



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



Welcome to the

Alessandro Pluchino HOME PAGE

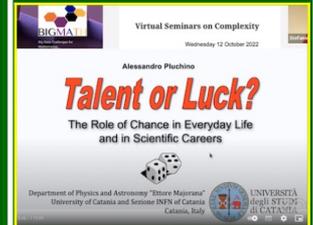
Associate Professor of Theoretical Physics
Computational and Mathematical Models

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

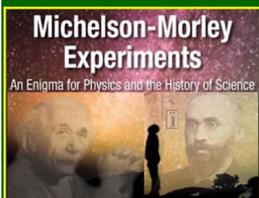
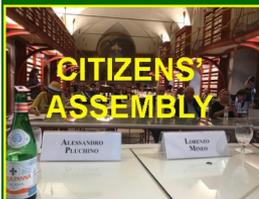


PIANO NAZIONALE LAUREE SCIENTIFICHE
FISICA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

Events-Talks



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. 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 XXXVIII CICLO che lezioni del corso "Agent Based Models: Simulating Complex Systems" per il 2023 si terranno a partire dal 6 Marzo.

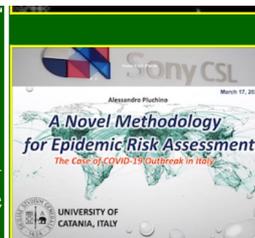
- Per qualsiasi richiesta di informazioni i dottorandi sono pregati di contattarmi via email.

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

- Si avvisano gli studenti del corso di "Dinamic Systems, Chaos and Complexity" che gli appelli d'esame sono disponibili sul portale per la prenotazione. Su richiesta, sono concessi prolungamenti.

- Le lezioni del corso 2022-2023 si terranno a partire dal 6 Marzo, ogni lunedì e martedì dalle 9.00 alle 11.00 in aula I del DFA.

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





📣 AVVISI

🕒 ORARIO DELLE LEZIONI

👥 DOCENTI

📖 PROGRAMMI

📅 CALENDARIO ESAMI

🎓 LAUREE

STUDIA CON NOI

Regolamento didattico

Piano didattico programmato

Piano didattico erogato

Requisiti di ammissione

Come iscriversi

Valutazione degli studenti

Docenti tutor

Studenti tutor

Piani di Studio

OPPORTUNITÀ

Stage e tirocini

DYNAMIC SYSTEMS, CHAOS AND COMPLEXITY

Anno accademico 2022/2023 - Docente: **ALESSANDRO PLUCHINO**

Risultati di apprendimento attesi

Fornire agli studenti una introduzione graduale alla scienza dei sistemi complessi attraverso un percorso che, partendo dai sistemi dinamici - sia dissipativi che conservativi, sia continui che discreti - a pochi gradi di libertà, già in grado di manifestare comportamenti caotici, passi poi allo studio di sistemi a molti gradi di libertà, da affrontare per mezzo di un approccio statistico, con particolare attenzione ai fenomeni di non equilibrio, ai sistemi con interazioni a lungo raggio e a quelli al margine del caos. A questo proposito, accanto alla meccanica classica standard (di Boltzmann-Gibbs) verrà introdotta anche una delle sue più importanti generalizzazioni, la cosiddetta meccanica statistica "non estensiva" di Constantino Tsallis, particolarmente adatta alle descrizioni dei sistemi complessi in ambito fisico, biologico o socio-economico. In aggiunta alle nozioni teoriche, il corso fornirà allo studente anche nozioni di programmazione in ambiente NetLogo, software gratuito multiplatforma orientato alle simulazioni ad agenti e all'esplorazione dei sistemi dinamici a pochi e molti gradi di libertà.

In riferimento ai Descrittori di Dublino, questo corso contribuisce ad acquisire le seguenti competenze trasversali:

Conoscenza e capacità di comprensione

- Capacità di ragionamento induttivo e deduttivo.
- Capacità di schematizzare un fenomeno naturale in termini di grandezze fisiche scalari e vettoriali.
- Capacità di impostare un problema utilizzando opportune relazioni fra grandezze fisiche (di tipo algebrico, integrale o differenziale) e di risolverlo con metodi analitici o numerici.
- Capacità di effettuare l'analisi statistica dei dati.

Capacità di applicare conoscenza:

- Capacità di applicare le conoscenze acquisite per la descrizione dei fenomeni fisici utilizzando con rigore il metodo scientifico.
- Capacità di progettare semplici esperimenti ed effettuare l'analisi dei dati sperimentali ottenuti in tutte le aree di interesse della fisica, incluse quelle con implicazioni tecnologiche.



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.2022-2023

Programma 2022-2023

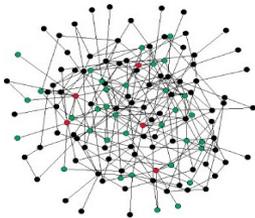
Avvertenza: per far girare i programmi NetLogo occorre scaricare e installare la versione 6.2.2.

PRIMA PARTE: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità

LEZIONE 01: Introduzione alla nuova Scienza della Complessità (06/03/2023)

Contenuti del corso

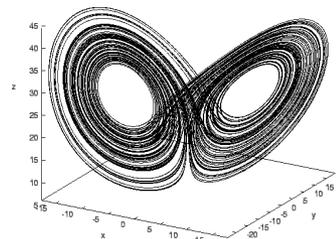
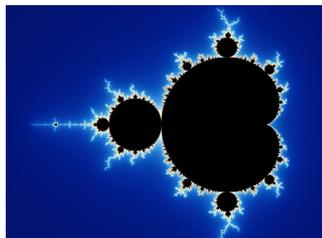
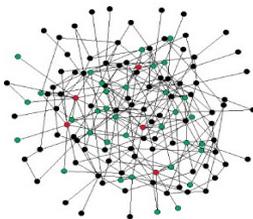
Introduzione alla nuova scienza della complessità. Sistemi non lineari, criticità auto-organizzata, reti complesse, fenomeni emergenti, automi cellulari, sincronizzazione, sociofisica ed econofisica, ***PARTE IN COMUNE CON I DOTTORANDI***



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.

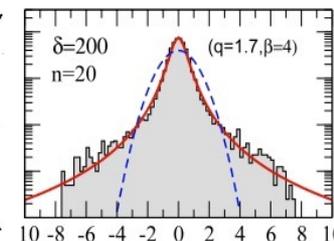
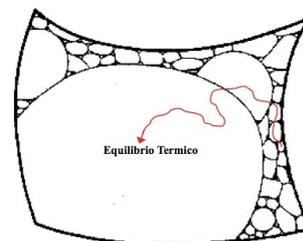
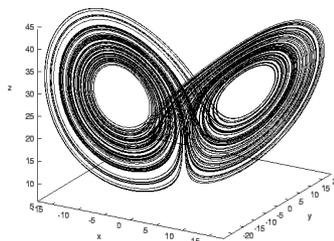
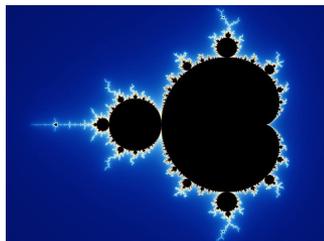
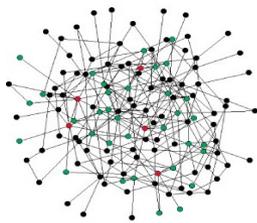


Contenuti del corso

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**

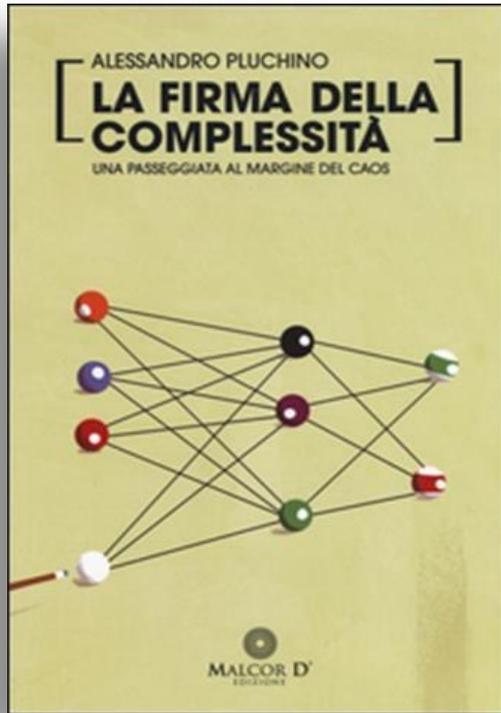
Sistemi a pochi gradi di libertà. Sistemi dinamici dissipativi, continui (flussi) e discreti (mappe), ad una e due dimensioni. Attrattori a punto fisso e ciclo limite. Biforcazioni. Flussi a tre dimensioni. Rotte verso il caos. Esponenti di Lyapunov. Dimensione frattale. Sistemi Hamiltoniani in una e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

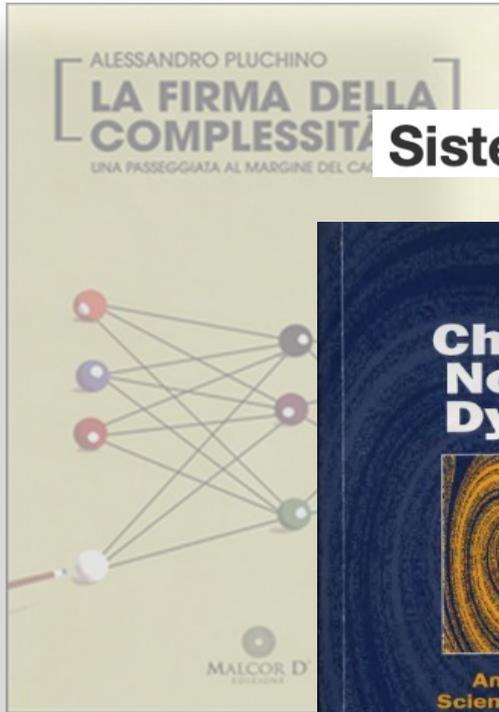


TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI

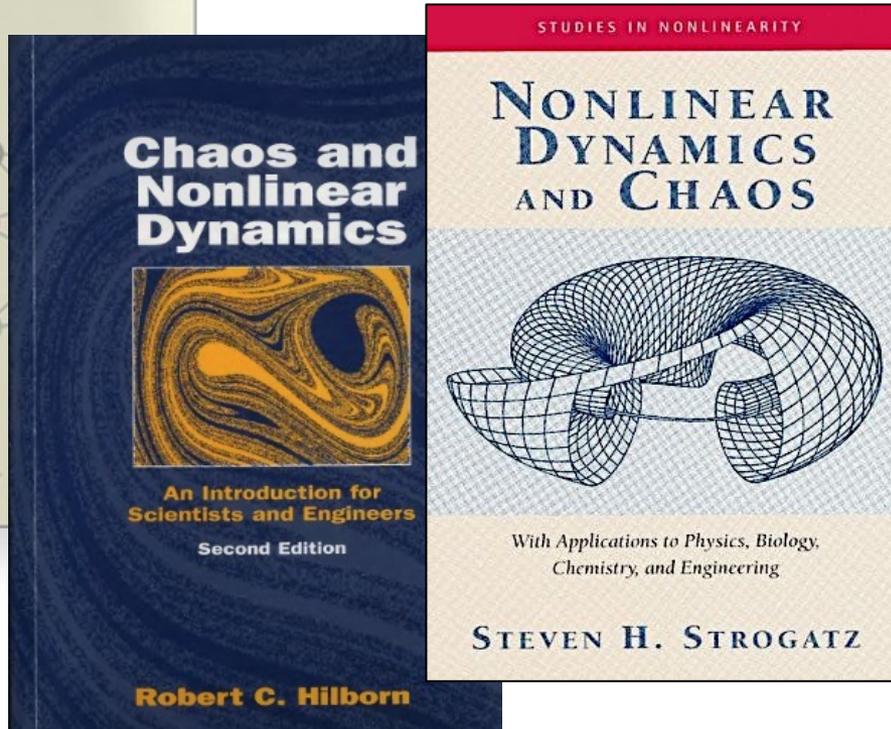
Introduzione alla nuova scienza della complessità.



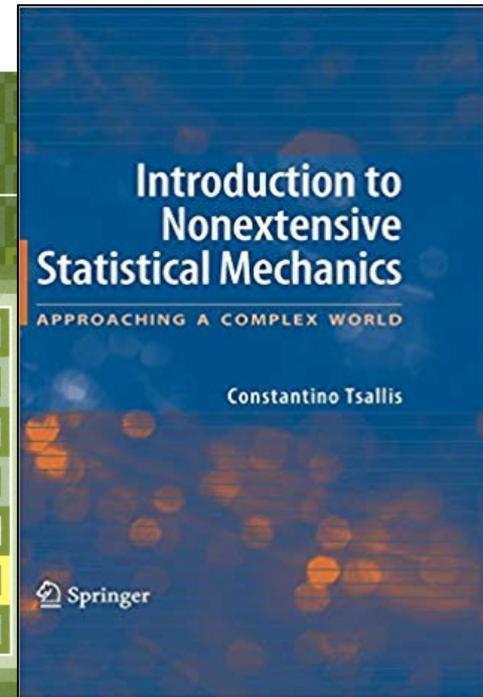
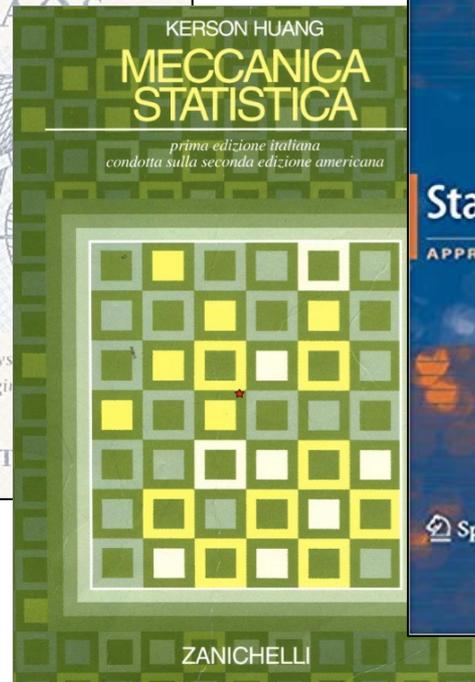
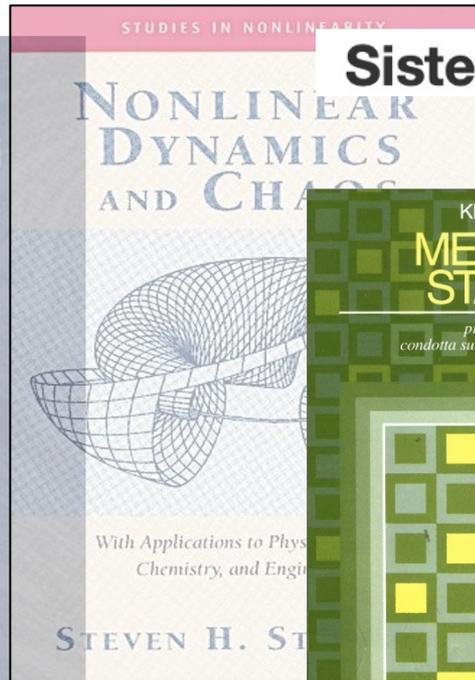
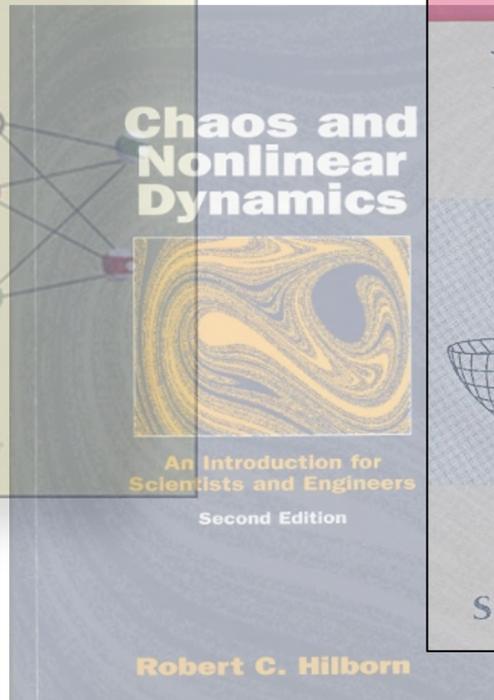
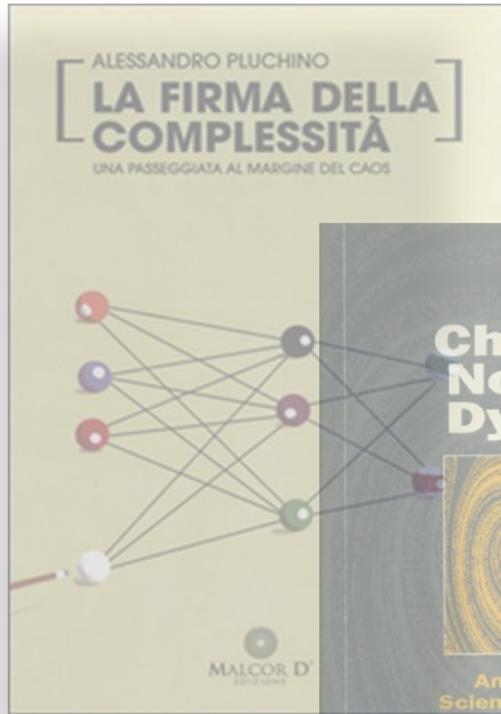
TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



Sistemi a pochi gradi di libertà.



TESTI PRINCIPALI CONSIGLIATI



Sistemi a molti gradi di libertà.

ESAME FINALE



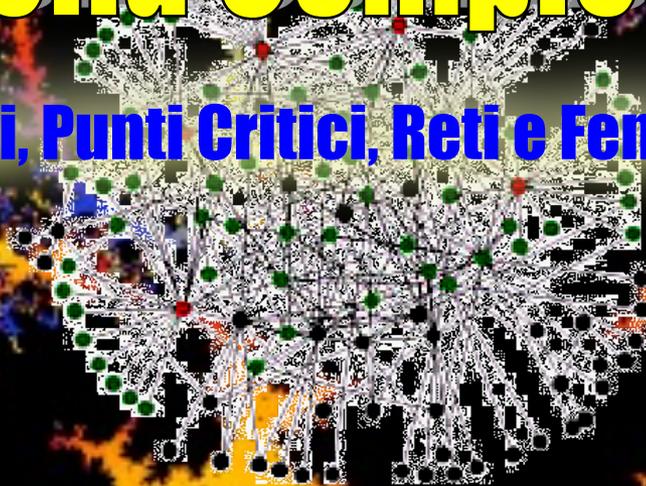
Corso di Sistemi Dinamici, Caos e Complessità 2022-2023

Alessandro Pluchino

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

Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti



**Direzioni delle
Scienze Fisiche
dal XVI secolo**

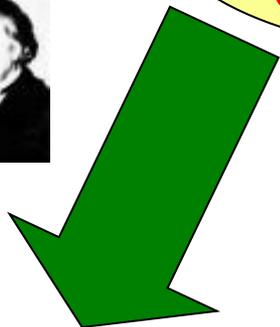
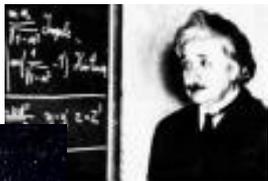


**verso l'infinitamente
grande**

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

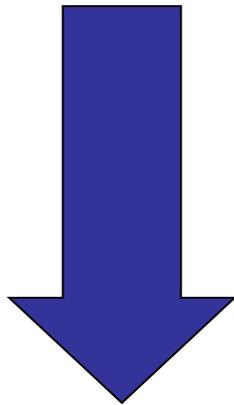


Direzioni delle Scienze Fisiche dal XVI secolo



verso l'infinitamente grande

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



verso l'infinitamente piccolo

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

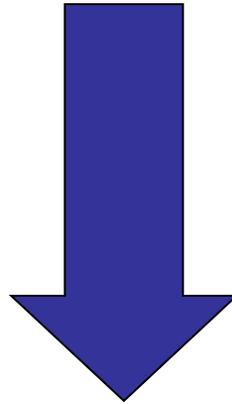
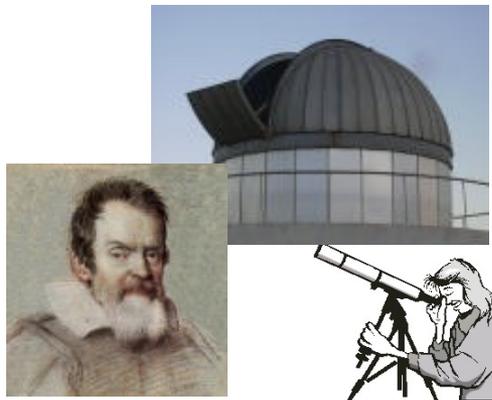


Direzioni delle Scienze Fisiche dal XVI secolo



verso l'infinitamente grande

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



verso l'infinitamente piccolo

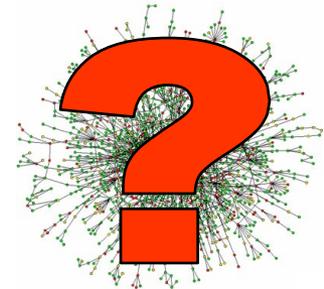
Chimica, Fisica Nucleare, Meccanica Quantistica, Teoria delle Stringhe, ...



Dalla seconda metà del XX secolo



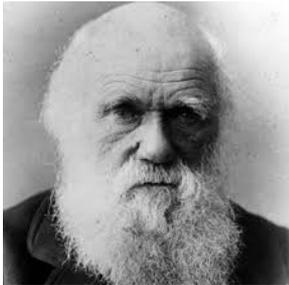
verso l'infinitamente complesso



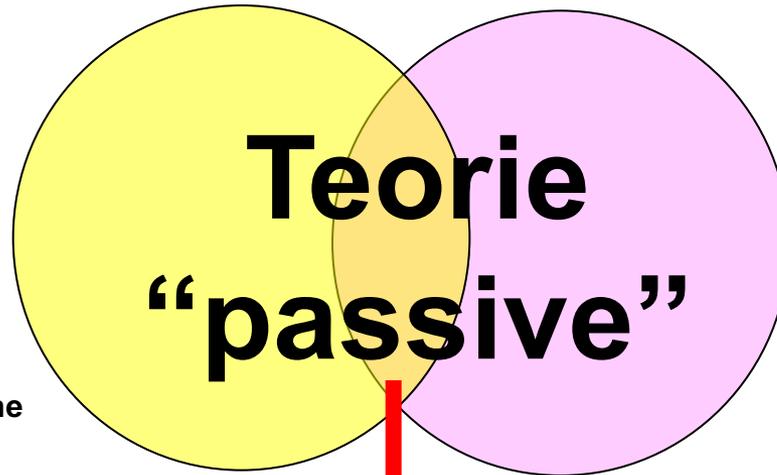


il Computer!

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



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



Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)

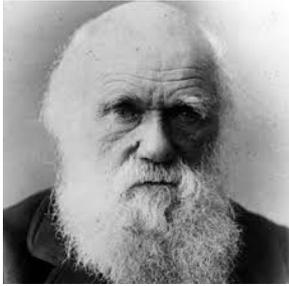
Teorie Scientifiche



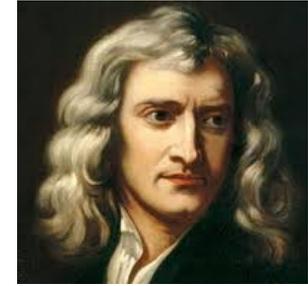
**Predizioni
empiriche**

**Verifica
Sperimentale (VERIFICA
ESTERNA)**

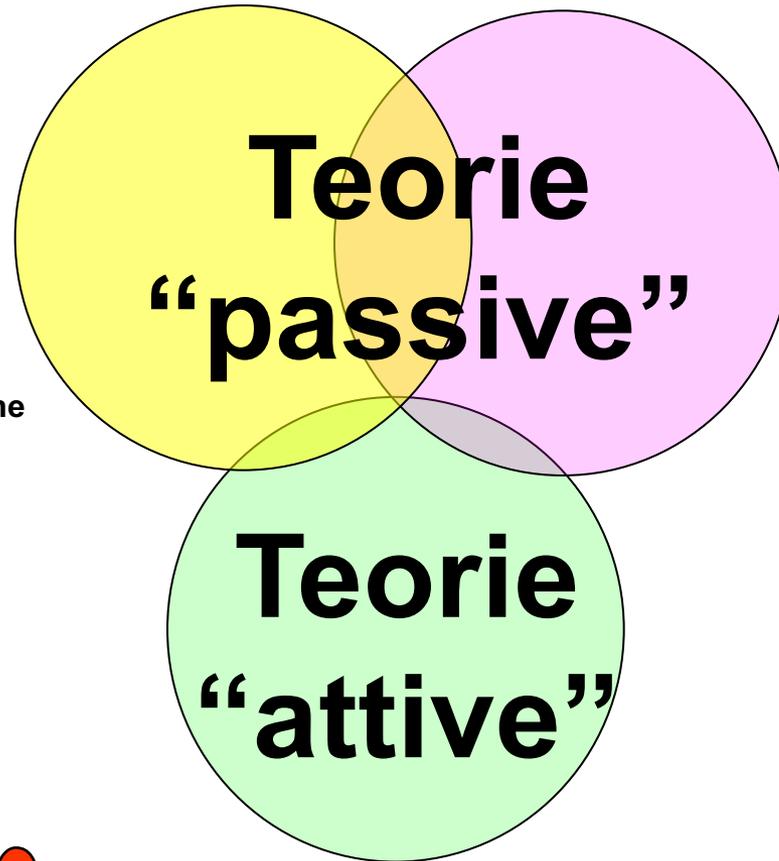




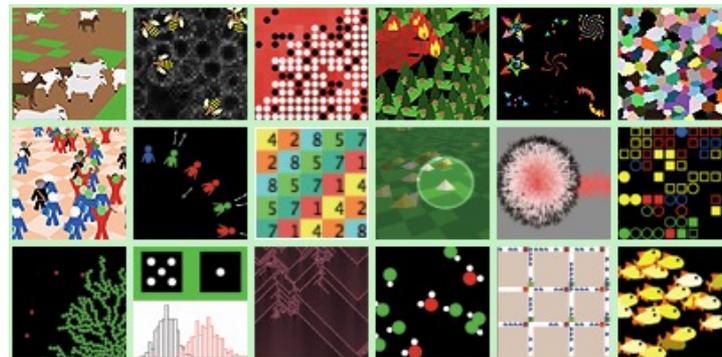
Modelli Verbali
(ad.es. Teoria dell'Evoluzione di Darwin)



Modelli Matematici
(ad.es. Meccanica Newtoniana)



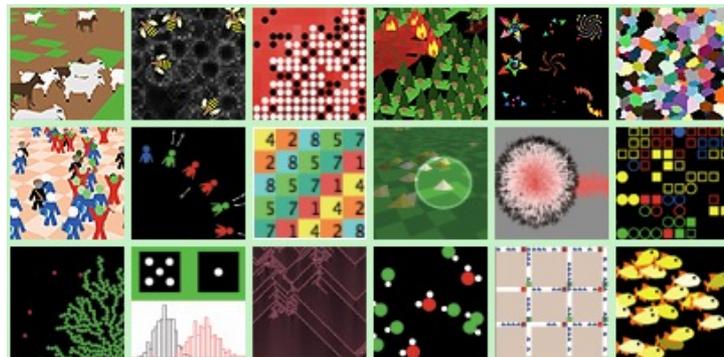
Modelli Simulativi

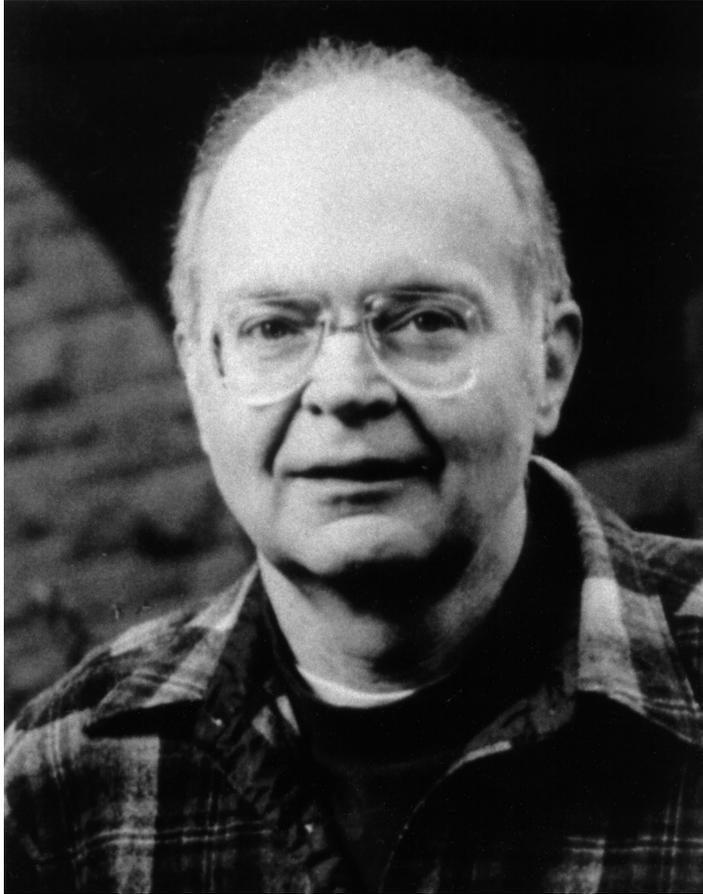


Teorie Scientifiche

Teorie “attive”

Modelli Simulativi





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

Donald Knuth – Informatico americano



il XX Secolo e le Teorie delle tre "C"



anni Settanta

anni Ottanta

anni Novanta

Teoria delle **C**atastrofi

Studia matematicamente i
"punti critici" che
modificano bruscamente il
comportamento di un
sistema



R. Thom

Teoria del **C**aos

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



B. Mandelbrot

Teoria della **C**omplessità

Sistemi dinamici lontani
dall'equilibrio, meccanica
statistica non-estensiva,
sincronizzazione, criticità
auto-organizzata, reti
complesse, fenomeni emergenti
at the "edge of chaos"



P. Bak



S. Strogatz



C. Tsallis

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



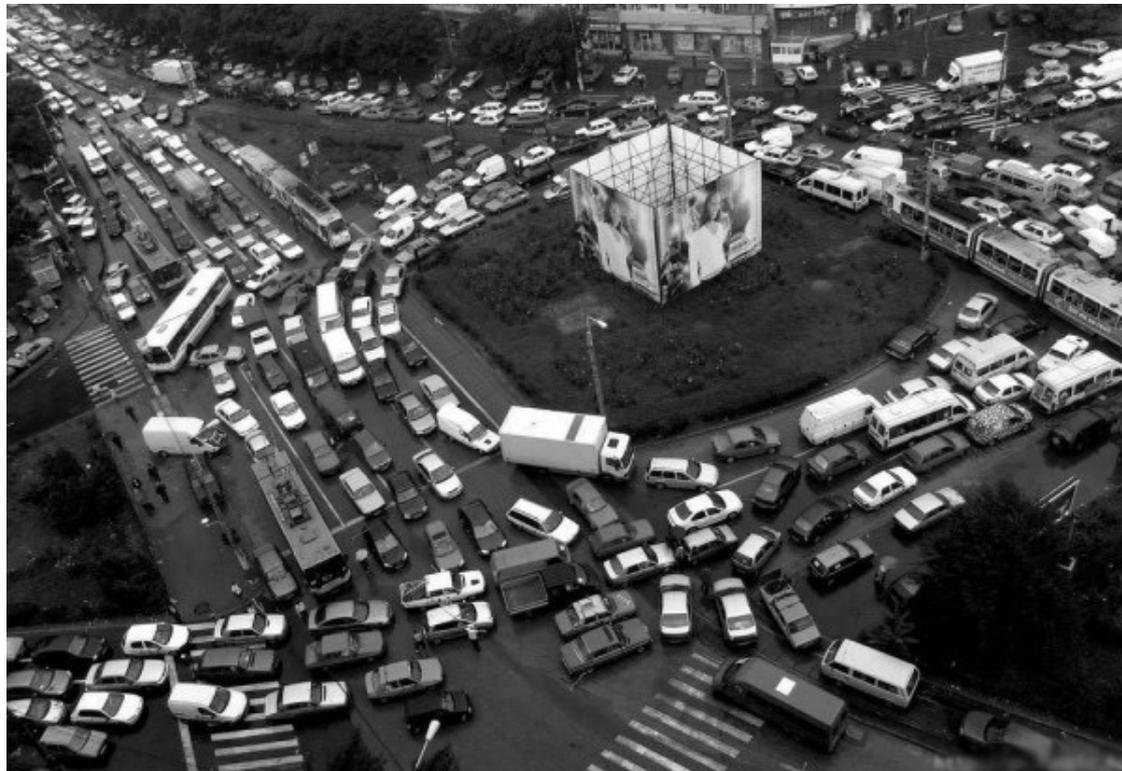
“Complicato” non vuol dire “Complesso”...

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 e (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, il tutto diventa «maggiore» della «somma delle parti» e (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**!

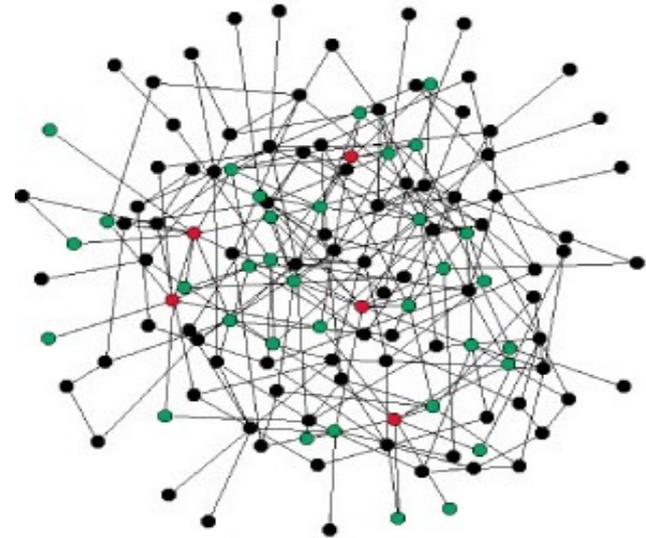


Due possibili descrizioni di un sistema complesso

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:



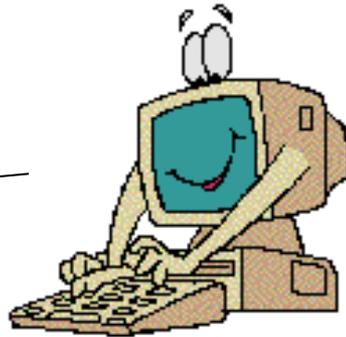
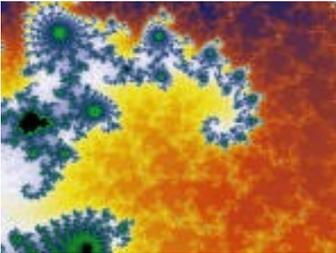
Da un punto di vista topologico (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una rete (network) costituita da un certo numero di nodi (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra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



Vedremo 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...



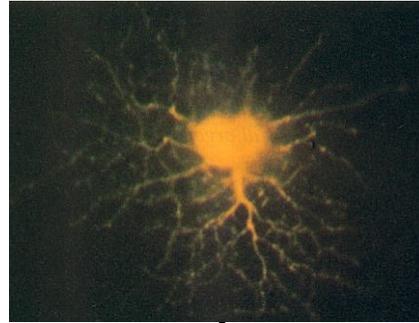
Autosimilarità e Invarianza di Scala



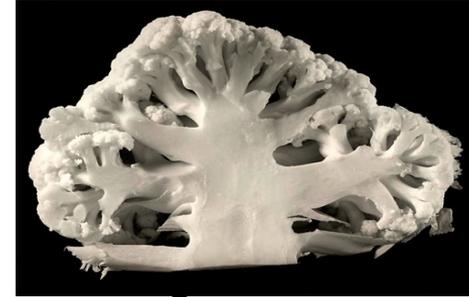
**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Autosimilarità in natura

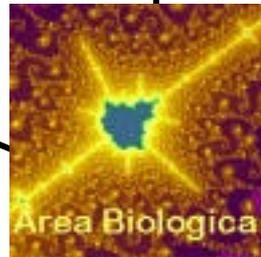
neuroni



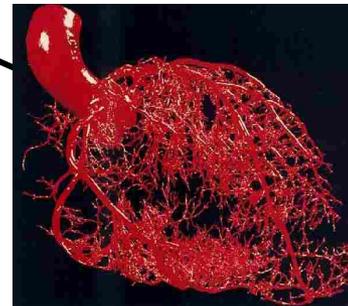
cavolfiore



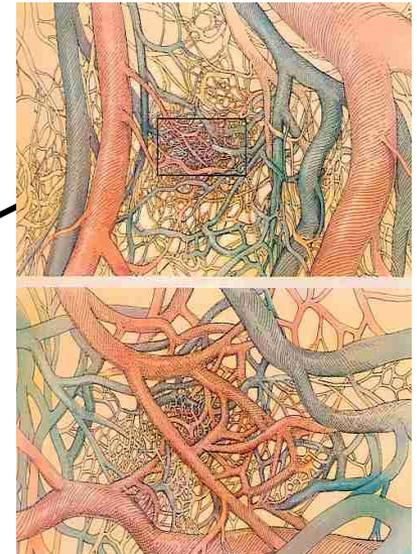
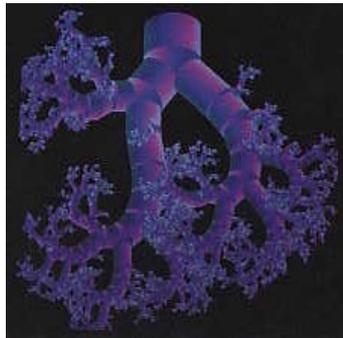
foglie



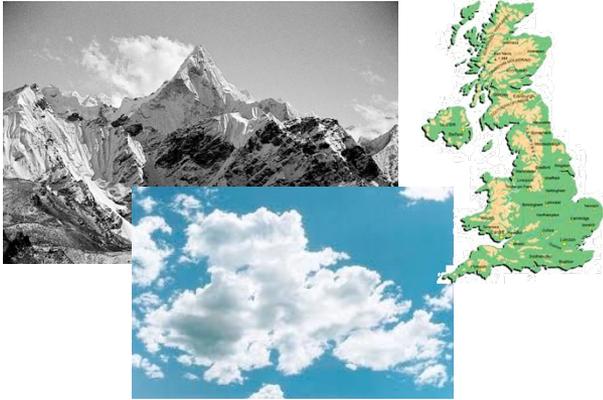
cuore



bronchi

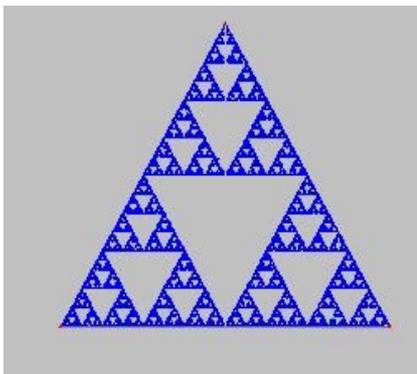


Autosimilarità in matematica: i Frattali



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.



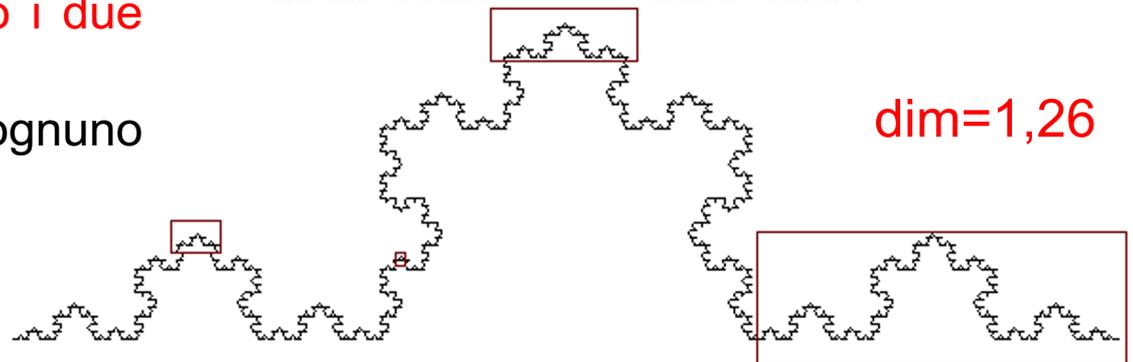
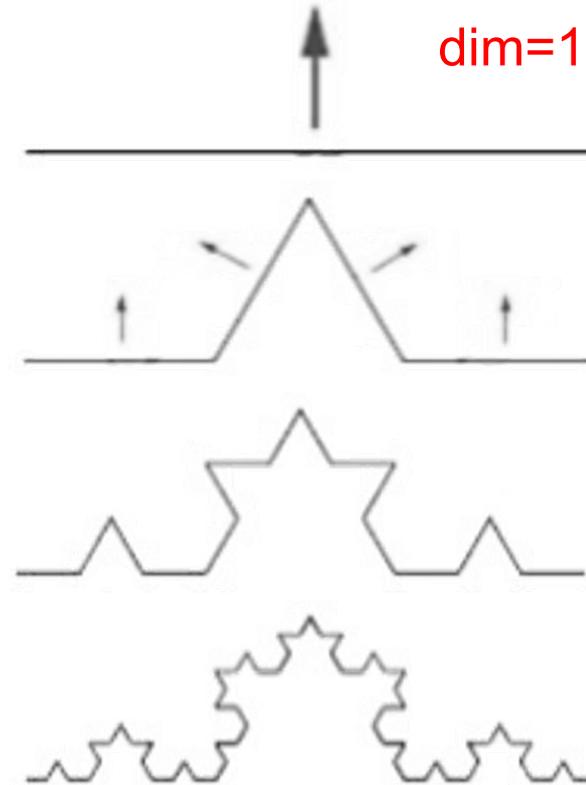
Un **frattale** è un oggetto geometrico che si ripete nella sua struttura allo stesso modo su scale diverse, ovvero che non cambia aspetto anche se visto con una lente d'ingrandimento. In altre parole è un oggetto dotato delle proprietà di **auto-similarità e invarianza di scala**. Ma ha anche la strana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



L'insieme di Mandelbrot

. $P_0 \rightarrow$ successione
divergente

$$P_0 = x + i y$$

$$Z_0 = 0$$

$$Z_1 = Z_0^2 + P_0$$

$$Z_2 = Z_1^2 + P_0$$

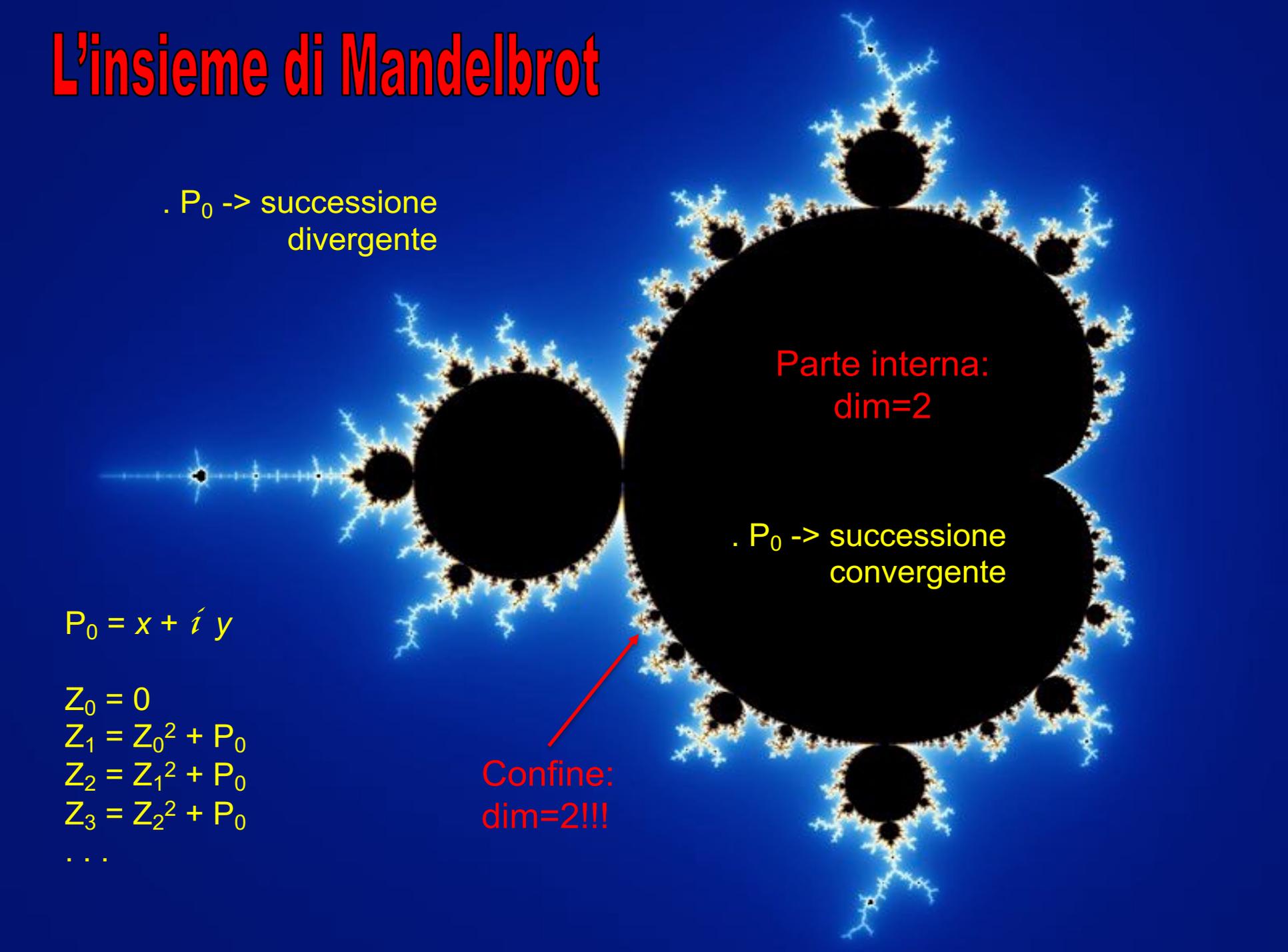
$$Z_3 = Z_2^2 + P_0$$

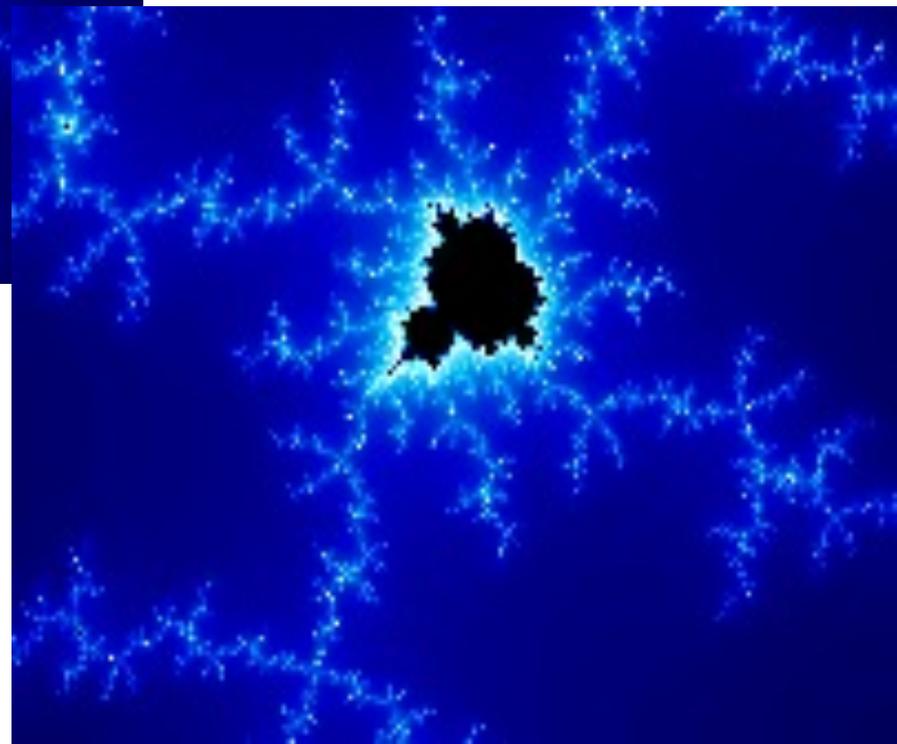
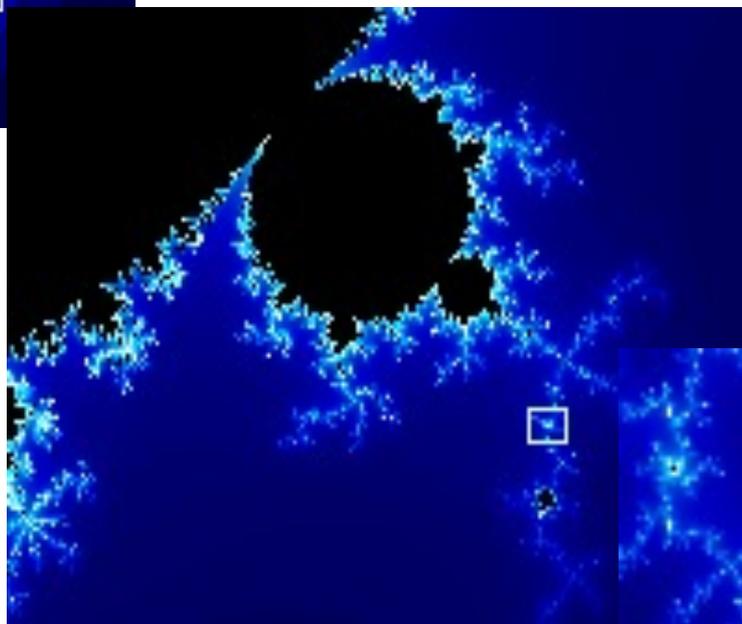
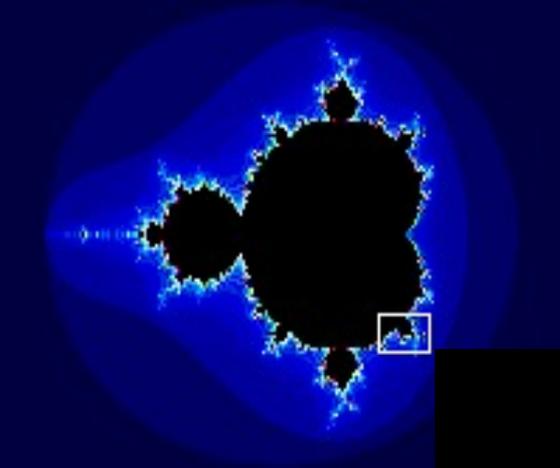
...

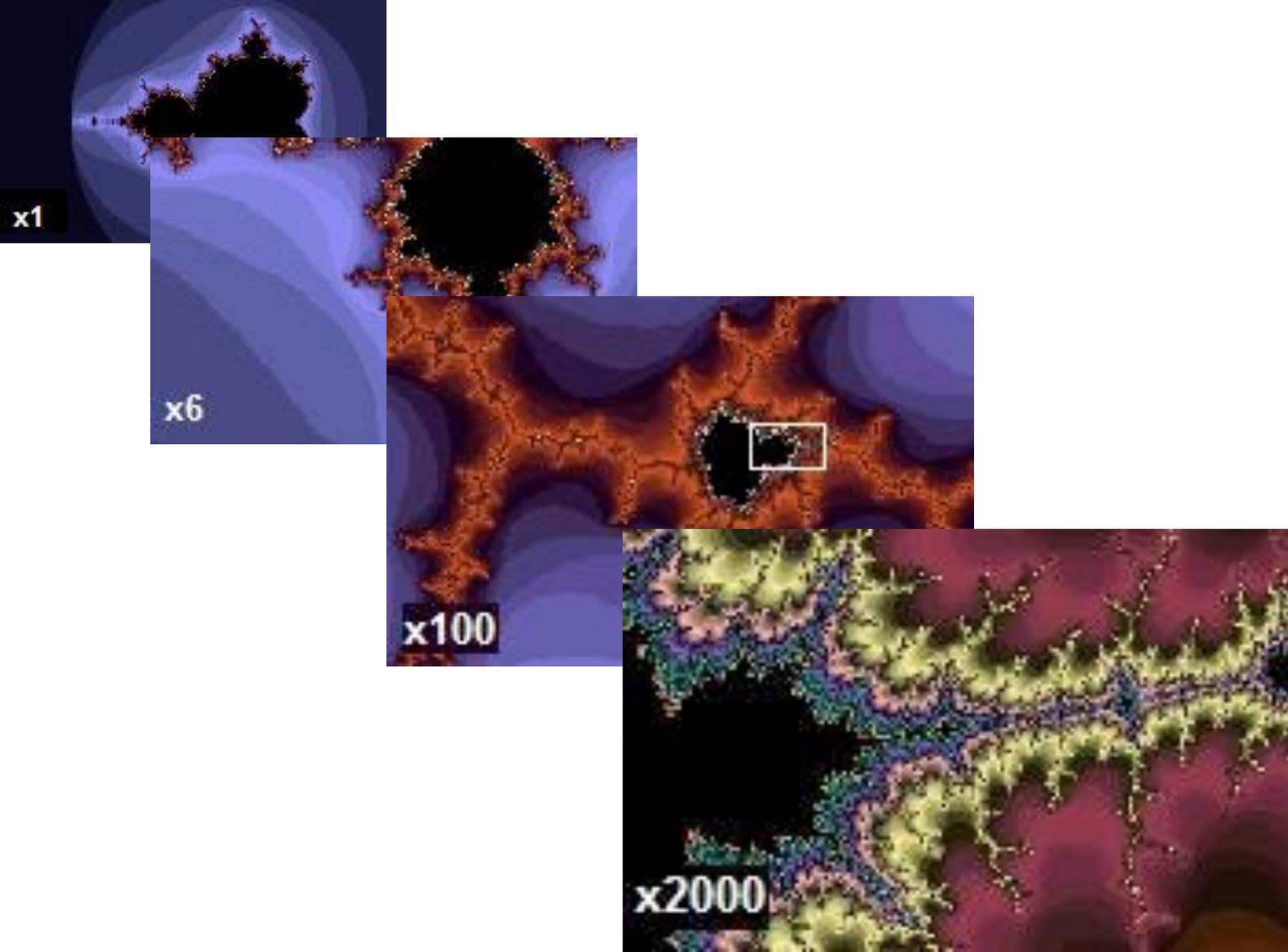
Parte interna:
dim=2

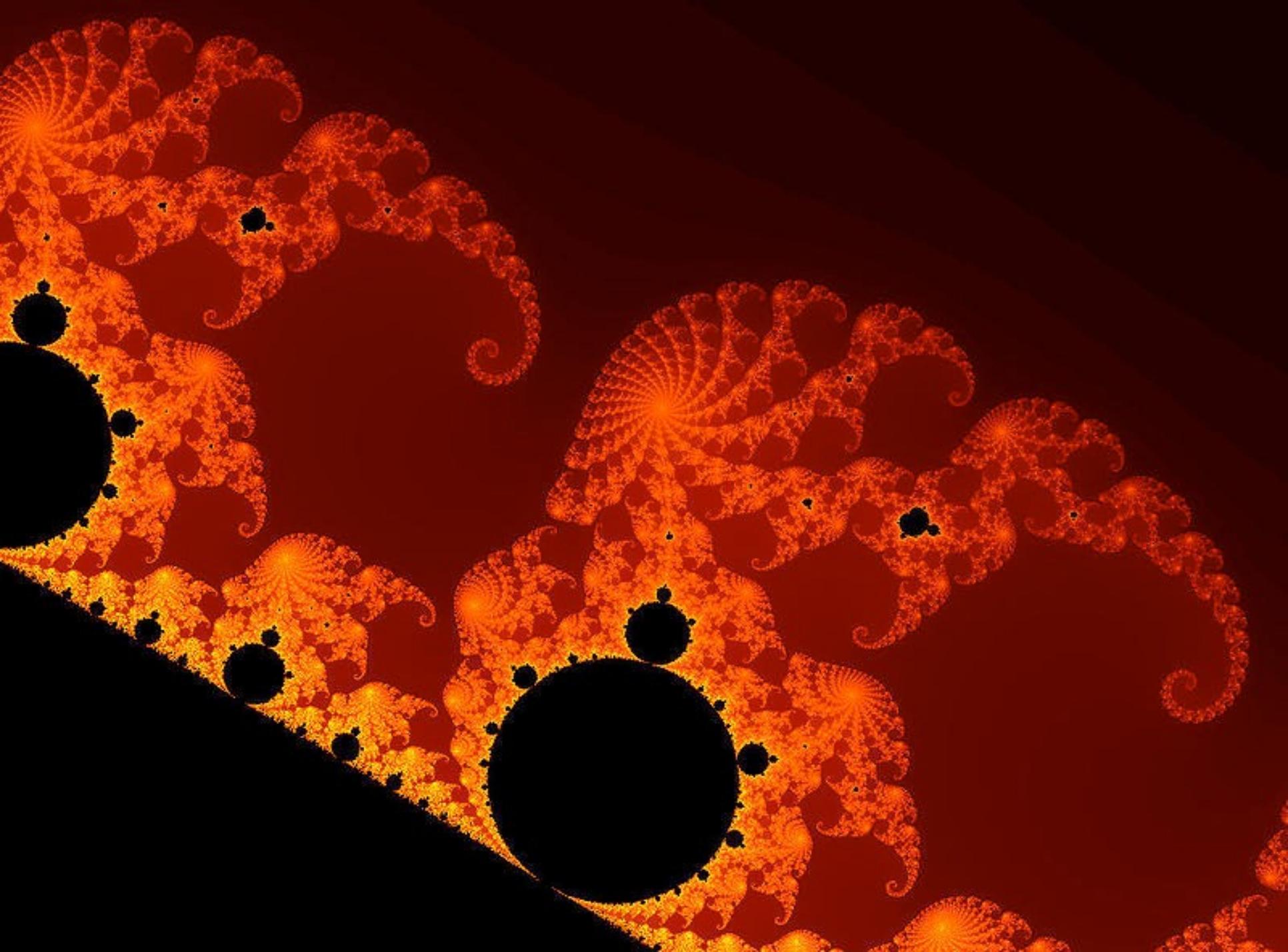
. $P_0 \rightarrow$ successione
convergente

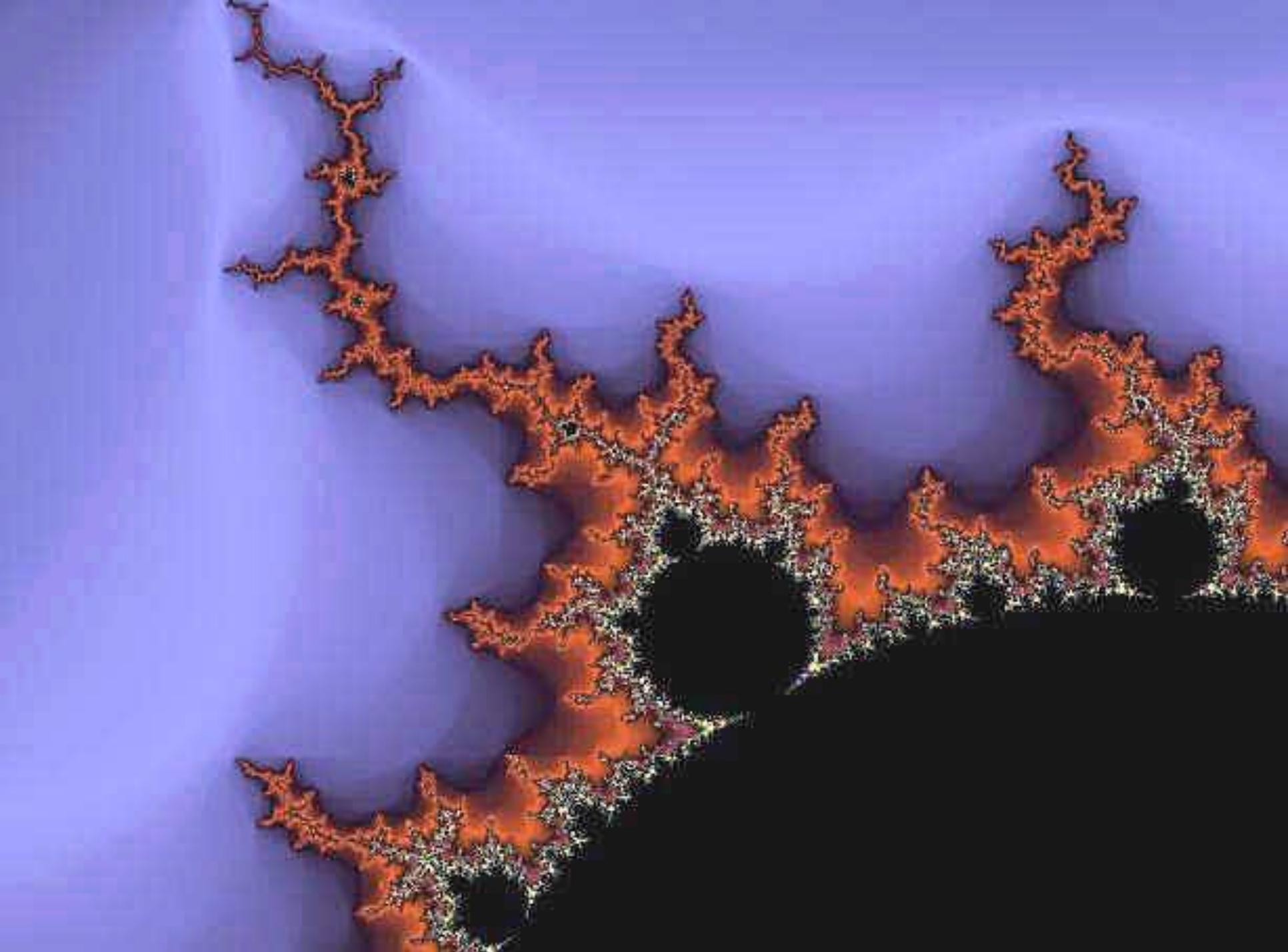
Confine:
dim=2!!!

The image shows the Mandelbrot set, a complex fractal structure. It consists of a large central black region (the interior) and a highly detailed, jagged boundary (the boundary). The interior is labeled as having a dimension of 2. The boundary is also labeled as having a dimension of 2. The fractal is rendered in black against a blue background. A red arrow points from the text 'Confine: dim=2!!!' to the boundary of the fractal.











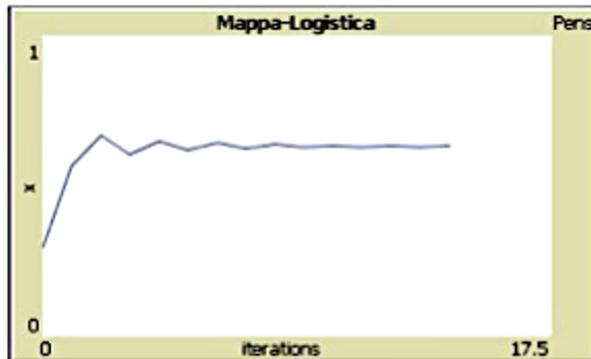


Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

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

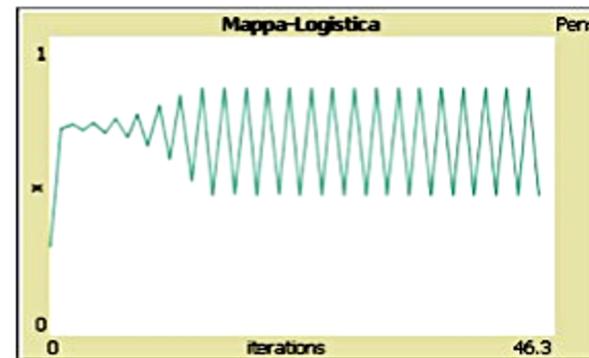
Attrattori a punto fisso

$$0 < A < 3$$



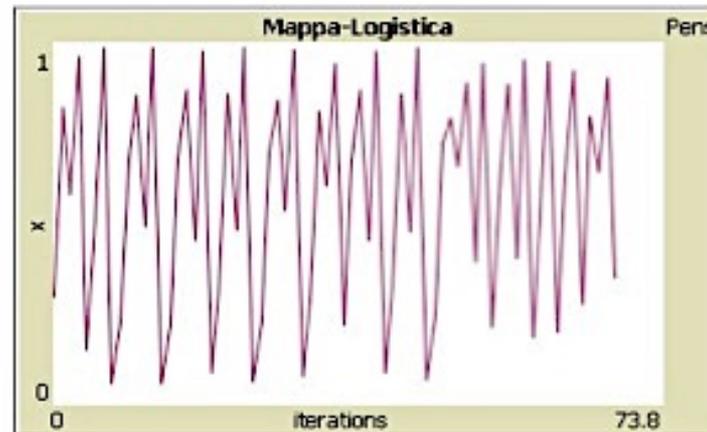
Attrattori a ciclo limite

$$3 < A < 3.56994$$



Attrattore caotico (caos deterministico!)

$$3.56994 < A < 4$$

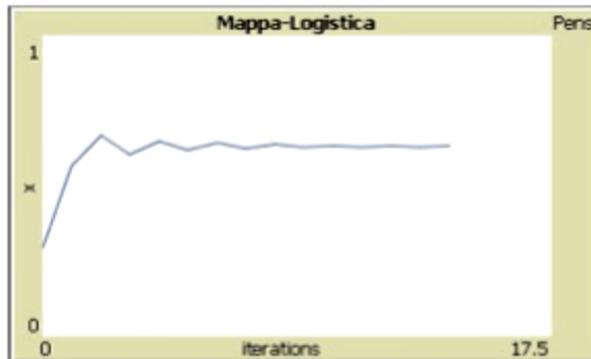


Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)

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

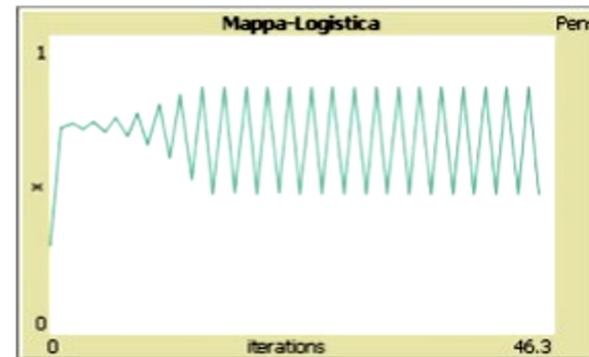
Attrattori a punto fisso

$$0 < A < 3$$



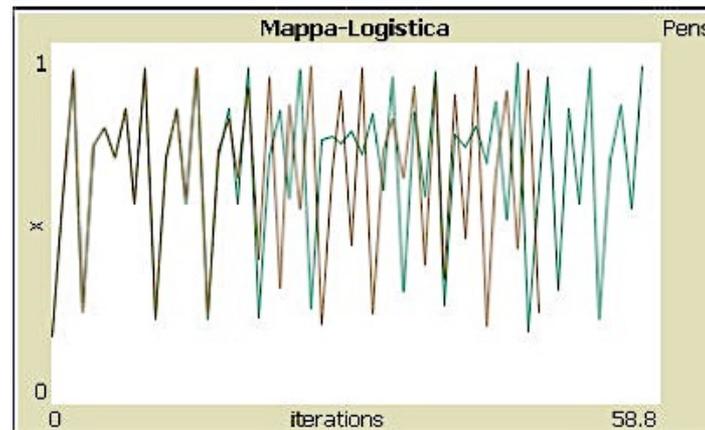
Attrattori a ciclo limite

$$3 < A < 3.56994$$



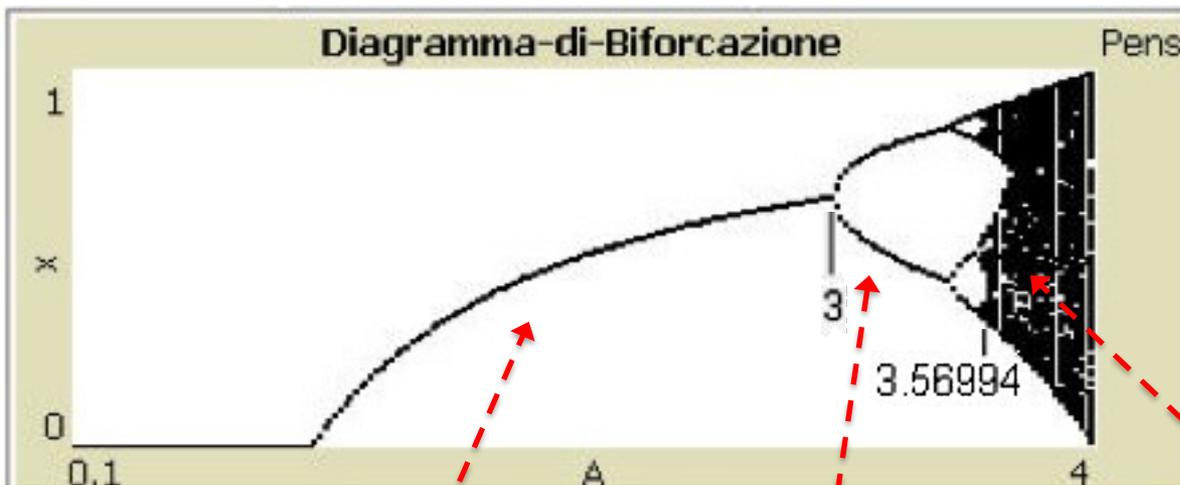
Attrattore caotico (caos deterministico!)

$$3.56994 < A < 4$$



**SENSIBILITA' ALLE
CONDIZIONI INIZIALI!**

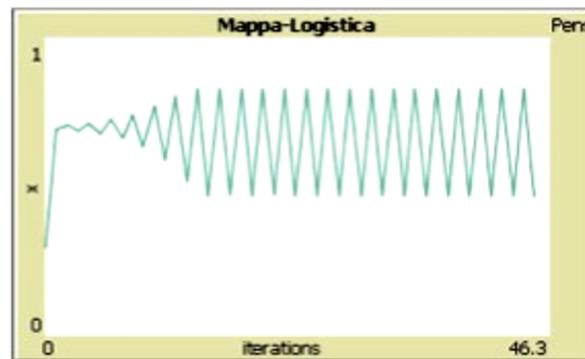
Dalla geometria alla dinamica: la Mappa Logistica (1D)



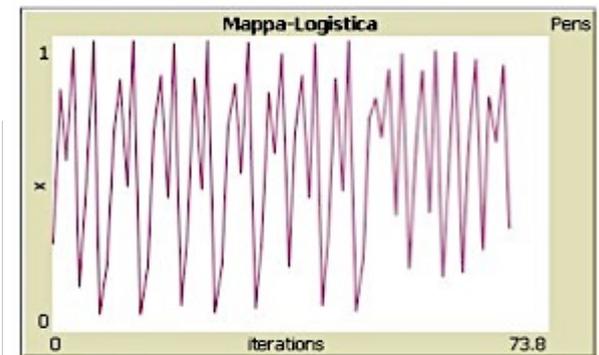
Attrattori a punto fisso
 $0 < A < 3$



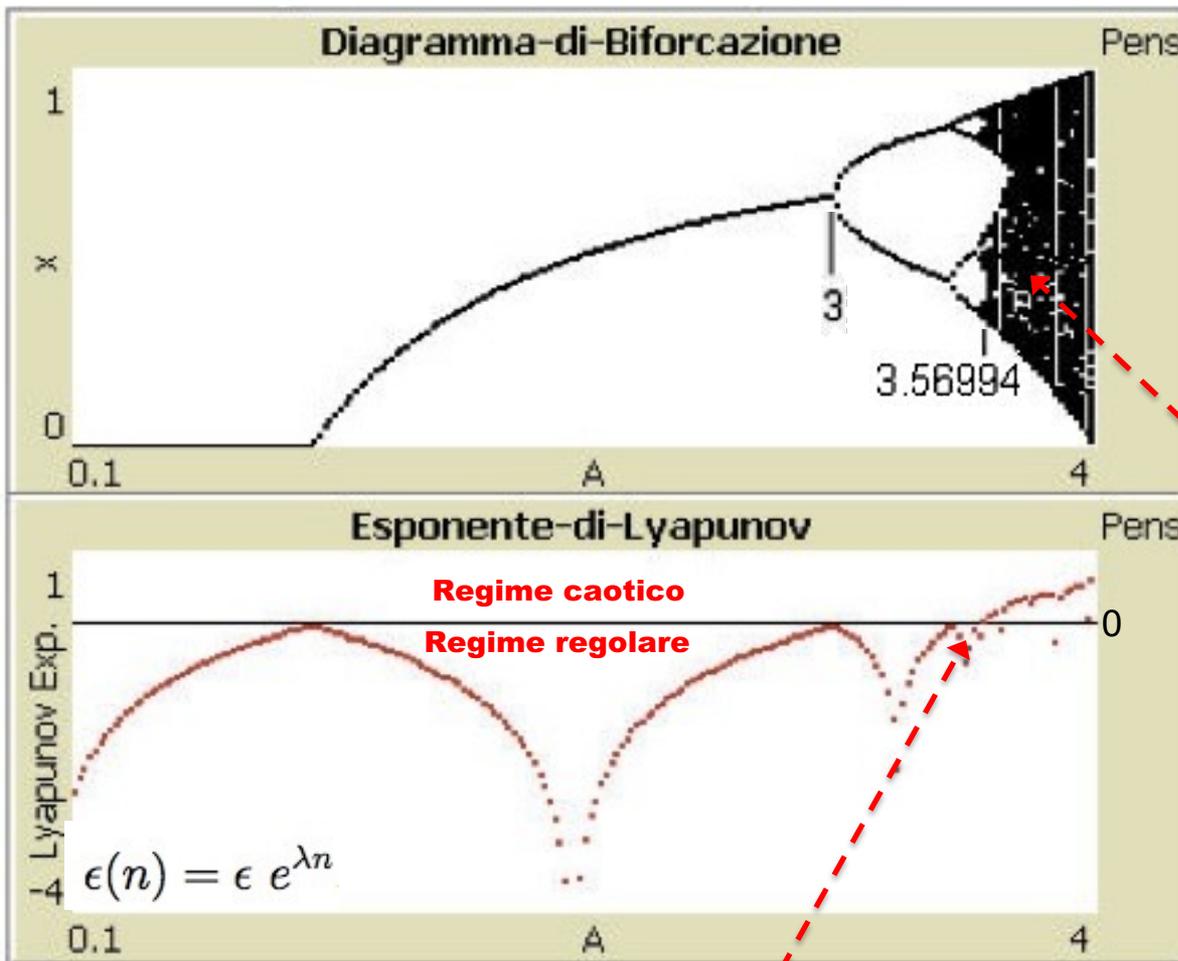
Attrattori a ciclo limite
 $3 < A < 3.56994$



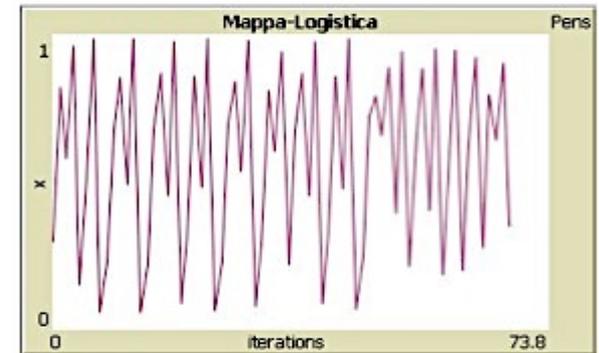
Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$



Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

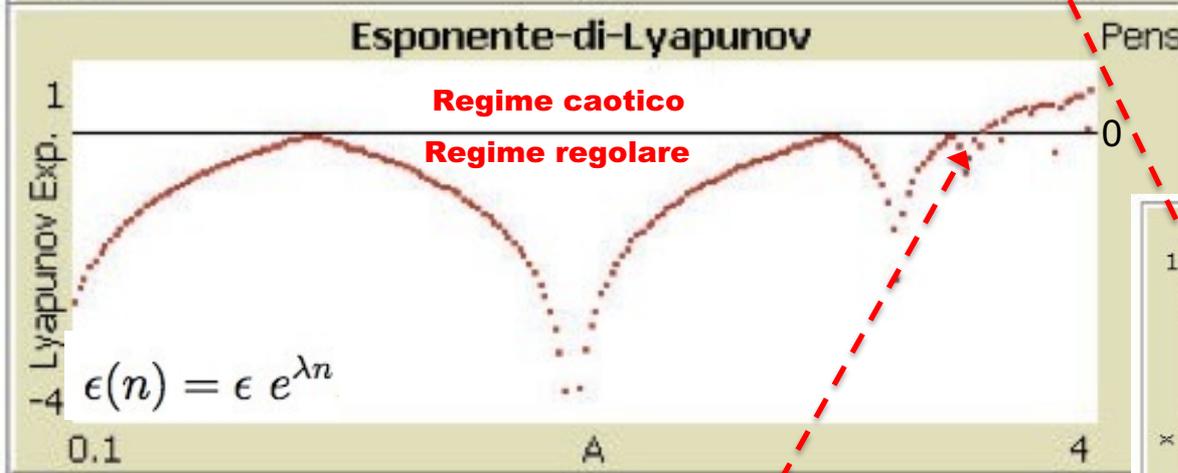
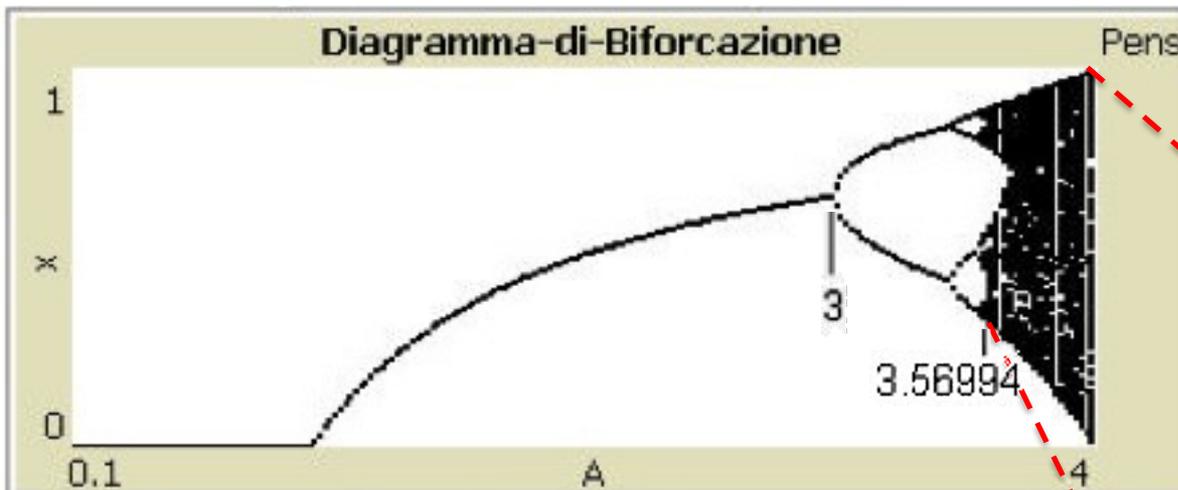


Attrattore caotico
 $3.56994 < A < 4$

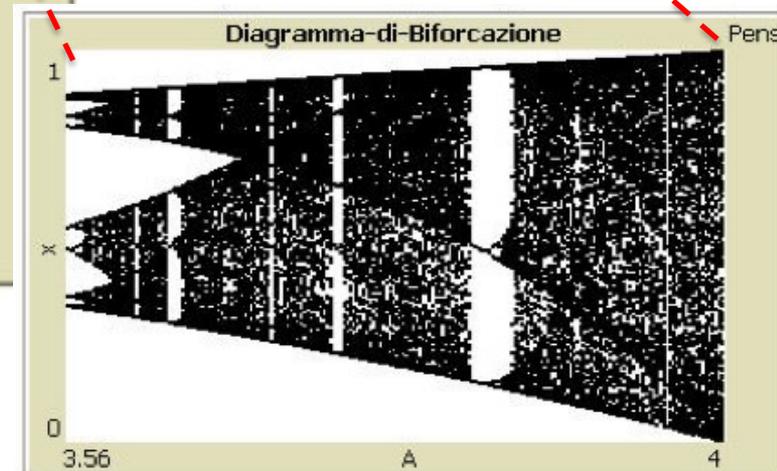


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica

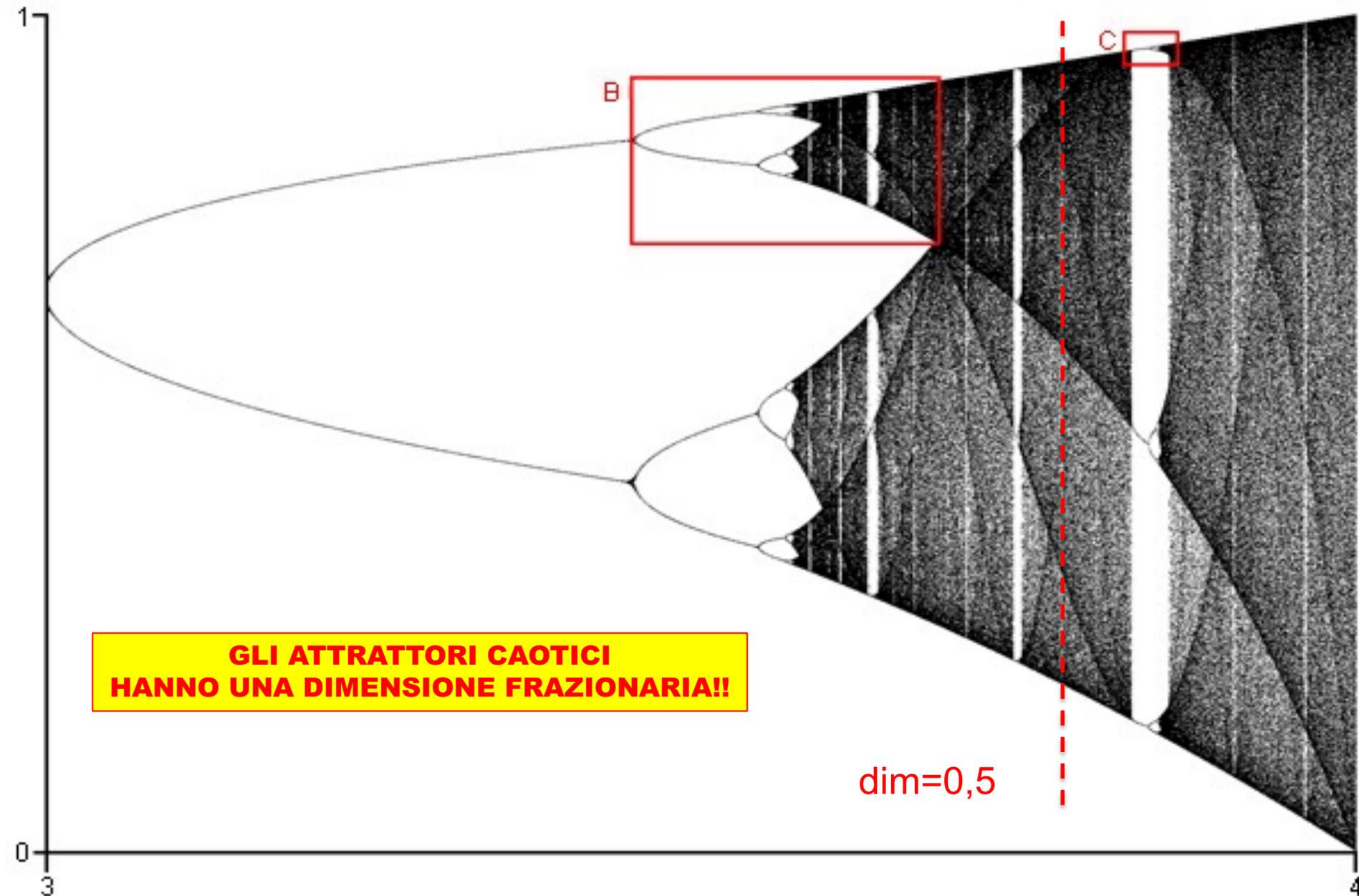


Edge of Chaos
 $\lambda \approx 0$

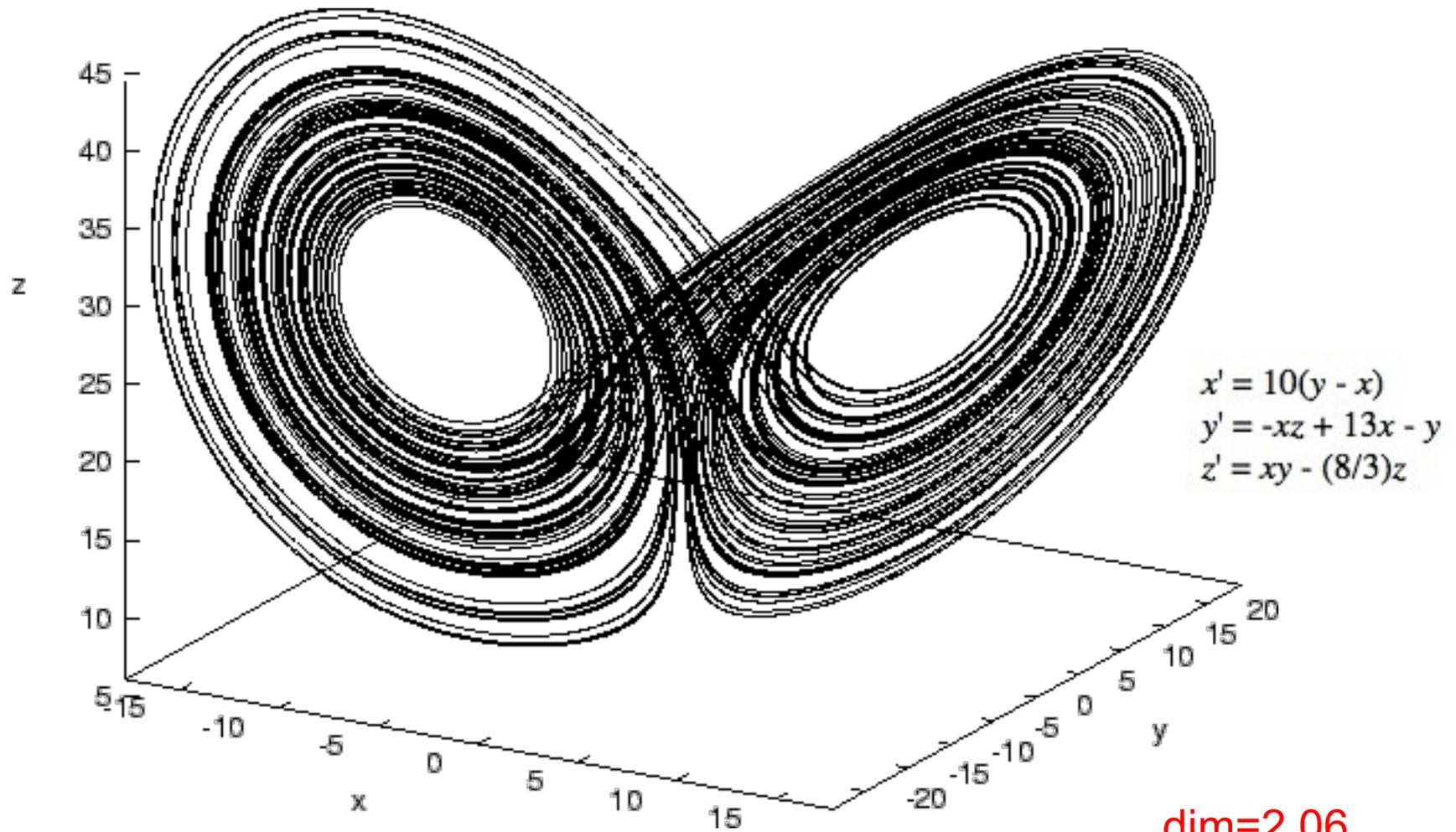


AUTOSIMILARITA'!

Autosimilarità e caos nella Mappa Logistica



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



Autosimilarità e Attrattori : il Pendolo Caotico

