



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



The 20th First Annual Ig Nobel 2010 Prize Ceremony



ALESSANDRO PLUCHINO LA FIRMA DELLA COMPLESSITÀ



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

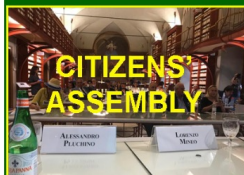
Events-Talks



IGNORANTE
RIVIRENTE
TALENTI, FORTUNA
E ALEACRAZIA

Democrazia a sorte. La sorte della
democrazia.





BACHECA STUDENTI

Ricevimento: di norma presso il DFA (Stanza 319, Terzo Piano) il lunedì dalle 11.00 alle 12.00 e il giovedì dalle 10:00 alle 11:00. E' sempre possibile programmare l'incontro in modalità telematica su piattaforma TEAMS o Google MEET. In ogni caso, si prega di contattarmi anticipatamente via email.

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

- Si avvisano i dottorandi del 40° CICLO che lezioni del corso "**Agent Based Models: Simulating Complex Systems**" per il 2025 inizieranno il 3 marzo.

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

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

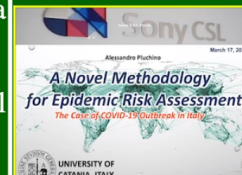
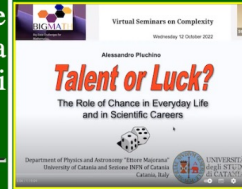
- Si avvisano gli studenti del corso di "**Dinamic Systems, Chaos and Complexity**" che le lezioni per l'a.a. 2024-2025 inizieranno lunedì 3 marzo 2025 e proseguiranno ogni lunedì e martedì, dalle 9 alle 11, in aula I (primo piano DFA).

- Gli appelli d'esame 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.



Video del Web-Meeting del 1 dicembre 2022
Talent e fortuna
Libri per dialogare di complessità





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.2024-2025

[Programma 2024-2025](#)

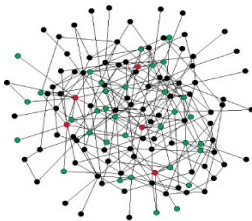
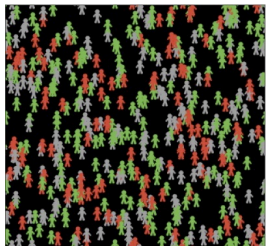
Avvertenza: per far girare i programmi NetLogo occorre scaricare e installare la [versione 6.4.0](#).

PRIMA PARTE: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità

[LEZIONE 01: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità \(04/03/2024\)](#)

Contenuti del corso

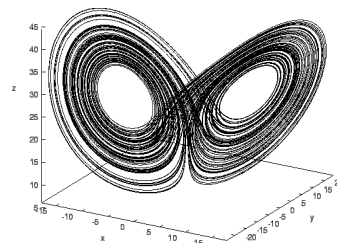
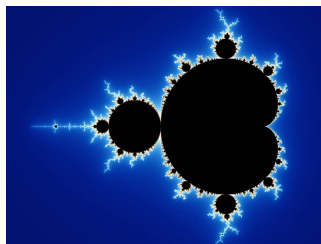
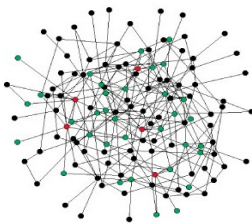
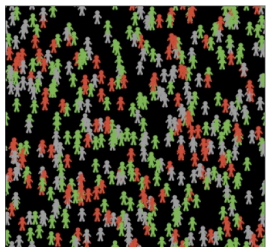
Introduzione alla nuova scienza della complessità. Sistemi non lineari, criticità auto-organizzata, reti complesse, fenomeni emergenti, automi cellulari, sincronizzazione, sociofisica ed econofisica, ***PARTE IN COMUNE CON I DOTTORANDI***



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.

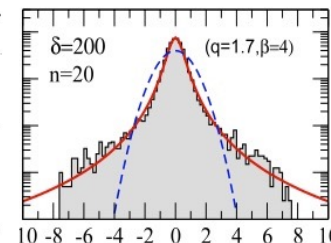
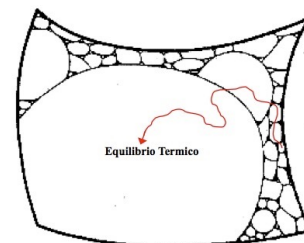
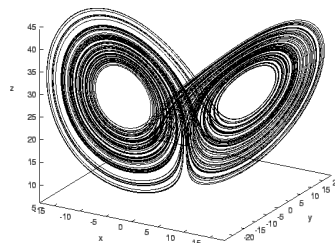
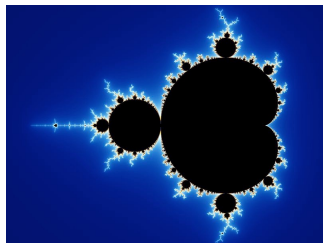
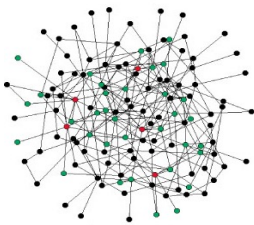


Contenuti del corso

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**

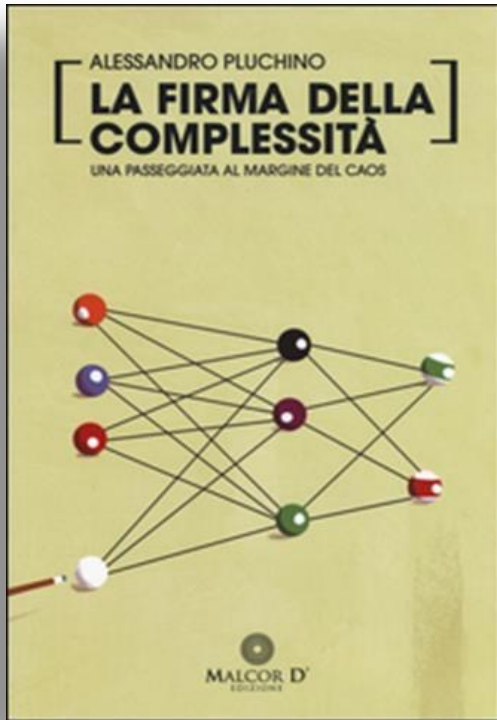
Sistemi a pochi gradi di libertà. Sistemi dinamici dissipativi, continui (flussi) e discreti (mappe), ad una e due dimensioni. Attrattori a punto fisso e ciclo limite. Biforcazioni. Flussi a tre dimensioni. Rotte verso il caos. Esponenti di Lyapunov. Dimensione frattale. Sistemi Hamiltoniani in una e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

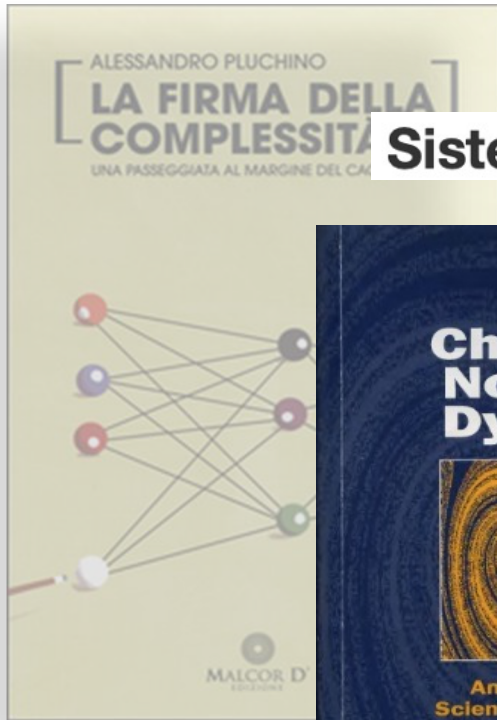


TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI

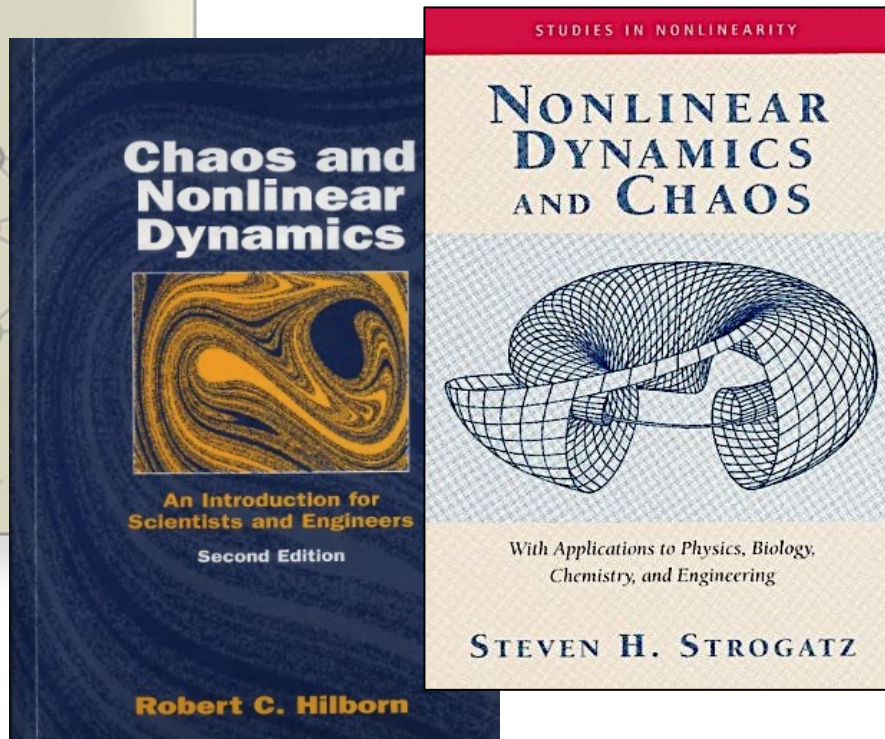
Introduzione alla nuova scienza della complessità.



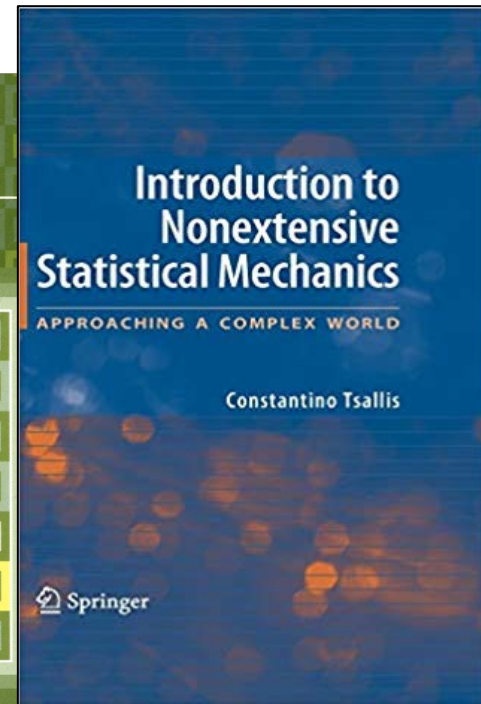
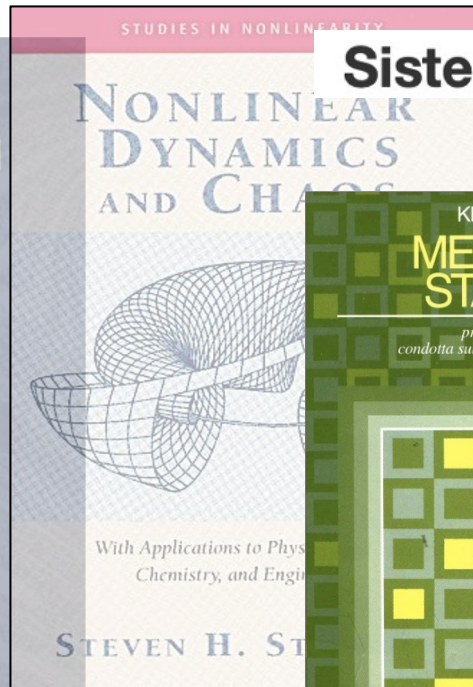
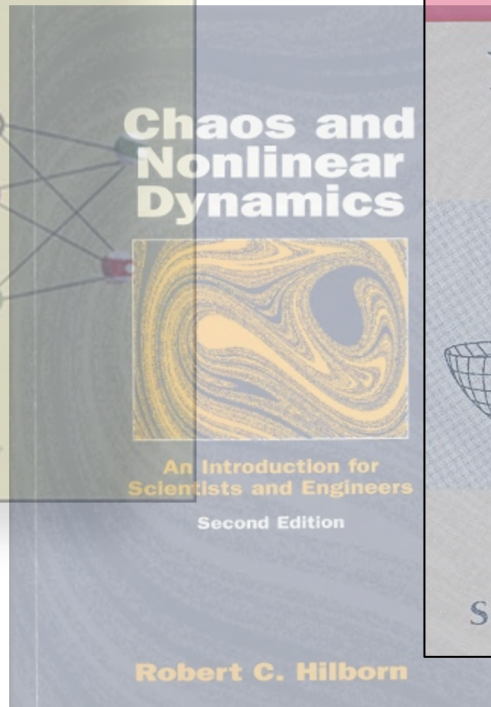
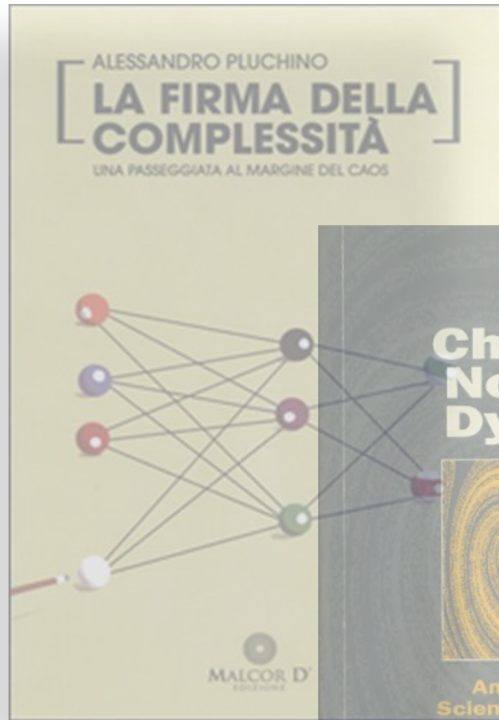
TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



Sistemi a pochi gradi di libertà.



TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



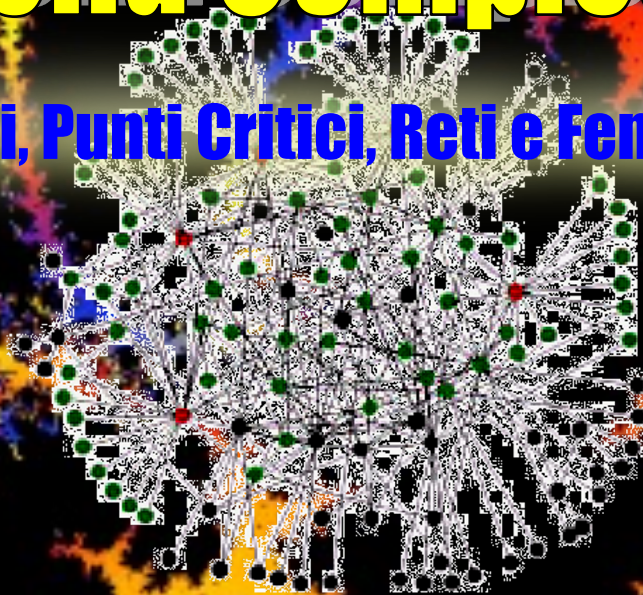
Sistemi a molti gradi di libertà.

ESAME FINALE

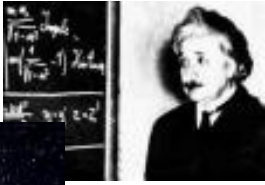


Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti



**Direzioni delle
Scienze Fisiche
dal XVI secolo**

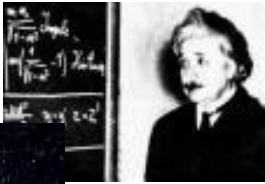


**verso l'infinitamente
grande**

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

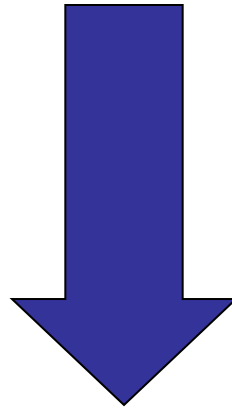


Direzioni delle Scienze Fisiche dal XVI secolo



verso l'infinitamente grande

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



verso l'infinitamente piccolo

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

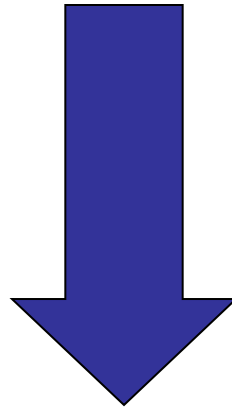
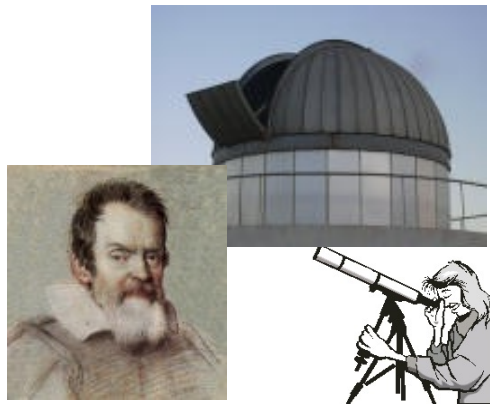


Direzioni delle Scienze Fisiche dal XVI secolo



verso l'infinitamente grande

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



verso l'infinitamente piccolo

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



Dalla seconda metà del XX secolo



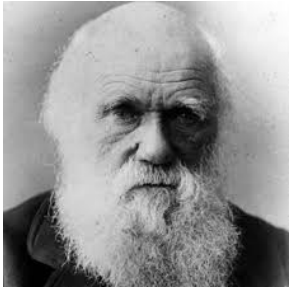
verso l'infinitamente complesso



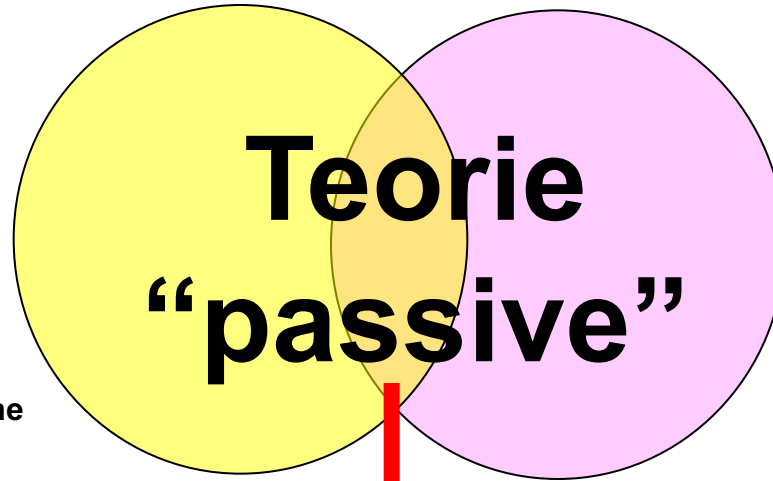


il Computer!

**...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**

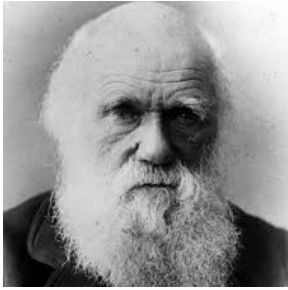


Predizioni

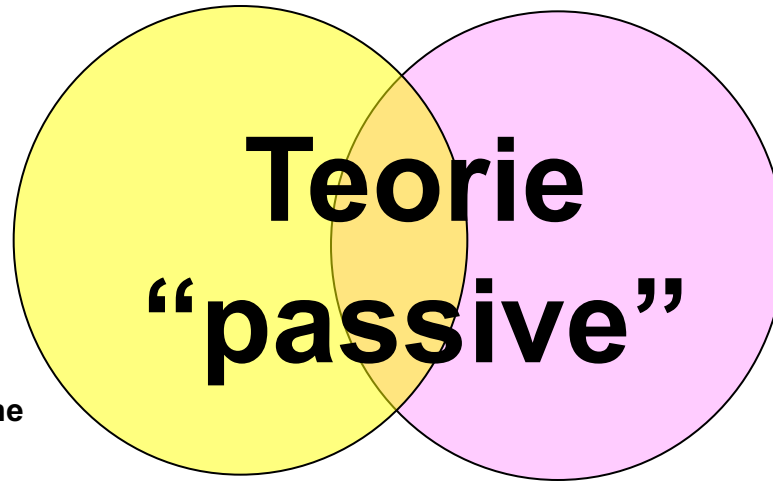


**Verifica
Sperimentale (VERIFICA
ESTERNA)**





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

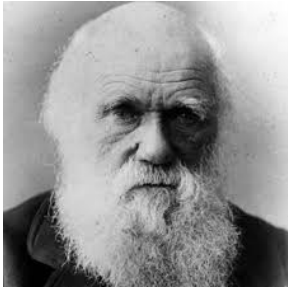


Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

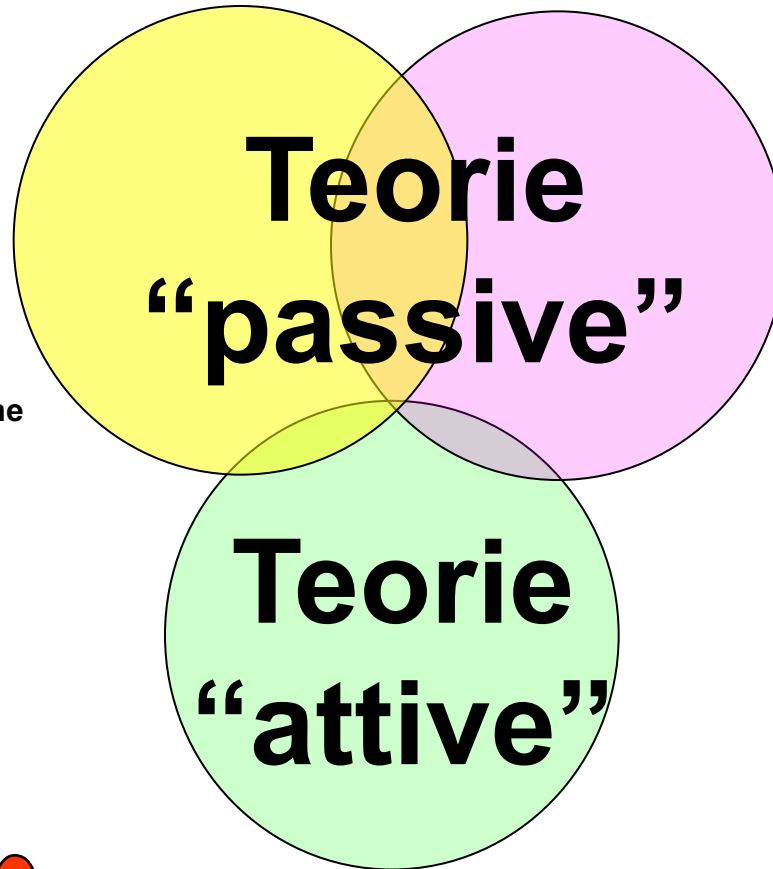
~~Soluzioni analitiche
in forma chiusa~~



**Teorie
Scientifiche**



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



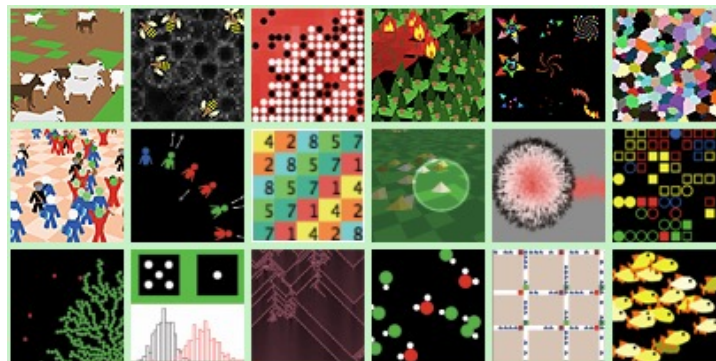
Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

~~Soluzioni analitiche
in forma chiusa~~

Teorie

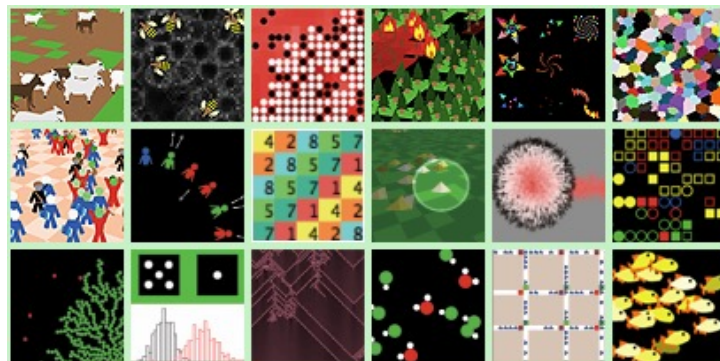
Scientifiche

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



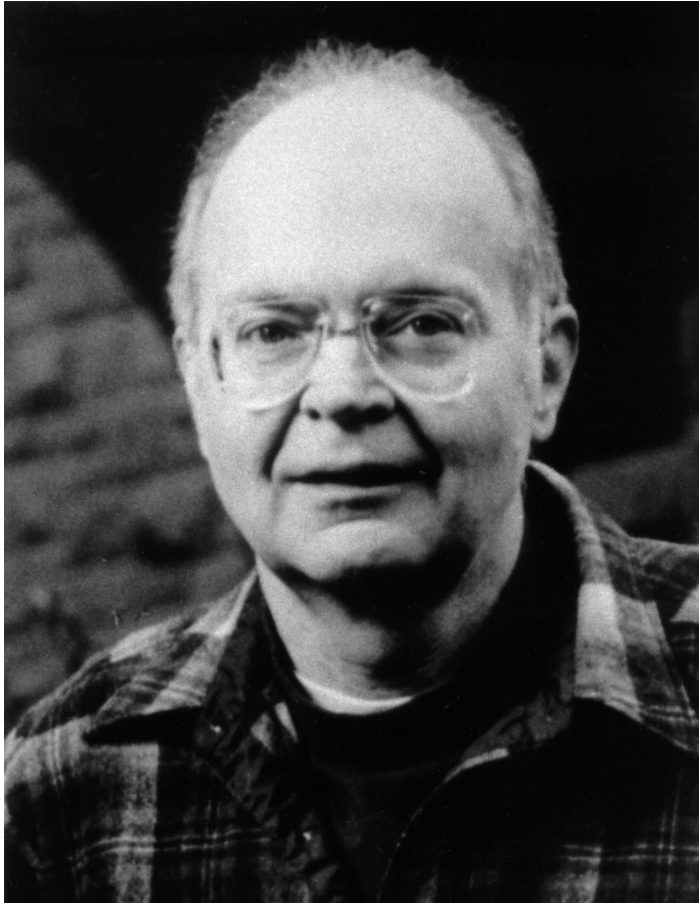
Calibrazione
e confronto



**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



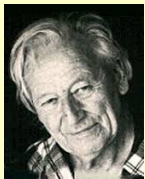
anni
Cinquanta-
Sessanta

Cibernetica e Teoria dei Sistemi

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



N. Wiener

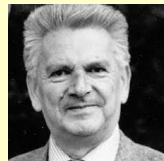


G. Bateson

anni
Sessanta-
Settanta

Teoria delle Catastrofi

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



R. Thom

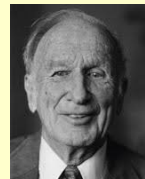


I. Prigogine

anni
Settanta-
Ottanta

Teoria del Caos

Imprevedibilità, autosimilarità, non-linearità, sensibilità alle condizioni iniziali, «effetto farfalla», geometria frattale



E. Lorenz



B. Mandelbrot

anni
Novanta-
>2000

Teoria della Complessità

Sistemi dinamici lontani dall'equilibrio, meccanica statistica non-estensiva, sincronizzazione, criticità auto-organizzata, 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:

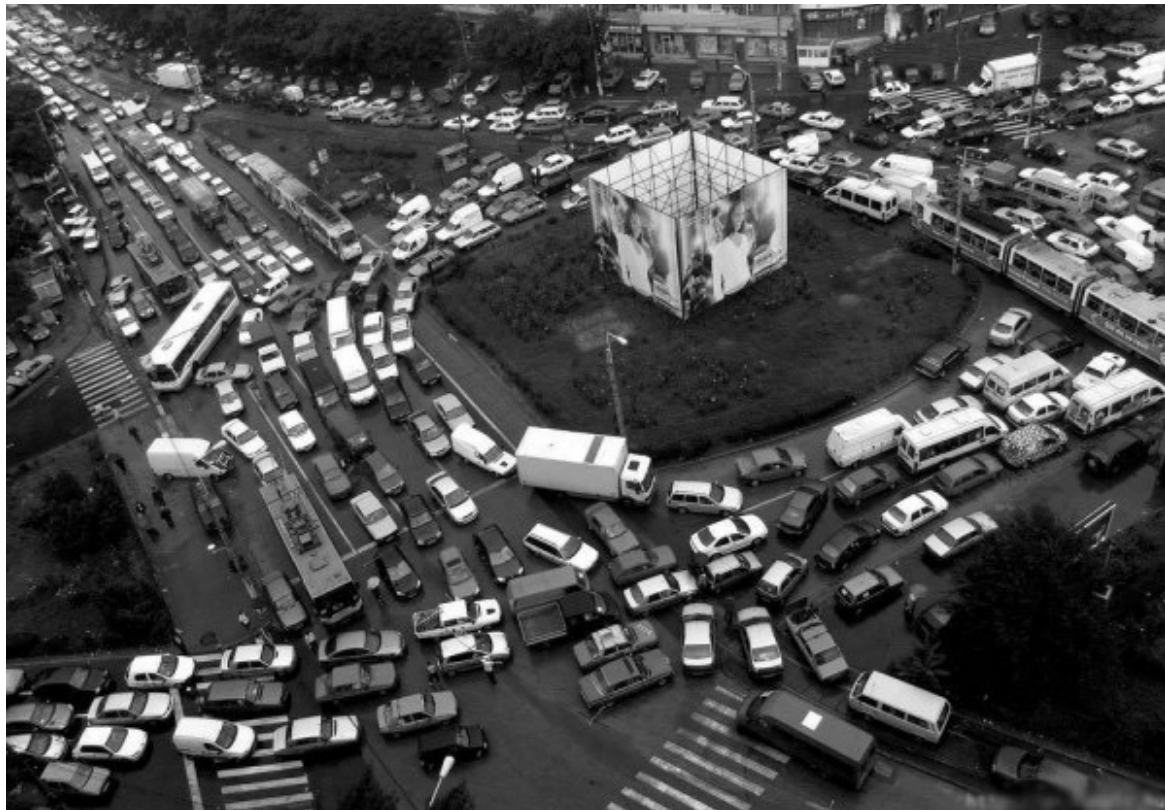
- (1) gli effetti sono proporzionali alle cause
- (2) vale il principio di sovrapposizione, secondo cui l'effetto complessivo prodotto da tutte le cause è uguale alla somma degli effetti prodotti da ogni singola causa (in altre parole, «il tutto è uguale alla somma della parti»).



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

Se però mettete assieme **cento, mille 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 **cento, mille 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...

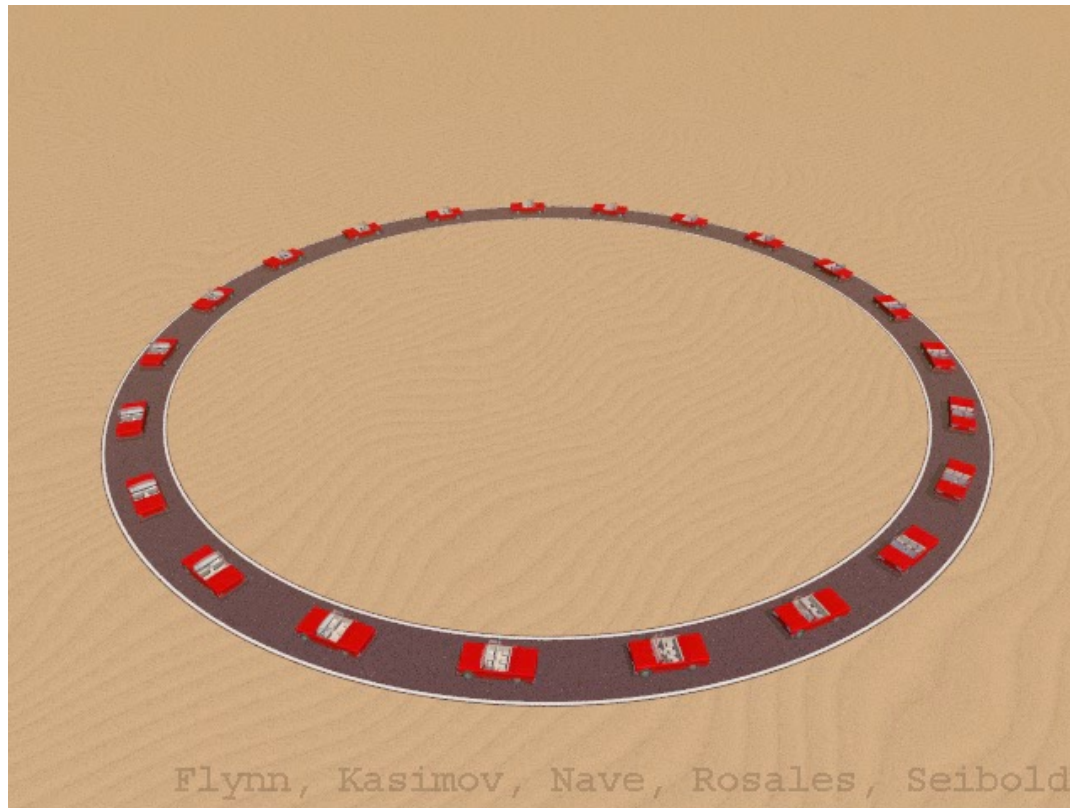


Un sistema del genere è estremamente **imprevedibile**, presenta forti correlazioni interne ed è sensibile alla sua storia passata: in una parola, è un sistema **complesso!**

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

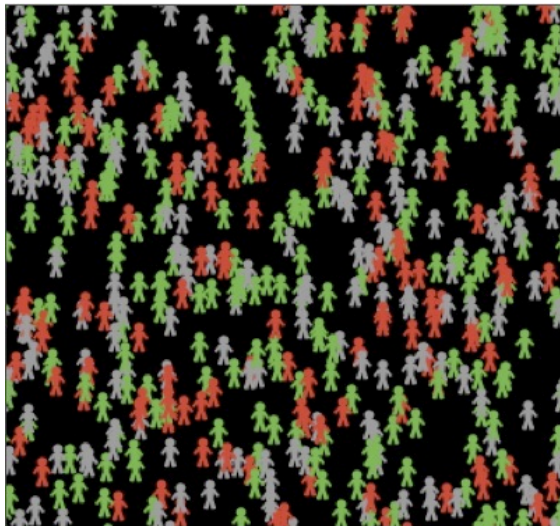
Se però mettete assieme **cento, mille automobili** in competizione all'interno di un ambiente confinato (la rete stradale di una città), ecco che il sistema diventa **non lineare**:

- (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...

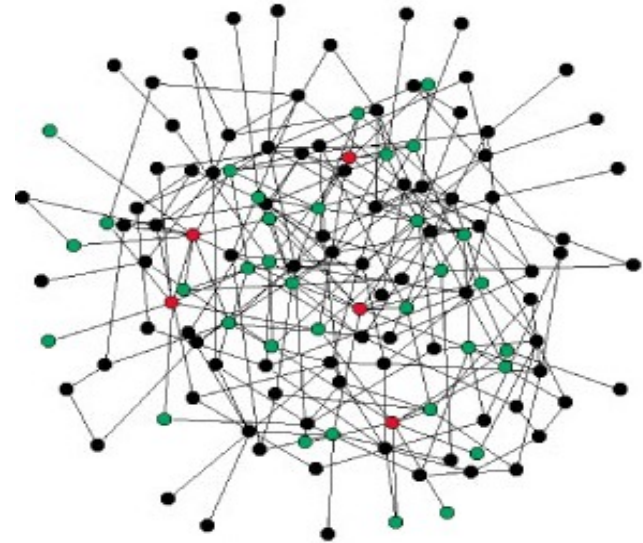


Due possibili descrizioni di un sistema complesso

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:

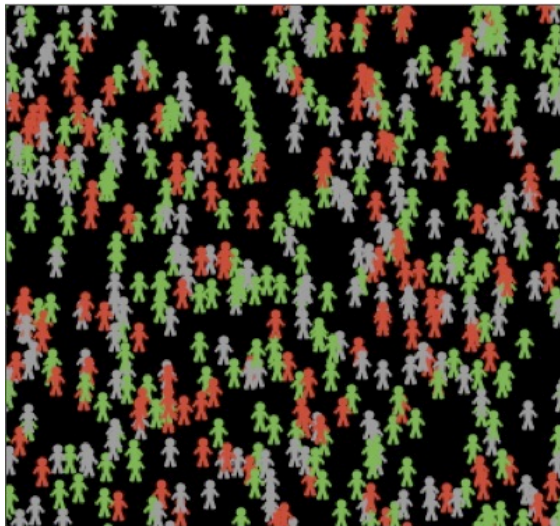


Da un punto di vista topologico (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una rete (network) costituita da un certo numero di nodi (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra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



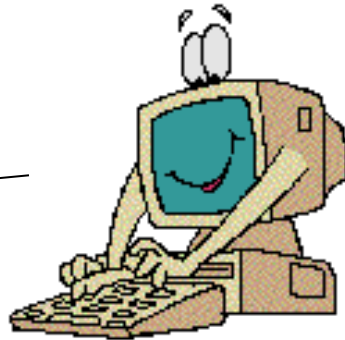
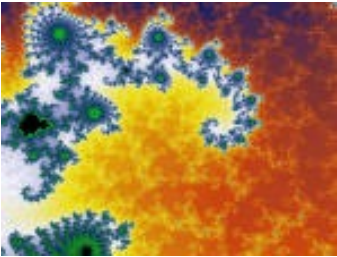
Da un punto di vista topologico (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una rete (network) costituita da un certo numero di nodi (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra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



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...



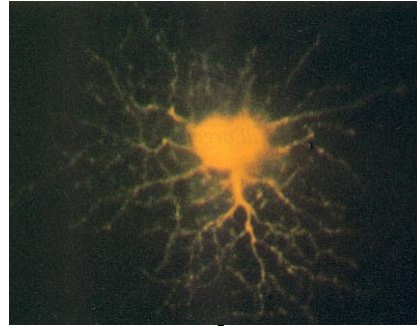
Autosimilarità e Invarianza di Scala



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Autosimilarità in natura

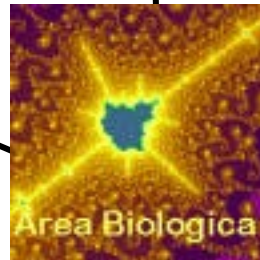
neuroni



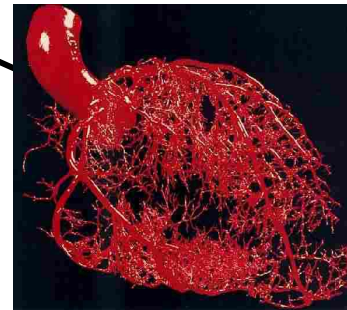
cavolfiore



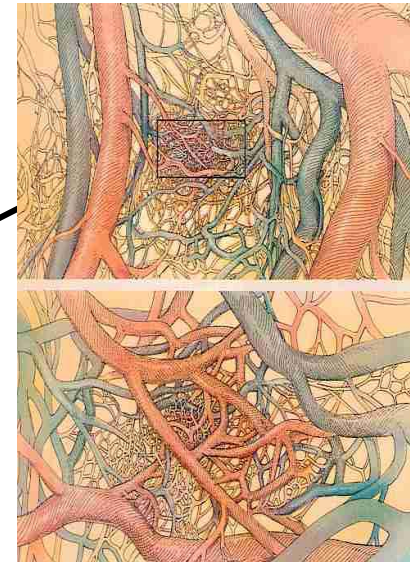
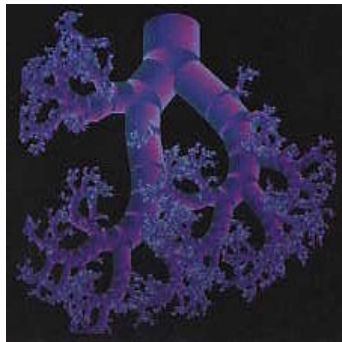
foglie



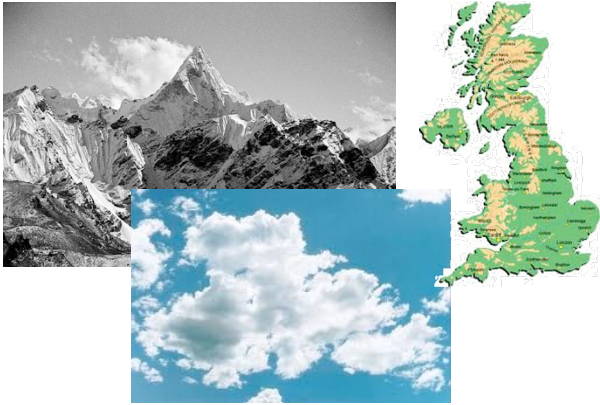
cuore



bronchi

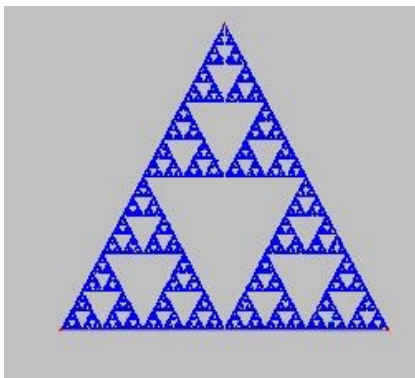


Autosimilarità in matematica: i Frattali



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.



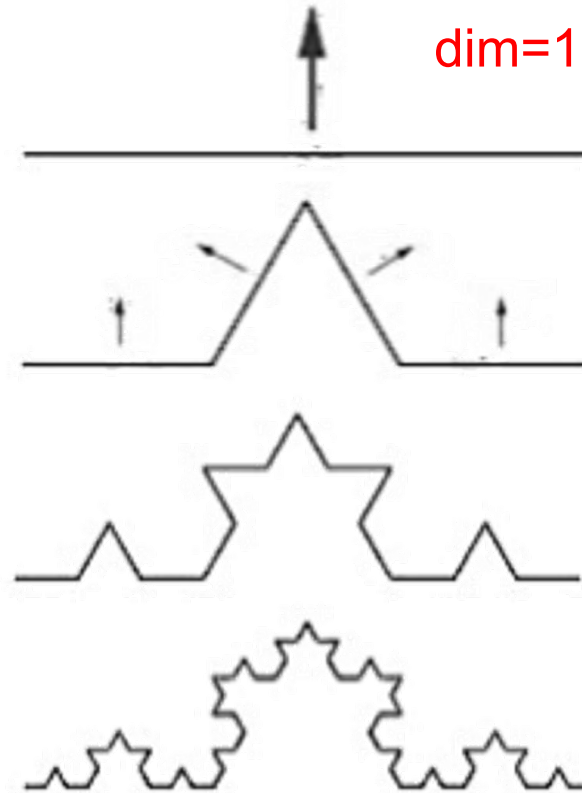
Un **frattale** è un oggetto geometrico che si ripete nella sua struttura allo stesso modo su scale diverse, ovvero che non cambia aspetto anche se visto con una lente d'ingrandimento. In altre parole è un oggetto dotato delle proprietà di **auto-similarità e invarianza di scala**. Ma ha anche la strana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

Come si genera l'autosimilarità...

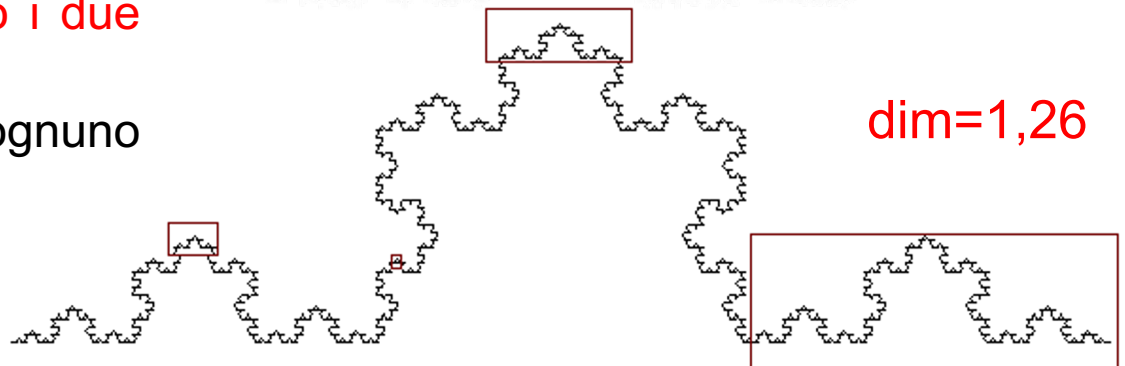
La curva di Koch

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.



dim=1



dim=1,26

L'insieme di Mandelbrot

. $P_0 \rightarrow$ successione
divergente

$$P_0 = x + i y$$

$$Z_0 = 0$$

$$Z_1 = Z_0^2 + P_0$$

$$Z_2 = Z_1^2 + P_0$$

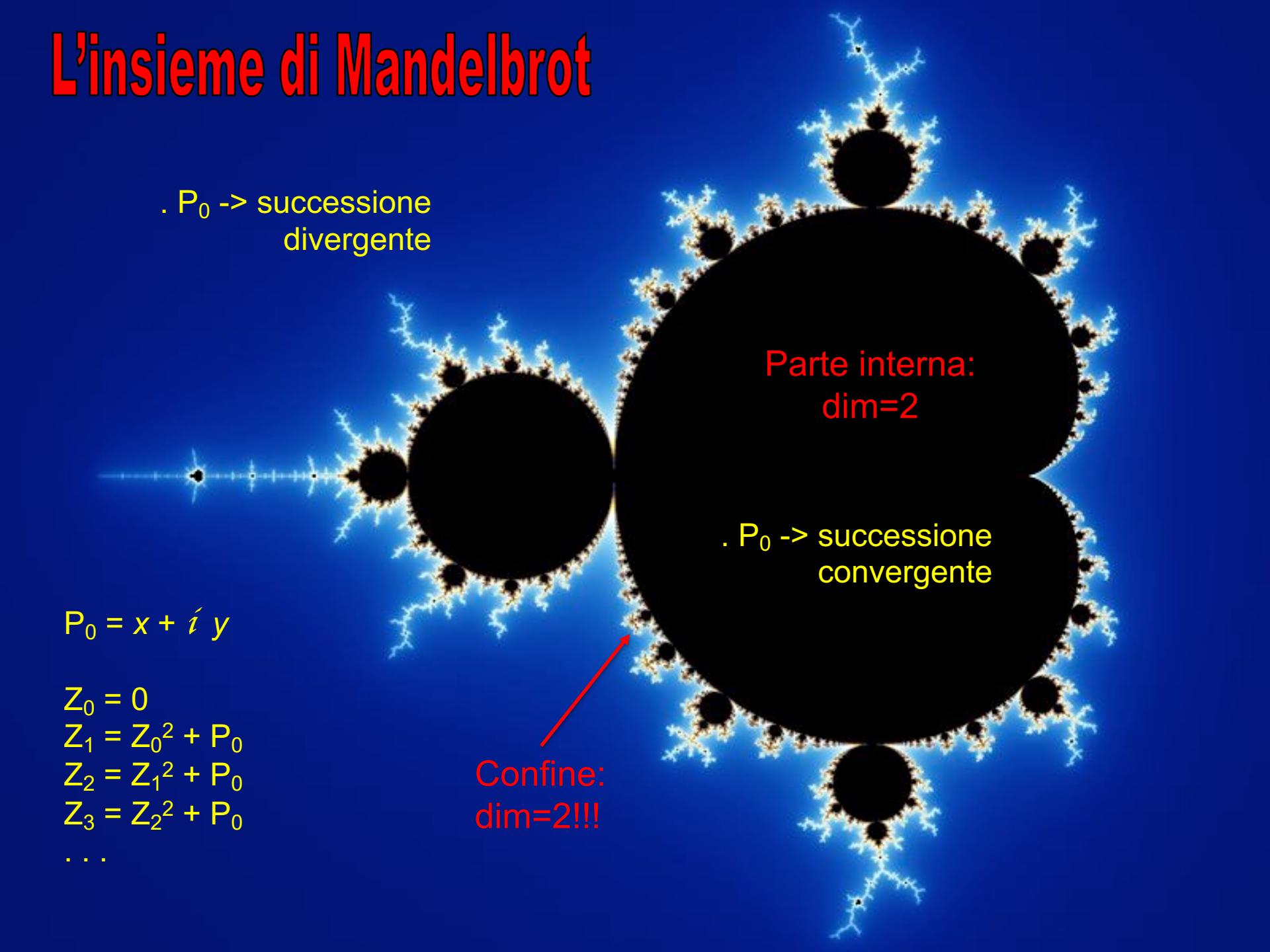
$$Z_3 = Z_2^2 + P_0$$

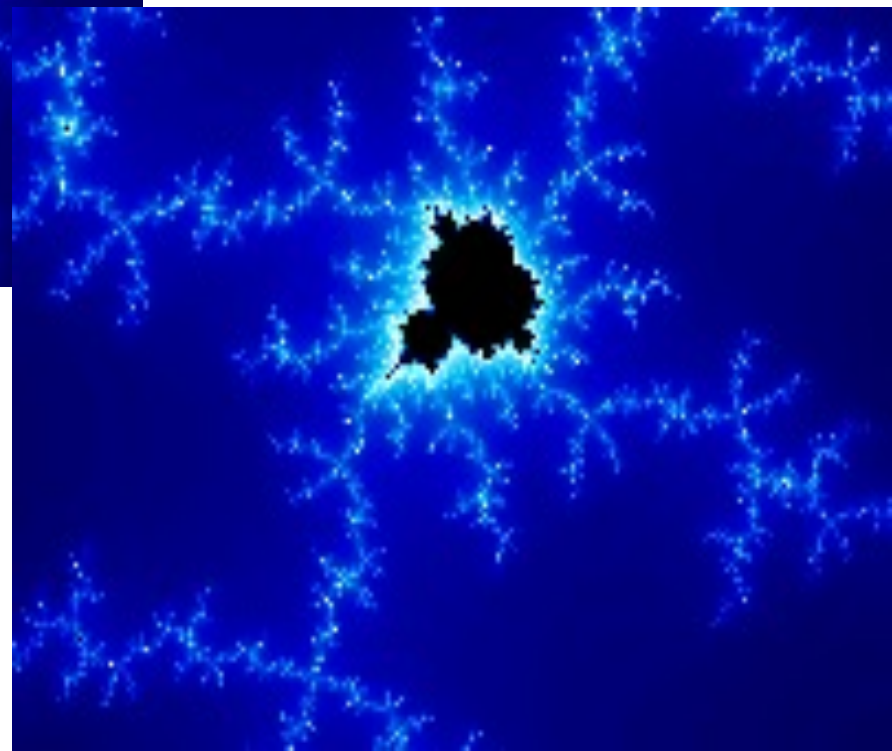
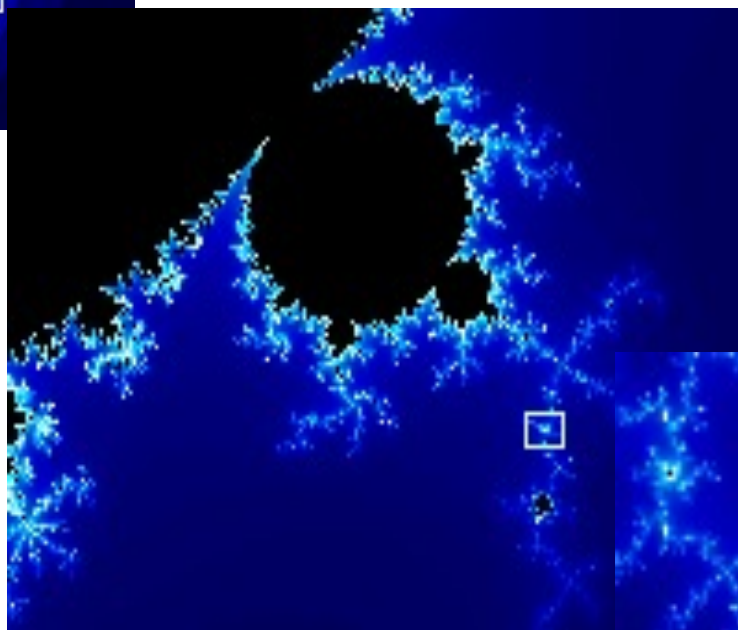
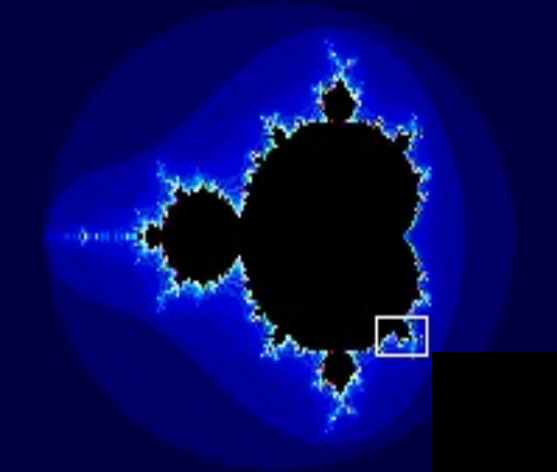
...

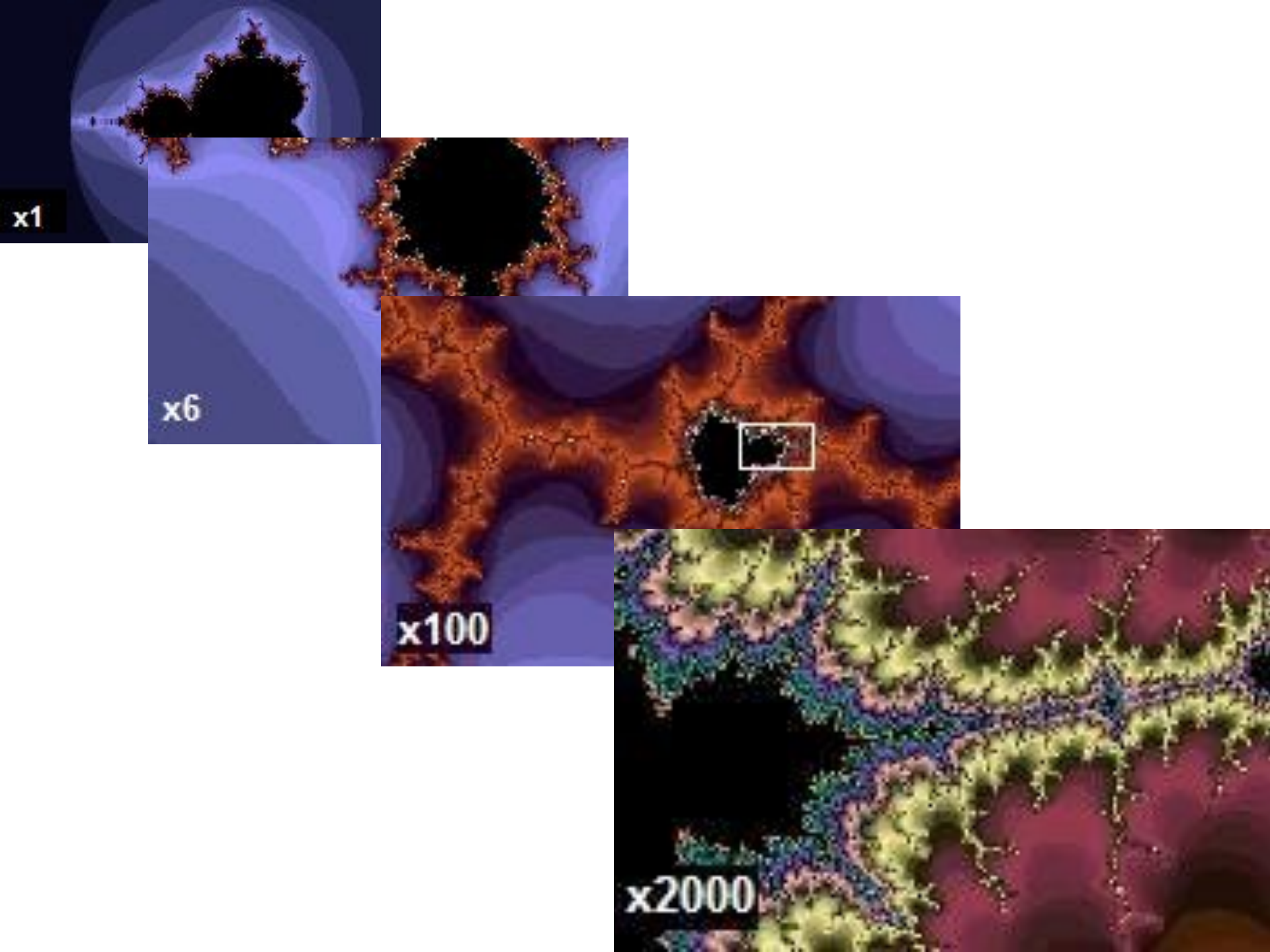
Parte interna:
dim=2

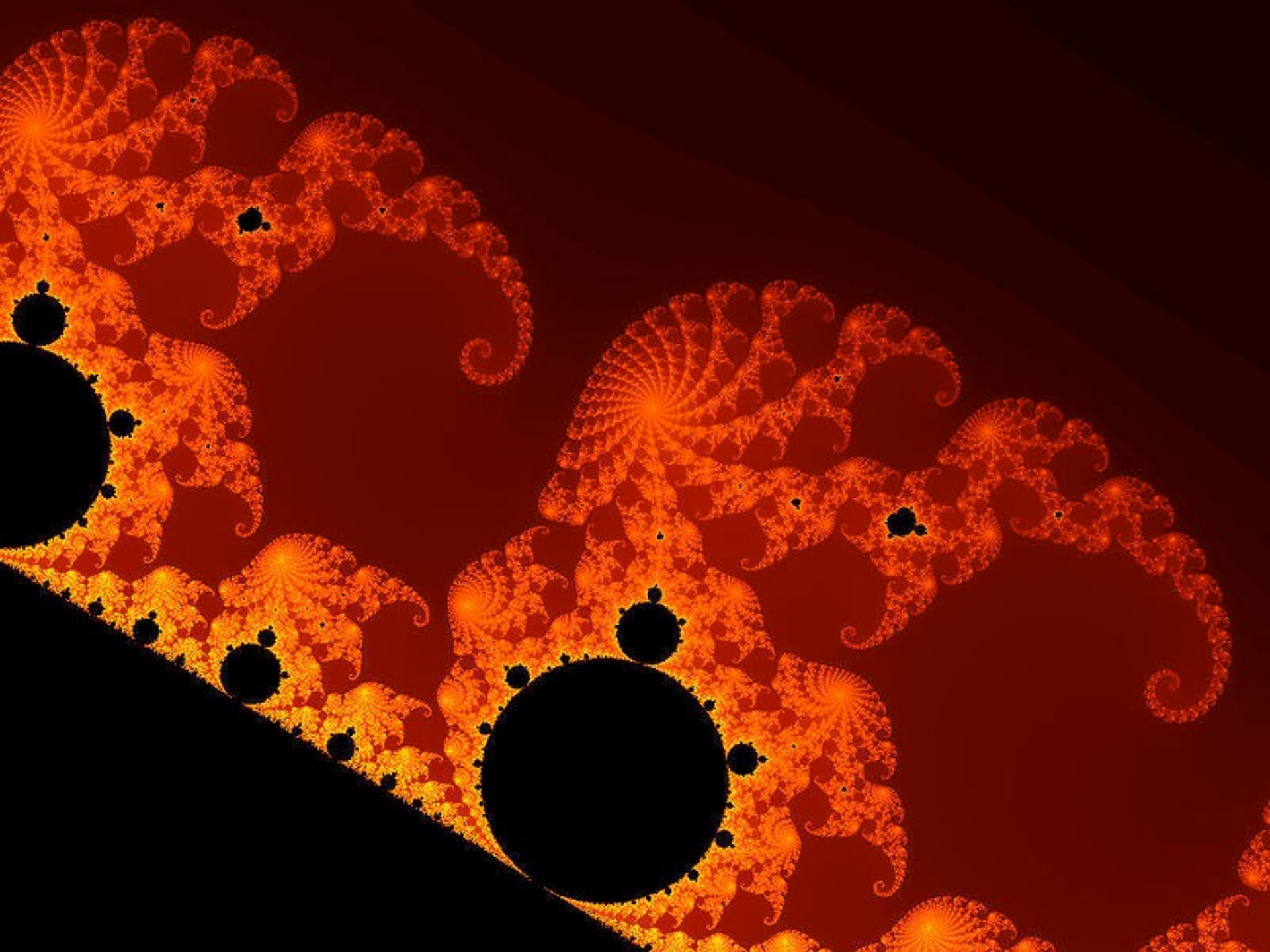
. $P_0 \rightarrow$ successione
convergente

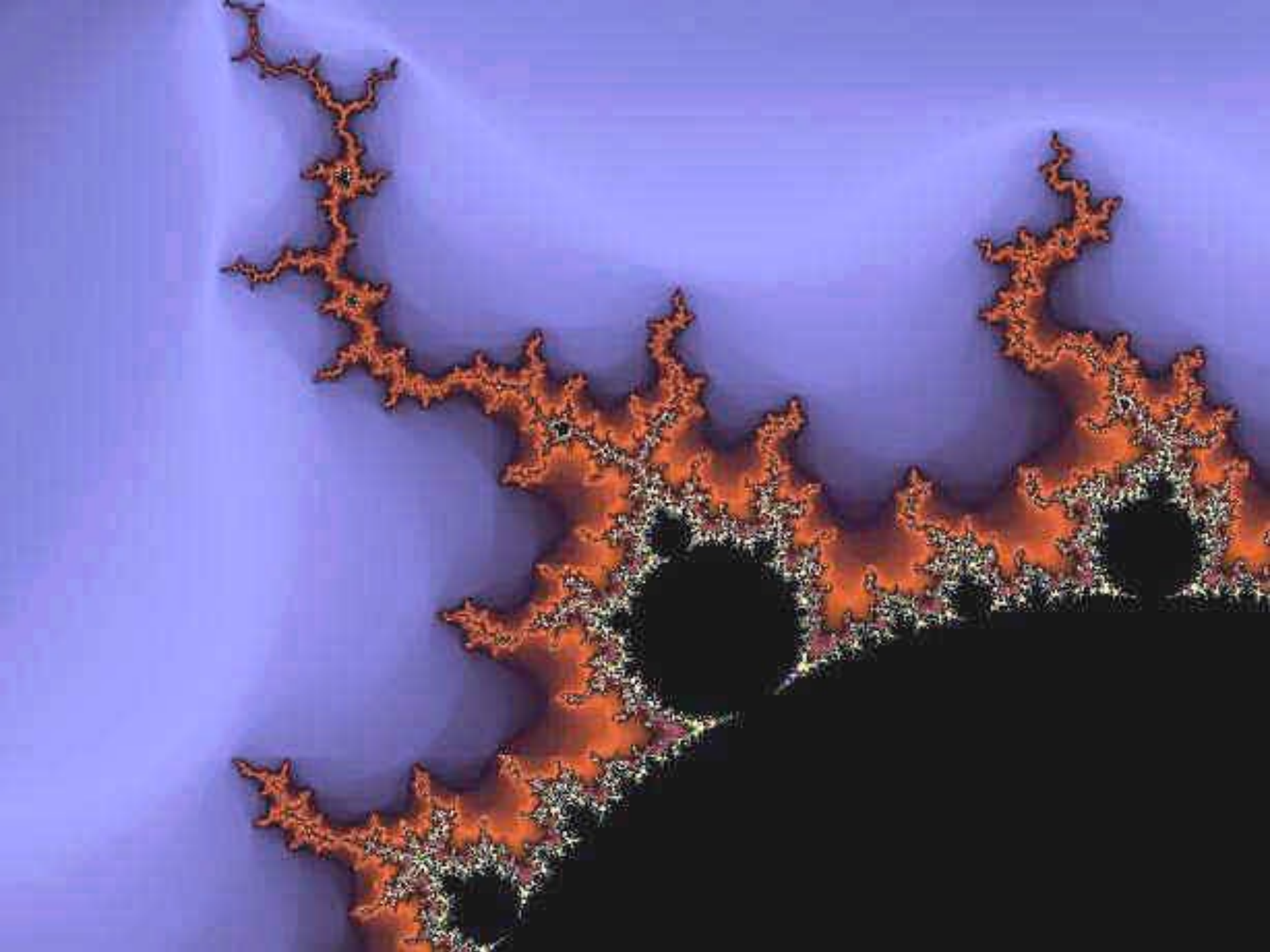
Confine:
dim=2!!!

The image shows the Mandelbrot set, a complex fractal structure. It consists of a large central black region with a highly detailed, jagged, and self-similar boundary. The boundary is composed of many smaller, similar black shapes, each with its own intricate, fractal-like edge. The entire set is set against a dark blue background. A red arrow points from the text 'Confine: dim=2!!!' to the boundary of the set. Other text annotations describe the interior and the parameter space.











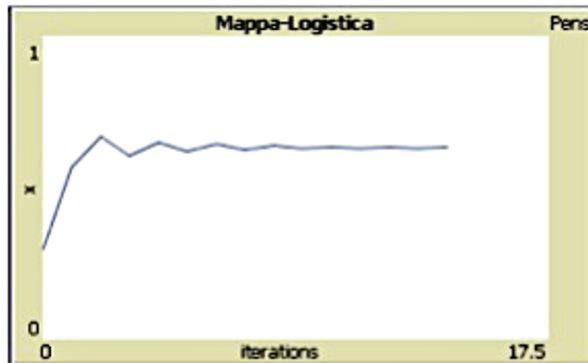


Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

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

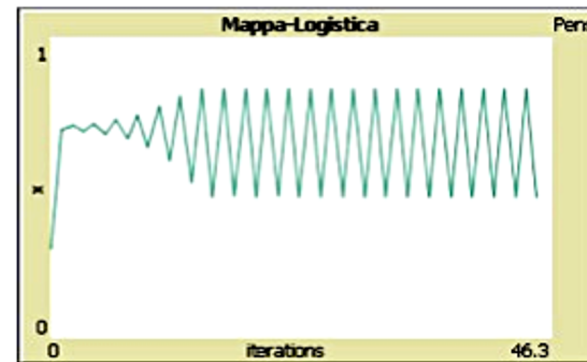
Attrattori a punto fisso

$$0 < A < 3$$



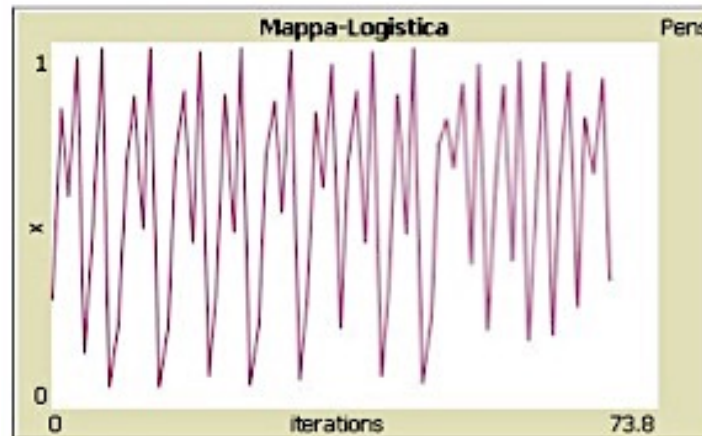
Attrattori a ciclo limite

$$3 < A < 3.56994$$



Attrattore caotico (caos deterministico!)

$$3.56994 < A < 4$$



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

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

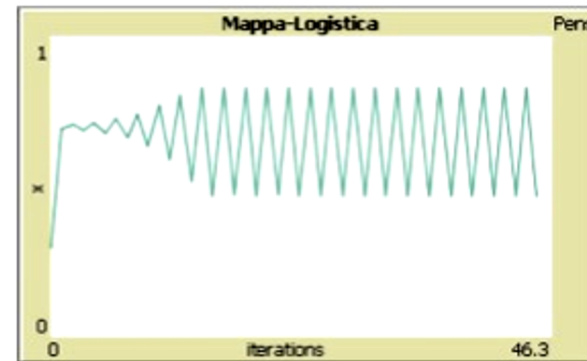
Attrattori a punto fisso

$$0 < A < 3$$



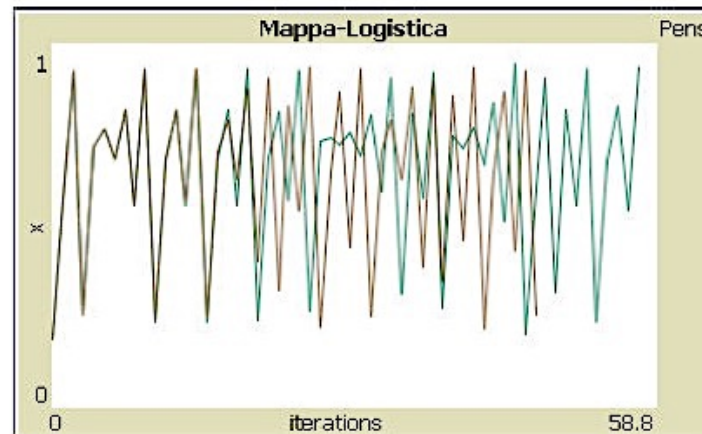
Attrattori a ciclo limite

$$3 < A < 3.56994$$



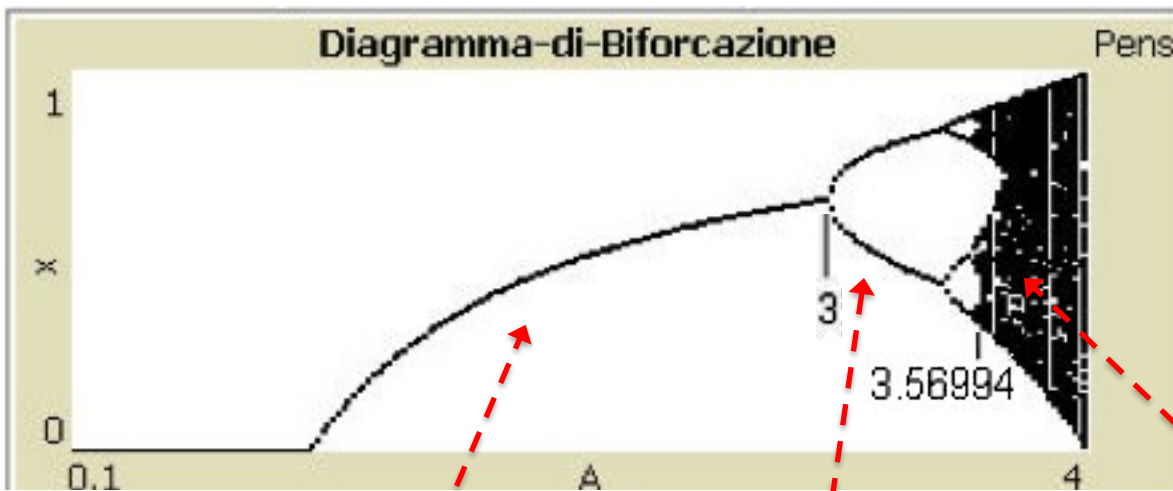
Attrattore caotico (caos deterministico!)

$$3.56994 < A < 4$$



**SENSIBILITA' ALLE
CONDIZIONI INIZIALI!**

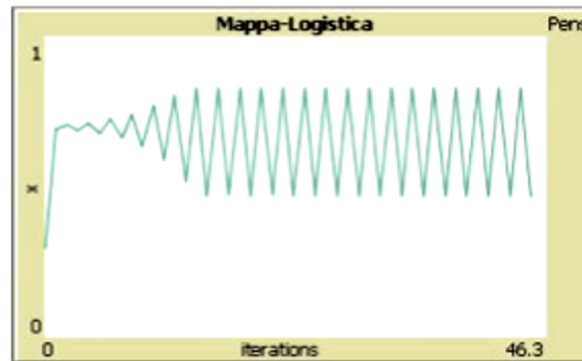
Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)



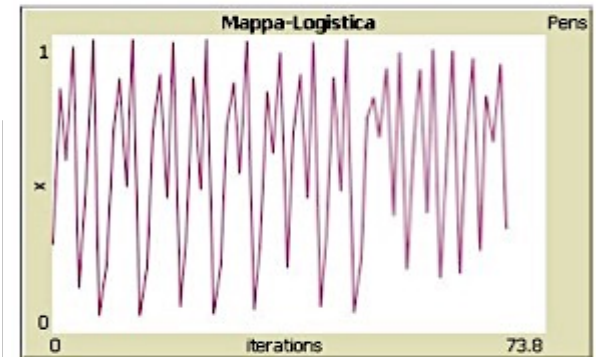
Attrattori a punto fisso
 $0 < A < 3$



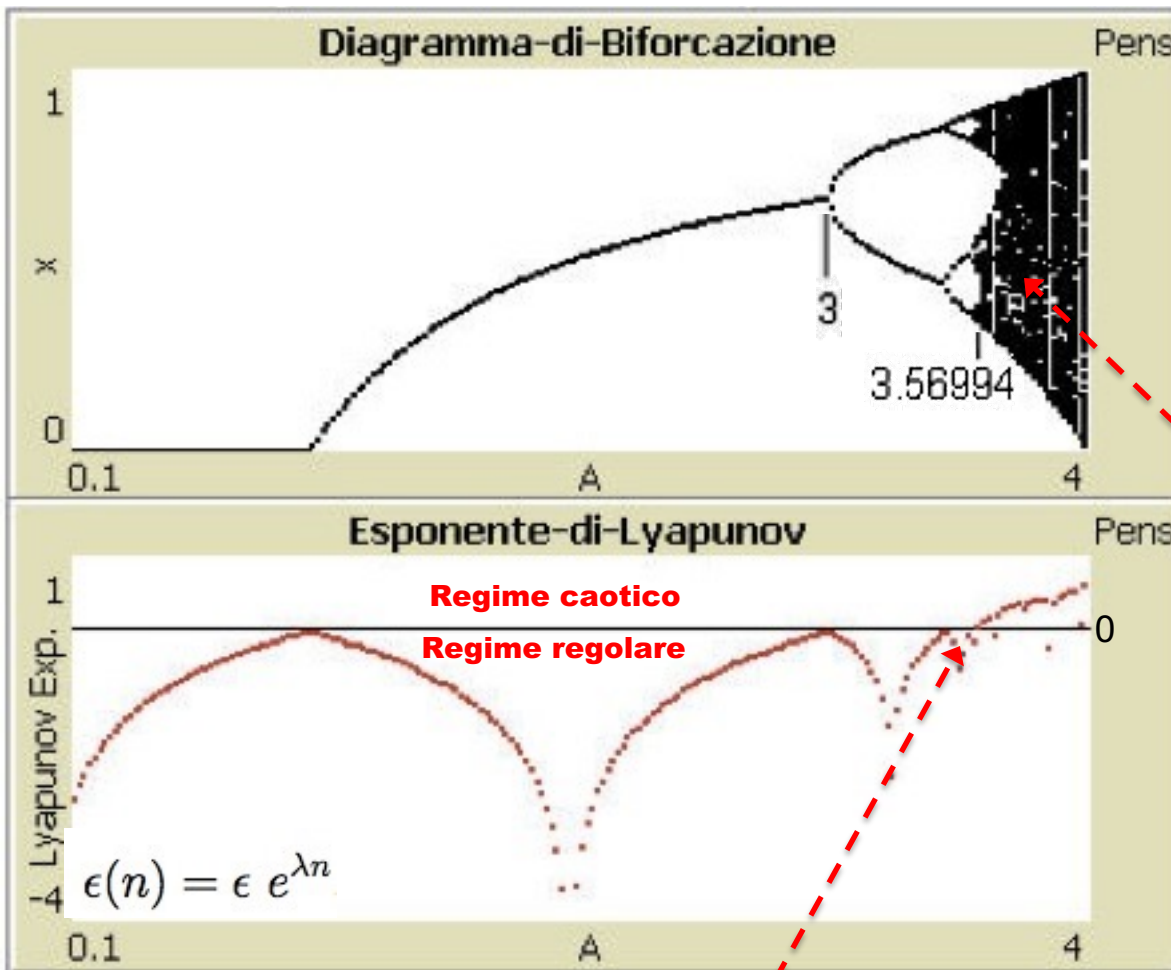
Attrattori a ciclo limite
 $3 < A < 3.56994$



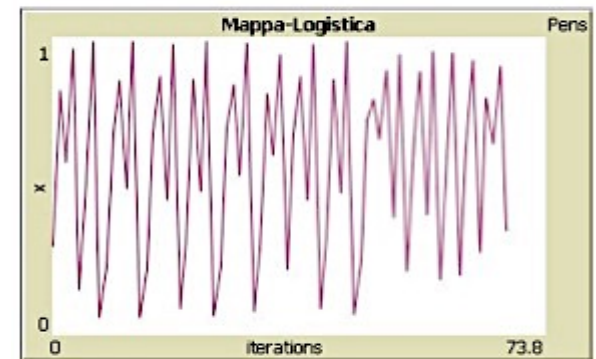
Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$



Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

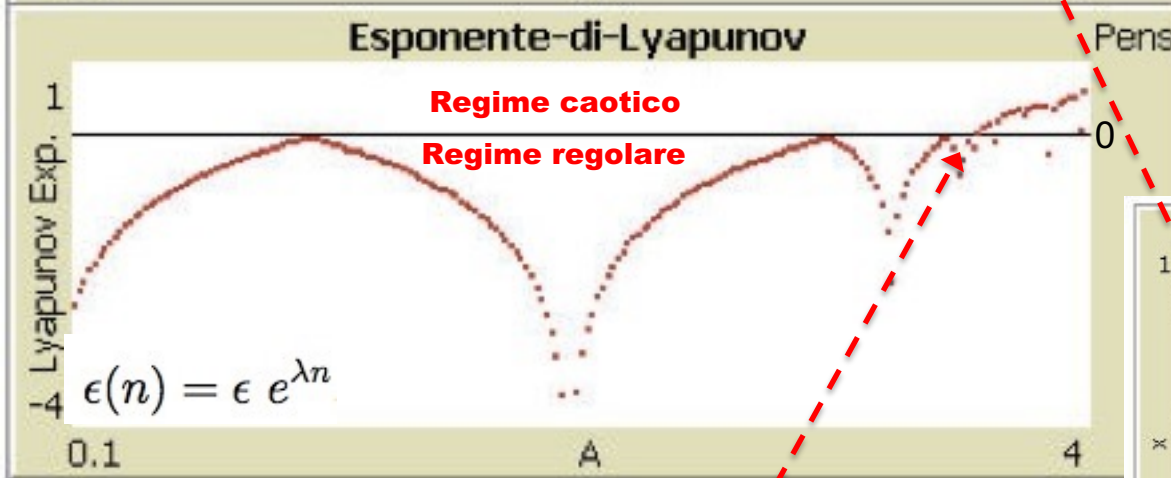
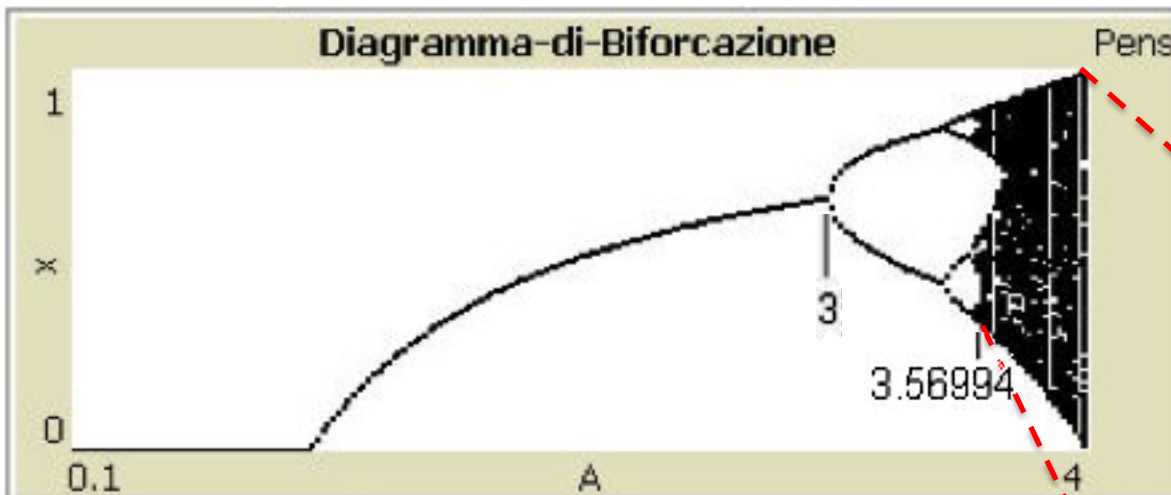


Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$

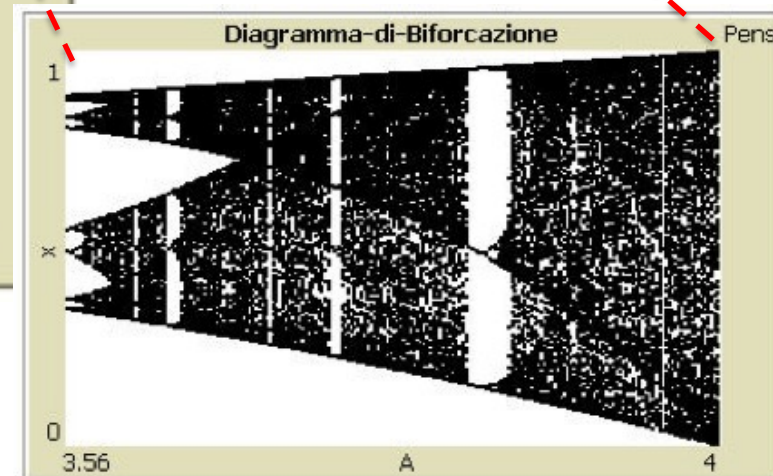


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

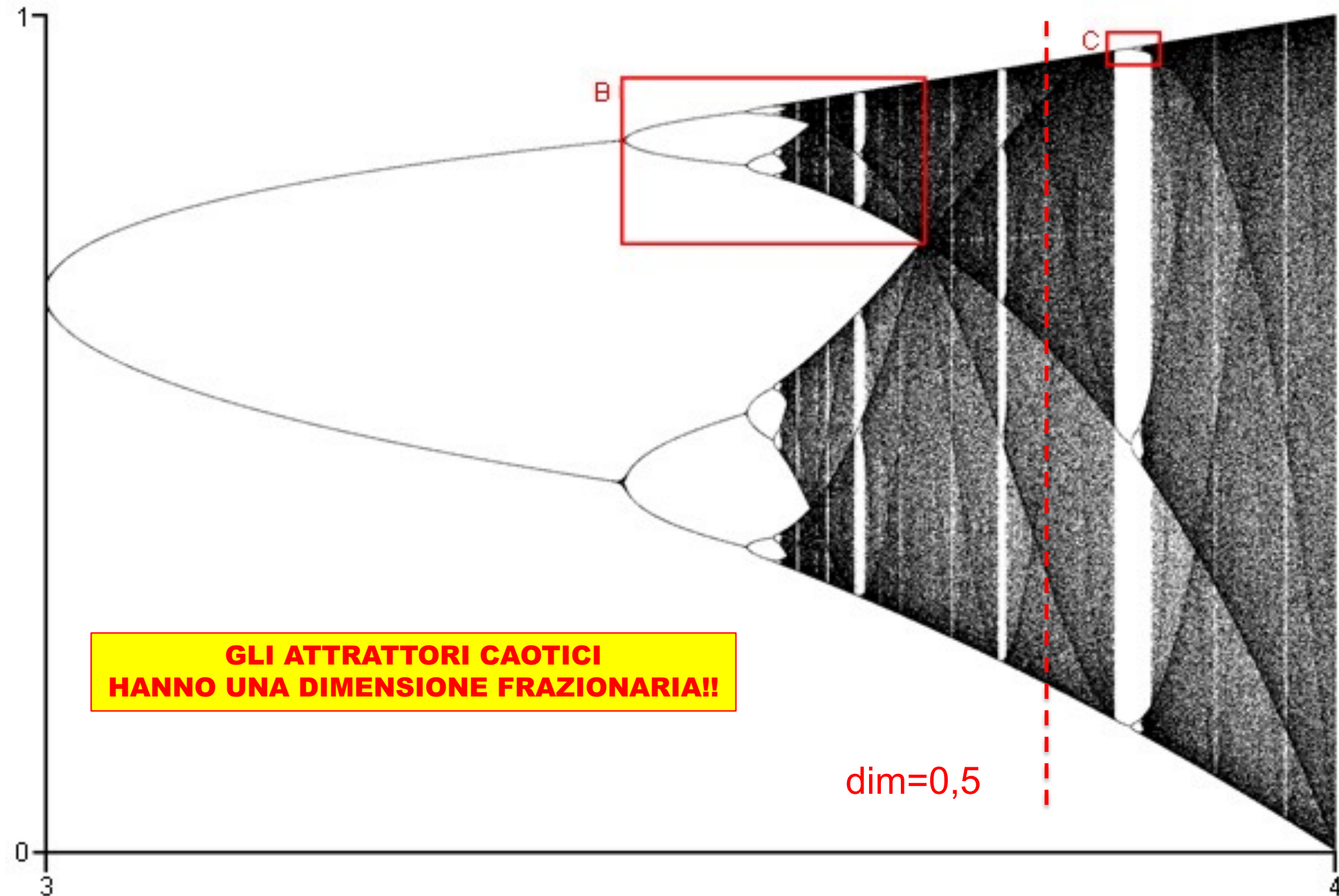


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$

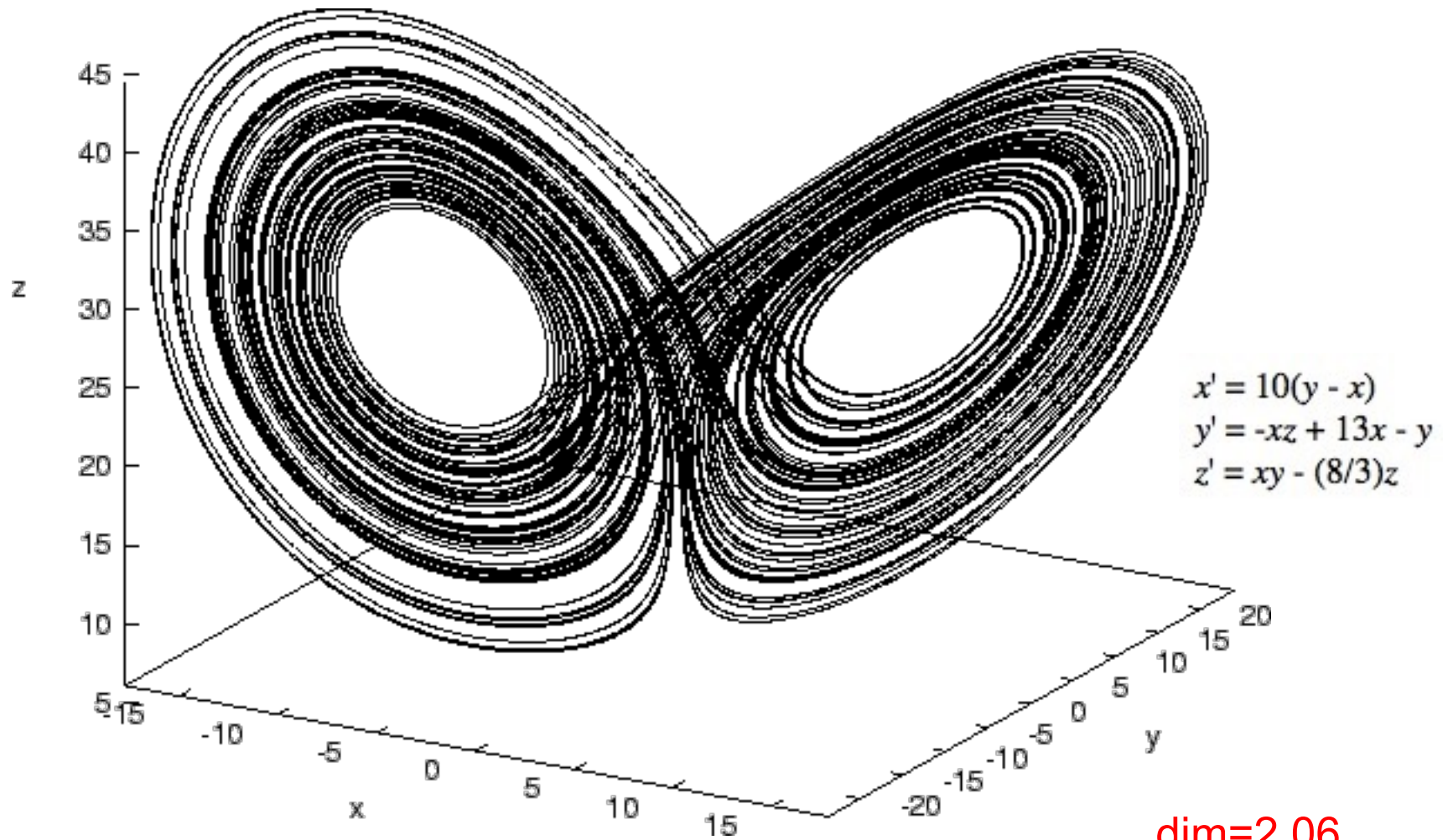


AUTOSIMILARITA'!

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica



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



Autosimilarità e Attrattori : il Pendolo Caotico

