



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

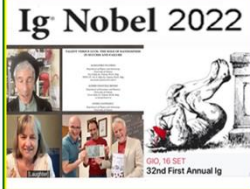
ALESSANDRO PLUCHINO HOME PAGE

DIPARTIMENTO DI
FISICA E ASTRONOMIA "ETTORE MAJORANA"

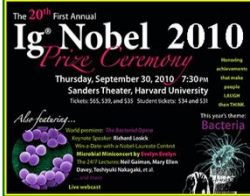
HOME BIO PUBLICATIONS TEACHING BOOKS ET AL



Highlights



Ig Nobel 2022



Ig Nobel 2010
The 20th First Annual
Prize Ceremony
Thursday, September 30, 2010 - 7:30pm
Sanders Theater, Harvard University
Tickets: \$65, \$35, and \$10. Student tickets: \$34 and \$10.



ALESSANDRO PLUCHINO
LA FIRMA DELLA COMPLESSITÀ
UNA PASSEGGIATA AL MARGINE DEL CAOS



Talent vs Luck
The Role of Randomness in Success and Failure
ACS



Welcome to the

Alessandro Pluchino HOME PAGE

Associate Professor of Theoretical Physics
Computational and Mathematical Models

alessandro.pluchino@ct.infn.it
alessandro@pluchino.it



**PIANO NAZIONALE LAUREE SCIENTIFICHE
FISICA** UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA



CESPES
Centro Interdipartimentale
di Studi su Pascal e il Seicento



Università
di Catania

Events-Talks



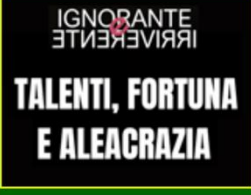
**Introduzione alla nuova
Scienza della Complessità**
Una passeggiata al Margine del Caos



**INTERVISTA SUL
LIBERO ARBITRIO**
Cosa può dirci oggi la scienza sulla libertà umana?

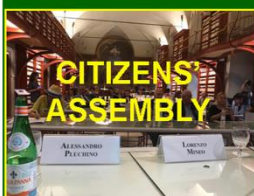
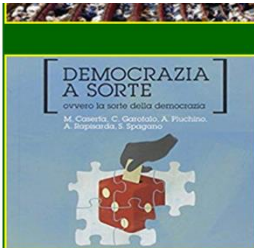


**RETI COMPLESSE IN
NATURA**
Una passeggiata tra la matematica, la fisica e la biologia



**IGNORANTE
IRRIVERENTE**
**TALENTI, FORTUNA
E ALEACRAZIA**

Corso di Sistemi Dinamici, Caos e Complessità 2025-2026



DOTTORATO IN SISTEMI COMPLESSI PER LE SCIENZE FISICHE, SOCIO-ECONOMICHE E DELLA VITA

- Si avvisano i dottorandi del **41° CICLO** che lezioni del corso "**Agent Based Models: Simulating Complex Systems**" per il 2026 inizieranno lunedì 02/03/2026 alle ore 9.00 (aula I, primo piano del DFA).

- Per qualsiasi richiesta di informazioni i dottorandi sono pregati di contattarmi via email.

CORSO DI SISTEMI DINAMICI, CAOS E COMPLESSITA' (DFA)

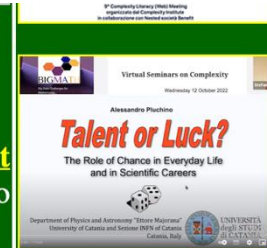
- Si avvisano gli studenti che le lezioni per l'a.a. 2025-2026 inizieranno lunedì 02/03/2026 e proseguiranno ogni lunedì e martedì, dalle 9.00 alle 11.00, in aula I (primo piano del DFA).

- Gli appelli d'esame per chi ha frequentato negli anni precedenti sono disponibili sul portale per la prenotazione. Su richiesta, sono concessi prolungamenti. L'esame è solo orale, ma qualche giorno prima è necessario inviare via email una tesina di approfondimento su uno degli argomenti del corso, completa di nome e cognome di chi la presenta e soprattutto dei riferimenti bibliografici utilizzati.

- Per ulteriori richieste di informazioni sugli esami o di chiarimenti sul programma del corso gli studenti sono pregati di contattarmi via email.

CORSO DI STORIA DELLA FISICA ED EPISTEMOLOGIA (DFA)

- Si avvisano gli studenti che le lezioni per l'a.a. 2025-2026 inizieranno lunedì 02/03/2026 e proseguiranno ogni lunedì e giovedì, dalle 15.00 alle 17.00, in aula M (primo piano del DFA).





UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

ALESSANDRO PLUCHINO HOME PAGE

DIPARTIMENTO DI
FISICA E ASTRONOMIA "ETTORE MAJORANA"



HOME BIO PUBLICATIONS TEACHING BOOKS ET AL

LAUREA TRIENNALE IN FISICA (L-30)

CORSO DI SISTEMI DINAMICI, CAOS E COMPLESSITA'

6CFU, Secondo Semestre A.A.2025-2026

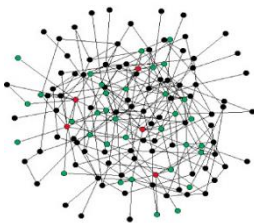
Avvertenza: per far girare i programmi NetLogo occorre scaricare e installare la [versione 6.4.0](#).

PRIMA PARTE: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità

LEZIONE 01: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità (02/03/2026)

Contenuti del corso

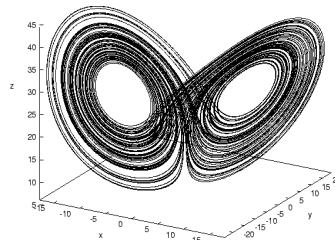
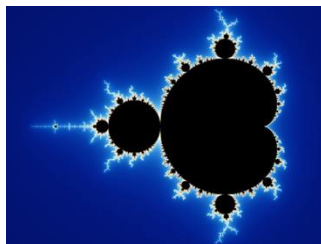
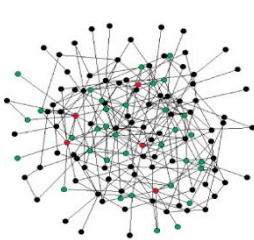
Introduzione alla nuova scienza della complessità. Sistemi non lineari, criticità auto-organizzata, reti complesse, fenomeni emergenti, automi cellulari, sincronizzazione, sociofisica ed econofisica, ***PARTE IN COMUNE CON I DOTTORANDI***



Contenuti del corso

Introduzione alla nuova scienza della complessità. Sistemi non lineari, criticità auto-organizzata, reti complesse, fenomeni emergenti, automi cellulari, sincronizzazione, sociofisica ed econofisica, ***PARTE IN COMUNE CON I DOTTORANDI***

Sistemi a pochi gradi di libertà. Sistemi dinamici dissipativi, continui (flussi) e discreti (mappe), ad una e due dimensioni. Attrattori a punto fisso e ciclo limite. Biforcazioni. Flussi a tre dimensioni. Rotte verso il caos. Esponenti di Lyapunov. Dimensione frattale. Sistemi Hamiltoniani in una e due dimensioni. Il teorema KAM.

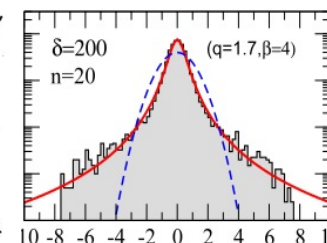
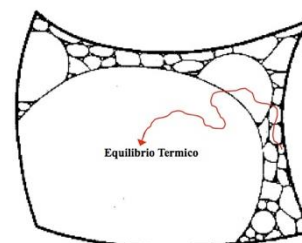
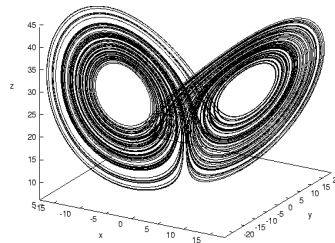
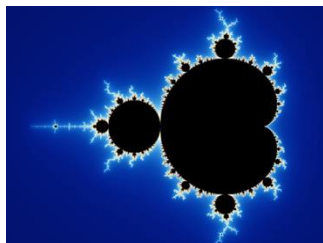
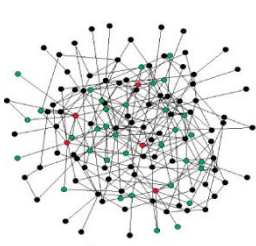


Contenuti del corso

Introduzione alla nuova scienza della complessità. Sistemi non lineari, criticità auto-organizzata, reti complesse, fenomeni emergenti, automi cellulari, sincronizzazione, sociofisica ed econofisica, **PARTE IN COMUNE CON I DOTTORANDI**

Sistemi a pochi gradi di libertà. Sistemi dinamici dissipativi, continui (flussi) e discreti (mappe), ad una e due dimensioni. Attrattori a punto fisso e ciclo limite. Biforcazioni. Flussi a tre dimensioni. Rotte verso il caos. Esponenti di Lyapunov. Dimensione frattale. Sistemi Hamiltoniani in una e due dimensioni. Il teorema KAM.

Sistemi a molti gradi di libertà. Richiami di termodinamica. Entropia di Clausius e freccia del tempo. Ordine e disordine nell'universo. Introduzione alla meccanica statistica classica all'equilibrio. Entropia di Boltzmann e teorema H. La teoria degli "ensemble" di Gibbs. Fine-tuning e problema delle condizioni iniziali a bassa entropia. Introduzione alla meccanica statistica non estensiva. Entropia di Tsallis e teorema del limite centrale generalizzato. Sistemi con interazioni a lungo raggio. Sistemi complessi al margine del caos.

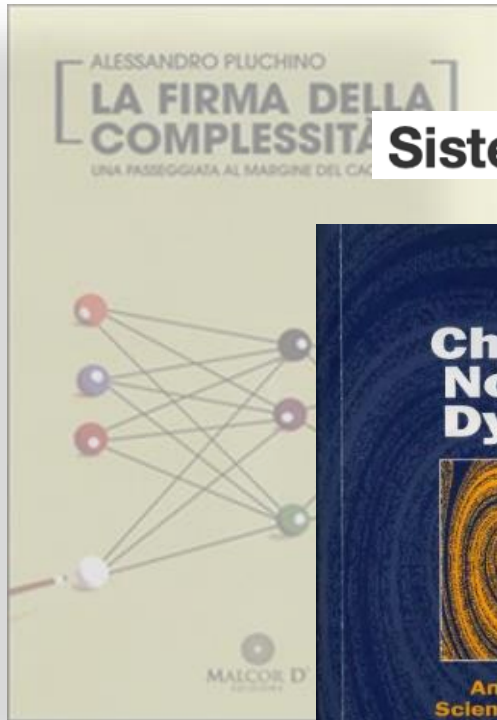


TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI

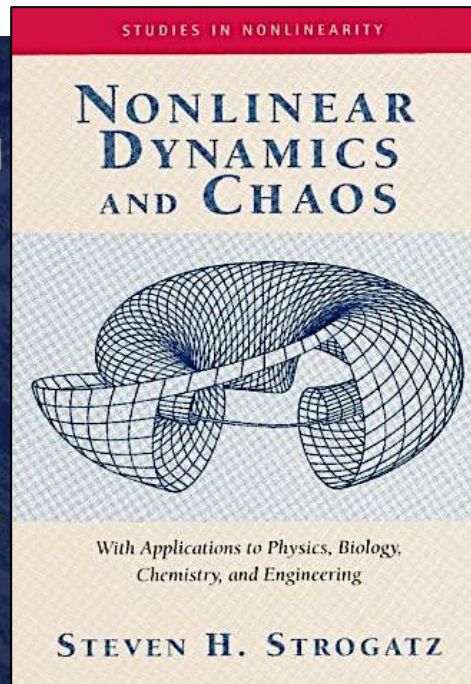
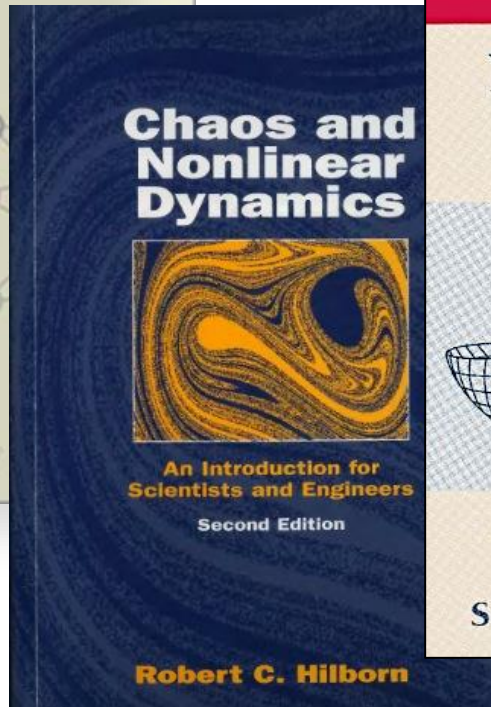


Introduzione alla nuova scienza della complessità.

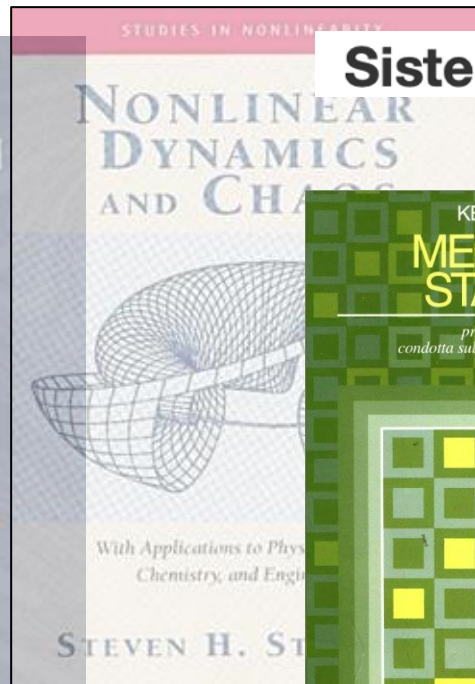
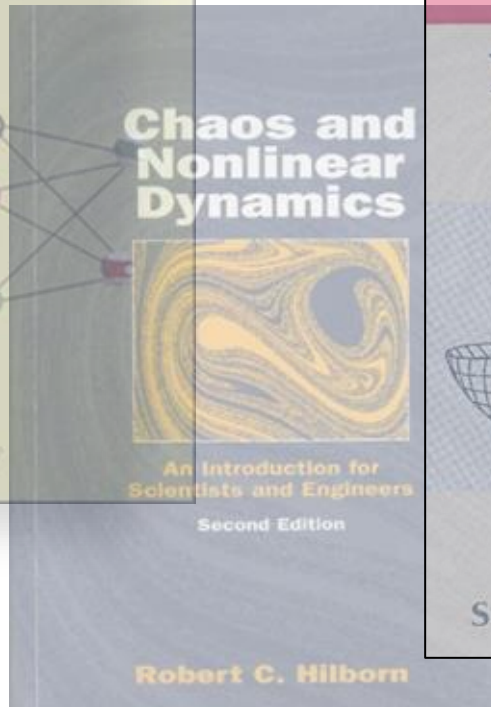
TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



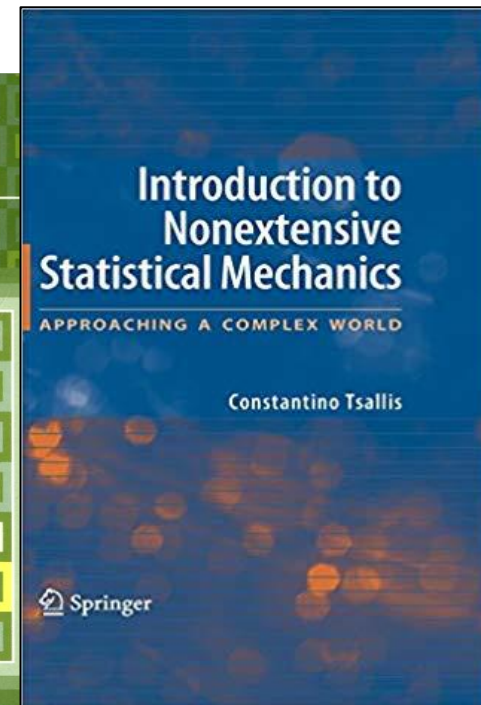
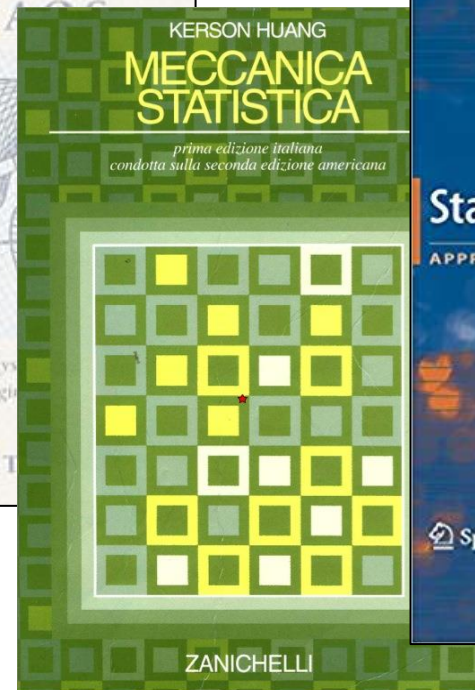
Sistemi a pochi gradi di libertà.



TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



Sistemi a molti gradi di libertà.



ESAME FINALE

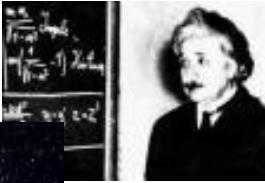


Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti



**Direzioni delle
Scienze Fisiche
dal XVI secolo**



**verso l'infinitamente
grande**

Astronomia, Astrofisica,
Relatività Generale,
Cosmologia, ...

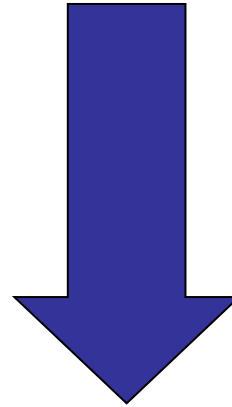


Direzioni delle Scienze Fisiche dal XVI secolo



verso l'infinitamente grande

Astronomia, Relatività, Cosmologia, ...
Astrofisica, Generale, ...



verso l'infinitamente piccolo

Chimica, Fisica Nucleare, Meccanica Quantistica, Teoria delle Stringhe, ...

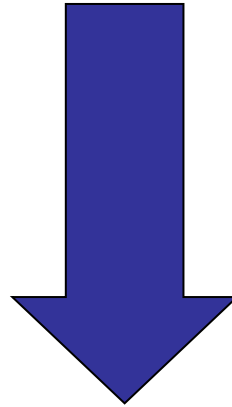


**Direzioni delle
Scienze Fisiche
dal XVI secolo**



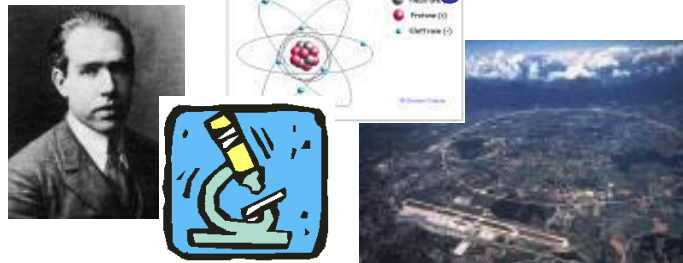
**verso l'infinitamente
grande**

Astronomia, Astrofisica,
Relatività Generale,
Cosmologia, ...



**verso l'infinitamente
piccolo**

Chimica, Fisica Nucleare,
Meccanica Quantistica,
Teoria delle Stringhe, ...

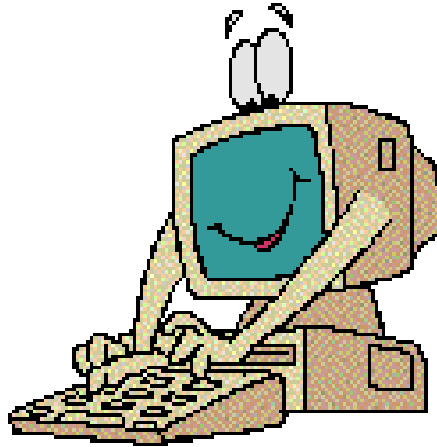


**Dalla seconda metà
del XX secolo**



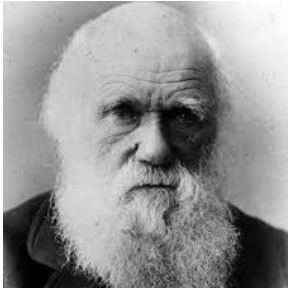
**verso l'infinitamente
complesso**



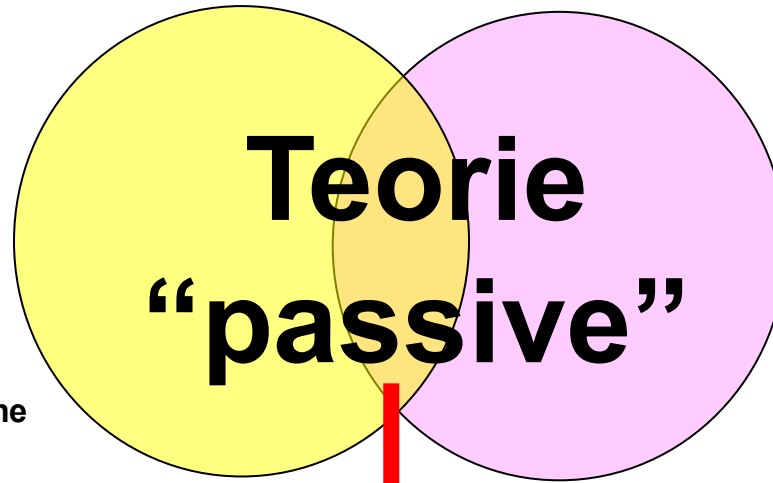


il Computer!

**...e la possibilità di
simulare i sistemi complessi!**



Modelli Verbali
(ad.es. Teoria dell'Evoluzione di Darwin)



Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

Teorie Scientifiche

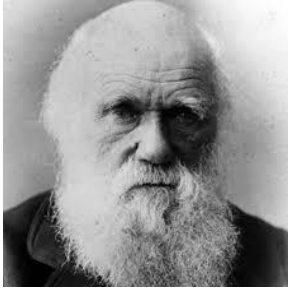


**Soluzioni analitiche
in forma chiusa**

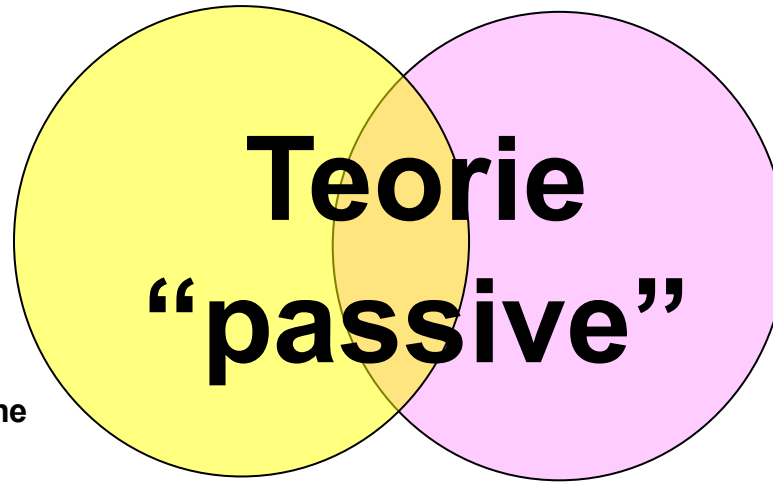
Predizioni

**Verifica
Sperimentale (VERIFICA
ESTERNA)**





Modelli Verbali
(ad.es. Teoria dell'Evoluzione
di Darwin)

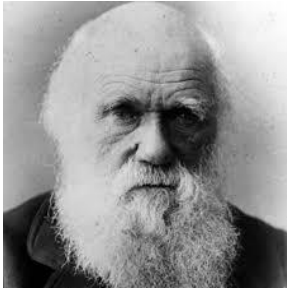


Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

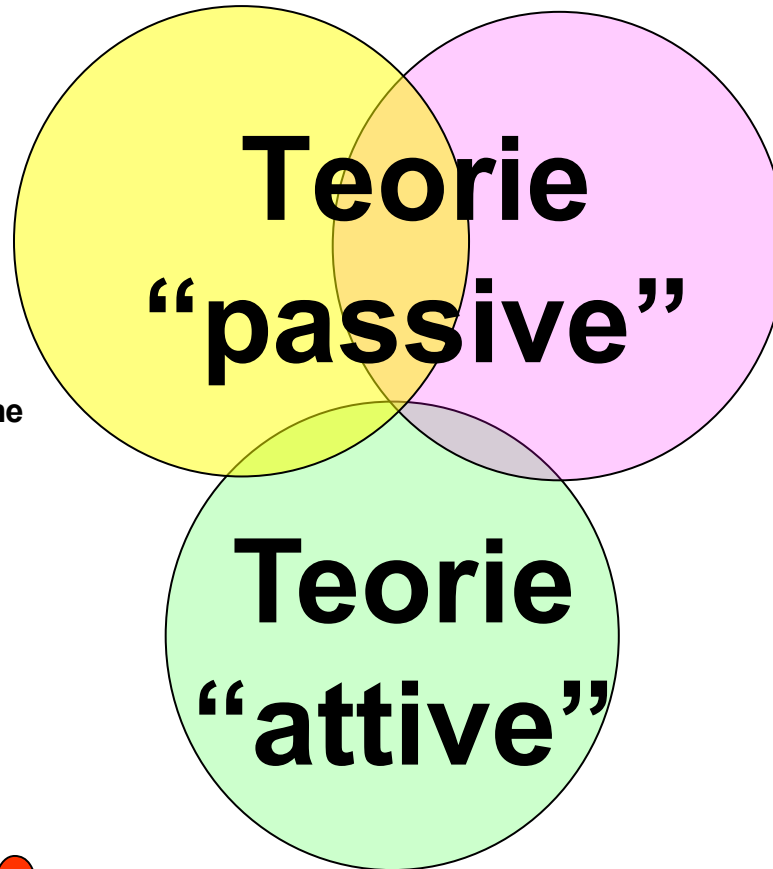
~~Soluzioni analitiche
in forma chiusa~~

**Teorie
Scientifiche**





Modelli Verbali
(ad.es. Teoria dell'Evoluzione
di Darwin)

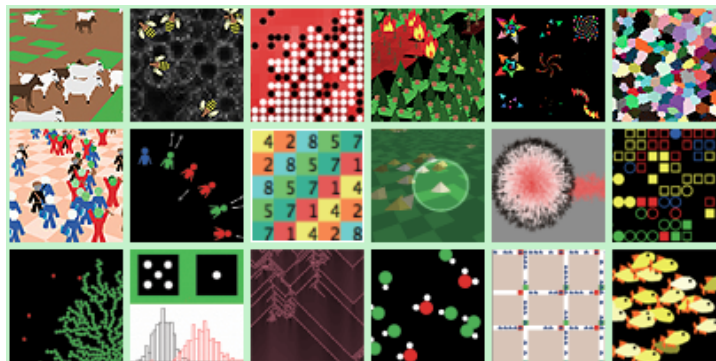


Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

**Soluzioni analitiche
in forma chiusa**

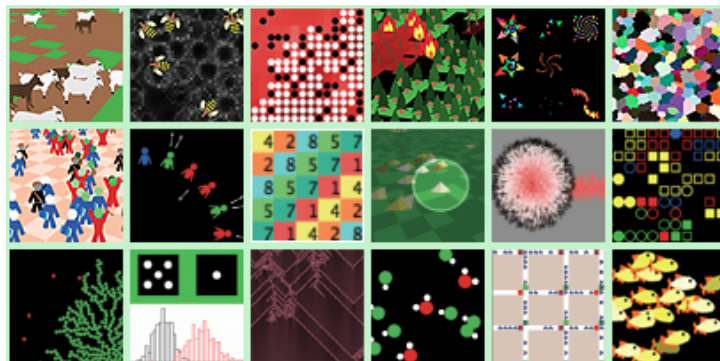
**Teorie
Scientifiche**

Modelli Simulativi



Teorie “attive”

Modelli Simulativi

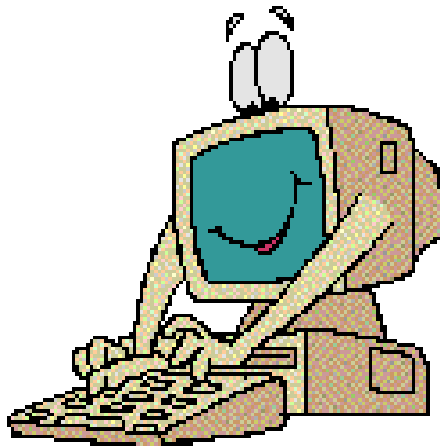


Teorie “attive”

Simulazioni



Programma per computer



Calibrazione
e confronto



**MIGLIORE VERIFICA
INTERNA della TEORIA:**

Le **predizioni non sono analitiche** ma sono i risultati che la simulazione produce quando gira in un computer, quindi con maggior potere computazionale e meno errori e condizionamenti rispetto allo scienziato

Verifica

Sperimentale (**VERIFICA
ESTERNA**)

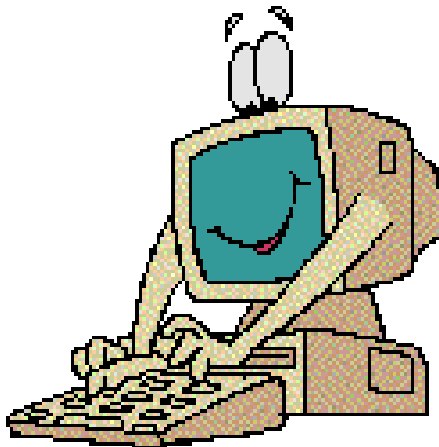


Teorie “attive”

Simulazioni



Programma per computer



Calibrazione
e confronto



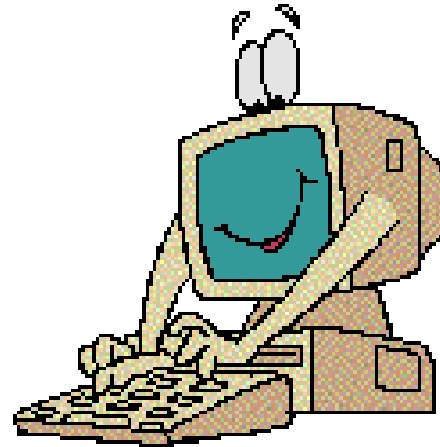
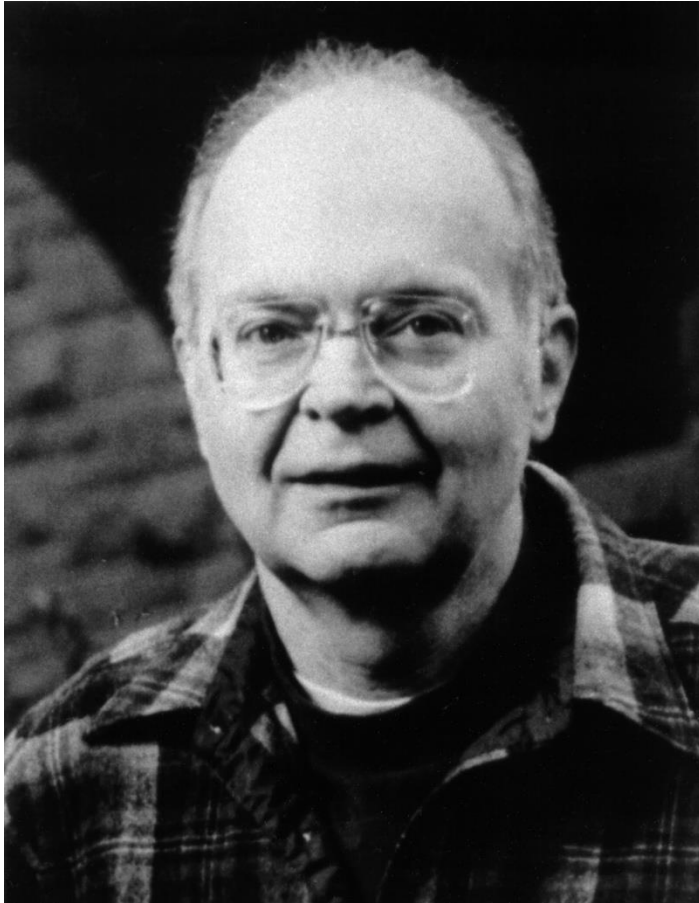
**MIGLIORE VERIFICA
INTERNA della TEORIA:**

Le **predizioni non sono analitiche** ma sono i risultati che la simulazione produce quando gira in un computer, quindi con maggior potere computazionale e meno errori e condizionamenti rispetto allo scienziato

Verifica

Sperimentale (**VERIFICA
ESTERNA**)





**“La Scienza è quello che capiamo
sufficientemente bene da saperlo
spiegare a un computer”**

Donald Knuth – Informatico americano



Il XX Secolo: le Teorie delle 4C



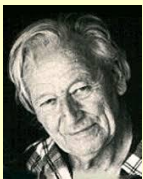
anni
**Cinquanta-
Sessanta**

Cibernetica e Teoria dei Sistemi

Autoregolazione e
retroazione, auto-
organizzazione,
«order from noise»,
teoria
dell'informazione,
computazione
naturale, autopoiesi
e cognizione



N. Wiener

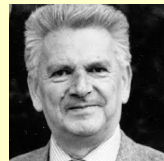


G. Bateson

anni
**Sessanta-
Settanta**

Teoria delle **C**atastrofi

Mutamenti
discontinui nei
sistemi dinamici,
“punti critici” e
biforcazioni,
strutture dissipative
fuori equilibrio,
automi cellulari



R. Thom

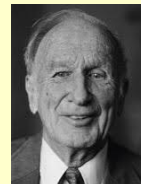


I. Prigogine

anni
**Settanta-
Ottanta**

Teoria del **C**aos

Imprevedibilità,
autosimilarità, non-
linearità, sensibilità
alle condizioni
iniziali, “effetto
farfalla”, geometria
frattale



E. Lorenz



B. Mandelbrot

anni
**Novanta-
>2000**

Teoria della **C**omplexità

Sistemi dinamici
lontani dall'equilibrio,
meccanica statistica
non-estensiva,
sincronizzazione,
criticità auto-organiz-
zata, reti binarie e reti
complesse, fenomeni
emergenti at the “edge
of chaos”



P. Bak



S. Strogatz



C. Tsallis

**Ma, innanzitutto,...
...che cos'è un sistema complesso?**



“Complicato” non vuol dire “Complesso”...

Una automobile, per quanto complicata possa apparire, non è un sistema complesso, perchè le relazioni tra le sue parti sono progettate per essere lineari e dunque prevedibili. In un sistema lineare, infatti:

- (1) gli effetti sono proporzionali alle cause
- (2) vale il principio di sovrapposizione, secondo cui l'effetto complessivo prodotto da tutte le cause è uguale alla somma degli effetti prodotti da ogni singola causa (in altre parole, «il tutto è uguale alla somma della parti»).



“Complicato” non vuol dire “Complesso”...

Se però mettete assieme **centinaia o migliaia di automobili** in competizione all'interno di un ambiente confinato (la rete stradale di una città), ecco che il sistema diventa **non lineare**:

- (1) **non vale più il principio di sovrapposizione**, quindi il tutto diventa «maggiore» della «somma delle parti»
- (2) **cause anche molto piccole possono produrre effetti talvolta enormi...**



“Complicato” non vuol dire “Complesso”...

Se però mettete assieme **centinaia o migliaia di automobili** in competizione all'interno di un ambiente confinato (la rete stradale di una città), ecco che il sistema diventa **non lineare**:

- (1) **non vale più il principio di sovrapposizione**, quindi il tutto diventa «maggiore» della «somma delle parti»
- (2) **cause anche molto piccole possono produrre effetti talvolta enormi...**

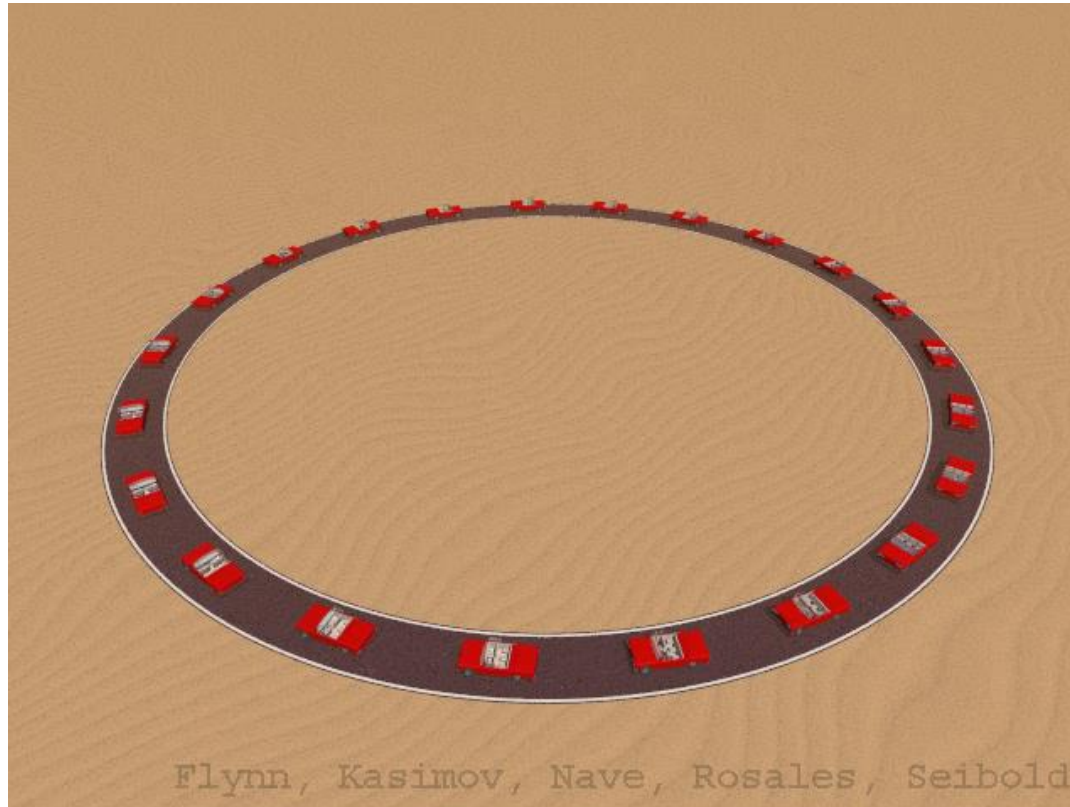


Un sistema del genere è estremamente **imprevedibile**, presenta forti correlazioni interne ed è sensibile alla sua storia passata: in una parola, è un sistema **complesso**!

“Complicato” non vuol dire “Complesso”...

Se però mettete assieme **centinaia o migliaia di automobili** in competizione all'interno di un ambiente confinato (la rete stradale di una città), ecco che il sistema diventa **non lineare**:

- (1) **non vale più il principio di sovrapposizione**, quindi il tutto diventa «maggiore» della «somma delle parti»
- (2) **cause anche molto piccole possono produrre effetti talvolta enormi...**



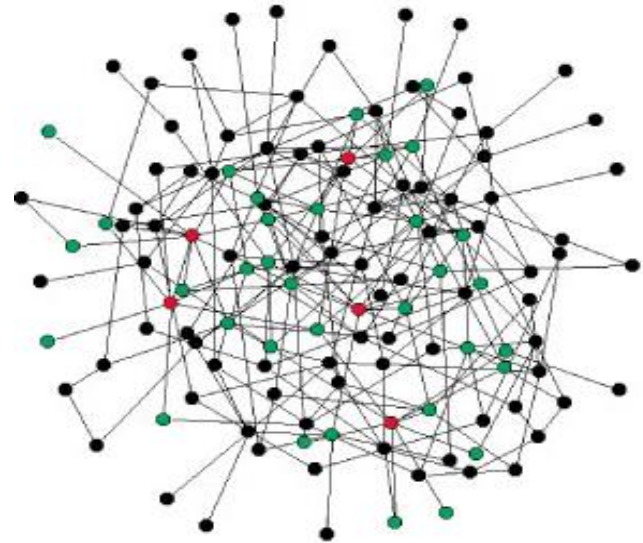
Flynn, Kasimov, Nave, Rosales, Seibold

Due possibili descrizioni di un sistema complesso

Da un **punto di vista dinamico** è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche “**agenti**” (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che **interagiscono** tra loro di solito in maniera **non lineare** spostandosi all'interno di un certo **spazio** (reale o virtuale) e secondo certe regole:



Da un **punto di vista topologico** (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una **rete** (network) costituita da un certo numero di **nodi** (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra loro per mezzo di **links** che esprimono delle relazioni tra i nodi:

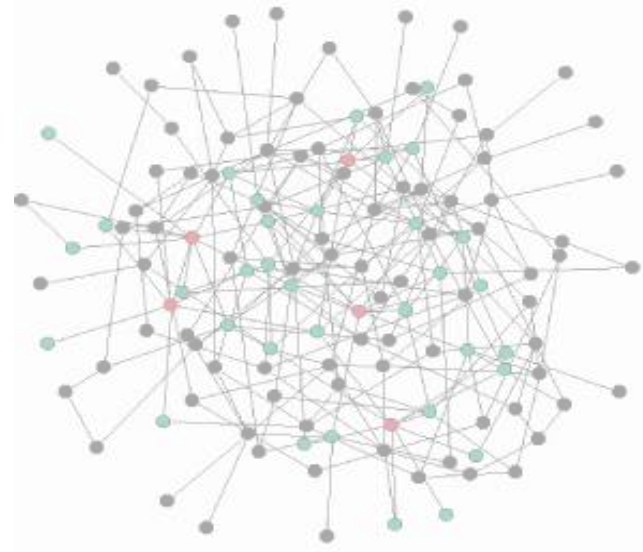


Due possibili descrizioni di un sistema complesso

Da un **punto di vista dinamico** è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche “**agenti**” (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che **interagiscono** tra loro di solito in maniera **non lineare** spostandosi all'interno di un certo **spazio** (reale o virtuale) e secondo certe regole:



Da un punto di vista topologico (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una rete (network) costituita da un certo numero di nodi (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra loro per mezzo di links che esprimono delle relazioni tra i nodi:



Due possibili descrizioni di un sistema complesso

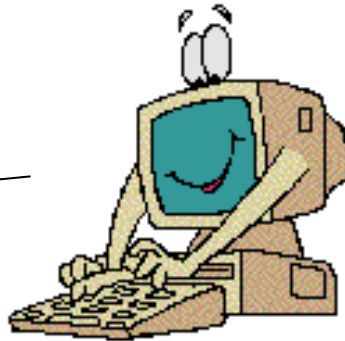
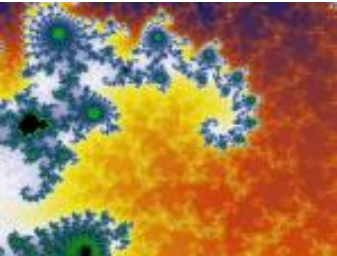
Da un **punto di vista dinamico** è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche “**agenti**” (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che **interagiscono** tra loro di solito in maniera **non lineare** spostandosi all'interno di un certo **spazio** (reale o virtuale) e secondo certe regole:



Vedremo comunque che in entrambi i casi il sistema complesso mostrerà delle proprietà e dei **comportamenti inaspettati e talvolta perfino sorprendenti**, molto spesso impossibili da prevedere basandosi solo sulle caratteristiche dei singoli elementi che lo costituiscono...



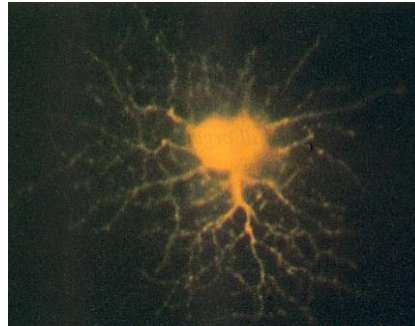
Autosimilarità e Invarianza di Scala



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Autosimilarità in natura

neuroni

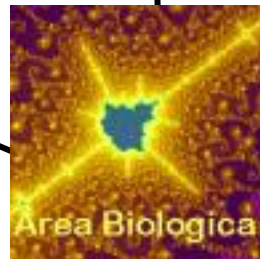
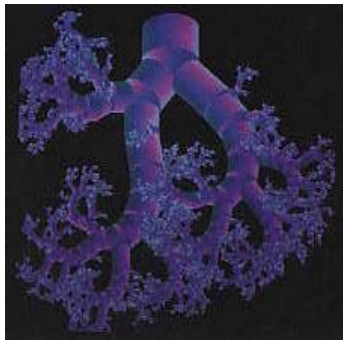


cavolfiore

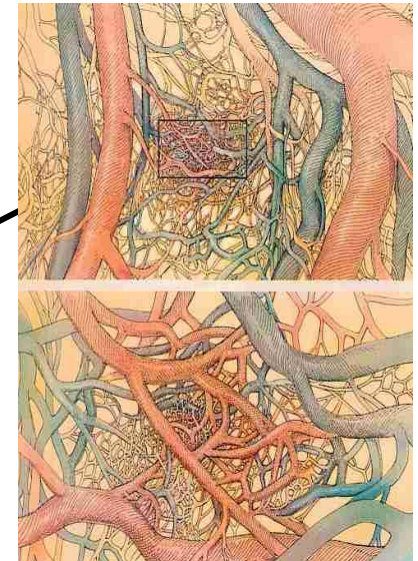
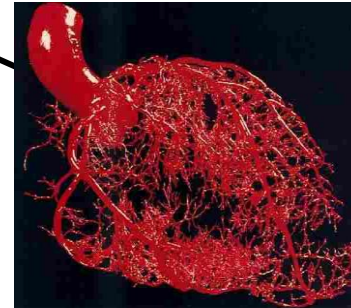


foglie

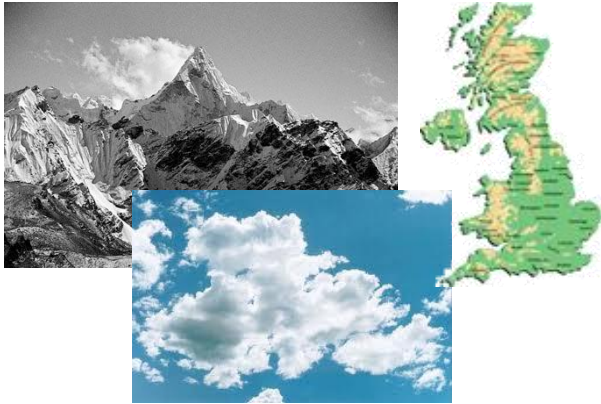
bronchi



cuore

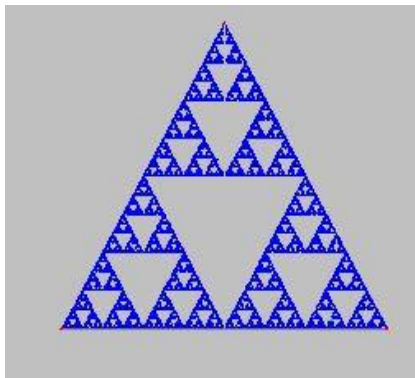


Autosimilarità in matematica: i Frattali



Per descrivere matematicamente **oggetti complessi, frastagliati o irregolari**, come la linea costiera di un'isola, il profilo di una catena montuosa o la struttura di una nuvola, i matematici hanno introdotto il concetto di "frattale".

Più precisamente, il termine "frattale" venne coniato nel 1975 dal matematico francese **Benoît Mandelbrot**, e deriva dal latino **fractus** (rotto, spezzato), così come il termine frazione.



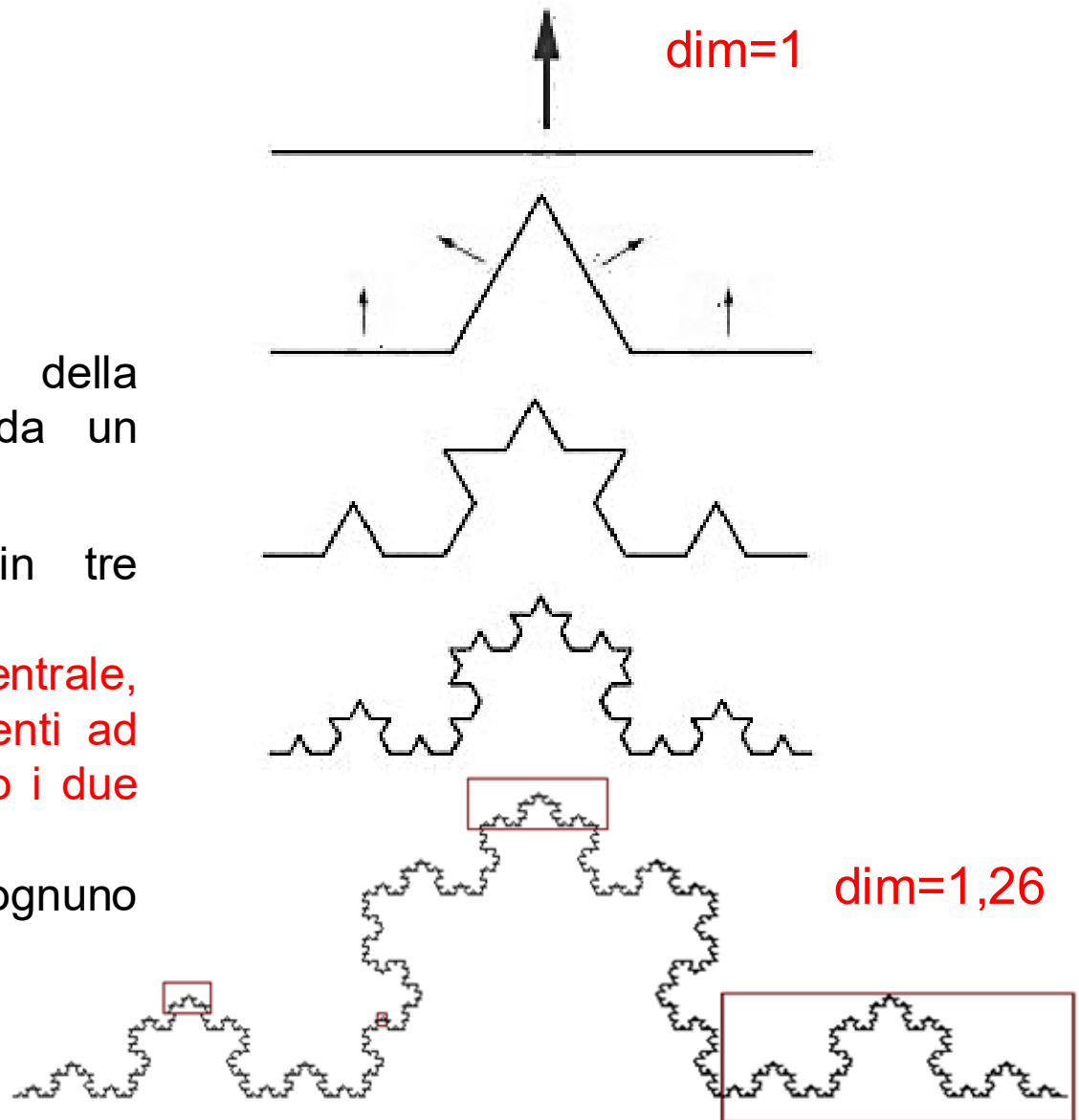
Un **frattale** è un oggetto geometrico che si ripete nella sua struttura allo stesso modo su scale diverse, ovvero che non cambia aspetto anche se visto con una lente d'ingrandimento. In altre parole è un oggetto dotato delle proprietà di **auto-similarità e invarianza di scala**. Ma ha anche la strana caratteristica matematica di possedere una **dimensione frazionaria**.

Come si genera l'autosimilarità...

La curva di Koch

Procedura di generazione della curva di Koch a partire da un segmento:

1. dividere il segmento in tre segmenti uguali;
2. cancellare il segmentino centrale, sostituendolo con due segmenti ad esso identici che costituiranno i due lati di un triangolo equilatero;
3. tornare al punto 1 per ognuno degli attuali segmenti.



L'insieme di Mandelbrot

. $P_0 \rightarrow$ successione
divergente

$$P_0 = x + i y$$

$$Z_0 = 0$$

$$Z_1 = Z_0^2 + P_0$$

$$Z_2 = Z_1^2 + P_0$$

$$Z_3 = Z_2^2 + P_0$$

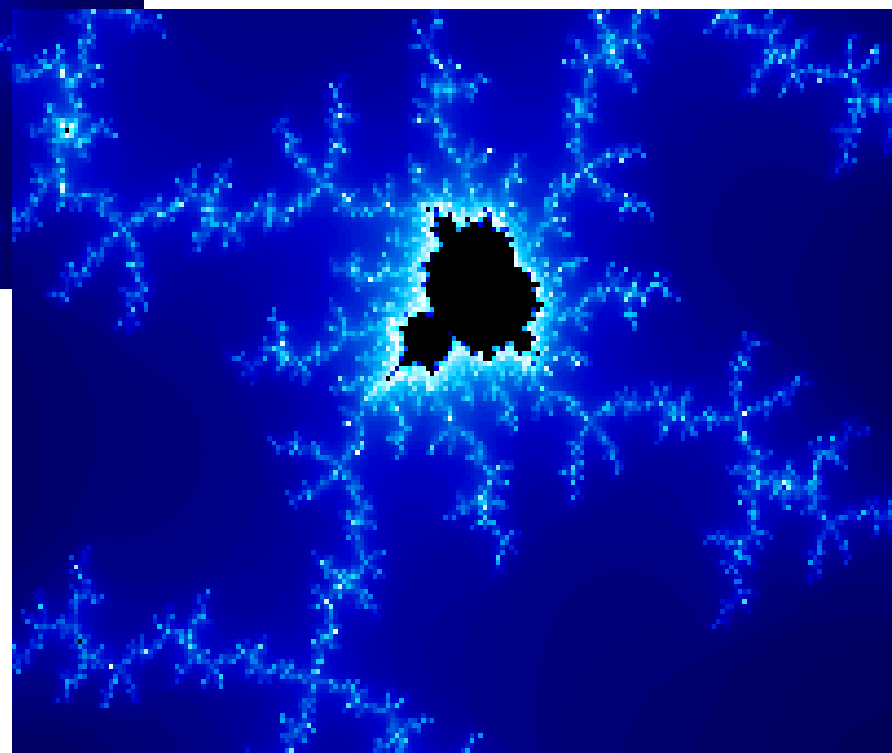
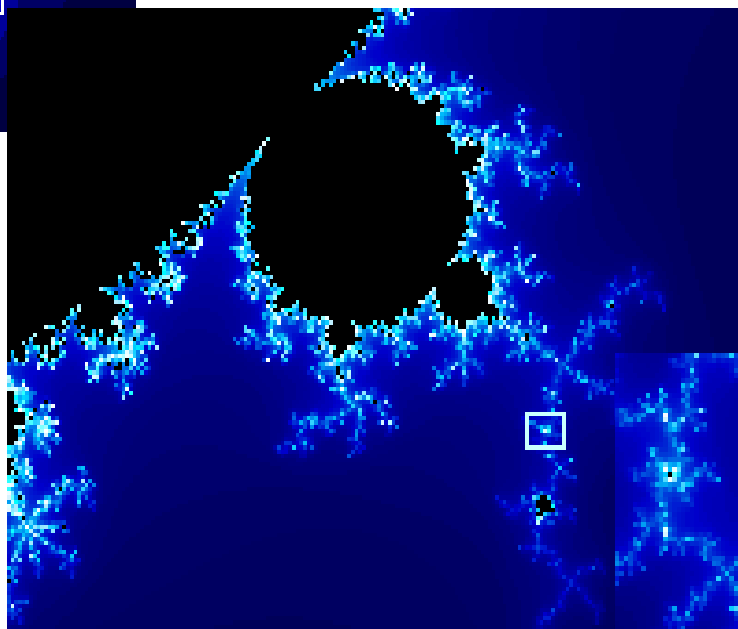
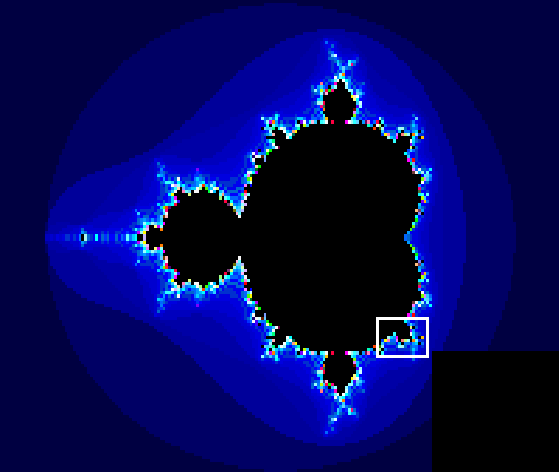
...

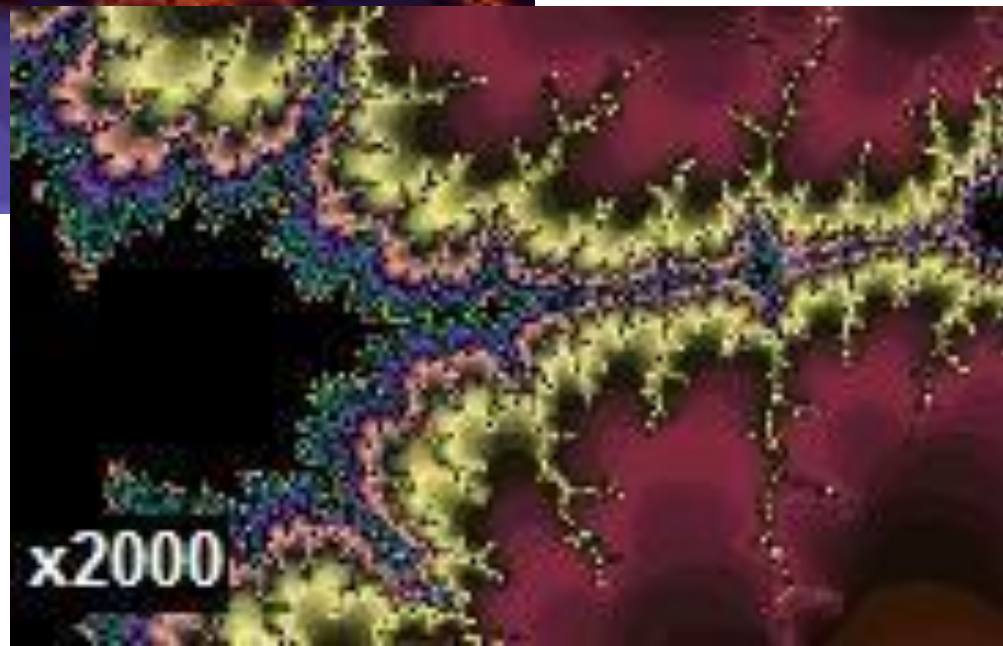
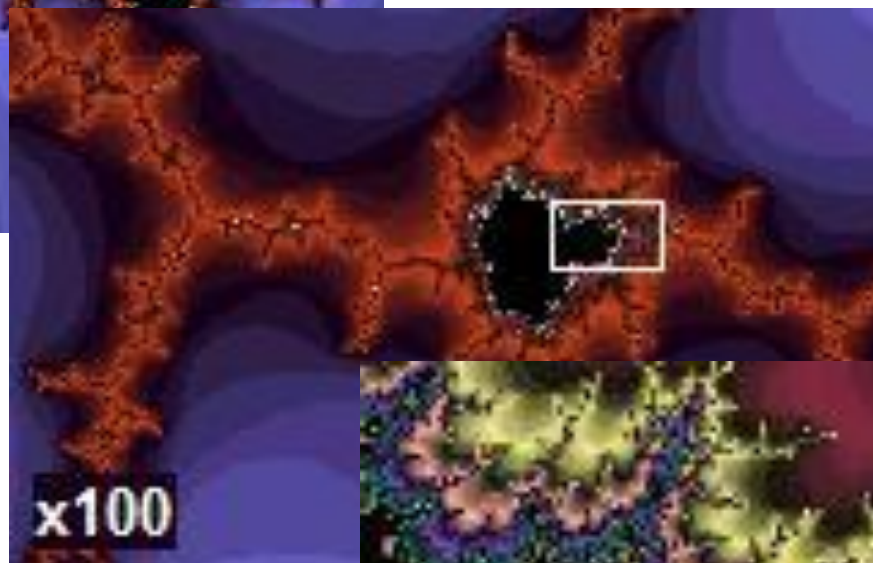
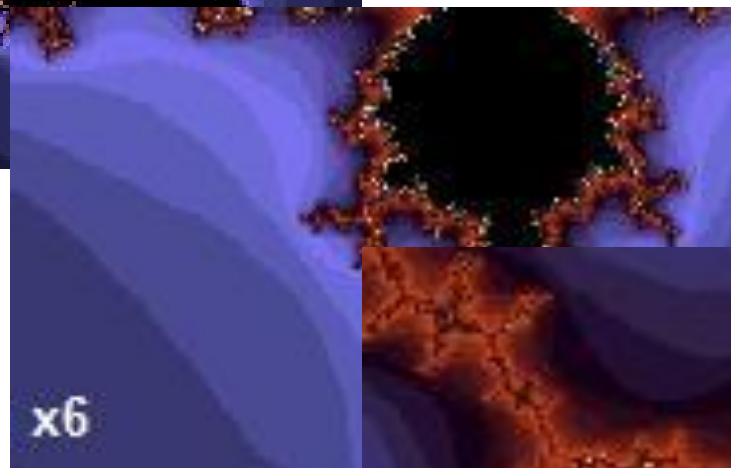
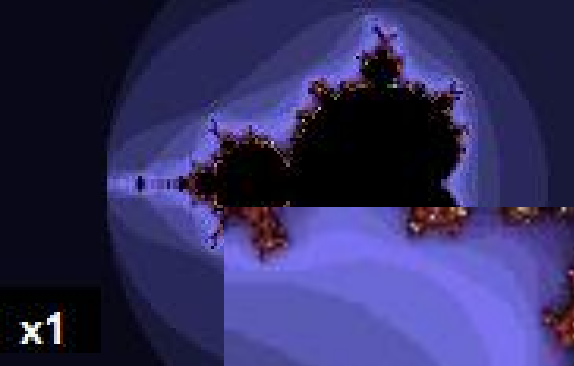
Parte interna:
dim=2

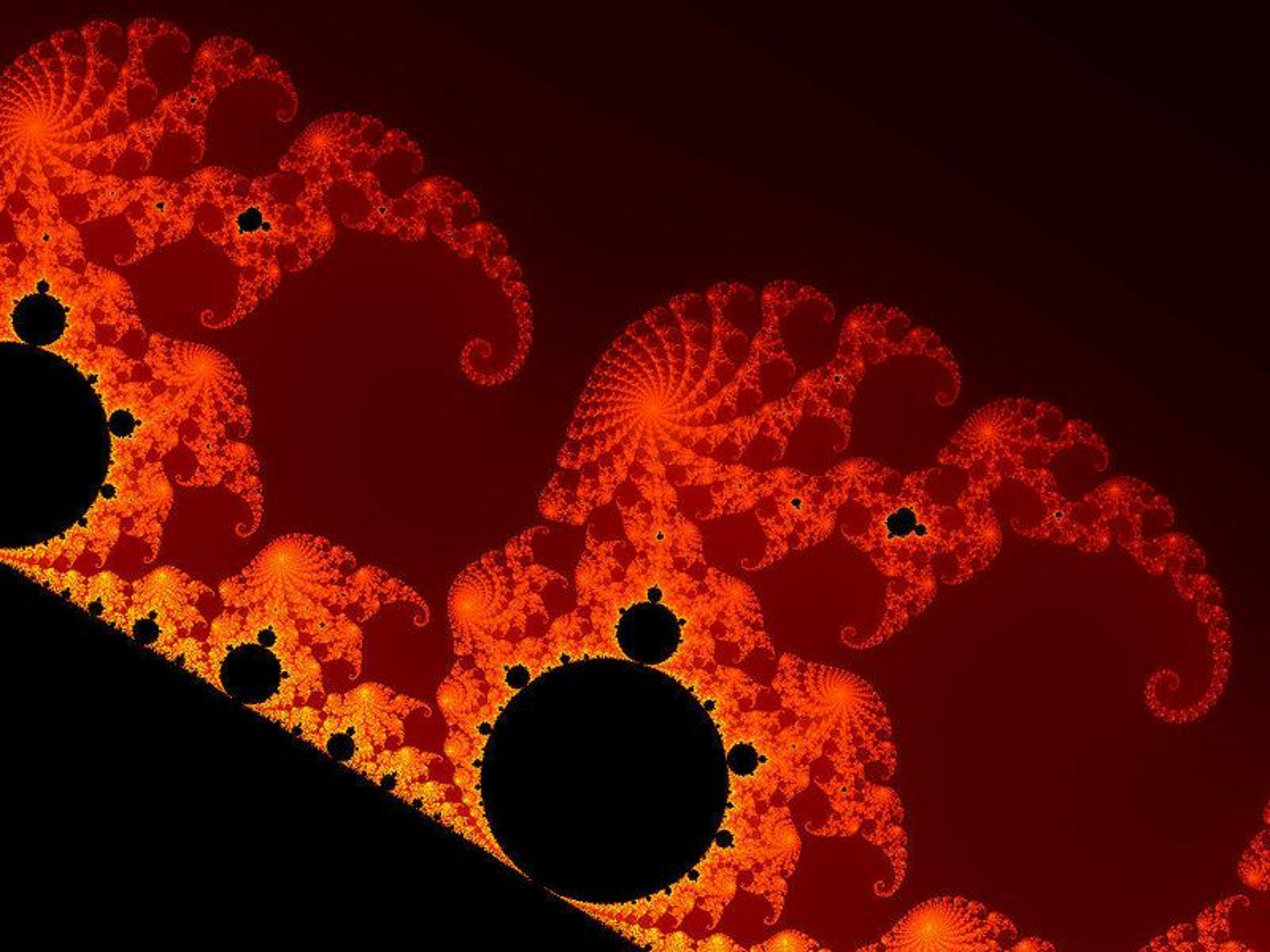
. $P_0 \rightarrow$ successione
convergente

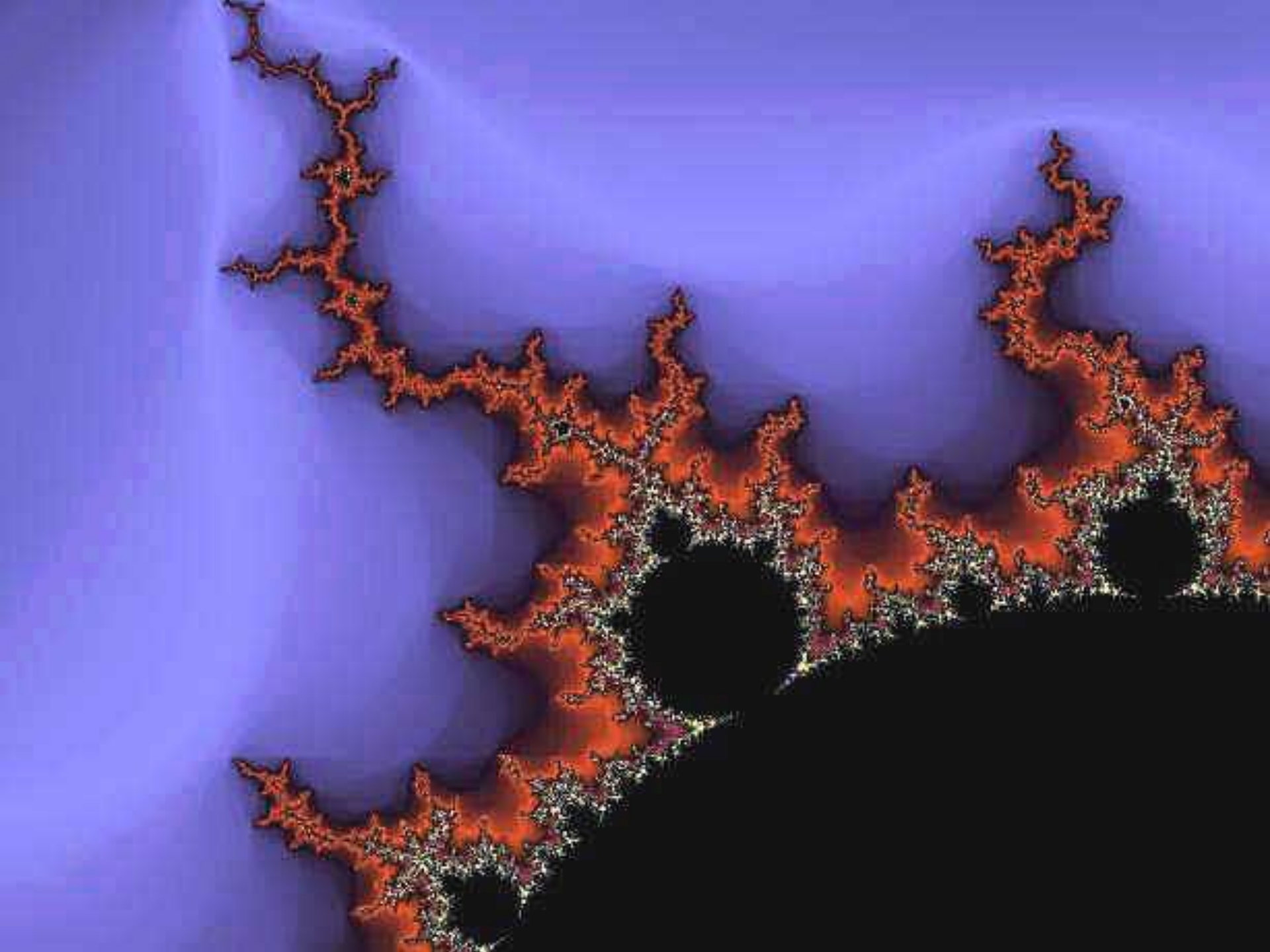
Confine:
dim=2!!!



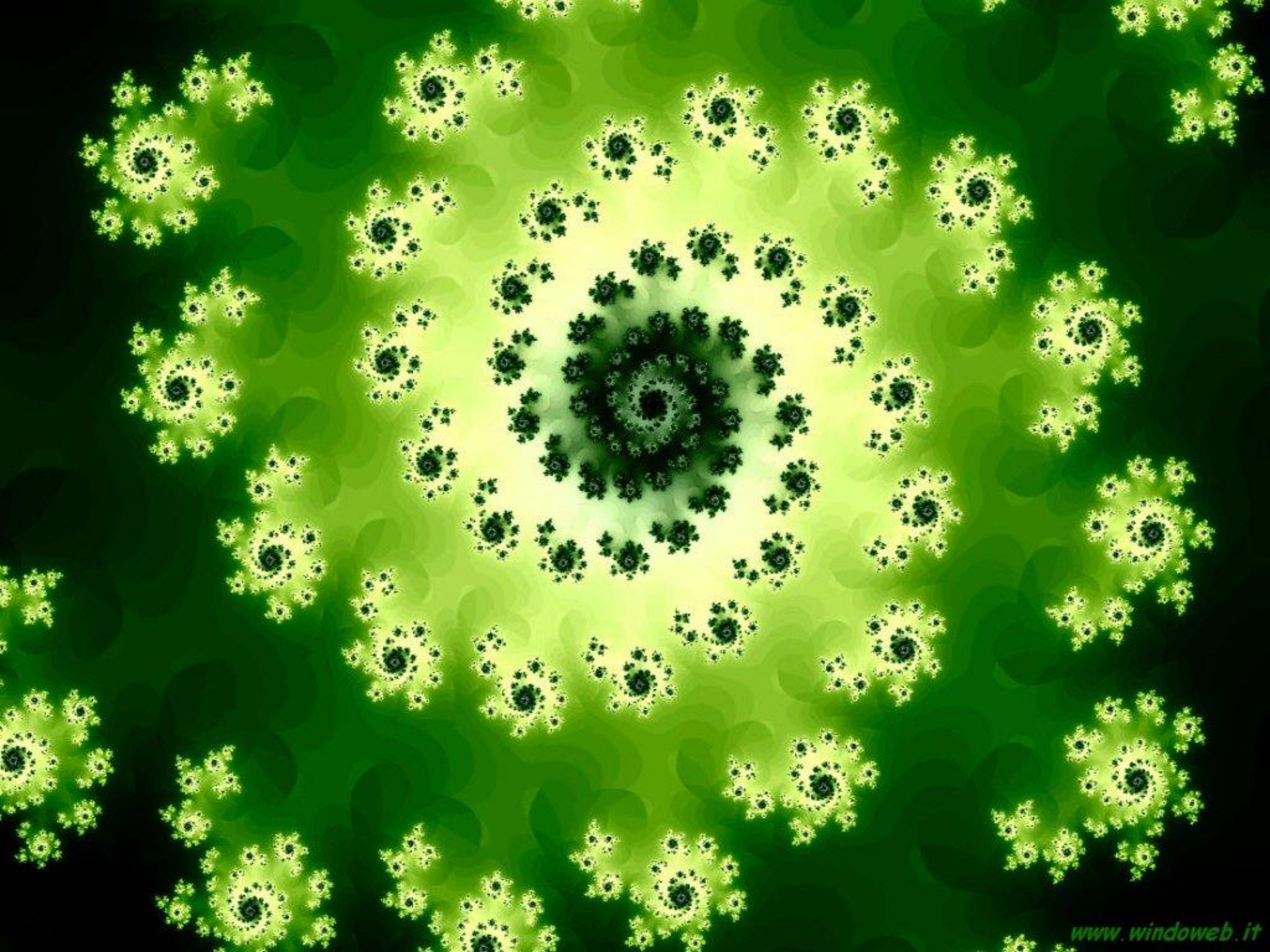












Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

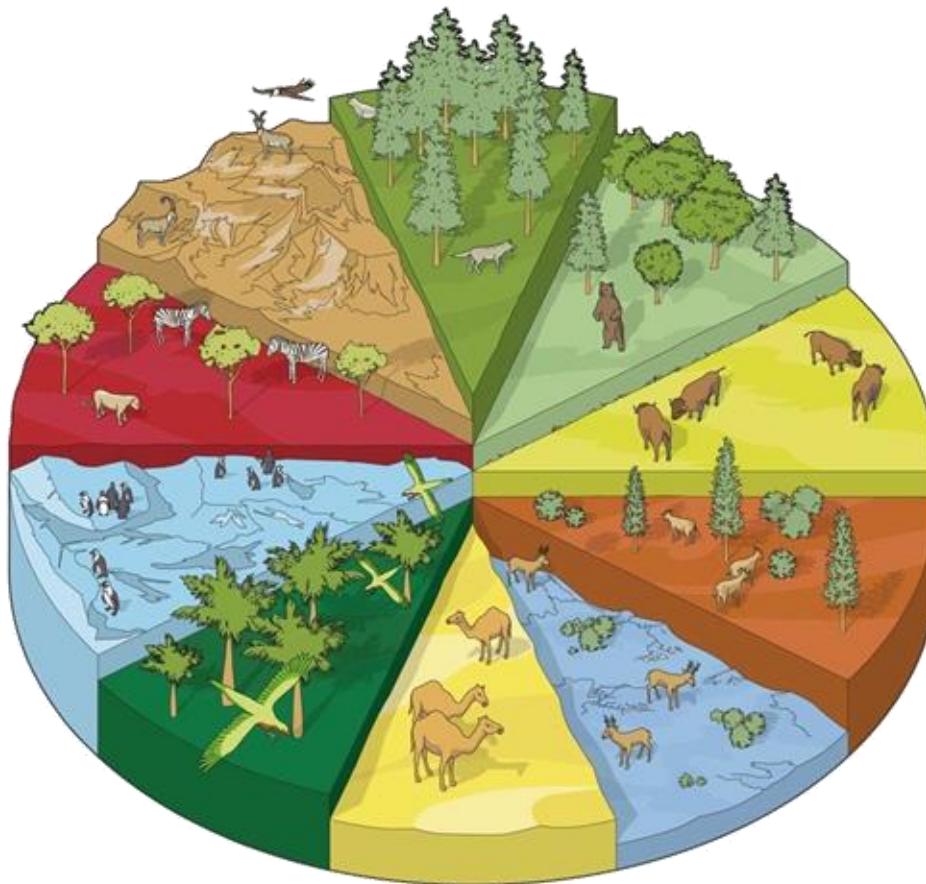
$$x_{n+1} = Ax_n(1 - x_n)$$



J.H. Poincaré
(1854-1912)



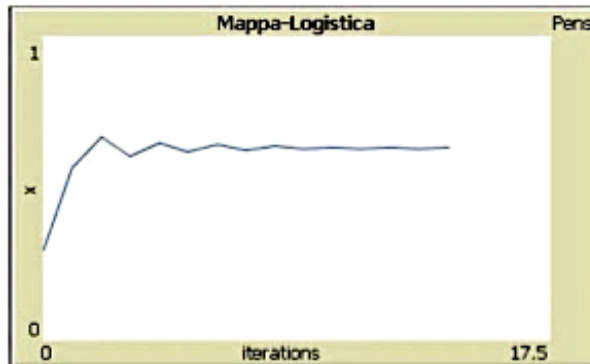
Robert M. May
(1936-2020)



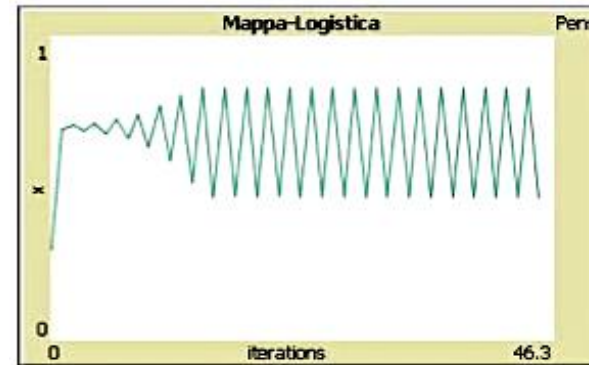
Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

$$x_{n+1} = Ax_n(1 - x_n)$$

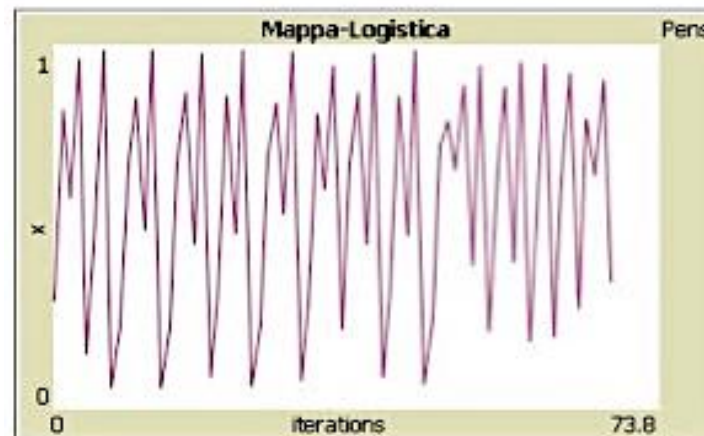
Attrattori a punto fisso
 $0 < A < 3$



Attrattori a ciclo limite
 $3 < A < 3.56994$



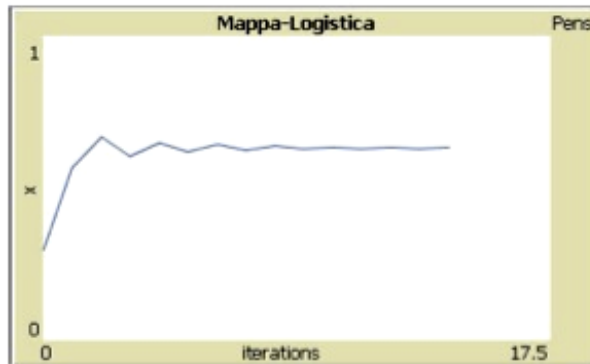
Attrattore caotico (caos deterministico!)
 $3.56994 < A < 4$



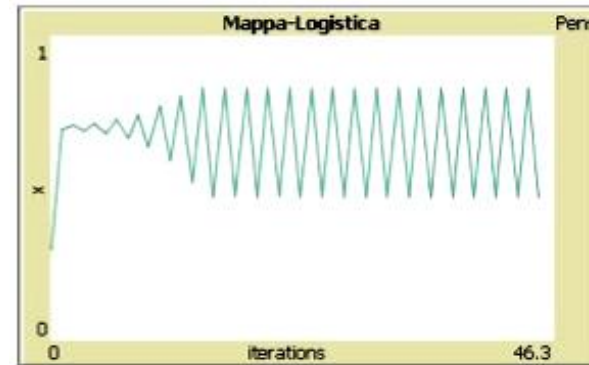
Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

$$x_{n+1} = Ax_n(1 - x_n)$$

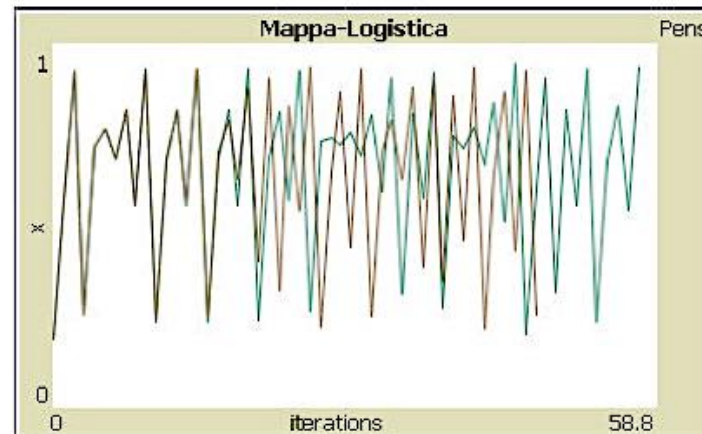
Attrattori a punto fisso
 $0 < A < 3$



Attrattori a ciclo limite
 $3 < A < 3.56994$

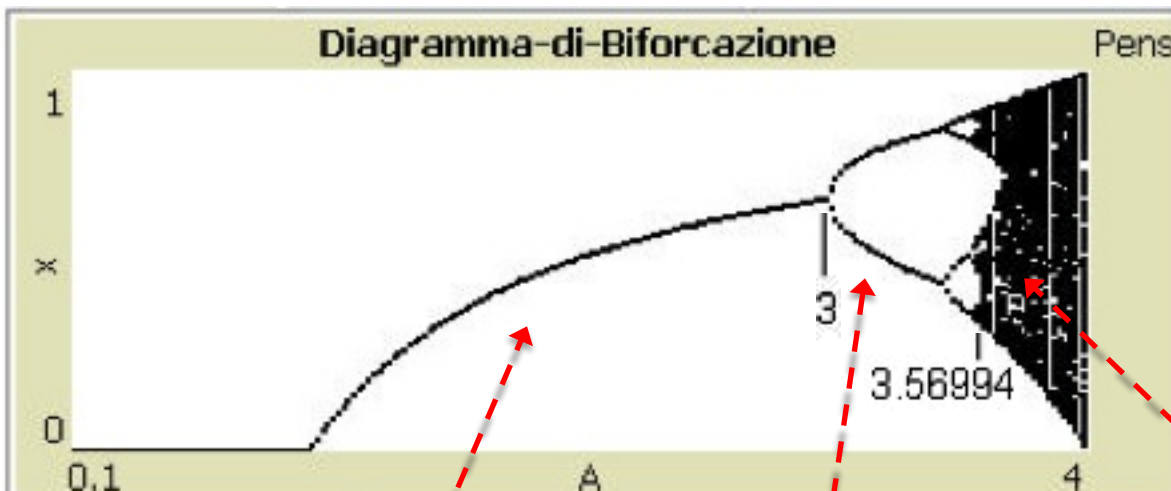


Attrattore caotico (caos deterministico!)
 $3.56994 < A < 4$

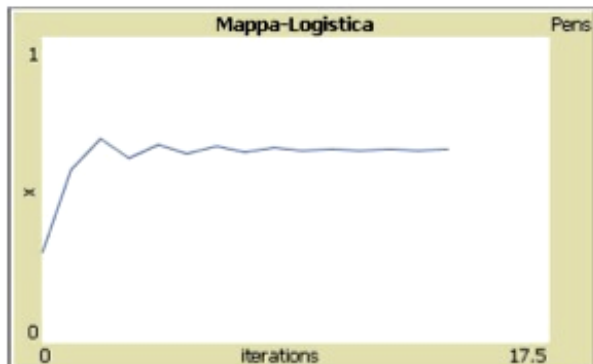


**SENSIBILITA' ALLE
CONDIZIONI INIZIALI!**

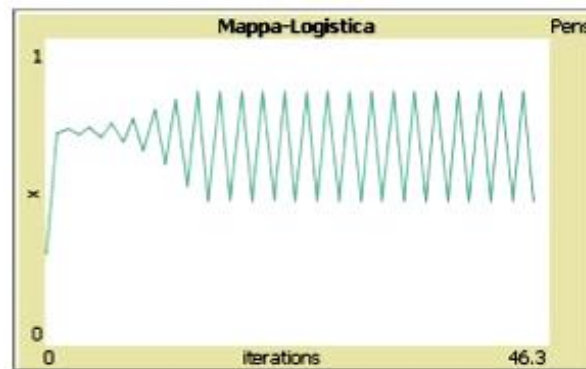
Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)



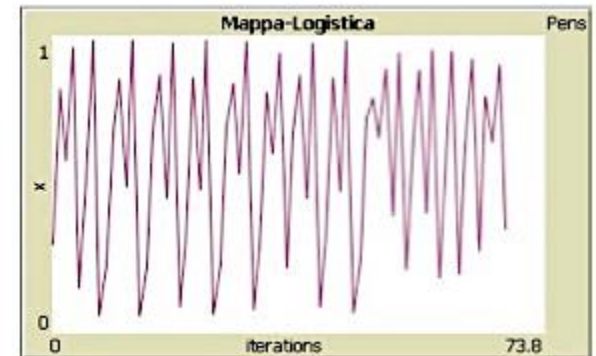
Attrattori a punto fisso
 $0 < A < 3$



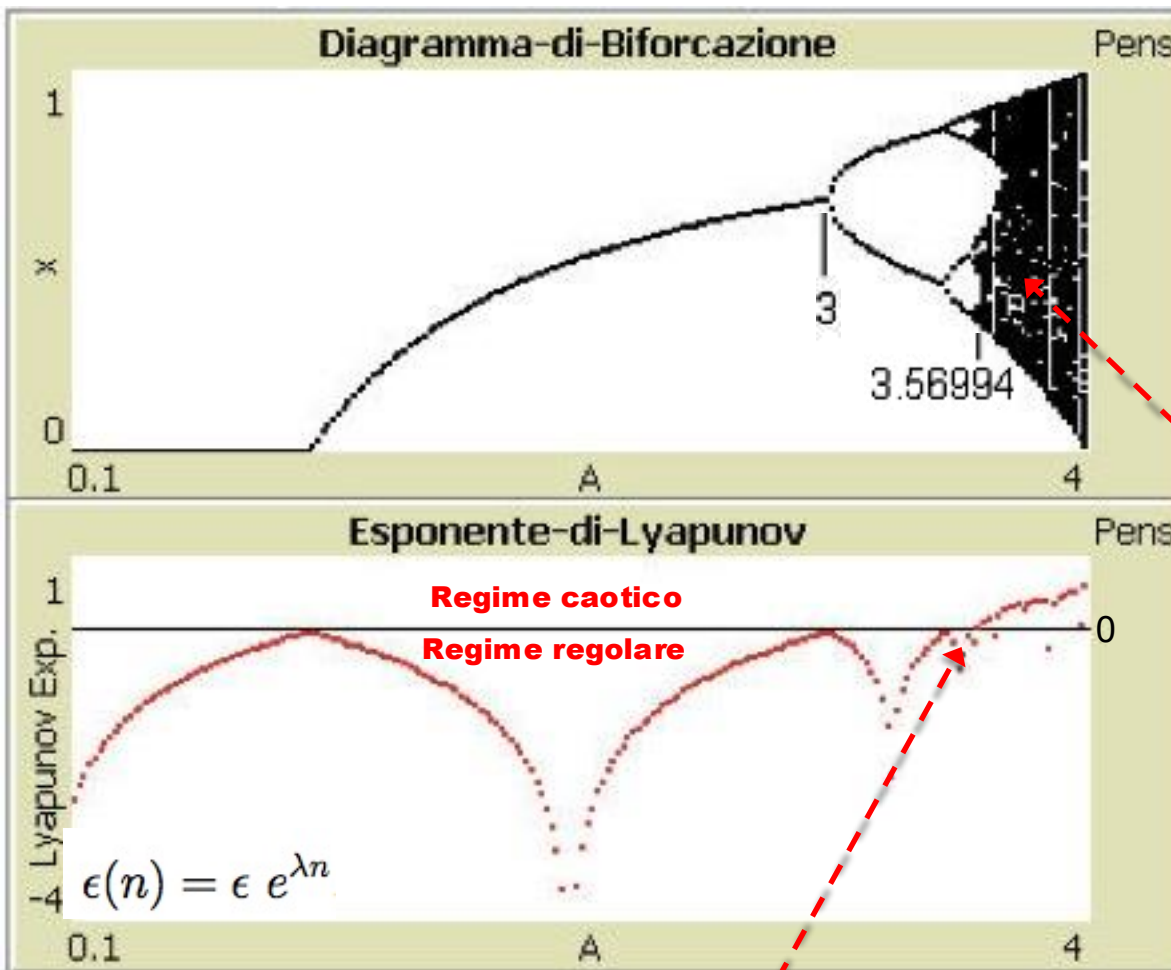
Attrattori a ciclo limite
 $3 < A < 3.56994$



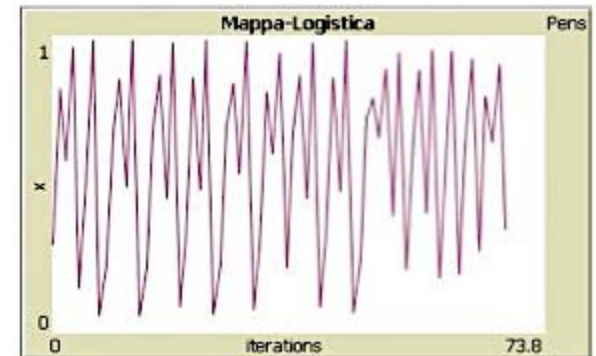
Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$



Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

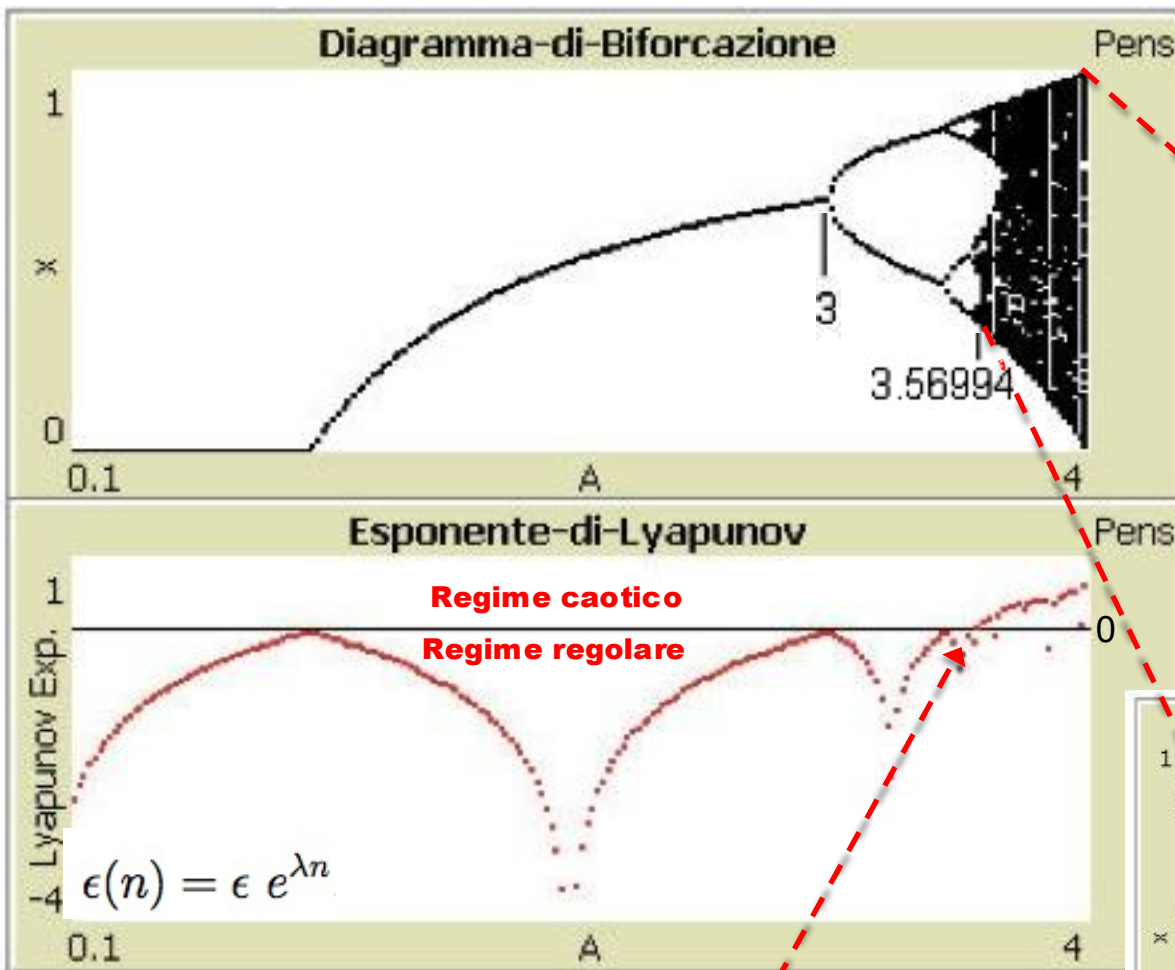


Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$

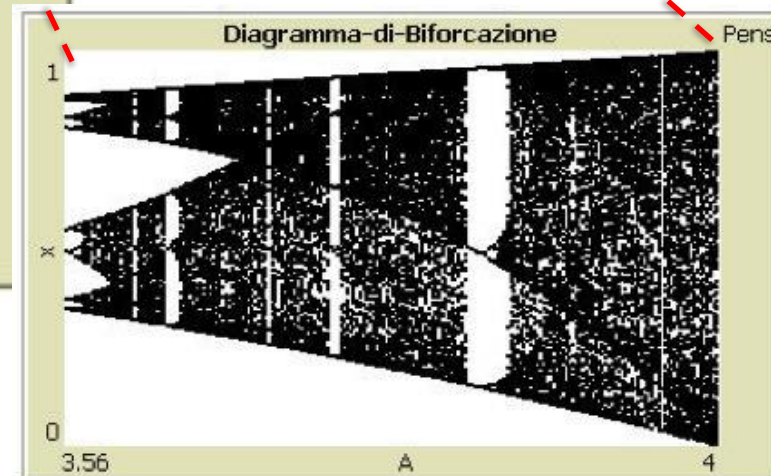


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

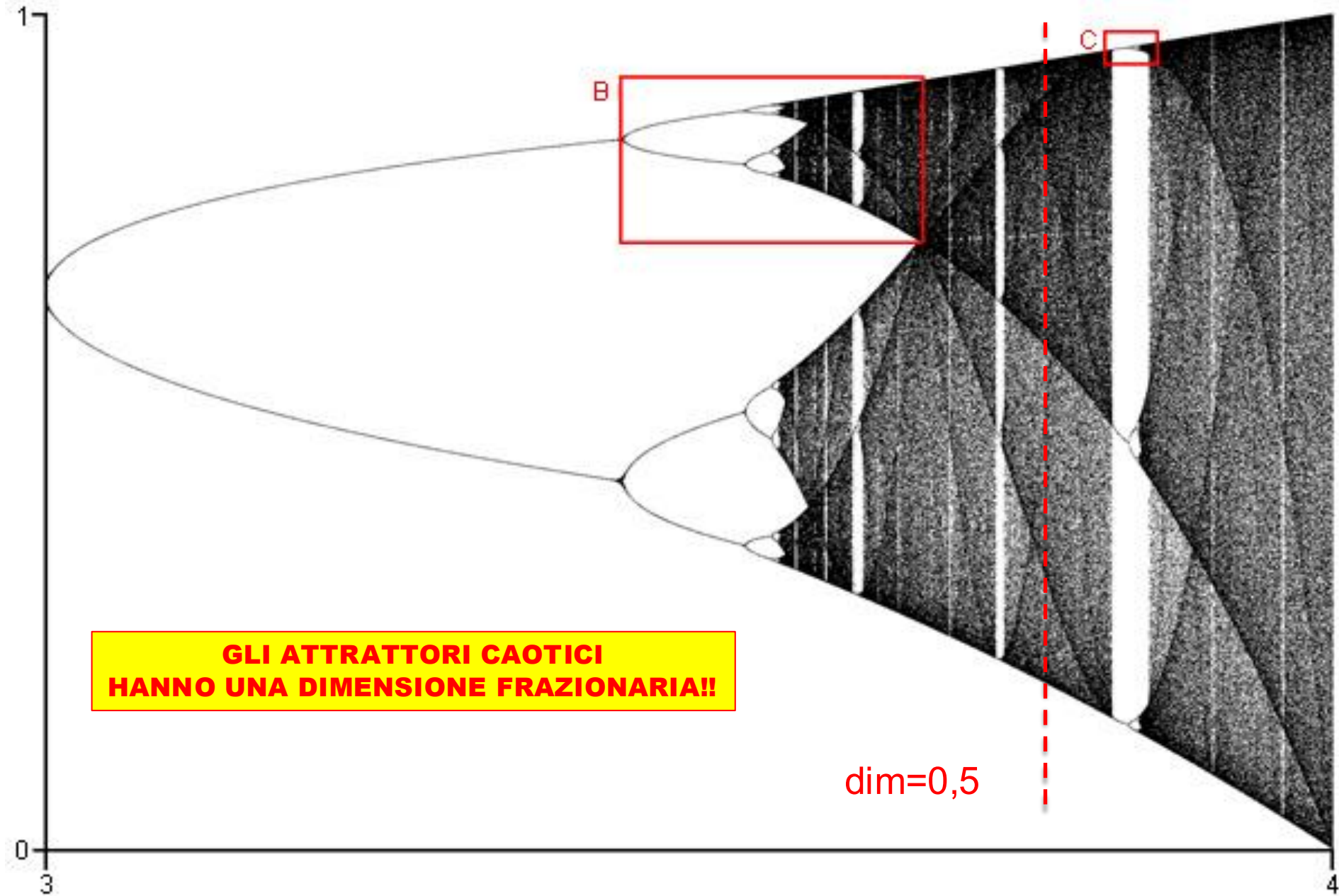


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$



AUTOSIMILARITA'!

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica



Autosimilarità e caos in 3 dimensioni: l'Attrattore di Lorenz

