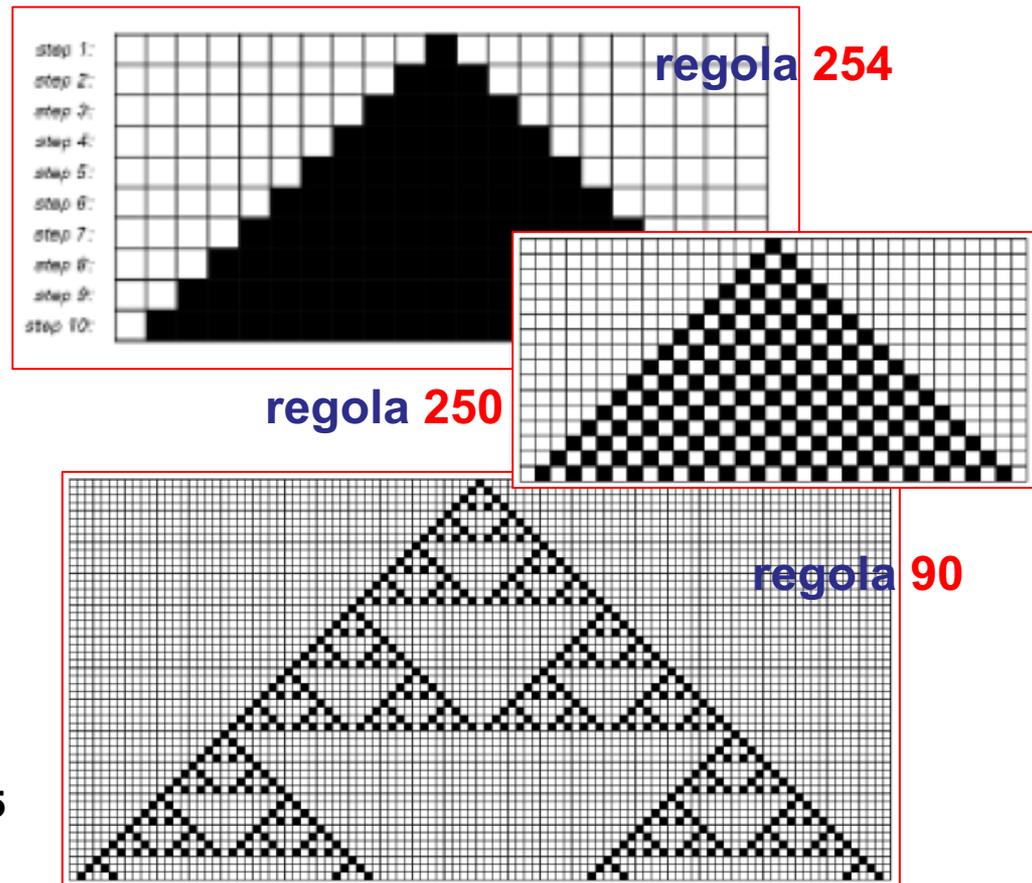
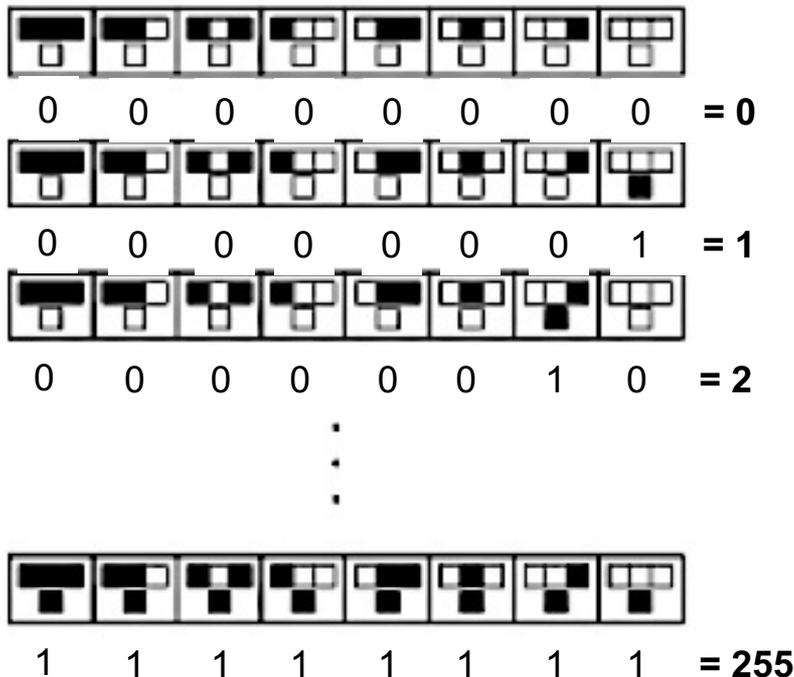
[Generate URL](#)

View

Automi Cellulari 1D: la notazione di Wolfram

E' incredibile osservare come, variando la regola di base, si ottengano **comportamenti completamente differenti tra loro**, da semplici righe, a triangoli disordinati, a figure astratte ma con una certa regolarità geometrica, fino a configurazioni caotiche o frattali (autosimilari). La **regola 110** genera addirittura un automa Turing-compatibile, cioè capace di eseguire un qualsiasi algoritmo per computer.

Le 256 regole:



Automati Cellulari 1D: la notazione di Wolfram

SETUP

GO

On Off BIN

nn128	nn64	nn32	nn16	nn8	nn4	nn2	nn1	N_RULE_dec
0	0	0	0	0	0	0	0	90

n128	n64	n32	n16	n8	n4	n2	n1	RULE
0	1	0	1	1	0	1	0	90

ticks: 120

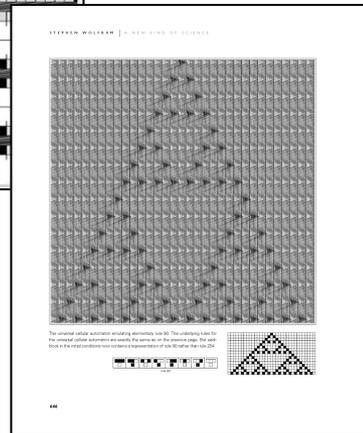
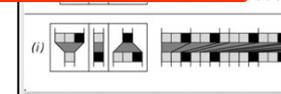
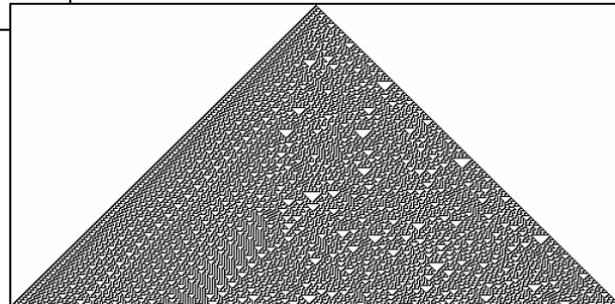
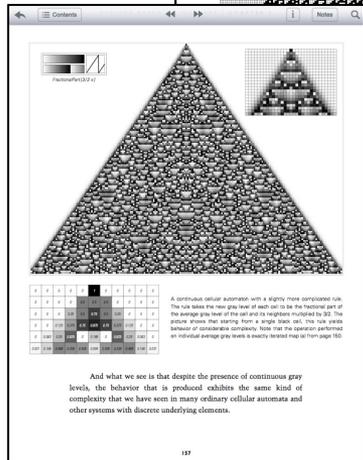
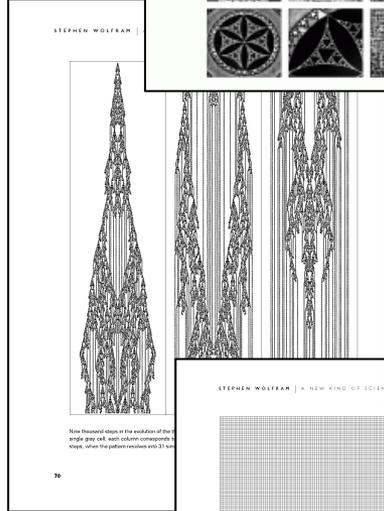
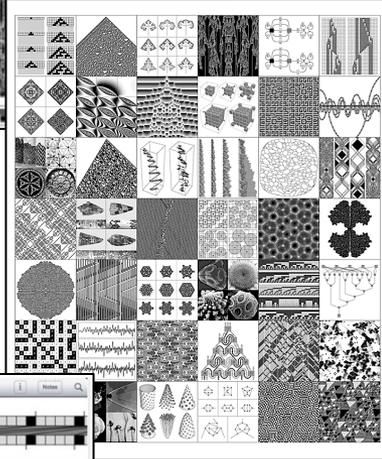
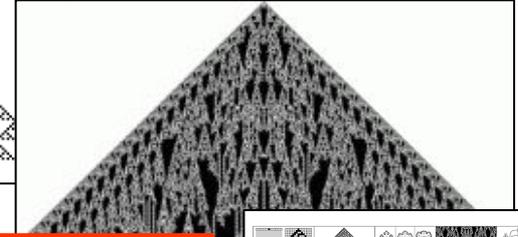
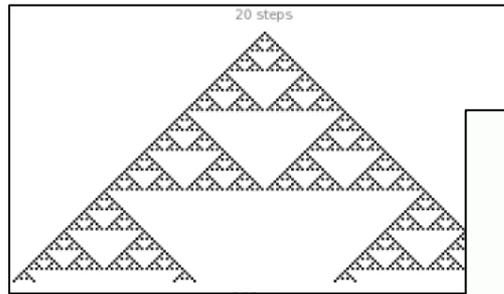
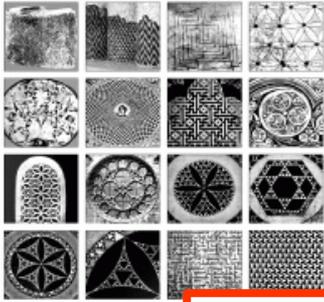
3D

The image displays a 1D cellular automaton simulation. The top section contains a control panel with a 'SETUP' button, a 'GO' button, and a 'BIN' control with 'On' and 'Off' options. Below these are two rows of sliders for neighborhood sizes (nn128 to nn1 and n128 to n1) and rule numbers (N_RULE_dec and RULE). The sliders for nn128, nn64, nn32, nn16, nn8, nn4, nn2, nn1, n128, n32, n8, n4, n2, and n1 are set to 0, while n64, n16, n1, and RULE are set to 1. The N_RULE_dec and RULE sliders are set to 90. The main simulation area shows a Sierpinski triangle pattern of yellow cells on a black background, with a 'ticks: 120' counter and a '3D' button in the top right corner.



IL PRINCIPIO DI EQUIVALENZA COMPUTAZIONALE DI WOLFRAM

"Nessun sistema può realizzare calcoli espliciti più sofisticati di quelli effettuati da automi cellulari. Esistono **automi cellulari universali** per i quali si possono scegliere condizioni iniziali tali che, partendo da esse, eseguano **calcoli di ogni possibile complessità**"

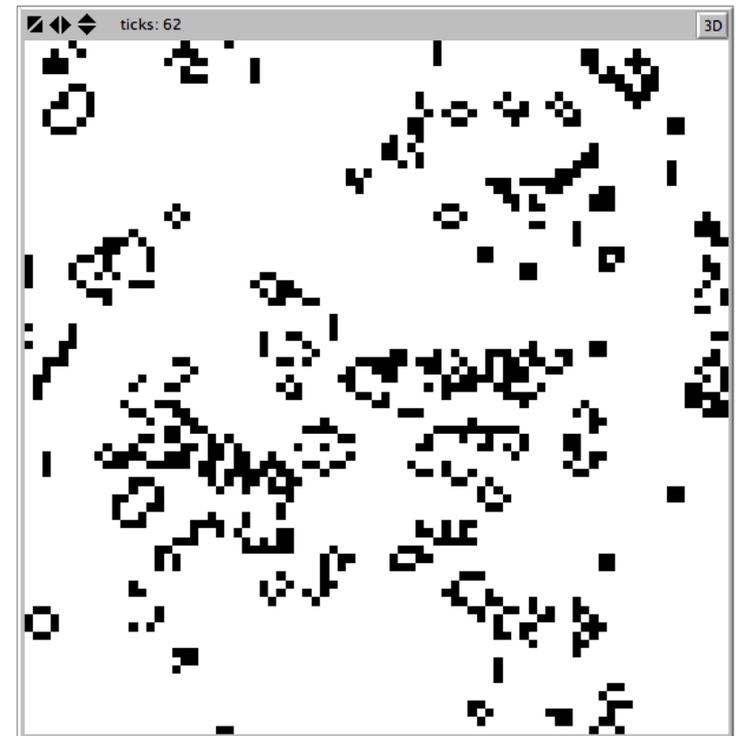


Automi Cellulari 2D: il Gioco “Life”



Il **Gioco della Vita** (*Game of Life*) è un automa cellulare bidimensionale sviluppato dal matematico inglese **John Conway** sul finire degli anni sessanta ed è probabilmente **l'esempio più famoso di automa cellulare**: il suo scopo è quello di mostrare come *comportamenti estremamente complessi* (come sono quelli mostrati dai sistemi biologici) possano **emergere** da semplici regole e *interazioni locali deterministiche*.

Come vedremo tra poco, nel mondo bidimensionale del gioco “Life”, partendo da una distribuzione casuale di celle vive e morte, compaiono configurazioni di diverso tipo, tra cui **configurazioni statiche**, **configurazioni periodiche** (*oscillatori*), e **configurazioni dinamiche** di crescente complessità, alcune delle quali addirittura si spostano sulla griglia come se fossero delle entità indipendenti, dei veri e propri organismi viventi...



Il Gioco "Life" e l'emergere della complessità...

nature

my account e-alerts subscribe register

SEARCH JOURNAL

Go

Thursday 14 March 2013

Journal Home
Current Issue
AOP
Archive

letters to nature

Nature 342, 780 - 782 (14 December 1989); doi:10.1038/342780a0

1989

THIS ARTICLE

Download PDF
References

Export citation
Export references

Send to a friend

More articles like this

Table of Contents
< Previous | Next >



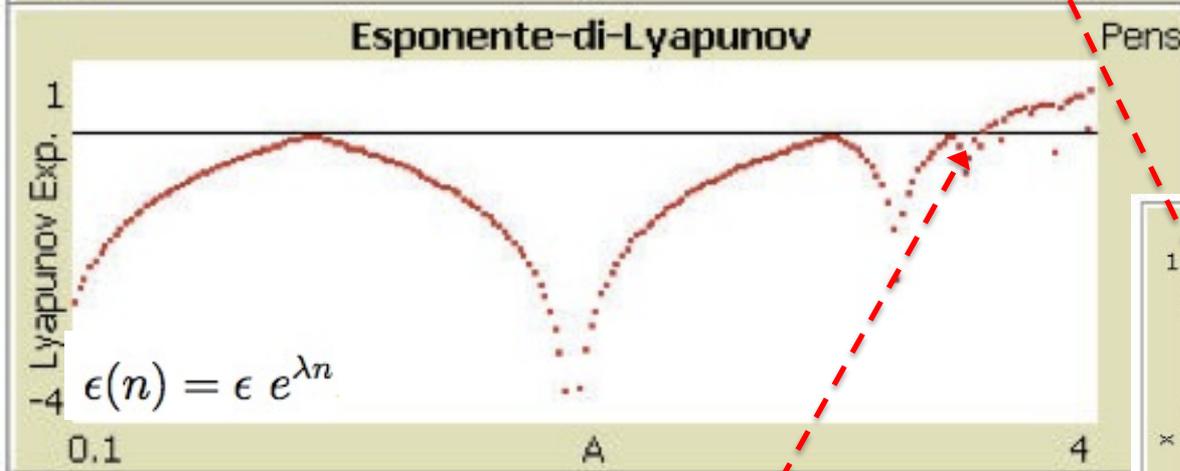
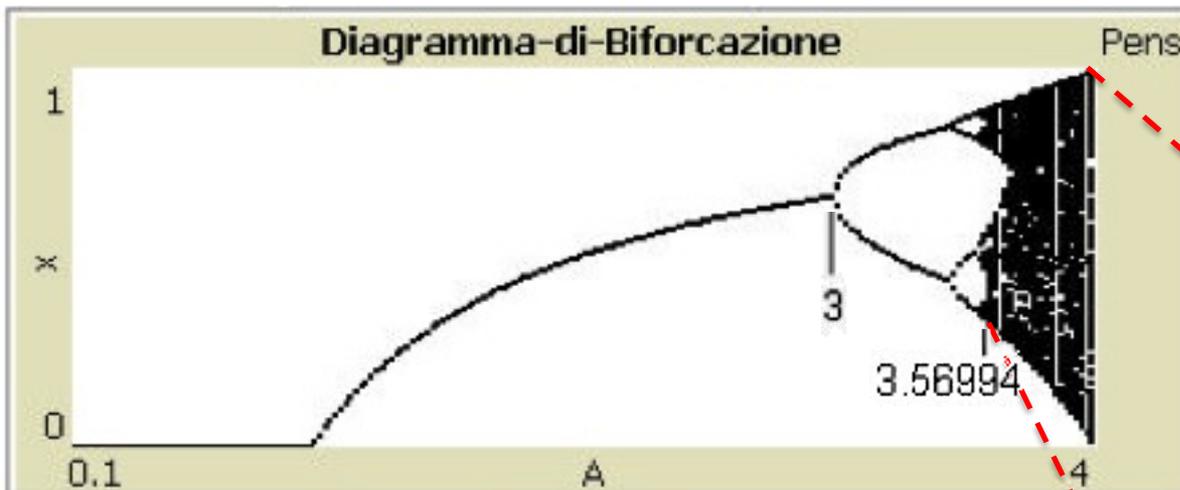
Self-organized criticality in the 'Game of Life'

PER BAK, KAN CHEN & MICHAEL CREUTZ

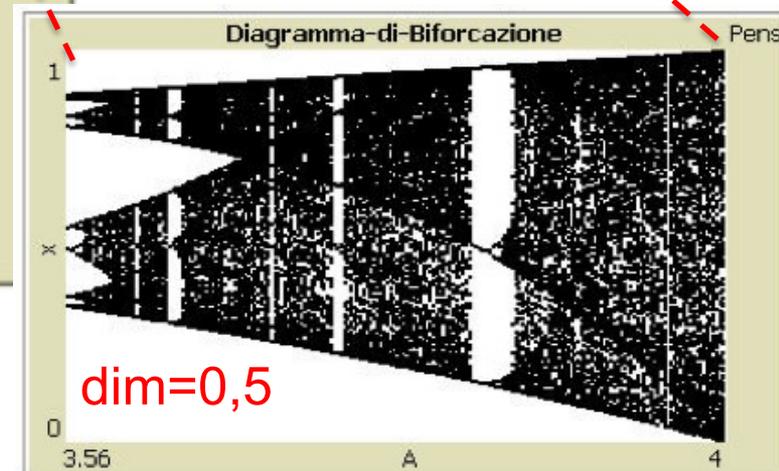
Department of Physics, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA

THE 'Game of Life'^{1,2} is a cellular automaton, that is, a lattice system in which the state of each lattice point is determined by local rules. It simulates, by means of a simple algorithm, the dynamical evolution of a society of living organisms. Despite its simplicity, the complex dynamics of the game are poorly understood. Previous interest in 'Life' has focused on the generation of complexity in local configurations; indeed, the system has been suggested to mimic aspects of the emergence of complexity in nature^{1,2}. Here we adopt a different approach, by using concepts of statistical mechanics to study the system's long-time and large-scale behaviour. We show that local configurations in the "Game of Life" self-organize into a critical state. Such self-organized criticality provides a general mechanism for the emergence of scale-free structures³⁻⁵, with possible applications to earth-quakes^{6,7}, cosmology⁸, turbulence⁹, biology and economics¹⁰. By contrast to these previous studies, where a local quantity was conserved, 'Life' has no local conservation laws and therefore represents a new type of universality class for self-organized criticality. This refutes speculations that self-organized criticality is a consequence of local conservation¹¹, and supports its relevance to the natural phenomena above, as these do not involve any locally conserved quantities. The scaling is universal in the sense that the exponents that characterize correlation functions do not depend on details of the local rules.

The "edge of chaos" nella Mappa Logistica



Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$





Revisiting the Edge of Chaos: Evolving Cellular Automata to Perform Computations

Melanie Mitchell¹, Peter T. Hraber¹, and James P. Crutchfield²

Santa Fe Institute Working Paper 93-03-014

1993

(Submitted to *Complex Systems*)

Abstract

We present results from an experiment similar to one performed by Packard [23], in which a genetic algorithm is used to evolve cellular automata (CA) to perform a particular computational task. Packard examined the frequency of evolved CA rules as a function of Langton's λ parameter [16], and interpreted the results of his experiment as giving evidence for the following two hypotheses: (1) CA rules able to perform complex computations are most likely to be found near "critical" λ values, which have been claimed to correlate with a phase transition between ordered and chaotic behavioral regimes for CA; (2) When CA rules are evolved to perform a complex computation, evolution will tend to select rules with λ values close to the critical values. Our experiment produced very different results, and we suggest that the interpretation of the original results is not correct. We also review and discuss issues related to λ , dynamical-behavior classes, and computation in CA.



Chris Langton (Santa Fè Institute)

“Il segreto della Vita non è in ciò che essa è ma in ciò che essa fa”

Il Gioco “Life” come laboratorio per l'emergere della Complessità in un Universo Giocattolo



Gli ingredienti per costruire il nostro universo giocattolo sono 4:

1. Lo Spazio Fisico

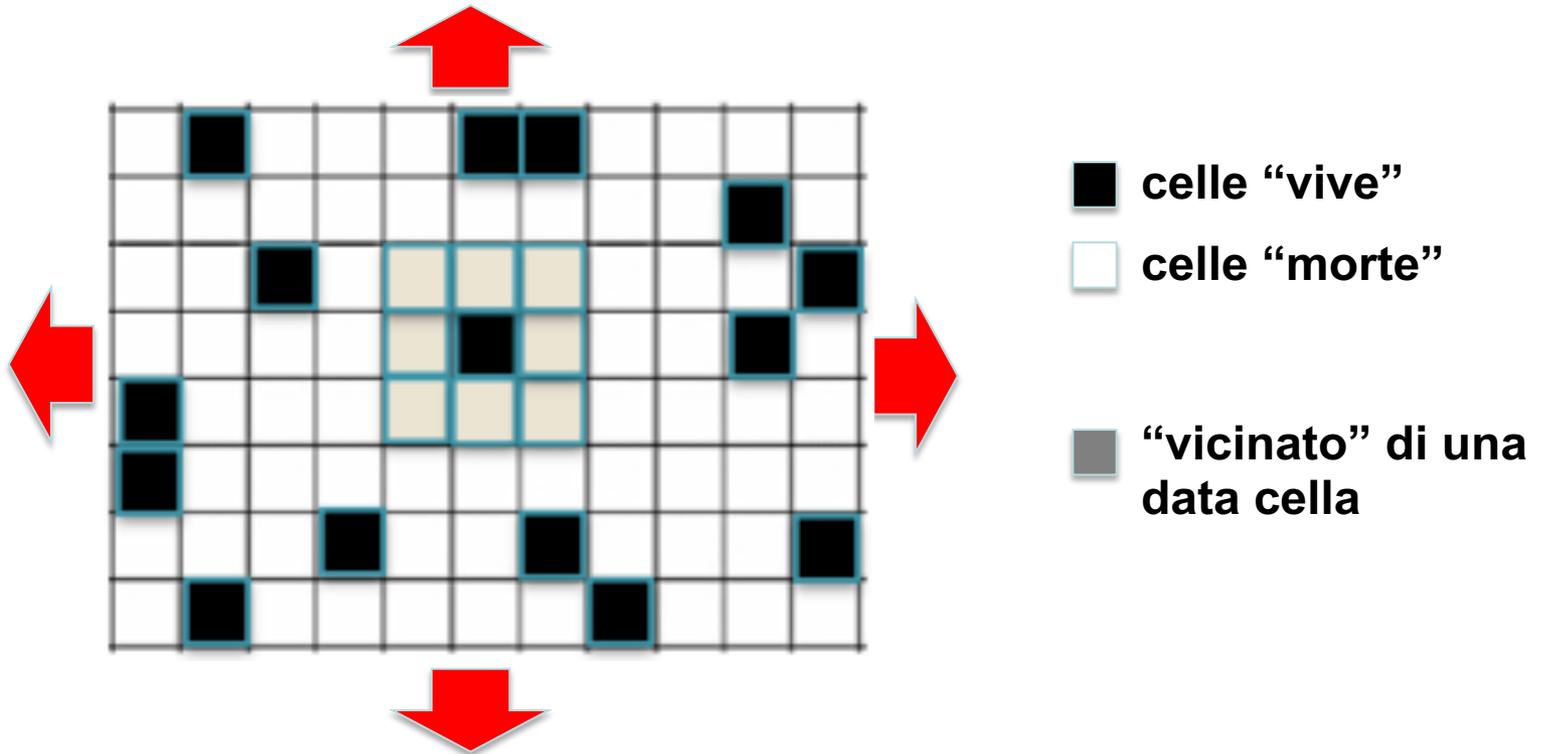
2. Le Condizioni Iniziali

3. Le Leggi Fisiche

4. Le Costanti di Natura

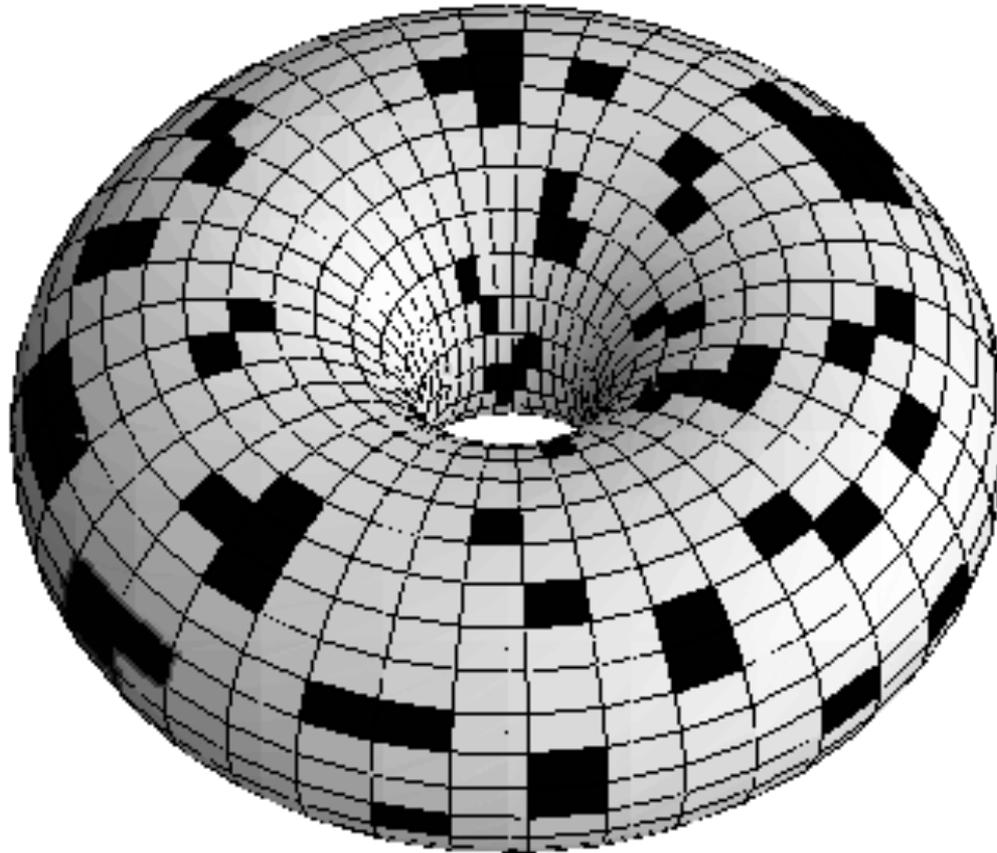
Lo Spazio Fisico

Lo **spazio fisico (universo)** del “gioco della vita” è una **griglia bidimensionale** costituita da “**cellette**” che possono assumere solo due stati: **vive** (nere, piene) o **morte** (bianche, vuote). Le **8 celle** immediatamente adiacenti ad una data cella costituiscono il suo “**vicinato**”.



Lo Spazio Fisico

La topologia della griglia-universo è quella di una **superficie toroidale** (una “ciambella”):
un esempio di Universo 2D finito ma illimitato...



Le Condizioni Iniziali

Condizioni iniziali casuali a densità variabile

Le **condizioni iniziali** dell'universo giocattolo del “gioco della vita” sono di solito rappresentate da una griglia con una **configurazione casuale di cellette vive o morte** (cioè nere o bianche). Un parametro **D** regola la **densità iniziale** delle celle vive (cioè la percentuale di celle vive rispetto al totale). Ponendo **D=35(%)**, al **tempo t=0** il nostro universo bidimensionale si presenta ad esempio così:

t=0



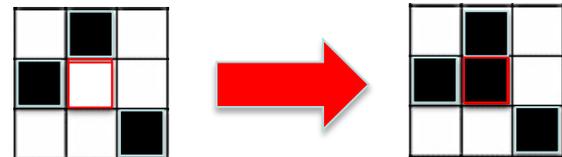
Le Leggi Fisiche

Le **leggi fisiche** (regole del gioco) che determinano l'**evoluzione dinamica** dello stato delle cellette nel tempo, a partire da un certo **stato iniziale a $t=0$** (che come abbiamo detto è di solito rappresentato da una **configurazione casuale** di celle vive e morte), sono solo **due**:

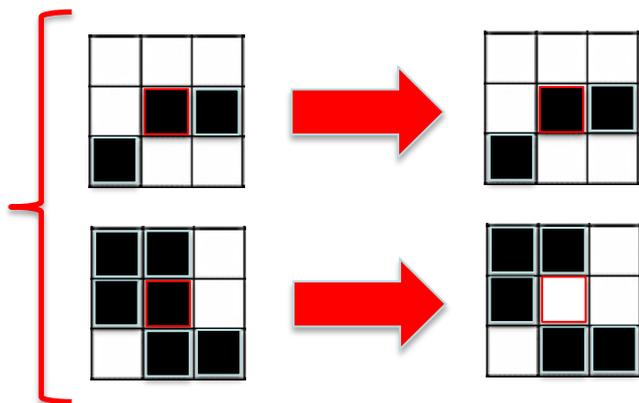
1) Legge della Nascita: una cella morta (bianca, al centro) con esattamente **N** vicini vivi *nasce*, diventando *viva* (nera)

2) Legge della Morte: una cella viva (nera, al centro) con esattamente **M** vicini vivi *sopravvive*; altrimenti *muore* (per *isolamento* o *sovraffollamento*)

Ad es.
se $N=3$:



Ad es.
se $M=2$



Le Costanti di Natura

Le **costanti di natura** sono i cosiddetti “**parametri liberi**” (parametri di controllo) che determinano le condizioni iniziali dell’universo o che compaiono nelle leggi fisiche. In questo caso, come si è già visto, abbiamo solo **tre** parametri liberi:

D: definisce la densità iniziale di celle vive nel nostro universo giocattolo.

N: rappresenta il numero di celle vicine vive necessarie a far nascere una cella morta (parametro di nascita).

M: rappresenta il numero di celle vicine vive necessarie a far sopravvivere una cella viva (parametro di sopravvivenza).



**DIVERTIAMOCI DUNQUE AD INTERPRETARE
UNA SORTA DI “PROGETTISTA COSMICO”
CHE GIOCHI CON I VALORI DEI PARAMETRI
LIBERI DELL’UNIVERSO DEL GIOCO LIFE...**

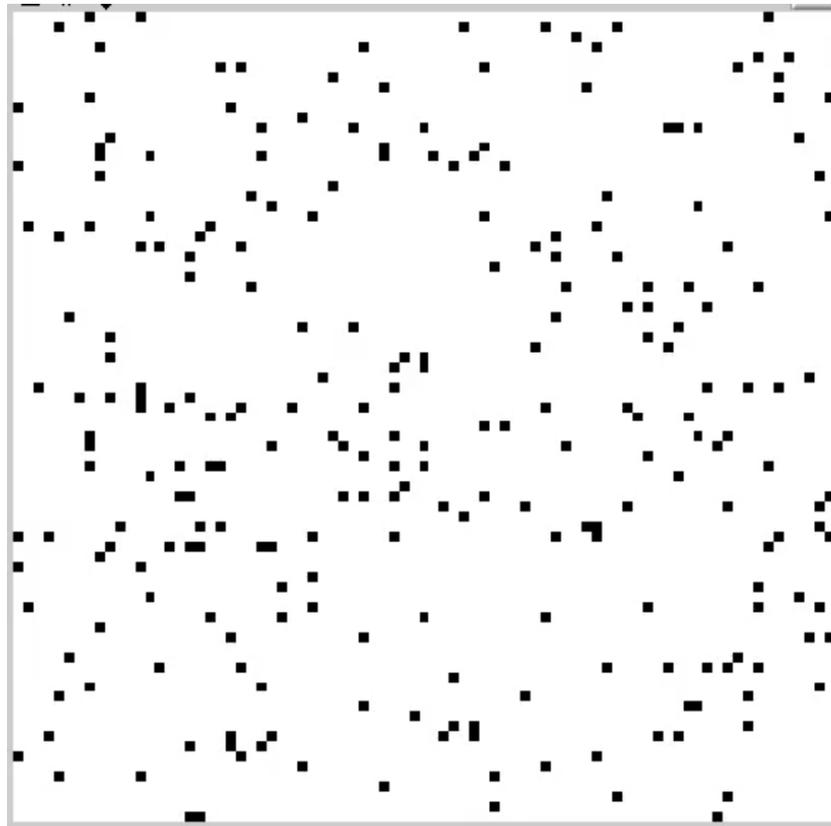
Universi “troppo vuoti”

La **densità iniziale D** non è molto importante, purché non sia **troppo bassa** (sotto il 5%) o **troppo alta** (sopra l'80%), nel qual caso conduce quasi sempre, rapidamente, a **universi troppo vuoti**, con al massimo pochissime strutture regolari:



N=3

M=2 o 3



strutture
statiche



Blocco

strutture
oscillanti



Lampeggiatore

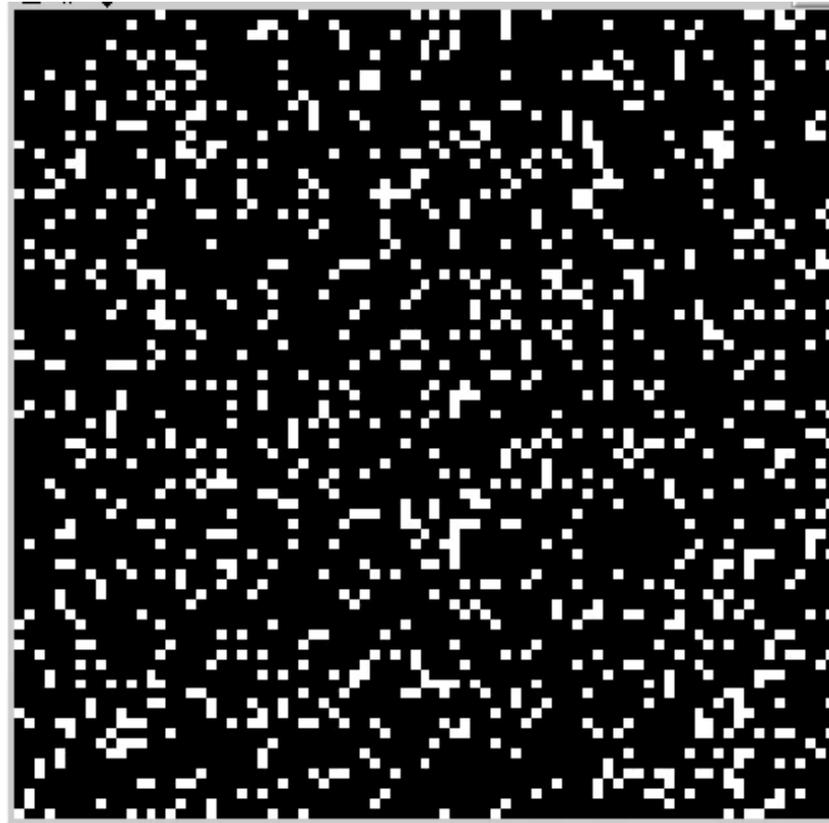
Universi “troppo vuoti”

La **densità iniziale D** non è molto importante, purchè non sia **troppo bassa** (sotto il 5%) o **troppo alta** (sopra l'80%), nel qual caso conduce quasi sempre, rapidamente, a universi **troppo vuoti**:



N=3

M=2 o 3



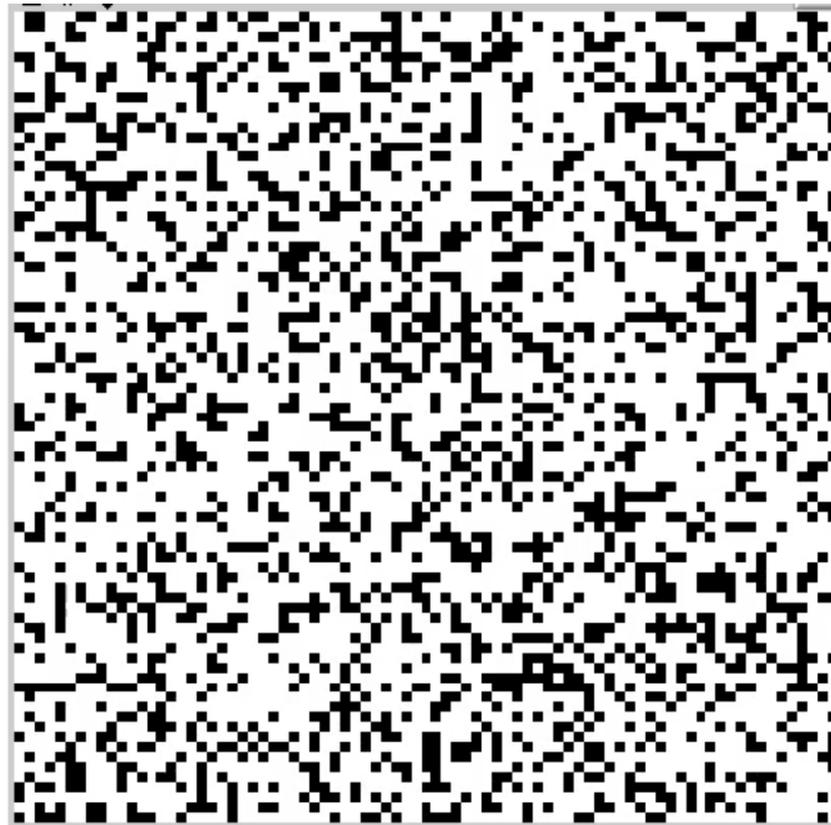
Universi “troppo ordinati”

Fissiamo dunque la **densità iniziale D** tra il 5% e l'80%, ad esempio al **30%** e vediamo cosa succede, invece, **facendo variare il parametro di nascita N** e tenendo $M = 2$ o 3 (simultaneamente). Si vede subito che **valori di $N=1$ o $N>3$** conducono rapidamente ad universi **troppo ordinati**, ovvero contenenti solo **strutture statiche o oscillanti**.

D=30%



M=2 o 3



Universi “troppo disordinati”

Per $N=2$, invece, si cade nella situazione opposta e si ottengono **universi troppo disordinati**, dove non riesce a formarsi alcun tipo di struttura stabile.

Sembra quindi che il valore del parametro di nascita $N=3$ sia alquanto **speciale** per ottenere universi interessanti...

D=30%



M=2 o 3



Universi “troppo vuoti o ordinati”

Vediamo infine cosa succede se facciamo variare il parametro di sopravvivenza M tenendo $D=30\%$ ed $N=3$. Se diamo ad M un unico valore, otteniamo nuovamente universi **troppo ordinati** ($M \leq 3$) o **troppo vuoti** ($M \geq 4$).

$D=30\%$

$N=3$



Universi “troppo disordinati”

Se invece diamo ad M più di due valori simultaneamente possibili, otteniamo sempre universi **troppo disordinati**.

$D=30\%$

$N=3$

 $M=2, 3 \text{ o } 4$



Universi “at the edge of chaos”

Sembra quindi che M debba avere **due valori possibili simultaneamente** per avere universi interessanti. Non solo, ma si può verificare che se questi valori sono **diversi da 2 e 3** si ottengono nuovamente universi troppo vuoti e ordinati. Pare quindi che l'**unica combinazione** di parametri che conduce ad universi “**al margine del caos**”, ovvero adatti all'emergere della **complessità**, siano quelli (non a caso!) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **$N=3$ ed $M=2$ o 3** :

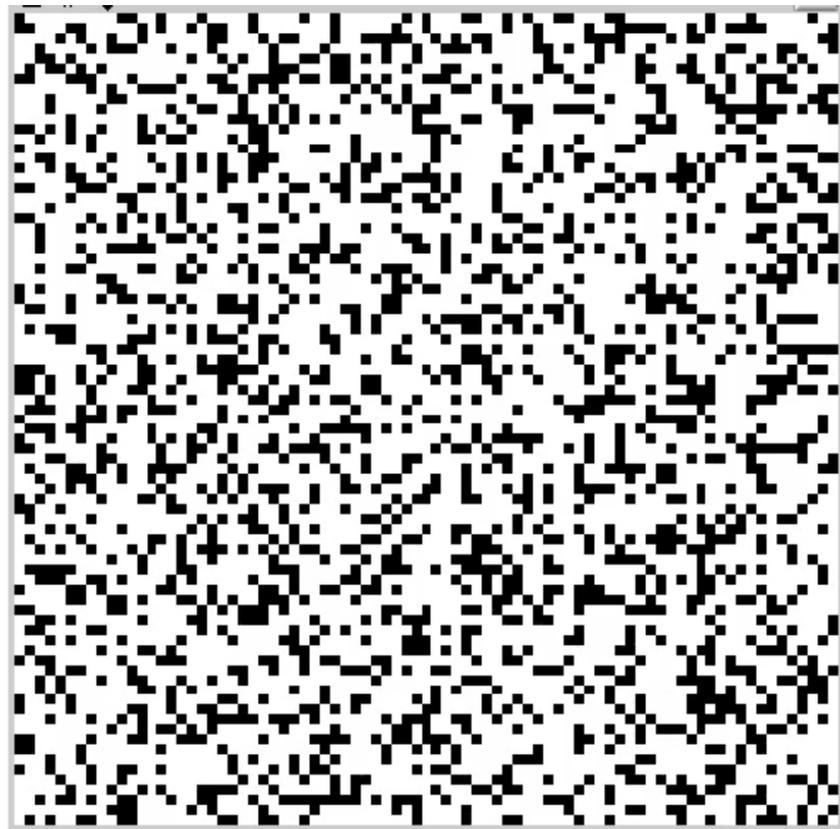
$D=30\%$

$N=3$

$M=2$ o 3



Qui è
J.Conway
il
Progettista
Cosmico



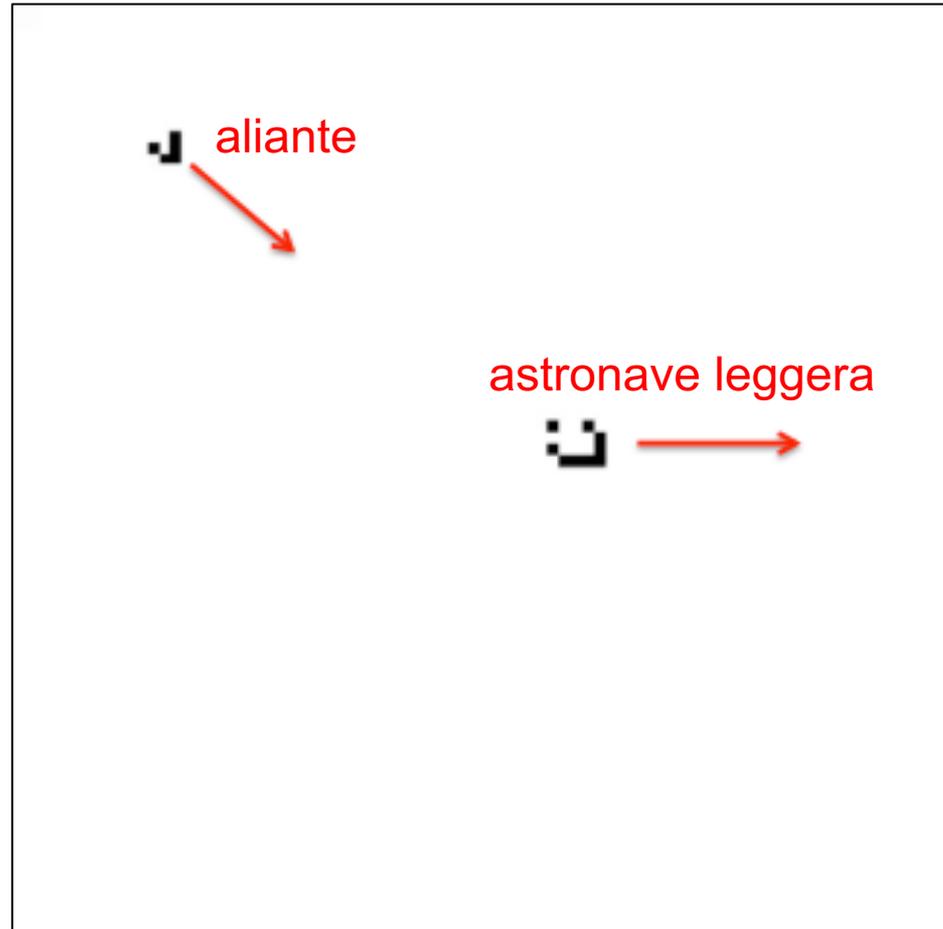
Emergere di strutture complesse negli Universi “at the edge of chaos”

Strutture in movimento...

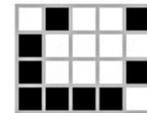
D=30%

N=3

M=2 o 3



Aliante (Glider)



Astronave leggera (LWSS)



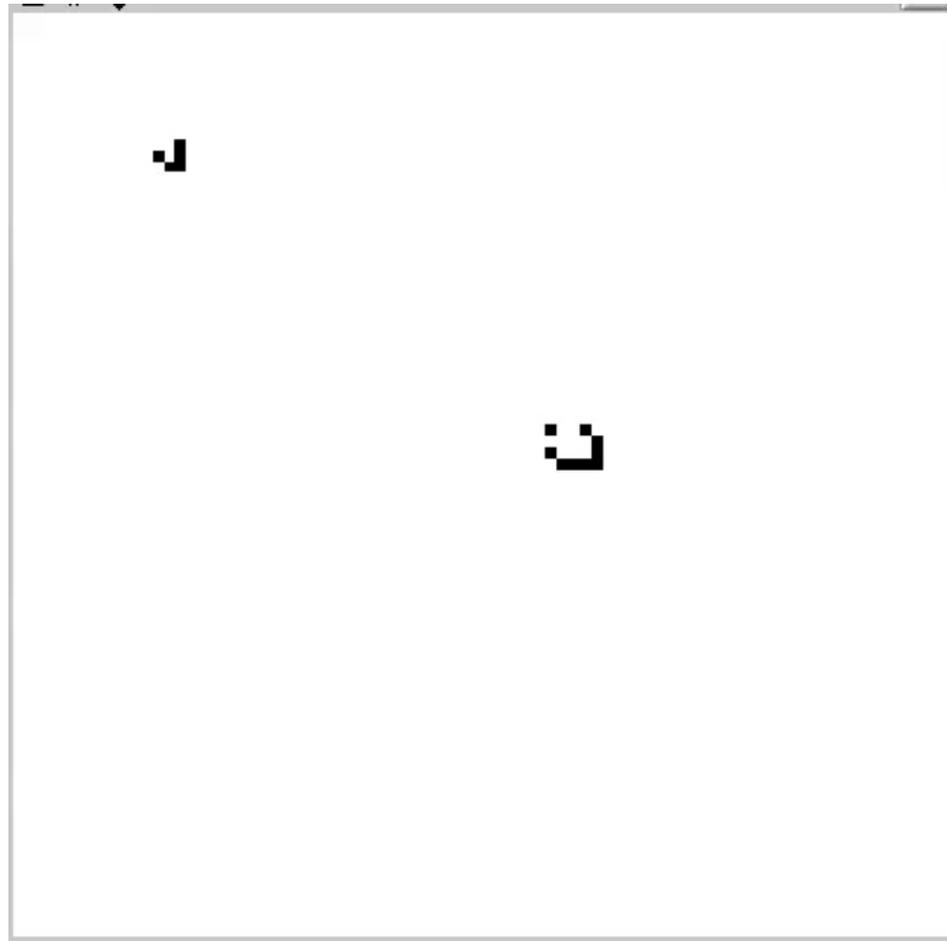
Emergere di strutture complesse negli Universi “at the edge of chaos”

Strutture in movimento...

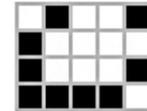
D=30%

N=3

M=2 o 3



Aliante (Glider)



Astronave leggera
(LWSS)



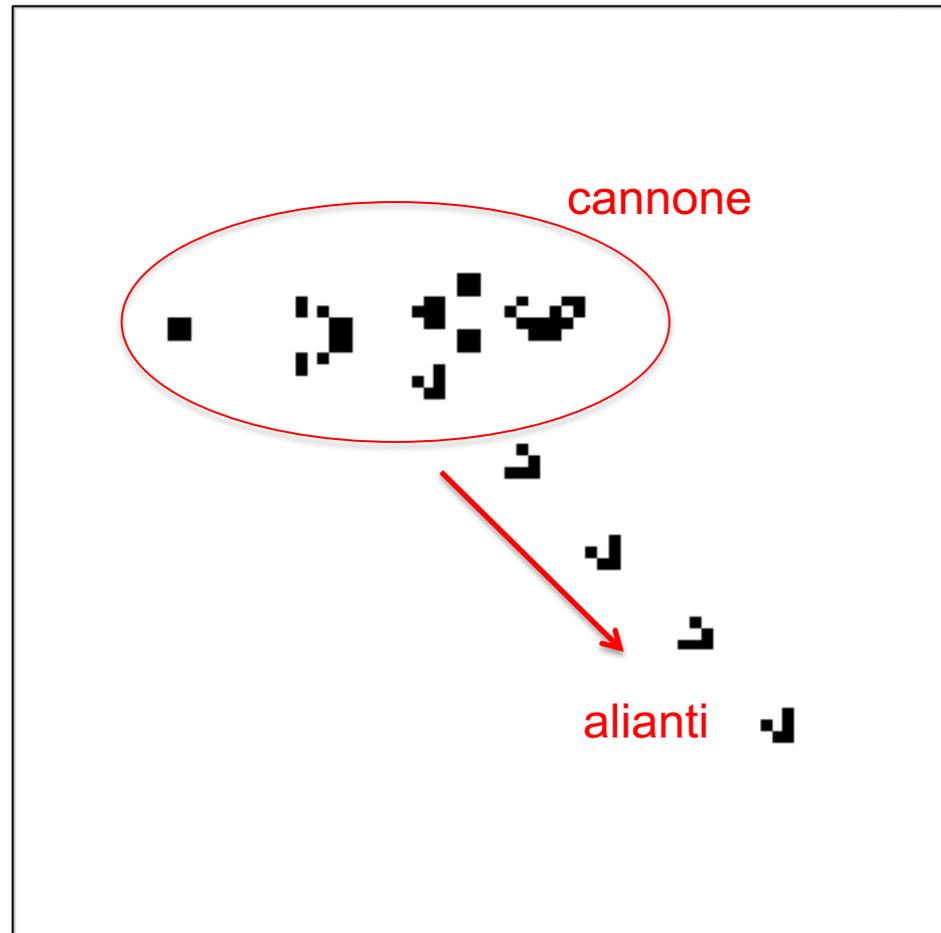
Emergere di strutture complesse negli Universi “at the edge of chaos”

Il “cannone” di Gosper: genera un aliante ogni 30 iterazioni (crescita infinita)

D=30%

N=3

M=2 o 3



Aliante (Glider)

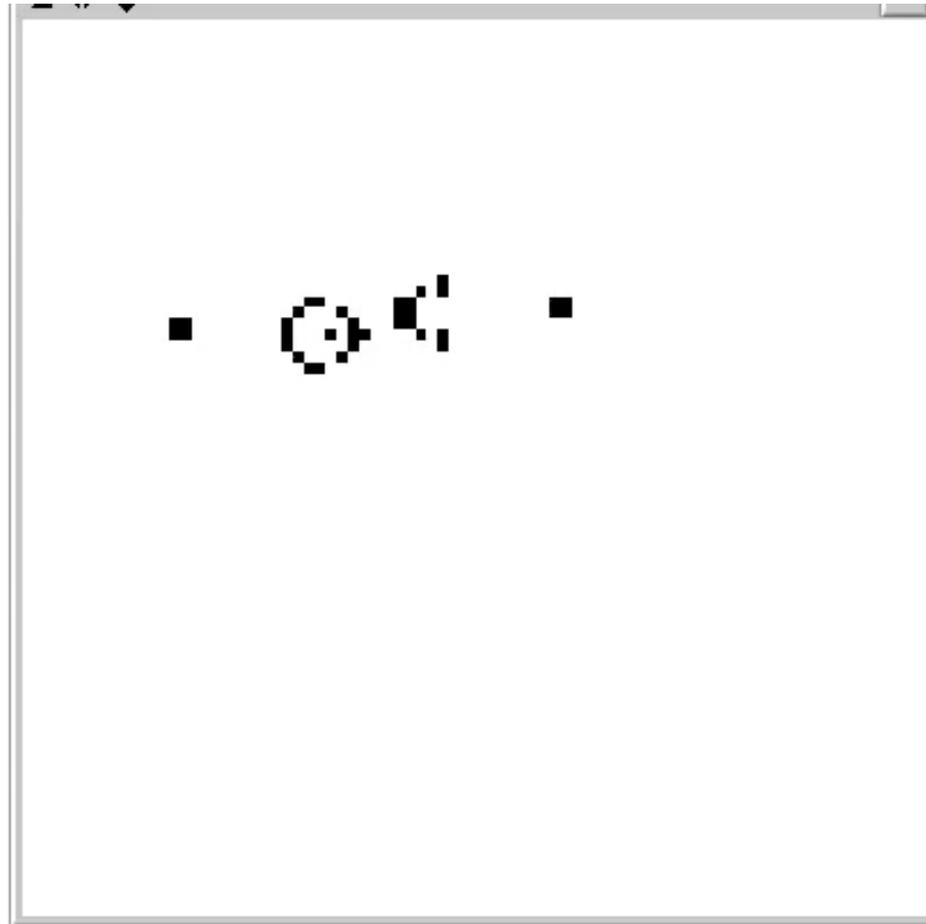
Emergere di strutture complesse negli Universi “at the edge of chaos”

Il “cannone” di Gosper: genera un aliante ogni
30 iterazioni (crescita infinita)

D=30%

N=3

M=2 o 3



Aliante (Glider)

Emergere di strutture complesse negli Universi “at the edge of chaos”

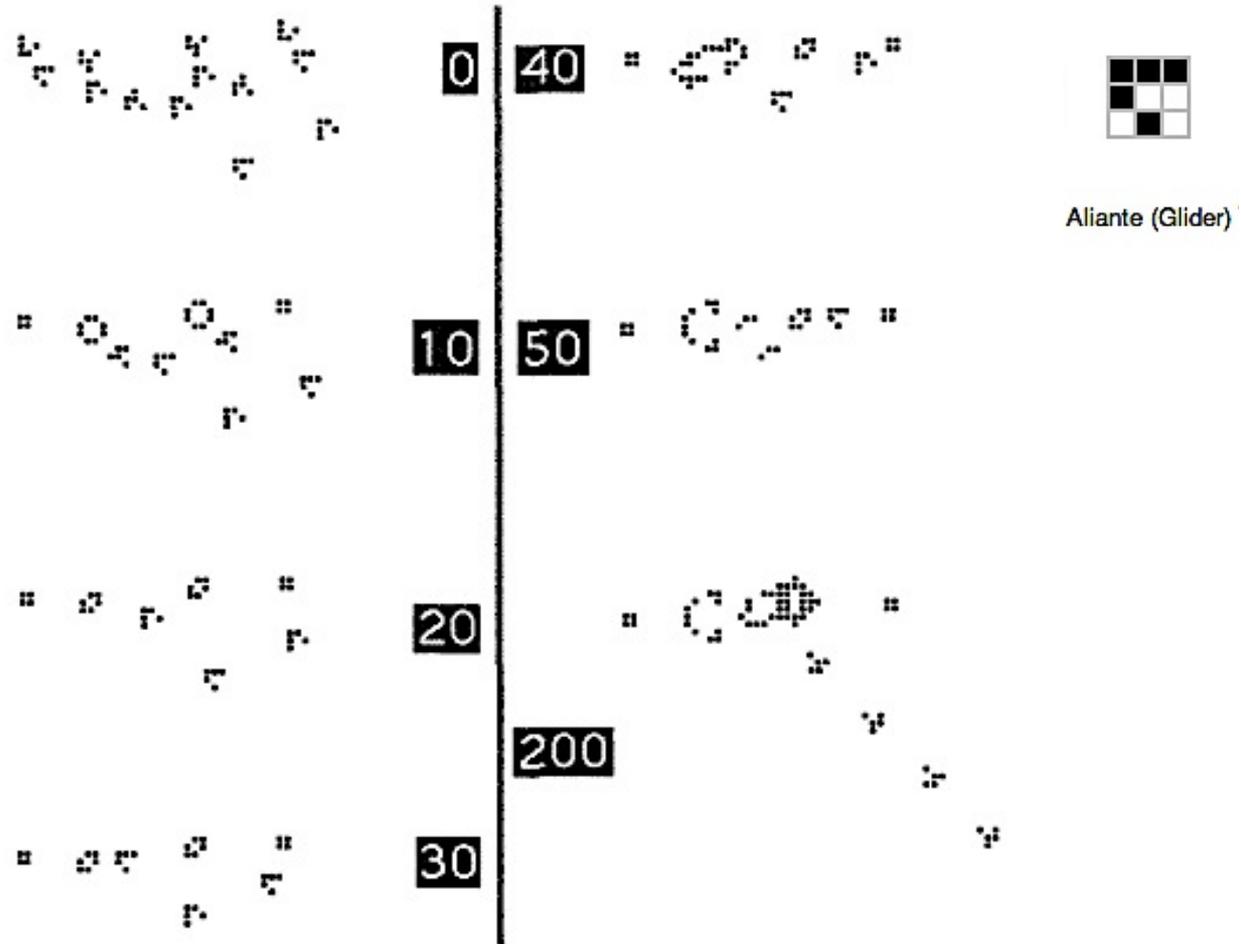
D=30%

N=3

M=2 o 3



Il generatore di alianti può emergere dalla collisione di 13 alianti accuratamente disposti a $t=0$ (condizioni iniziali «speciali»):



Per chi volesse giocare a fare il Progettista Cosmico...



Interface Info Code

Edit Delete Add abc Button normal speed view updates on ticks Settings...

SETUP-BLANK SETUP-RANDOM

initial-density 35.0 %

draw-cells current density 0.12

BIRTH-RULE: a cell becomes alive if has a number of living neighbors equal to

n-of-living-neighbors 3

DEATH-RULE: a cell dies if has a number of living neighbors different from

n1	n2	n3	n4	n5
2	3	10	10	10

GO-ONCE GO-FOREVER

noise-level 0.0000 waiting-time 0.20

ESEMPI:

ROSPO	ASTRONAVE
ALIANTE	CANNONE di GOSPER

ticks: 47 3D

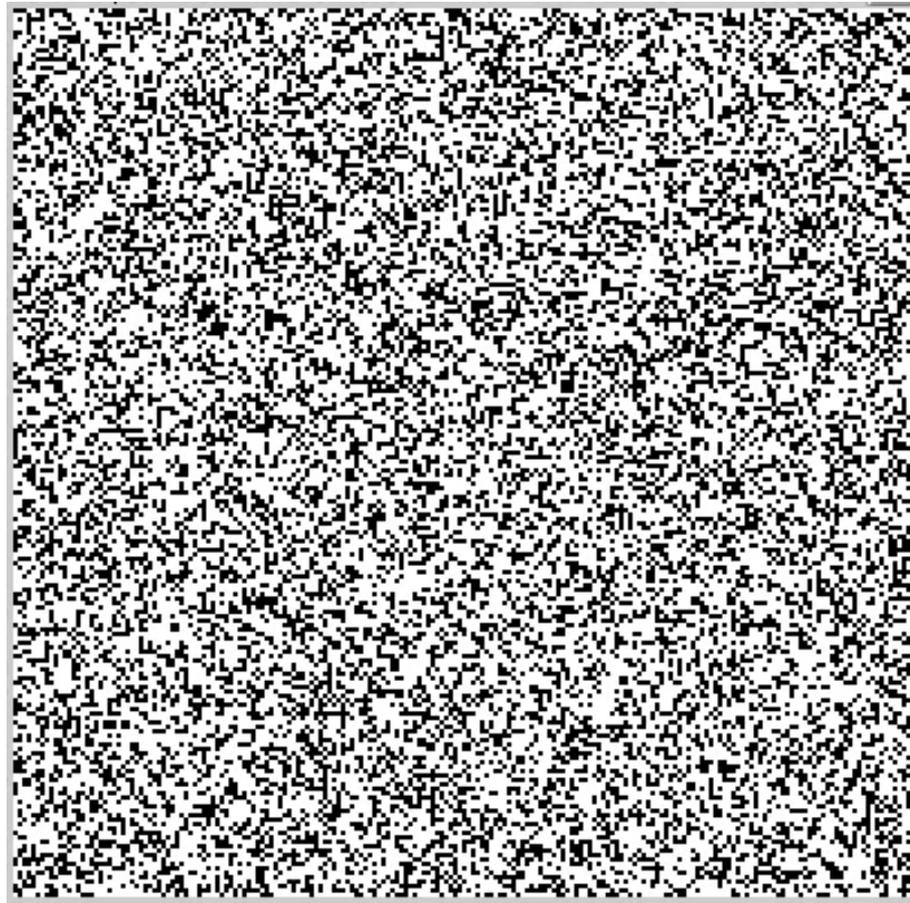
Età e dimensione dell'Universo

Va sottolineato che le **strutture complesse** hanno bisogno di **tempo** per emergere dalla dinamica del gioco Life a partire da condizioni casuali, ma anche di **spazio** per assicurare una certa varietà nelle strutture stesse. Se infatti passiamo da una griglia 40x40 (come le precedenti) ad una 100x100, aumentano le probabilità che strutture complesse interessanti nascano e non si estinguano dopo breve tempo.

D=30%

N=3

M=2 o 3



Età e dimensione dell'Universo

“E’ probabile che, riempiendo una parte sufficientemente grande del piano infinito del Gioco della Vita per mezzo di una configurazione aleatoria, dopo un lungo periodo di tempo emergeranno degli esseri autoriproduttori intelligenti che popoleranno lo spazio...”

John Conway



Game of Life 3D (John Conway)

Creetah Ltd • [Formazione](#) > [Insegnamento](#)

♡ [Elenco preferenze](#)

Choose the rules of life and let the simulation commence! This app lets you experience the real power of Conway's game of life simulation. The simulation comes alive as cells live and die according to the rules you set them!

[Altro](#)



PEGI 3
In-App Purchases

0,99 €+

[Acquista](#)

...

+ Offre acquisti in-app

⚠ [Vedi i requisiti di sistema.](#)

<https://www.microsoft.com/it-it/p/game-of-life-3d-john-conway/9n8vngngknj2#activetab=pivot:overviewtab>

<https://www.youtube.com/watch?v=qtvBxJnJIRo>



3d game of life (Cellular Automata)

11.220 visualizzazioni • 18 mar 2012

👍 26 🗨️ 4 ➦ CONDIVIDI ⌵ SALVA ...

3D Game of Life

Created By...

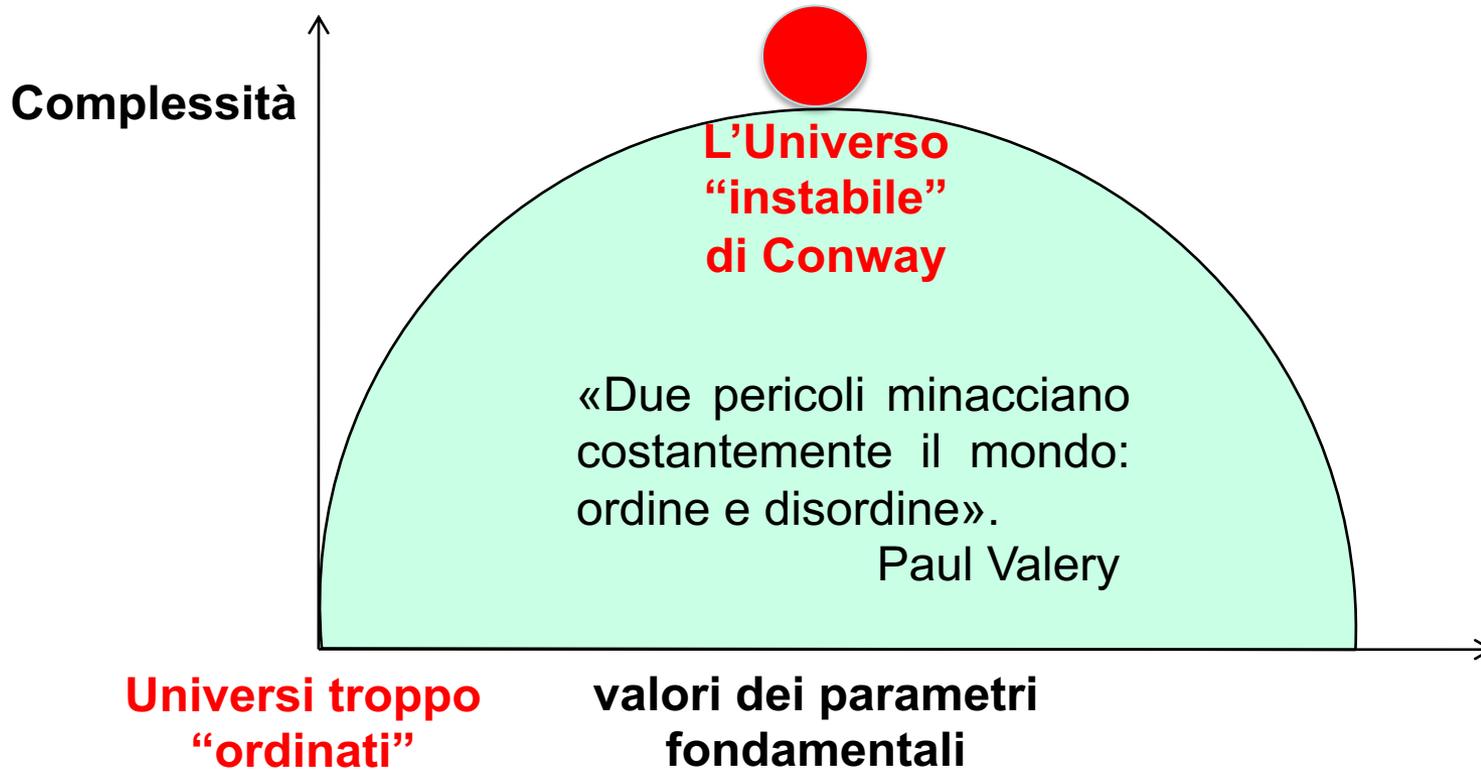
Raphael Beaulieu
Elliot Coy

[Play Game](#)

<http://rbeaulieu.github.io/3DGameOfLife/>

Complessità nel Gioco Life: un equilibrio instabile tra ordine e disordine

La complessità sembra emergere solo al margine del caos



D=30%

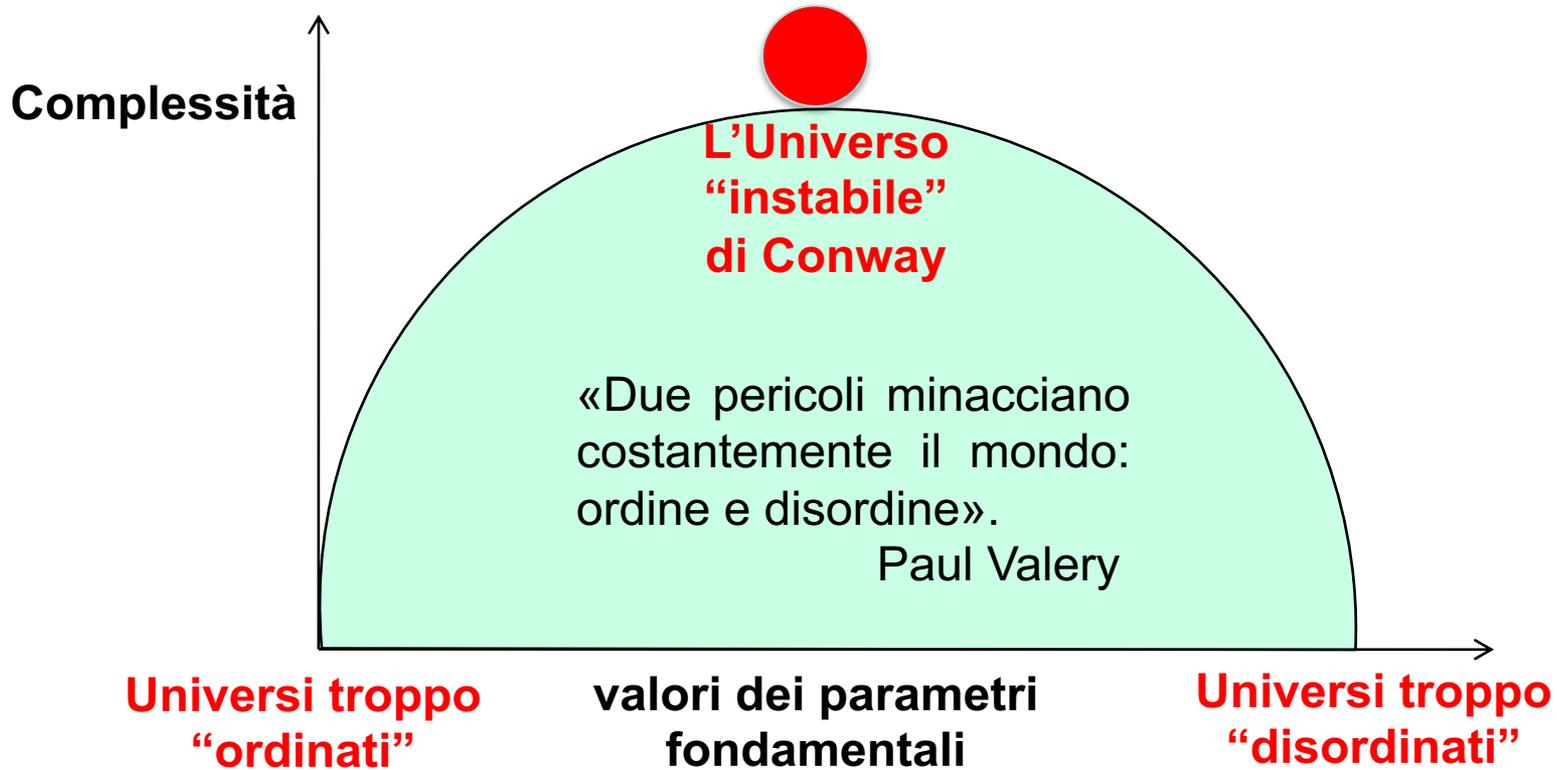
N=3

M=2 o 3



Complessità nel Gioco Life: un equilibrio instabile tra ordine e disordine

La complessità sembra emergere solo al margine del caos



D=30%

N=3

M=2 o 3



Vita e complessità: un equilibrio instabile tra ordine e disordine

La complessità sembra emergere solo al margine del caos



Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: come accade nel gioco "life", anche i parametri fondamentali del nostro universo sembrano calibrati in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'esistenza della vita e della complessità. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa.

Vita e complessità: un equilibrio instabile tra ordine e disordine

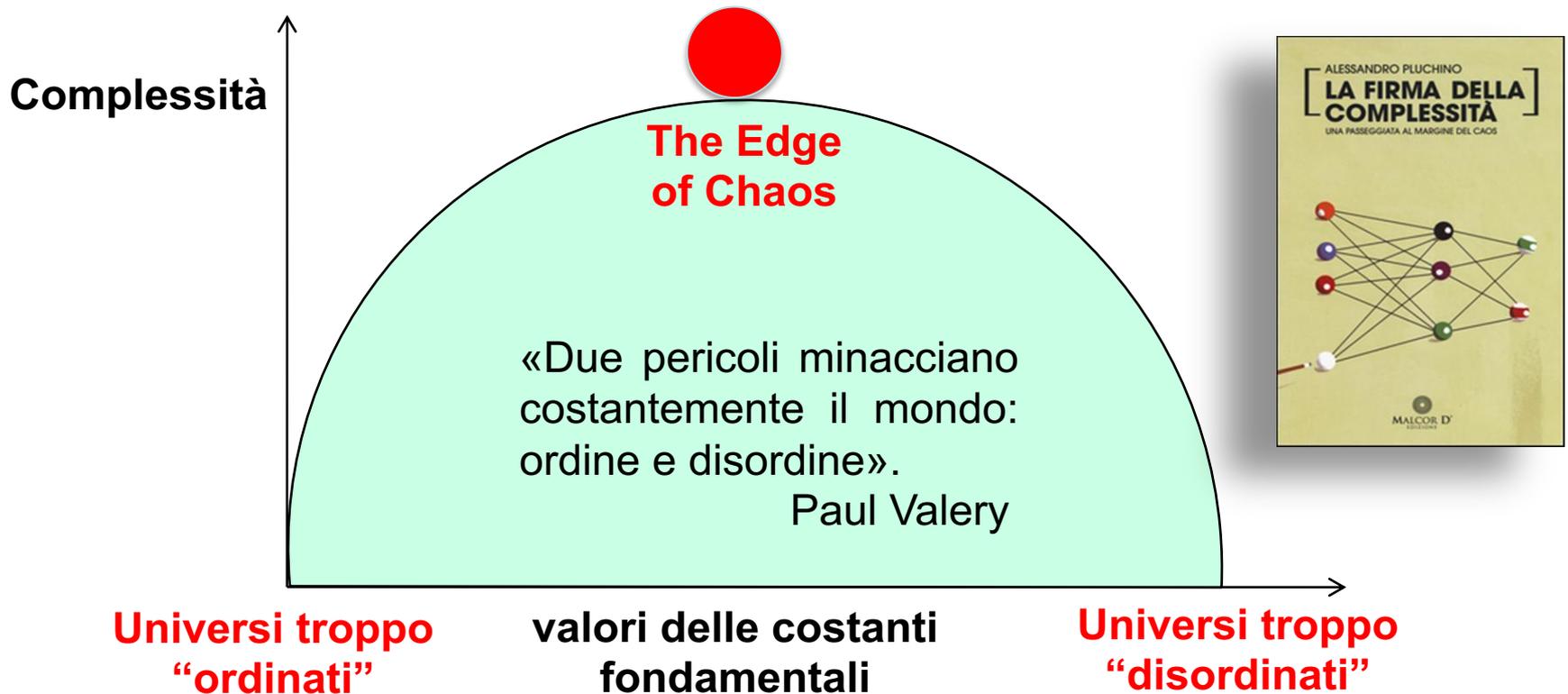
La complessità sembra emergere solo al margine del caos



Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: come accade nel gioco "life", anche i parametri fondamentali del nostro universo sembrano calibrati in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'esistenza della vita e della complessità. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa.

Vita e complessità: un equilibrio instabile tra ordine e disordine

La complessità sembra emergere solo al margine del caos



Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: come accade nel gioco "life", anche i parametri fondamentali del nostro universo sembrano calibrati in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'esistenza della vita e della complessità. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa.

