

Relazione al 1° Convegno Nazionale: "La Semeiotica Biofisica Quantistica ed il Nuovo Rinascimento della Medicina" – 19/20 dicembre 2010

presso Sala Conferenze di:

Hotel 4 Venti

Via Vespucci, N 35

16039 Riva Trigoso, frazione di Sestri Levante (Genova)

Tel. 0185/42336 - Fax 0185 458074

Elementi di teoria del caos e Semeiotica Biofisica Quantistica

"With the emergence of chaos theory, it has become clear that it is possible to go in other directions, and treat statistical laws as emerging from causal laws."
David Bohm

*Simone Caramel**

| | |
|--|-----------|
| Introduzione..... | 3 |
| Spazio delle fasi, orbita, traiettoria..... | 6 |
| Soluzioni dei sistemi dinamici..... | 7 |
| Caratterizzazione dinamica dell'attrattore caotico..... | 12 |
| Previsione perfetta, incertezza, informazione, sistemi aleatori e deterministici..... | 13 |
| Entropia..... | 16 |
| Dimensione frattale..... | 18 |
| Sistemi conservativi e dissipativi..... | 25 |
| Nei sistemi biologici c'è caos deterministico..... | 28 |
| Calcolo della Dimensione frattale delle Fluttuazioni Caotico - Deterministiche dei Sistemi Biologici..... | 30 |
| Attrattore caotico: insieme attrattivo indecomponibile..... | 38 |
| Bacino di attrazione..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| Le biforcazioni..... | 40 |
| Transizioni al caos..... | 45 |
| Ricostruzione degli attrattori..... | 46 |
| Microangiologia clinica e numero di Feigenbaum: geometrizzazione degli attrattori...48 | |
| Teoria del caos e Semeiotica Biofisica quantistica: analisi dei dati della SBQ connessi con il riflesso cardio gastrico aspecifico | 53 |
| Geometrizzazione degli attrattori..... | 55 |

Introduzione

Il caos deterministico è stato definito dalla Royal Society di Londra nel 1986 come il comportamento stocastico o probabilistico di un sistema deterministico. Le sue principali caratteristiche sono l'incertezza e l'imprevedibilità, ma è possibile scoprirlo, investigarlo ed ottenere informazioni qualitative per mezzo di misure statistiche invarianti come ad esempio gli LCE (Esponenti Caratteristici di Lyapunov), la dimensione frattale e l'entropia.

LCE è una misura statistica per testare la presenza di 'Dipendenza Sensibile dalle Condizioni Iniziali' - SDIC in un sistema. SDIC è alla radice del comportamento 'disordinato' dei sistemi dinamici deterministici ed è responsabile per la loro apparenza casuale ed imprevedibilità.

La dimensione frattale è una misura del modo nel quale le orbite riempiono lo spazio delle fasi sotto l'azione di un flusso (in tempo continuo) o di una mappa (in tempo discreto), specialmente per oggetti frattali caratterizzati da una dimensione non intera.

L'entropia è la misura o tasso di incertezza nei sistemi dinamici deterministici o, in maniera equivalente, è l'ammontare di informazione che otteniamo, in media, facendo un'osservazione. In particolare, la presenza di entropia positiva, indica che l'osservazione di un sistema continua a generare informazione per un intervallo di tempo arbitrariamente lungo. Di conseguenza, sebbene la posizione di un sistema possa essere osservata con assoluta precisione, rimarrà per sempre incertezza sul suo corso futuro, pure se è conosciuta con precisione la regola dinamica che governa il sistema. Una misura di entropia uguale a zero è interpretata come assenza di comportamento caotico, tipico dei sistemi lineari o periodici, caratterizzati rispettivamente da equilibri di punto fisso o di ciclo limite, così che sono pienamente ed esattamente prevedibili: nessuna nuova informazione di qualità emergerà per un intervallo di tempo arbitrariamente lungo.

L'importanza della qualità di informazione nei sistemi dinamici deterministici è evidente della interpretazione causale della meccanica quantistica (Bohm, 1980), che suppone l'elettrone, od ogni altra particella elementare, essere un certo tipo di particella che segue traiettorie causalmente determinate. In aggiunta al potenziale classico di Newton, la particella si muove in accordo ad un nuovo potenziale,

chiamato 'Potenziale Quantico' - PQ, che è determinato dal campo d'onda quantistica o funzione d'onda. Le traiettorie della della particella fluttuano caoticamente, così che l'interpretazione causale non è strettamente deterministica come nella fisica di Newton: imprevedibilità ed incertezza sono proprietà intrinseche dei sistemi dinamici deterministici osservati, come nella teoria del caos, e non random o casuali come nell'interpretazione classica di N. Bohr.

L'elettrone viene ad essere non più una particella semplice senza struttura, ma una più alta entità complessa che viene influenzata dal potenziale quantico – PQ, in un modo estremamente sottile. Infatti PQ è responsabile di nuove caratteristiche che implicano nuove proprietà qualitative della materia, che non sono contenute all'interno della teoria dei quanti convenzionale.

PQ è indipendente dalla forza od intensità del campo quantico ma dipende solo dalla sua forma, così che l'informazione contenuta nella forma dell'onda quantistica dirige l'energia dell'elettrone e persino eventi distanti dell'ambiente posso influenzare questo movimento in modo profondo.

Il fatto che eventi molto distanti possono avere una forte influenza è ciò che viene inteso come interazione non-locale. La non – località implica una connessione istantanea tra eventi distanti ed opera in natura come provato da Alan Aspect ed altri nel 1982, i quali hanno dato una forte prova evidente a dimostrare una forma non locale di interazione. Questa dimostrazione si inserisce in modo naturale all'interno dell'interpretazione causale di Bohm, corroborandola, ed è un risultato del PQ non locale che connette direttamente particelle distanti tra loro.

I comportamenti sub-quantistici e le dinamiche dei sistemi biologici sono usualmente considerati come mondi separati e differenti, ma ci sono alcuni lavori interessanti come la scoperta recente di effetti coerenti di larga scala quantistica associati con la fotosintesi (Collini, 2010), e l'esperimento di Lory (Stagnaro, 2008), che aprono nuove prospettive a proposito della presenza della realtà non locale nei sistemi biologici.

La coerenza tra il caos deterministico e l'interpretazione causale della meccanica quantistica di David Bohm ci suggerisce di pensare ad un 'Determinismo Caotico Quantistico' - DCQ, dove incertezza ed imprevedibilità sono proprietà intrinseche dei sistemi dinamici non-lineari. Il 'Determinismo Caotico Quantistico' –

DCQ – appoggia l'idea di un background causale, di una legge invisibile o nascosta che dirige tutto ciò che accade in natura, ma dove c'è dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali – SDIC – e complessità (aspetti del caos deterministico), e non – località e discontinuità (aspetti quantistici) nei comportamenti dinamici apparentemente probabilistici (sincronicità ed entanglement) dei sistemi dinamici non – lineari, dove incertezza ed imprevedibilità sono loro proprietà intrinseche, non frutto del caso.

All'interno del DCQ è permesso il libero arbitrio, dato che sono possibili dinamiche di retroazione, o feedback, agenti negli eventi osservati, nello spazio che esiste tra la legge deterministica e l'evento in fase di generazione, e nella legge stessa, cambiando od alterandone le condizioni iniziali.

'Causa-effetto' è appena l'interpretazione ex-post che diamo ad una sequenza di eventi sincronici mediante la chiave di interpretazione che diamo noi stessi ai concetti di tempo e spazio. Possiamo dunque definire un nuovo concetto di causalità, dandogli un connotato più morbido e prudente.

Basandoci sul 'Determinismo Caotico Quantistico' la 'Causalità Potenziale' è una o più cause in potenza perché le condizioni iniziali dei sistemi caotici quantistici variano, e per di più, esiste il libero arbitrio. In questo modo legittimiamo filosoficamente i caratteri dell'incertezza e dell'imprevedibilità del 'Determinismo Caotico Quantistico' senza appellarci alla probabilità, al caso, all'aleatorietà.

Sia l'aspetto caotico deterministico che l'aspetto quantistico sono evidenti nella nuova disciplina chiamata 'Semeiotica Biofisica Quantistica' (Caramel, 2010d), estensione della semeiotica classica, che consente ai dottori di interpretare i segnali del corpo umano al fine di scoprire patologie e malattie.

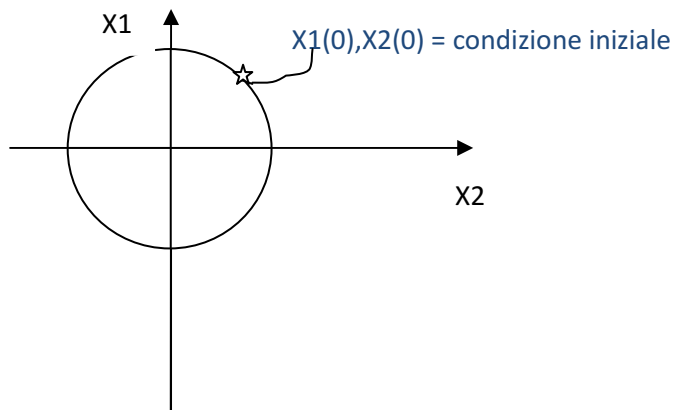
Nei capitoli che seguono vengono introdotti e spiegati alcuni concetti base inerenti alla teoria del caos, al fine di comprendere come essa sia utile alla 'Semeiotica Biofisica Quantistica' - SBQ. Nella parte finale viene spiegata una tabella che esprime la casistica della SBQ relativamente ai riflessi cardio - gastrico aspecifici ottenuti mediante percussione ascoltata dello stomaco, evidenziando la connessione che esiste tra la SBQ e la teoria del caos.

Spazio delle fasi, orbita, traiettoria

Lo **Spazio delle fasi (o degli stati)** è il dominio, la posizione, lo stato in cui si può trovare una o più variabili (es. \mathbb{R}^n).

Se siamo in \mathbb{R}^2 , l'**orbita** è la soluzione che a partire da una condizione iniziale mi dà tutte le posizioni precedenti e successive alla condizione iniziale.

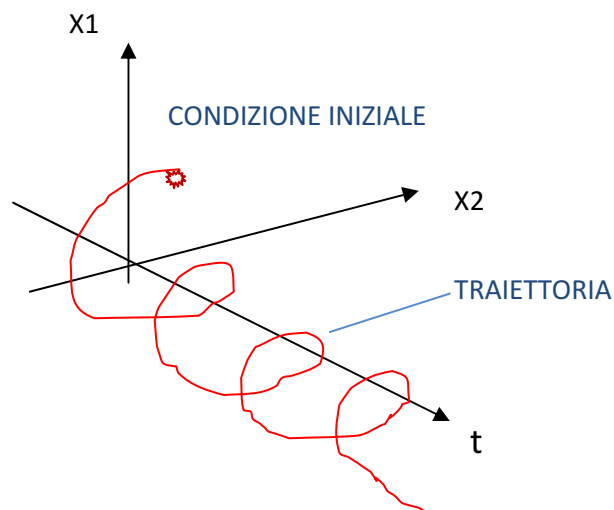
\mathbb{R}^2



Se consideriamo uno Spazio $(\mathbb{R}^2) \times \mathbb{R}$ dove \mathbb{R} rappresenta il tempo:

$\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}$

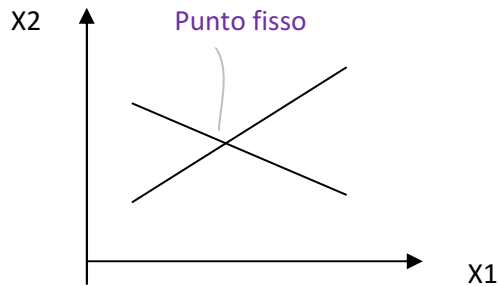
tempo



L'**orbita**, che è la soluzione, è la proiezione di una **traiettoria** sullo spazio delle fasi.

Soluzioni dei sistemi dinamici

- a) Soluzioni di punto fisso o punto di equilibrio – **un punto** (in uno stato asintotico o semplice nello spazio degli stati).



- b) Soluzioni periodiche – **orbite periodiche** (il minimo valore T per cui un'orbita di ripete viene detto *periodo della traiettoria periodica o del ciclo*). Seguendo la traiettoria del sistema dopo un intervallo T ci ritroveremo nella stessa posizione; *periodico = si ripete!* Es. *periodicità stagionale*; Il numero di cicli per unità di tempo è la *frequenza* (la frequenza mi dice quante orbite ci sono per unità di tempo, mi dà informazioni sul periodo, mi dice quanto tempo occorre per ritornare sullo stesso punto).

Ad esempio: un'**orbita periodica chiusa** in \mathbb{R}^3 è quella del pianeta Terra attorno al sole (o di tutti i pianeti del sistema solare): se parto da un punto dopo un certo tempo T esso ritorna lì.

Solo i sistemi non lineari hanno soluzioni periodiche isolate (nei sistemi lineari invece le orbite periodiche ci sono solo in casi speciali)

Quando ho un ciclo, torno esattamente nello stesso punto?

Ad esempio, nei cicli economici il sistema dipende dalle caratteristiche strutturali del sistema stesso (quindi non necessariamente dalle condizioni iniziali)

La soluzione ciclica ha due caratteristiche:

- **Frequenza del ciclo** (bassa frequenza, breve periodo; alta frequenza, lungo periodo) – su e giù rapidamente

- **Ampiezza del ciclo** – su e giù molto o poco rapidamente (bassa frequenza = lungo periodo; alta frequenza = basso periodo)

Se il ciclo è regolare l'ampiezza è ben definita, se è irregolare l'ampiezza non è ben definita. Nei sistemi non lineari – SNL – il ciclo è isolato, ed ogni ciclo specifica frequenza ed ampiezza.

Oltretutto, nei SNL il ciclo può essere caratterizzato da **stabilità** o **instabilità** (abbiamo soluzioni periodiche stabili o instabili).

Cosa vuol dire?

In \mathbb{R}^2 un'orbita periodica si chiama ciclo limite: il **ciclo limite è stabile** se partendo da un qualsiasi punto sul ciclo, lì vi rimango; il ciclo limite è instabile se partendo da un qualsiasi punto sul ciclo tendo ad allontanarmi da esso. Il **ciclo limite instabile** mi dà la misura degli shock sopportabili.

c) Soluzioni quasi – periodiche – **Orbite quasi-periodiche**

$$\text{Es. } T(x) = x + \alpha \text{ mod } 1$$

$$T: [0,1) \rightarrow [0,1)$$

Se α è irrazionale dopo un po' ritorno allo stesso punto; ho punti fissi; l'orbita è periodica

Se α è irrazionale non chiudo mai il cerchio, non torno mai (es. π , radice di 2, e,..)

Comportamento quasi periodico significa che prima o poi vado a finire arbitrariamente vicino a qualsiasi punto nello spazio delle fasi senza mai ritornare esattamente nello stesso punto (vedi lunula di Archimede)

Esempio:

$$T(\omega) = c \omega$$

$$c = \exp(2i \pi \alpha)$$

se α è irrazionale, itero mappa angolo tale che angolo/ 2π è razionale; dopo un certo numero di iterazioni ritorno.

Esempio: toro o ciambella (camera d'aria di un pneumatico) in T^2

Immaginiamo un punto mosso da due forze: una forza lo fa girare per tutto il pneumatico, un'altra forza lo fa girare intorno ad una circonferenza (come il moto della terra attorno al sole e a se stessa).

Abbiamo così due oscillazioni, 2 oscillatori combinati!

I punti che ci sono in una sezione qualsiasi della camera d'aria, li rintraccio in un'altra sezione qualsiasi della camera d'aria (orbita periodica), nell'orbita quasi-periodica invece viene coperto tutto il tubo che compone la camera d'aria (ciambella). Nell'orbita periodica abbiamo dunque un numero finito di punti (prima o poi si ritorna allo stesso punto), mentre in quella quasi periodica il numero di punti corrisponde ad una curva chiusa.

Riepilogando: finora abbiamo visto che i comportamenti dei sistemi dinamici possono dare luogo ad equilibri di punto fisso, ad orbite periodiche e ad orbite quasi-periodiche. In tutti questi sistemi possiamo notare che numeri piccoli non hanno grandi conseguenze. Ci è facile quindi studiare il comportamento del sistema e la dinamica del sistema una volta che ha raggiunto il suo stato asintotico.

Nel primo caso, possiamo avere **un punto fisso stabile**, il sistema sta fermo lì, abbiamo informazioni monotone, è perfettamente *prevedibile*, informazioni aggiuntive non ci dicono niente;

Nel secondo caso, possiamo avere **orbite periodiche**, stessa storia, tutte le settimane, tutti i mesi, perfettamente *prevedibile* – le orbite periodiche sono dunque prevedibili, i fattori concernenti la posizione del sistema con delta piccolo a piacere non sono significativi;

Nel terzo caso, possiamo avere **orbite quasi periodiche**, orbite dunque un po' più complicate, ma valgono le caratteristiche dei sistemi più semplici di cui sopra: orbite vicine continuano a rimanere vicine, non c'è rimescolamento; le orbite quasi periodiche continuano dunque ad essere *prevedibili*, *la conoscenza del passato consente la previsione del futuro*;

Domanda: esistono comportamenti asintotici del sistema più complicati?

La risposta è sì ed ha a che vedere con la **complessità** che implica la **impossibilità di prevedere!**

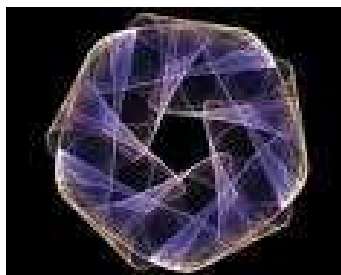
Esistono sistemi dinamici che hanno attrattori i quali hanno una caratteristica ben definita: c'è una dinamica sull'**attrattore** (configurazione geometrica dell'equilibrio di un sistema non lineare con dinamiche complesse) tale che in almeno una direzione in cui si svolge la dinamica del sistema esiste un elemento di **instabilità**. Il sistema a questo proposito deve essere almeno in R^3 (se in tempo continuo).

Sono state usate diverse metafore per comprendere le dinamiche di tali attrattori, la più comune delle quali è quella dello stretching - folding, stiro-ripiego ripetuto quando la massaia con il mattarello fa la pasta (o ad esempio basti pensare allo zucchero filato). Pensiamo a 2 punti qualsiasi che dentro l'attrattore "impasto" o "zucchero filato in creazione" si allontanano, poi si avvicinano, poi di nuovo si allontanano, rimanendo però sempre dentro l'attrattore "impasto".

Esistono questi sistemi con meccanismo stretching – folding (stiramento – ripiegamento), e questi sistemi vengono comunemente chiamati sistemi con dinamiche complesse. In esso esistono delle forze di attrazione e di repulsione, come quelle all'interno di una nuvola, dinamiche altamente complesse che noi non percepiamo quando osserviamo una solitaria candida nuvola bianca in cielo, che pare quieta, immobile e beata sullo sfondo di un bel cielo azzurro.

Riepilogando, possiamo avere i seguenti attrattori:

- a) **punto fisso** (attrattivo) – dinamica sull'attrattore è una costante
- b) **ciclo limite** (attrattivo) – dinamica sull'attrattore è circolare
- c) **toro** – l'orbita si avvicina asintoticamente



***orbite periodiche** – dinamica sull'attrattore è un'orbita periodica (se l'orbita è periodica abbiamo un ciclo limite)*

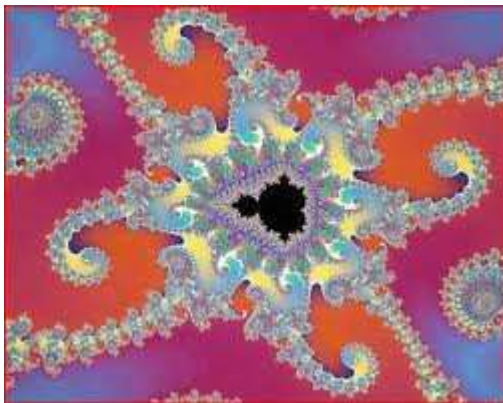
orbite quasi periodiche – dinamica è un'orbita quasi periodica (se l'orbita è quasi periodica essa gira senza mai chiudersi)

nei casi a), b) e c):

- divergenze iniziali piccole rimangono piccole
- orbite vicine rimangono vicine
- piccoli errori (deviazioni) restano (non vengono amplificati)

d) attrattori strani (strange) o caotici – per negazione – tutti quelli che non appartengono alle classi a), b) e c)

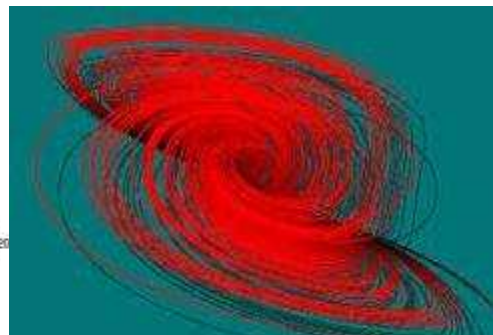
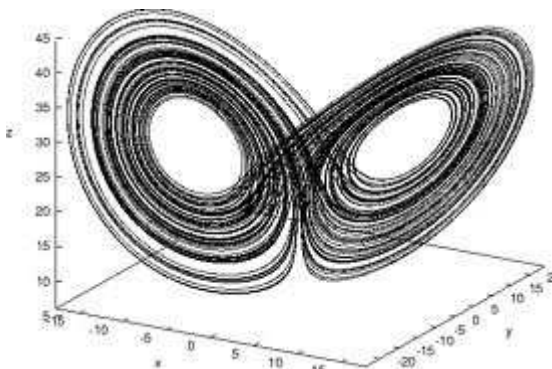
Secondo la teoria del caos, *l'attrattore strano è diverso dall'attrattore caotico*. L'attrattore strano si riferisce alle caratteristiche geometriche dell'attrattore, mentre l'attrattore caotico si riferisce alle caratteristiche dinamiche dell'attrattore. Non c'è quindi una corrispondenza 1 a 1 tra attrattore strano ed attrattore caotico. **L'attrattore strano è legato ad un insieme frattale.**



Attrattore strano



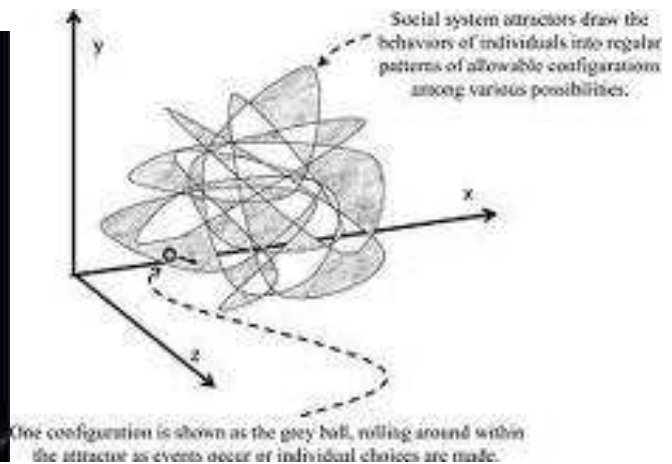
Attrattore strano di Poisson – Saturn



L'attrattore caotico di Lorenz



Attrattore in 3D



Attrattore nei sistemi sociali

Caratterizzazione dinamica dell'attrattore caotico

Da un punto di vista dinamico gli attrattori caotici sono caratterizzati da **divergenza di orbite** (esiste amplificazione degli errori). Ciò vuol dire che due orbite vicine divergono (non rimangono vicine), perciò un piccolo errore iniziale mi fa andare in un sentiero lontano (vedi effetto farfalla).

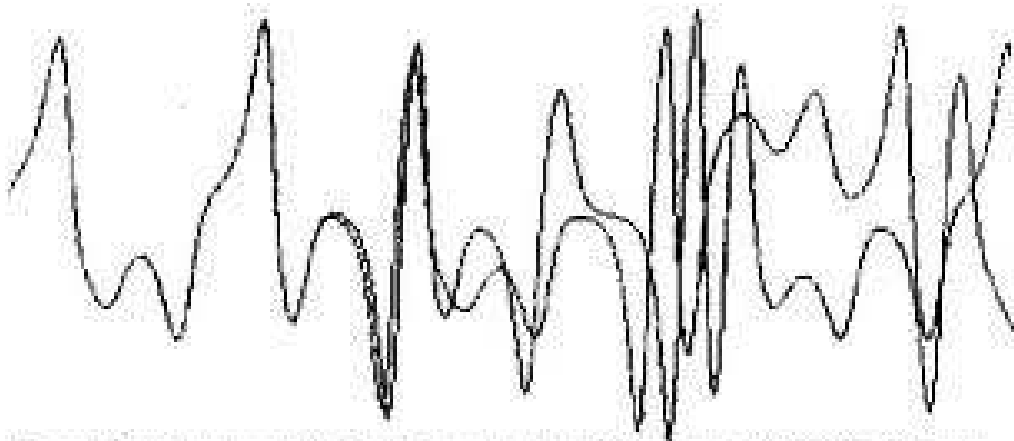


Figure 1: Lorenz's experiment: the difference between the start of these curves is only 0.00177. (See Stewart, *Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos*, pg. 141)

Scoperta del caos deterministico da parte di Lorenz nel 1963

La divergenza di orbite vicine non è un fenomeno strano di per sé, basti pensare ai sistemi esponenziali; è strano quando si tratta di un attrattore ad avere orbite vicine che divergono.

L'attrattore è un oggetto limitato verso il quale le orbite convergono, ma dentro l'attrattore orbite vicine divergono (orbite intrappolate e dotate di instabilità). Esiste un'amplificazione degli errori, ma essa è solo locale. I nostri oggetti in almeno una direzione presentano deviazioni piccole che vengono amplificate in modo esponenziale (ma divergono fino ad un certo punto, perché restano comunque dentro l'attrattore).

Questa è la sua caratteristica dinamica (in tempo continuo per avere questi tipi di attrattori ci deve essere una dimensione minima di 3: $\text{DIM} \geq 3$). In tempo discreto ciò vale per qualsiasi dimensione (in dimensione 1 la mappa deve essere invertibile).

Se esiste divergenza di orbite vicine (crescita più che esponenziale), ciò significa amplificazione degli errori iniziali, e quindi c'è SDIC (Dipendenza Sensibile dalle Condizioni Iniziali).

Previsione perfetta, incertezza, informazione, sistemi aleatori e deterministici

Nei casi **a), b), c)** visti nel capitolo precedente, se studiamo un sistema dinamico, l'intuizione deterministica di un sistema deterministico ci dice che se individuiamo la condizione iniziale di tale sistema con infinita precisione non c'è incertezza sul futuro, avremo la **previsione perfetta**, dato il principio di unicità delle soluzioni di Cauchy. E benché avessimo delle misurazioni approssimate, per certi tipi di dinamiche ciò non creerebbe differenze sostanziali, perché la dinamica sarebbe qualitativamente la stessa.

Il discorso cambia per le dinamiche **del caso d)** con aspetti di **complessità**. In presenza di **SDIC** abbiamo il problema che l'ipotesi di misurazione perfetta non è più innocua, non siamo più garantiti dall'approssimazione (qualitativamente parlando). Dal punto di vista dell'informazione, c'è creazione dell'informazione. Quando noi abbiamo una dinamica semplice (caratterizzata da un punto costante, da orbite

periodiche o quasi-periodiche) non ci sono difficoltà che la dinamica generata da sistemi di questo tipo possa dare (attrattori semplici): Tale dinamica ha una osservazione – formazione che è NON INFORMATIVA (qualitativamente).

Nell'osservazione di tali sistemi caratterizzati da attrattori semplici:

- Incertezza dell'esito tende a zero.
- Informazione dell'esito tende a zero.

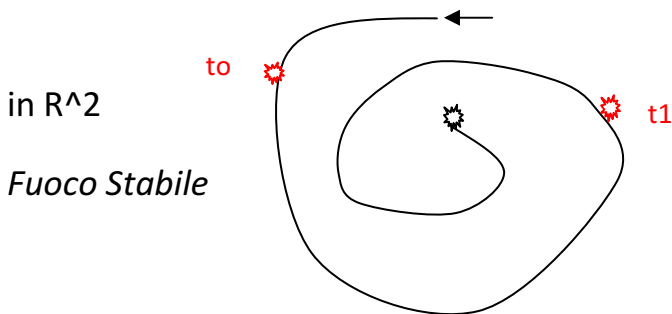
Le dinamiche sono stabili.

Esempio: tiro un dado; ex-ante c'è incertezza, ex-post osservo il risultato, ho un'informazione risultante dall'esperimento.

Se il dado è truccato, l'incertezza è zero; viene sempre UNO alla lunga, dopo un po'... sistema con punto fisso; esperimento non genera informazione. Gli attrattori semplici non generano informazioni.

Dinamiche stabili | attrattore → punto fisso (distruzione informazioni, ci si dimentica delle condizioni iniziali nel senso che diventano irrilevanti).

Esempio.

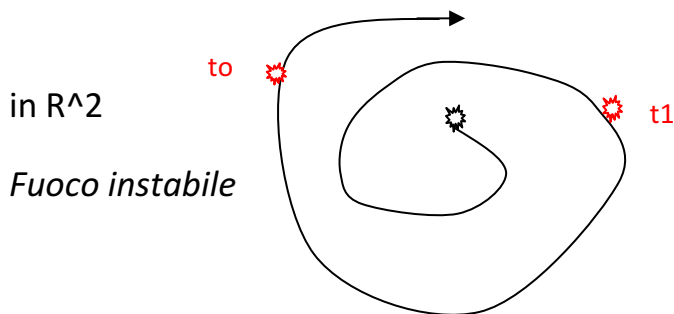


Ci sono due persone con lo stesso strumento di misura, con la stessa precisione che corrisponde al cerchietto rosso (agente 1 che osserva il sistema al tempo t_0 ed agente 2 che osserva il sistema a valle al tempo t_1). L'incertezza dell'osservazione corrisponde al cerchietto (non si riesce a cogliere il punto esatto, per cui il cerchietto rappresenta l'incertezza relativa alla osservazione). Certamente il sistema stabile (fuoco stabile) dissipativo sta dentro il cerchietto. L'equazione del sistema è:

$x(t) = \exp(-rt) (A) = \exp(\alpha \pm i\beta)$ con $\alpha < 0$ che rappresenta il tasso di contrazione dei valori

Le equazioni del sistema sono note, non esiste incertezza per le equazioni. L'agente 1 è più informato, l'agente 2 ha meno informazioni (viceversa per il fuoco instabile).

Esempio.



Nel caso di un fuoco instabile, le osservazioni successive generano informazioni aggiuntive, rinnovano l'incertezza al tempo $t+1$, $t+2$, ecc.

Negli attrattori caotici, almeno in una direzione delle orbite c'è divergenza, esse generano informazione, c'è incertezza!

Localmente esiste sempre una qualche DIVERGENZA.

Esiste almeno un LCE con $\lambda > 0$. (LCE significa Lyapunov Characteristics Exponents, ed è una misura matematico-statistica della complessità di un sistema tenendo conto dei suoi auto valori).

Quando esiste almeno 1 LCE con $\lambda > 0$, ciò implica che c'è SDIC (dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali).

Questo vuol dire che il sistema genera informazioni, esiste sempre INCERTEZZA da rimuovere per quanto riguarda la posizione del sistema (noi di solito la troviamo nei sistemi aleatori, l'incertezza permanente è tipica dei White Noise (rumori bianchi o segnali casuali), ma non nei sistemi deterministici).

Abbiamo dunque SISTEMI DETERMINISTICI con proprietà dei SISTEMI ALEATORI, con componenti aleatorie.

Nei sistemi aleatori c'è SIMMETRIA tra l'INCERTEZZA riguardante l'esperimento e la GENERAZIONE di INFORMAZIONI dell'esperimento stesso.

La proprietà SDIC è misurata dagli LCE, che in un caso multidimensionale misura il tasso di divergenza (in media nel tempo) di 2 orbite vicine nel limite asintotico, quando la distanza tra loro iniziale è infinitamente piccola.

Esiste una relazione tra dinamiche generate da sistemi deterministici e dinamiche generate da processi stocastici, nel senso che esistono sistemi dinamici deterministici semplici in tempo discreto (Sakai e Tokumaru, 1980), con output indistinguibili da processi stocastici. Il più potente test statistico non riesce a distinguere tra le dinamiche prodotte da una mappa a tenda asimmetrica e quelle prodotte un processo stocastico (es. lancio della moneta testa croce). Ciò apre nuove importanti discussioni ad esempio in filosofia e riguardo le leggi dell'universo.

Abbiamo detto che la presenza di SDIC cioè con almeno un $LCE > 0$ rende le orbite imprevedibili. Ogni nuovo esperimento continua ad essere informativo per sempre.

La prevedibilità dunque assume contorni difficili per quanto riguarda le mappe complesse.

Entropia

Per misurare la prevedibilità o imprevedibilità di un sistema si fa ricorso ad invarianti statistici come ad esempio la misura dell'entropia.

Per capire questo concetto vediamo un esempio, un caso molto semplice.

Consideriamo una variabile aleatoria $p_i(1, \dots, n)$ con $p = 1$, ed n stati.

Consideriamo ad esempio il lancio di una moneta. Ci sono due stati, testa e croce: $n = 2$. La probabilità che esca testa è $\frac{1}{2}$ e lo stesso $\frac{1}{2}$ che esca croce, se la moneta non è truccata. Quindi:

$$p_1 = \frac{1}{2} \quad p_2 = \frac{1}{2}$$

Facciamo un esperimento con n possibili esiti.

N stati

p_i $i = 1, 2, \dots, N$ probabilità di ciascun stato

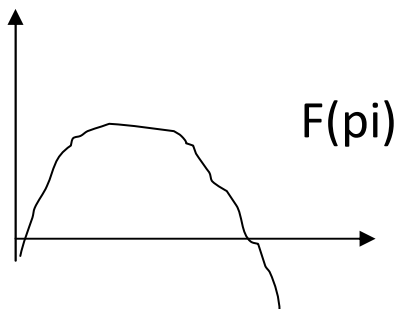
Quanto è incerto l'esperimento? Quanta informazione ottengo dall'osservazione dell'esito?

Questa quantità si chiama ENTROPIA di Shannon, e deriva dalla teoria dell'informazione. La misura dell'entropia di Shannon si scrive in questo modo:

$$H(N) = - [\sum p_i \log (p_i)]/F(p_i)$$

Con il vincolo che $\sum p_i = 1$

E dove $F(p_i)$ è la distribuzione di probabilità.



Moneta

$n = 2$

$p_1 = \frac{1}{2}$

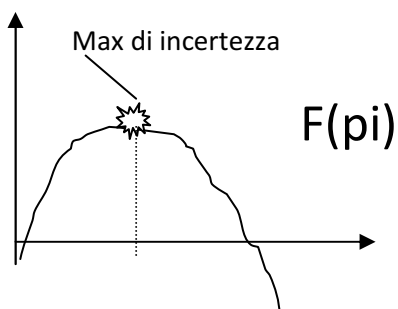
$p_2 = \frac{1}{2}$

con max di incertezza p_i tutti uguali $1/n$

Dado

$n = 6$

$p_i = 1/6$



Quando $p_i = 1/N$ qualsiasi sia i e p_i tutti uguali

Il minimo di incertezza si ha quando $p_i = 1$. Una convenzione matematica ci dice che $0 \log 0 = 0$.

$$H(N) = - [\sum p_i \log (p_i)]/F(p_i)$$

ENTROPIA statica, misura il grado di incertezza.

Estendendo il concetto di ENTROPIA ai sistemi dinamici abbiamo che :

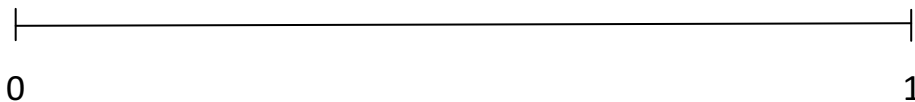
- 1) In un SISTEMA PERIODICO $\rightarrow H(N) = 0$
- 2) In un SISTEMA QUASI – PERIODICO $\rightarrow H(N) > 0$

Dimensione frattale

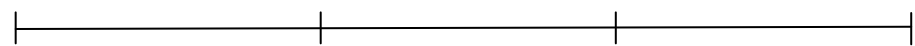
C'è un altro aspetto associato alle dinamiche complesse, che è l'aspetto geometrico. Per definizione gli ATTRATTORI CAOTICI (oggetti geometrici) hanno STRUTTURA (o DIMENSIONE) FRATTALE. Cosa vuol dire DIMENSIONE FRATTALE?

Dimensione frattale – Oggetti frattali. Esempio: insieme di Cantor

Si consideri un segmento della lunghezza di una unità.



E lo si divida in tre parti uguali, ciascuna lunga $1/3$.



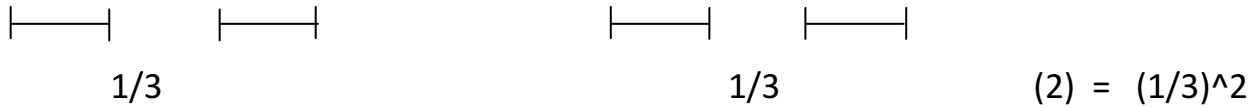
$$(0) = (1/3)^0$$

A questo punto si toglia la parte centrale.

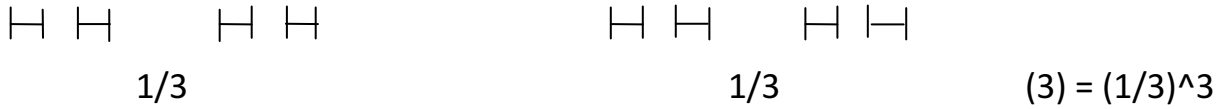


$$(1) = (1/3)^1$$

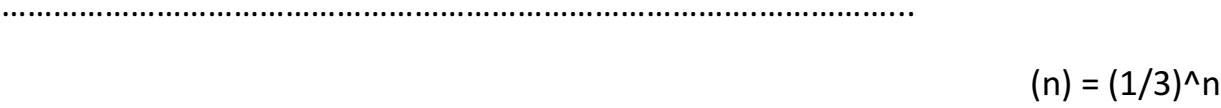
Si ripeta il procedimento con i segmenti rimasti.



E si continui nuovamente questo procedimento.



Fino ad n volte.



Siamo interessati all'oggetto geometrico che risulta quando **n va ad infinito**. Questo oggetto avrà punti, non più intervalli, con numero **infinito**. La sommatoria degli intervalli è uguale ad 1, è una dimensione euclidea pari ad 1. La sommatoria dei punti è invece una dimensione diversa da 1.

Che dimensione è?

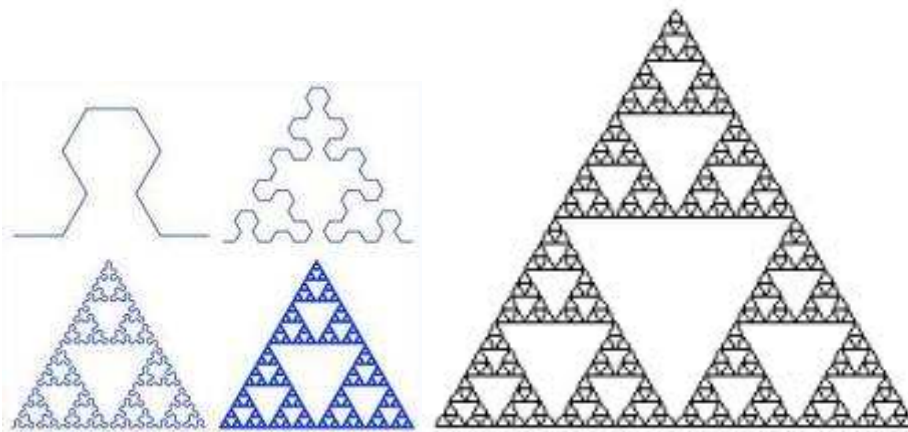
La sommatoria di un **numero finito** di punti è uguale a 1.

La sommatoria di un **numero infinito** di punti è uguale a che cosa? Che dimensione ha?

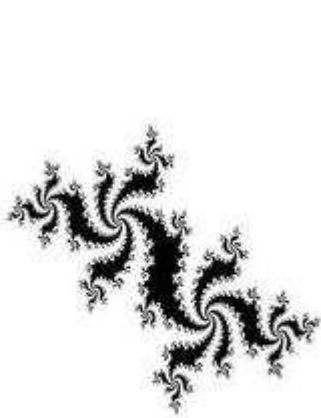
Abbiamo quindi un oggetto con infiniti punti e che non ha dunque intervalli. E' un bel problema. La nozione di dimensione euclidea non ci è più sufficiente per definirlo nella sua dimensione.

La nuova misura che si introduce prende il nome di **DIMENSIONE FRATTALE**.

Esiste un altro esempio simile, con costruzione analoga a quella dell'insieme di Cantor, che dà origine all'oggetto frattale chiamato triangolo di Sierpinski.



Il triangolo di Sierpinski



Insieme di Julia



Felce



Frattale che richiama la spirale

Dobbiamo ora trovare un criterio della misura di calcolo della dimensione frattale che:

- non sia in conflitto con la intuitiva euclidea;
- misuri oggetti frattali (del tipo Insieme di Cantor).

Un criterio di misura è il seguente:

prendiamo piccoli cubi (di lato $l = \epsilon$) o sfere (di diametro $\phi = \epsilon$) e ci poniamo una domanda:

quante sfere di diametro ϵ occorrono per coprire il segmento $(0,1)$?

Se prendiamo una sfera di diametro ϵ , il minimo numero di sfere (di diametro $\phi = \epsilon$) è funzione di ϵ , ed è uguale a $N(\epsilon)$.

Se $\epsilon = 1$ $N(\epsilon) = 1$

Se $\epsilon = \frac{1}{2}$ $N(\epsilon) = 2$

Se $\epsilon = \frac{1}{3}$ $N(\epsilon) = 3$

In generale: $N(\epsilon) = 1/\epsilon$

In R^2 invece:

Se $\epsilon = 1$ $N(\epsilon) = 1$

Se $\epsilon = \frac{1}{2}$ $N(\epsilon) = 4$

Se $\epsilon = \frac{1}{3}$ $N(\epsilon) = 9$

In generale: $N(\epsilon) = 1/(\epsilon^2)$

$\epsilon = \frac{1}{3}$ $\rightarrow 2$ sfere

$\epsilon = (\frac{1}{3})^2$ $\rightarrow 2^2$ sfere

..... dopo n passi:

$\epsilon = (\frac{1}{3})^n$ $\rightarrow 2^n$ sfere (di diametro $\epsilon = \phi = (\frac{1}{3})^n$) sono necessarie per coprire il segmento.

Riepilogando:

$$\text{in } \mathbb{R}^1 \quad N(\varepsilon) = 1/\varepsilon$$

$$\text{in } \mathbb{R}^2 \quad N(\varepsilon) = 1/(\varepsilon^2)$$

$$\text{in } \mathbb{R}^3 \quad N(\varepsilon) = 1/(\varepsilon^3)$$

$$\text{in } \mathbb{R}^4 \quad N(\varepsilon) = 1/(\varepsilon^4)$$

La DIMENSIONE FRATTALE si calcola quindi in questo modo:

$$\text{DIM} \equiv \lim_{\varepsilon \rightarrow \text{infinito}} [\log N(\varepsilon)] / [\log (1/\varepsilon)]$$

Questa è la misura proposta per calcolare la DIM di oggetti euclidei ma anche del tipo 'insieme di Cantor'

Verifichiamolo:

$$\text{in } \mathbb{R}^1 = \text{DIM} = 1 \text{ perché}$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow \text{infinito}} [\log N(\varepsilon)=1/\varepsilon] / [\log (1/\varepsilon)] = 1 \text{ (è lo stesso della dimensione euclidea)}$$

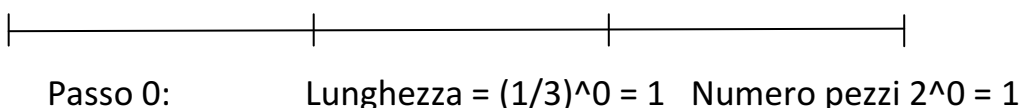
$$\text{in } \mathbb{R}^2 = \text{DIM} = 2 \text{ perché}$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow \text{infinito}} [\log N(\varepsilon)=1/(\varepsilon^2)] / [\log (1/\varepsilon)] = 2 \text{ (è lo stesso della dimensione euclidea)}$$

$$\text{in } \mathbb{R}^3 = \text{DIM} = 3 \text{ perché}$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow \text{infinito}} [\log N(\varepsilon)=1/(\varepsilon^3)] / [\log (1/\varepsilon)] = 3 \text{ (è lo stesso della dimensione euclidea)}$$

Poniamoci ora il problema di calcolare la dimensione frattale dell'insieme di Cantor.



Passo 1: Lunghezza = $(1/3)^1 = 1/3$ Numero pezzi $2^1 = 2$



Passo 2: Lunghezza = $(1/3)^2 = 1/9$ Numero pezzi $2^2 = 4$



Passo 3: Lunghezza = $(1/3)^3 = 1/27$ Numero pezzi $2^3 = 8$

.....

Passo n: Lunghezza (n) = $(1/3)^n$ Numero pezzi 2^n

$$\epsilon = f(n) = (1/3)^n$$

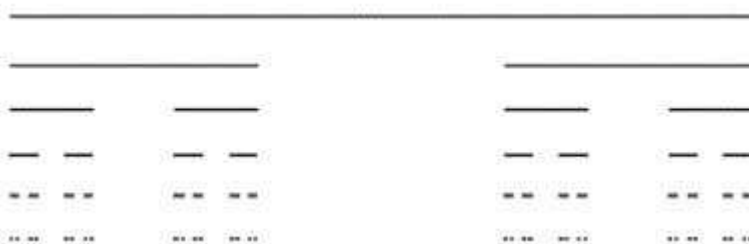
$$N(\epsilon) \rightarrow N(n) \quad \epsilon \rightarrow 0 \quad \iff \quad n \rightarrow \text{infinito}$$

La dimensione dell'insieme di Cantor si può quindi ora facilmente calcolare:

$$\text{DIM} = \lim (n \rightarrow \text{infinito} \text{ o } \epsilon \rightarrow 0) [\log(2^n) / \log(3^n)] = \log 2 / \log 3 = 0.63.....$$

Indica il modo in cui un oggetto riempie lo spazio

Gli oggetti con DIM NON INTERA sono OGGETTI FRATTALI.



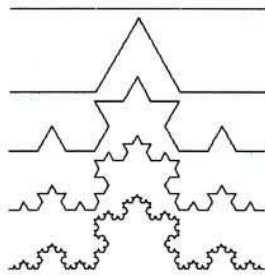
DIMENSIONE FRATTALE è criterio di misurazione dimensione di oggetti (che copre oggetti con dimensione intera e/o non intera)

IL FRATTALE è un OGGETTO CON DIMENSIONE NON INTERA

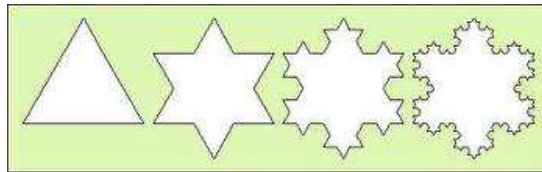
PROPRIETA' DEGLI INSIEMI FRATTALI

- 1) AUTOREPLICA O AUTOSOMIGLIANZA
- 2) INVARIANZA di SCALA

I sottoinsiemi di un insieme di Cantor hanno una struttura replicata a tutti i diversi livelli di risoluzione (stessa struttura int. Partenza).



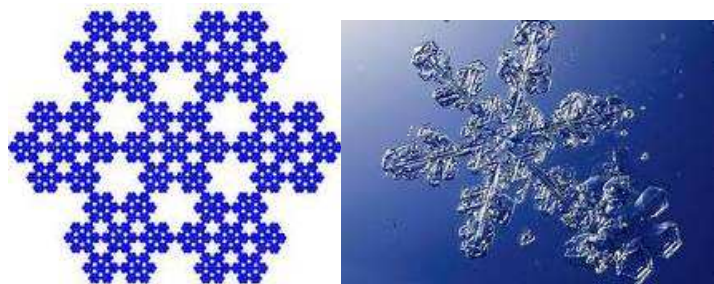
Curva di Koch – 1



Curva di Koch – 2



Curva di Koch – 3



Fiocco di neve

Lunghezza insieme di Cantor

È uguale a 1 – tutti i buchi

$$1 - (1/3 + 2/(3^2))$$

$$1 - [(2^0)/3 + 2/(3^2) + (2^2)/(3^3)]$$

$$1 - \text{sommatore (per } n = 1 \text{ a infinito) di } [2^{(n-1)}/3^n] = 0$$

La misura di Lebesgue è uguale a zero. $U(\text{cantor}) = 0$

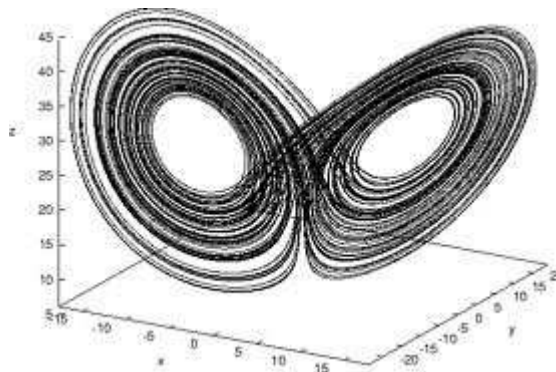
Sistemi conservativi e dissipativi

Gli attrattori caotici tipicamente hanno una struttura frattale, sono insiemi frattali.

Esistono tuttavia insiemi frattali a dimensione non intera senza SDIC, e quindi senza attrattori caotici: essi si chiamano attrattori strani o strange attractors.

La maggioranza degli attrattori caotici hanno dimensione frattale.

Esempio di attrattore caotico in tempo continuo:



L'attrattore caotico di Lorenz

È un sistema in tempo continuo in \mathbb{R}^3 , con attrattore dalla struttura frattale.

Si tratta di un **sistema dissipativo**, cioè di un sistema che applicato a VOLUMI di condizioni iniziali provoca una riduzione del volume stesso.

Abbiamo un 'cubo' di condizioni iniziali che si contrae, ed il tasso di contrazione è dato dagli autovalori.

I sistemi dissipativi sono sistemi che riducono le condizioni iniziali (si riduce il volume) in qualche direzione.

Abbiamo i seguenti casi:

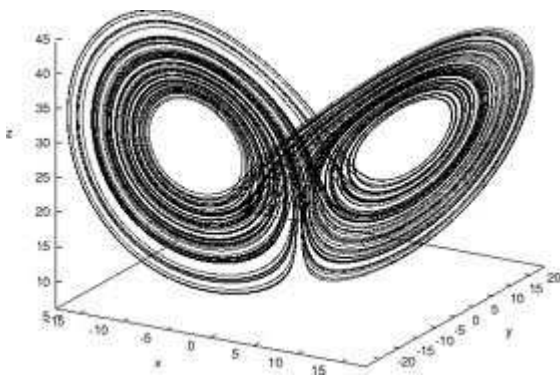
volume di dimensione 1: c'è riduzione!

volume di dimensione 2: c'è una riduzione in una direzione e più grande in un'altra direzione!

Riepilogando, un **SISTEMA DISSIPATIVO**, è contraddistinto dal fatto che i **VOLUMI di CONDIZIONI INIZIALI** sono **contratti**; è un sistema i cui attrattori sono "più piccoli" della DIM intesa come numero delle variabili:

$\text{DIM ATTRATTORI} < \text{DIM NUMERO di VARIABILI}$

Questo attrattore:



è di un sistema dissipativo (sta in \mathbb{R}^3), per la dinamica su quell'attrattore utilizzo solo 3 equazioni differenziali, 3 variabili che sono combinazioni lineari e non lineari delle 10 variabili (equazioni simultanee).

I **SISTEMI CONSERVATIVI** invece hanno soluzioni che **CONSERVANO** i **VOLUMI**.

In teoria del caos tipicamente studiamo sistemi dissipativi (dove ci sono attrattori).

Il SISTEMA DISSIPATIVO ha 1 o più attrattori, l'AREA si stringe, ci sono n variabili, alcune si contraggono, alcune si espandono.

Il tasso di contrazione $|\lambda_i| >$ tasso di espansione $|\lambda_j|$

Esiste il fenomeno di stretching – folding (stiramento - ripiegamento), il sistema dissipativo in almeno una direzione di espande.

Riepilogando:

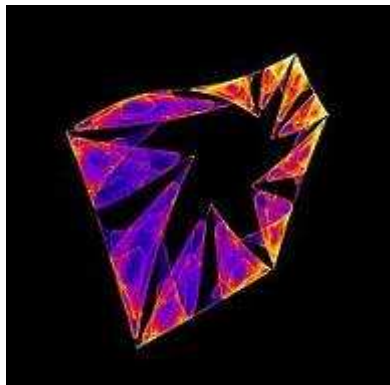
- Sistemi dissipativi → esistono attrattori (c'è contrazione dei volumi)
- Sistemi conservativi → non esistono attrattori (conservano i volumi)

Il caso più semplice di sistema dissipativo è quando la contrazione avviene in tutte le direzioni.

Il caso meno semplice di sistema dissipativo è quando c'è contrazione in alcune direzioni, ed espansione in altre direzioni.

Esiste SDIC, esiste espansione delle traiettorie in almeno una direzione; esiste un grado di INCERTEZZA, l'ESPANSIONE PUO' ESSERE LOCALE.

Esempio di stretching/folding stiramento ripiegamento di un foglio $2 < \text{DIM} < 3$:



- Se prendiamo un foglio di carta spesso siamo in \mathbb{R}^3 DIM 3 (larghezza, lunghezza, spessore) quindi **non ci può essere attrattore** (mancherebbe la forza dissipativa, cioè una direzione in cui ci possa essere contrazione del volume;
- Se il foglio avesse spessore zero, violerei il teorema di unicità delle soluzioni;
- Se considero la sezione del foglio, abbiamo un esempio di insieme di Cantor; la misura/lunghezza è uguale a 0, lo spessore foglio è uguale a 0, ed infiniti punti, infinite orbite attraversano la sezione: non si viola l'unicità della soluzione: c'è attrattore caotico.

P: DIM frattale → attrattore caotico

$$2 < \text{DIM} < 3$$

siamo in un sistema dissipativo

In R^3 invece $DIM = 0$ perché spessore 0 = volume 0

In un sistema in tempo continuo l'attrattore caotico ha DIM frattale non intera:

$$2 < DIM < 3$$

Come si calcola la dimensione frattale?

Calcolo il limite in media per il diametro di una sfera piccola tendente a zero della densità di punti che riempiono un oggetto.

Esistono vari metodi, come ad esempio:

- 1) Metodo di Grassberger – Procaccia (basato su funzione di correlazione, distanza euclidea tra due punti, e limite in media per il diametro di una piccola sfera) – dimensione di correlazione di G.P.
- 2) Stima della dimensione di correlazione (conoscendo gli LCE) – dimensione di Lyapunov.
- 3) Metodo Stagnaro (2010)

Nei Sistemi Biologici c'è Caos Deterministico

Dal 1996 sappiamo che i sistemi biologici fisiologicamente non posseggono un volume costante né oscillano omeostaticamente intorno ad un volume medio secondo la visione di Claude Bèrnard (fissità dell'ambiente interno) e di Cannon (omeostasi), teorie ancora generalmente accettate all'inizio del terzo millennio (Stagnaro, 2010).

Nel sano, al contrario, tutti i sistemi biologici fluttuano in modo caotico deterministico sia a livello macroscopico sia a livello microscopico, cioè microvascolotessutale.

Come ben si comprende da quanto sopra ricordato, le oscillazioni dei sistemi biologici e dei relativi microvasi, riportate su di un sistema di assi cartesiani, formano delle figure geometriche dalla variabile complessità, passibili di essere valutate "quantitativamente" mediante una precisa misura, che ci consente di calcolarne la dimensione (Fig. 1).

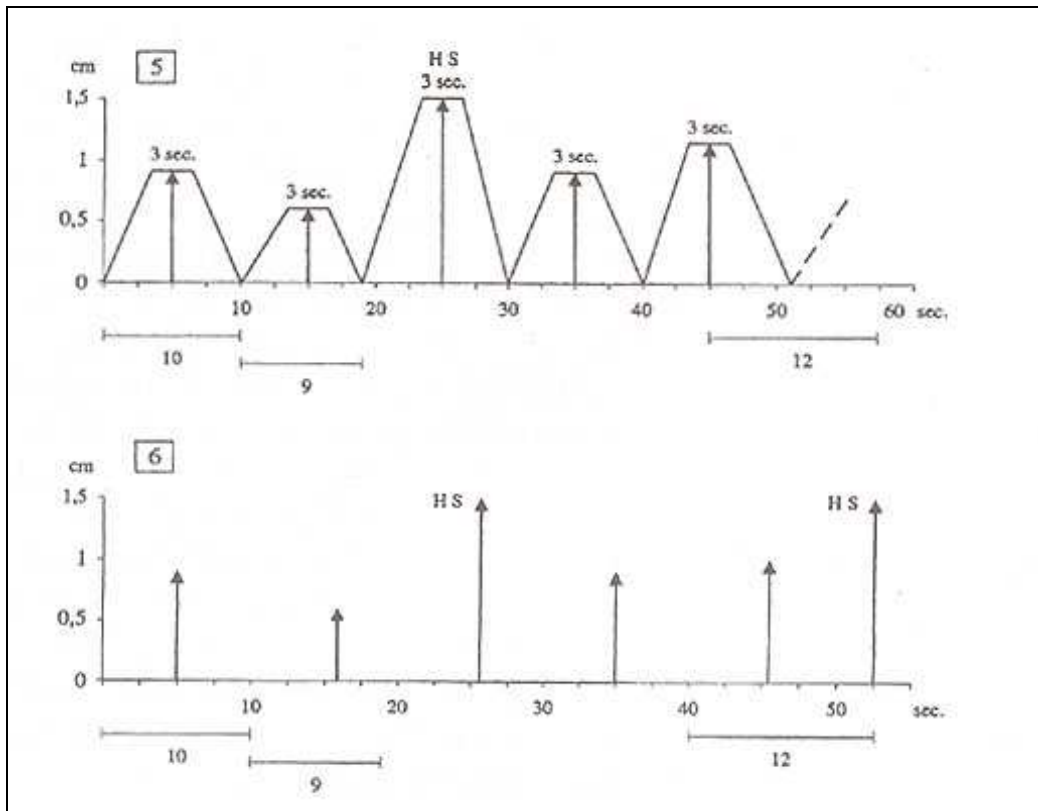


Fig. 1

Le oscillazioni dei riflessi ureterali superiori (vasomotilità) ed inferiori (vasomotion), osservate durante la stimolazione dei trigger point del sistema oggetto di studio e riportate su di un sistema di assi cartesiani, sono espresse come diagramma (in alto) e relativo tacogramma (in basso). Queste strutture informano sulle oscillazioni delle piccole arterie e delle arteriole, e rispettivamente dei capillari e venule post-capillari.

La misura o dimensione di questo caos deterministico – dimensione frattalica – progressivamente diminuisce quando il sistema biologico passa, più o meno lentamente, dalla condizione fisiologica a quella di malattia, cioè evolvendo in senso patologico.

Ne consegue l'utilità dell'impiego di modelli matematici della dinamica non-lineare nella Semeiotica Biofisica Quantistica – SBQ - ai fine della valutazione anatomico-funzionale dei sistemi biologici, ottenendo una precisa valutazione dell'attività biologica, secondo la teoria dell'Angiobiopatia (Stagnaro, 2005).

Infine, l'originale SBQ permette al medico di valutare bed-side struttura e funzione del sistema microvascolotessutale di tutti i sistemi biologici, mediante l'accurata analisi delle informazioni contenute nelle fluttuazioni dei riflessi ureterali superiore (piccole arterie ed arteriole, secondo Hammersen), medio (dispositivi endoarteriolar di blocco) ed inferiore (capillari e venule post-capillari), dell'uretere "in toto" (interstizio), che informano sulle varie strutture dell'unità microvascolotessutale, in tale modo originando una nuova branca della Medicina: la Microangiologia Clinica (Stagnaro 2005, Caramel 2010a).

La dimensione frattalica è una misura del caos deterministico; in particolare, la dimensione frattalica, o fD , della vasomozione rappresenta il grado di complessità dei vari diagrammi, inclusi quelli relativi all'unità microvascolotessutale, e dei rispettivi tacogrammi. La fD , infatti, corrisponde alla quantità di informazione da introdurre in un computer o da consegnare al disegnatore personale al fine di ottenere la riproduzione delle figure stesse. Pertanto, la fD può essere definita anche come livello di entropia positiva, in caso di presenza di caos deterministico.

Calcolo della Dimensione frattalica delle Fluttuazioni Caotico - Deterministiche dei Sistemi Biologici

Dal punto di vista della SBQ, nel calcolo della fD un ruolo di primo piano è svolto dall'intensità delle Highest Spikes - HS (Fig. 1).

Fisiologicamente, infatti, l'intensità di queste oscillazioni massimali è 1,5 cm., misura della intensità massima di fluttuazione ureterale, superiore ed inferiore, valutata con la percussione ascoltata del viscere.

Se si divide questo valore dell'altezza delle HS, per l'intensità delle oscillazioni minime ($I = 0,5$ cm.), si ottiene un importante parametro, il fattore frattalico ($ff = 3$), molto utile nella valutazione della fD , espressione del modo di essere e funzionare del sistema biologico oggetto di indagine. A questo proposito si ricorda che la fD , o grado di entropia, rappresenta la complessità della figura frattalica, a cui ci si riferisce.

In altre parole, tanto più complessa è la figura di riferimento, tanto maggiore è la quantità d'informazione necessaria da introdurre in un computer per ottenere quella figura, cioè tanto maggiore è l'energia in entrata fino a corrispondere a quella in uscita, o superarla, in caso di massima complessità: la *fD* aumenta con l'incremento della complessità della struttura che vogliamo descrivere. La valutazione *bed-side* di "tutte" le componenti del letto microcircolatorio con la Semeiotica Biofisica-Quantistica è descritta nei dettagli in vari articoli e pubblicazioni (Stagnaro 2005).

Nel sano, le massime oscillazioni microvasali o Highest Spikes (HS), osservate ogni 25 secondi esatti, cioè dopo due "normali" oscillazioni caotiche, stocastiche, imprevedibili ed imprevedibili, sempre precedute dall'intervallo più prolungato, durante cui avviene accumulo di ATP nelle '*smooth muscle cells*' vasoparietali, rivelano una intensità tre volte maggiore di quella delle fluttuazioni minime: il loro rapporto coincide con il fattore frattalico (Valore normale o basale - NN: $ff = 3$), una variabile importante nel calcolo della *fD*.

Pertanto, nel sano, il comportamento dinamico e temporale della '*vasomotility*' e della '*vasomotion*' appare chiaramente caotico e non-lineare. Infatti, il caos, nel suo significato tecnico, moderno, è utilizzato per indicare una forma di evoluzione temporale, in cui la differenza tra due stati, all'inizio molto vicini e simili, cresce col passare del tempo in modo esponenziale.

A questo punto ricordiamo, tuttavia, che si osservano "finestre" di ordine all'interno del "caos" delle dinamiche microvasali, provocate dall'immissione di una maggior quantità di materia-energia-informazione, oppure, al contrario, dalla sua patologica riduzione.

Confrontando le HS con le altre oscillazioni irregolari, "normali", fisiologiche e non, osserviamo un fatto interessante: tutte le "orbite" sono attratte in uno spazio "matematico", difficile da illustrare in modo geometrico, visivo, definito nel soggetto sano come "attrattore strano", che somiglia ad una curva continua, confinata in una regione finita dello spazio delle fasi, che mai lo attraversa e neppure vi cade dentro.

"La struttura geometrica degli attrattori strani in qualche modo somiglia a quella della pasta-sfoglia, che è fatta mediante ripetuti stiramenti-ripiegamenti della sostanza". L' "attrattore strano" generalmente è rappresentato in modo raffinato da

una figura somigliante alle ali di una farfalla, perché questa fu la sua prima rappresentazione geometrica, e corrisponde all'attrattore di Lorenz, lo scopritore del caos deterministico, ma ovviamente gli attrattori strani e quelli caotici possono avere molte altre strutture geometriche e/o frattaliche.

In realtà infatti, gli attrattori strani hanno in certi casi mostrato di essere dei frattali e si congetture che tali siano in molti altri. Sebbene molto difficili nella loro essenza, nella pratica il caos e i frattali sembrano essere intimamente correlati, per esempio, nel flusso ematico polmonare.

Il lettore, che per la prima volta si confronta con questi argomenti, pensi allo spazio matematico delle fasi (uno spazio multidimensionale), che contiene, per esempio, le dinamiche di una cellula muscolare liscia, come ad uno spazio le cui coordinate non sono quelle a noi note dello spazio "fisico" in cui viviamo con 3 D/S e 1 D/T, ma quelle, molto più numerose, rappresentate dalla concentrazione cellulare di Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{++} ATP, ADP, AMP, Creatina-fosfato, ecc.

Il sotto-spazio dello spazio matematico delle fasi rappresenta l'attrattore, entro il quale si muovono le traiettorie seguendo percorsi sempre differenti, senza mai passare due volte nello stesso punto, cadere in esso o da questo uscire.

Quando gli organi e i tessuti evolvono verso una condizione patologica cronica, per esempio, la Sindrome Metabolica, classica e "variante", caratterizzata da alterata tolleranza al diabete, iperinsulinemia-insulino-resistenza, dislipidemia, ipertrigliceridemia, a volte obesità, nel 50% dei casi diabete oppure in evoluzione diabetica (individui con Costituzione Diabetica e Reale Rischio Congenito), le HS sono ancora presenti, ma la loro intensità appare nettamente ridotta, per esempio con $ff = 2/1$, quando è confrontata con quella delle oscillazioni minime (Valore basale $NN = 3/1$), valutate come fluttuazioni dei riflessi ureterali, superiore o inferiore, e coledocico.

Inoltre, le "normali" oscillazioni, sebbene mostrino un comportamento caotico, sono chiaramente meno irregolari ed meno intense di quanto si osserva nel sano: sembra che tutte le orbite siano attratte da un attrattore più "semplice", tecnicamente definito "a ciclo limite": pensi il lettore alla forma della terra, cioè una sfera schiacciata ai due poli.

Infine, in caso di malattia cronica (nel nostro esempio, il diabete mellito, tipo 2, NIDDM), in netto contrasto con la patologia acuta, le HS sono tipicamente assenti e le oscillazioni dei riflessi coledocico ed ureterali sono di piccola intensità, tutte uguali, con il periodo fisso di 10 secondi e, quindi, facilmente prevedibili e con scarsa entropia (o meglio entropia tendente a zero): bastano poche informazioni al computer per descrivere la sua rappresentazione geometrica: al posto della costa frastagliata ora osserviamo la spiaggia.

In queste condizioni osserviamo il più "semplice" attrattore, che corrisponde al punto dove tutte le traiettorie terminano, rappresentato, pertanto, come un punto nello spazio "matematico" delle fasi: attrattore "a punto fisso". Chiaramente questo attrattore non è di tipo caotico, ma topologico: è sufficiente fornire di poche istruzioni un computer (bassissimo livello di entropia) per riprodurre graficamente queste dinamiche.

Appare interessante il fatto che nei giovani colpiti da un transitorio processo morboso "acuto", come la labirintite da virus influenzale, durante stimolazione intensa dei relativi *trigger-points* (intensa pressione digitale sopra il meato uditivo esterno: proiezione cutanea dei centri cocleo-vestibolari) le oscillazioni regolari, prevedibili, uguali della *vasomotility* e della *vasomotion* delle unità micro-vascolo-tessutali del labirinto posteriore, sono facilmente valutate come HS con la Semeiotica Biofisica Quantistica, evidenziando una massima attività motoria locale, autonoma e autoctona (Fig. 2).

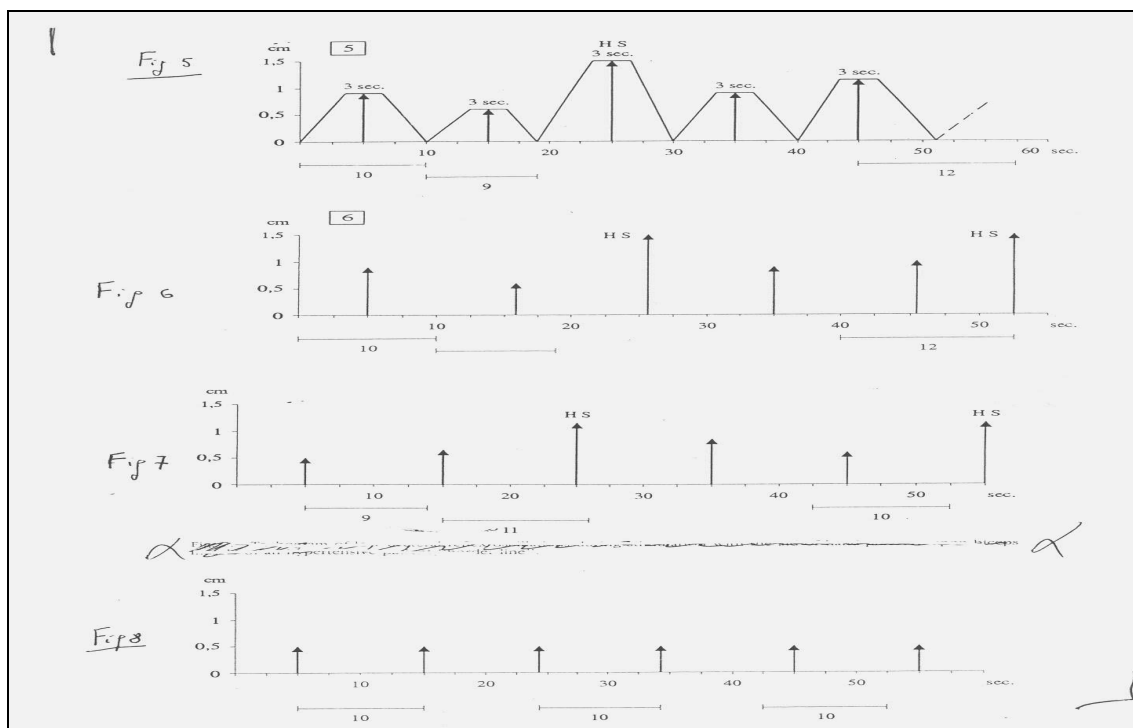


Fig. 2

I tacogrammi mostrano dall'alto in basso le fluttuazioni fisiologiche, quelle tipiche della lenta evoluzione patologica e in fine, in basso, le oscillazioni nella malattia cronica, in cui sono tutte identiche e di minima intensità

Per riassumere quanto precede, l'intensa pressione digitale, applicata sopra la proiezione cutanea di un organo, transitoriamente sofferente ma ancora reattivo, provoca la comparsa di una massima attività motoria.

Da quanto sopra riferito, grazie alla SBQ, il Medico può oggi ammirare nel corpo umano sano la bellezza frattalica, che va gradatamente riducendosi con la progressiva evoluzione verso la patologia. Infatti, quando un sistema biologico, dinamico, diventa lentamente fisso a partire dal suo moto inizialmente periodico, quando cioè si riduce la sua complessità, quando esso perde le sue componenti caotiche, quando al "caos" (od ordine complesso) subentra un "ordine" più semplice, allora esso non possiede più le originarie capacità adattative e la sua possibilità di molteplici risposte.

A questo punto il lettore deve sapere che esiste la possibilità calcolare, in vari modi di differente eleganza e difficoltà, la dimensione frattalica (FD) di un sistema

biologico caotico deterministico, come quello microvascolare di qualsiasi organo, viscere o tessuto.

Tra i numerosi procedimenti al letto del malato facilmente realizzabili, il seguente è veramente originale: in 120 secondi si attuano 4 HS, che dividono lo spazio in 4 segmenti; ogni segmento, a sua volta, è ulteriormente diviso in 3 parti da due "normali" oscillazioni.

Pertanto, è facile calcolare la fD della figura, cioè il grado di caos, di entropia, o la complessità della figura, che indica approssimativamente lo spazio occupato dalla figura stessa ed è la misura della sua complessità:

$$\ln 4 / \ln 3 \times "f" a)$$

Il fattore "f" o "fattore frattalico, risulta dal rapporto HS/oscillazione minima: nel sano è 3, come già riferito.

Ne consegue che fisiologicamente la fD è $> 3 < 4$, cioè 3,81 (1,27 X 3) .

Nei pazienti, dove un sistema biologico evolve verso qualsiasi patologia cronica la fD è >1 e < 3 e, infine, nelle malattie croniche la fD (il pancreas endocrino in caso di diabete) è 1, dimensione topologica.

C'è da evidenziare la presenza di numeri magici, incontrati in mezzo secolo di ricerche, a dimostrazione della verità "scientifica" della teoria della SBQ. A modo d'esempio, se si divide la fD fisiologica, cioè osservata nel sano (3,81) per i valori della fD delle traiettorie di un sistema biologico in lenta evoluzione patologica (per esempio, il pancreas endocrino nella RTG in lenta evoluzione verso il DM) cioè per valori di fD oscillanti intorno a 2,37, si ottiene 1,61, f, la sezione aurea, che incontriamo nel frontale del Partenone e nel vaso etrusco di Francois. In pratica, la dimensione frattalica si calcola in modo estremamente preciso e semplice come valore della durata della scomparsa di un segno, il riflesso gastrico aspecifico – tecnicamente parlando, il tempo di latenza differenziale – durante stimolazione persistente dei trigger-points relativi ai diversi sistemi biologici.

Infatti, questo valore parametrico è espressione della validità della Riserva Funzionale Microcircolatoria (RFM), a sua volta direttamente correlata al grado di caos deterministico del sistema biologico oggetto di valutazione.

E' da sottolineare il fatto che secondo la SBQ, come evidenziato qui sotto nella tabella riassuntiva, l'attrattore caotico c'è solo in presenza di una fD o DIM frattalica compresa tra 3 e 4:

3 > DIM > 4 → attrattore caotico

E questo è un fatto scientificamente sorprendente che aprirà un notevole dibattito che coinvolgerà scienza, spiritualità, fede e religione, perché data la teoria del caos precedentemente esposta,

3 > DIM > 4 → attrattore caotico

significa che i nostri sistemi biologici sono immersi in uno spazio R^4 . Una considerazione prettamente matematica, non opinabile, apre lo spazio alla dimostrazione dell'esistenza di dimensioni superiori a 3, e fa avanzare l'ipotesi che siamo immersi in uno spazio quadridimensionale.

La quarta dimensione spaziale è chiaramente invisibile e non ancora stata riscontrata scientificamente, ma grazie all'analisi dei microvasi fatta da Stagnaro, possiamo dedurre l'esistenza in via diretta, analizzando il comportamento dinamico dei microvasi, che a loro volta ci danno indirettamente informazioni sullo stato di salute del relativo parenchima.

Certo, dobbiamo fare attenzione ed essere prudenti ad estendere significati matematici alla realtà che ci circonda, ma perlomeno siamo legittimati a sollevare la questione sulla base dei dati che ci fornisce la SBQ.

L'esistenza della 4a dimensione spaziale apre spazio a diverse considerazioni, che si legano ad altre discipline, come la fisica quantistica, ed in particolare corrobora altri importanti risultati della SBQ:

- L'esistenza della realtà non-locale (vedi esperimento di Lory);
- L'esistenza di un determinismo caotico – quantistico (vedi interpretazione causale quantistica di David Bohm e sue relazioni con la teoria del caos);

- L'esistenza del libero arbitrio (vedi Manuel Story);
- Co-presenza parallela e non sovrapposta di realtà locale e realtà non locale in biologia, in condizioni fisiologiche;
- Co-presenza di realtà non-locale ed attrattore caotico in condizioni fisiologiche.

Tabella riassuntiva:

| Fractal Dimension fD | Equilibria | State of health |
|-----------------------------|--|--|
| $fD = 1$ | fix point | chronicity – chronic and acute pathology |
| $1 < fD < 1.9$ | limit cycle tending to fix point | pathology – tendency to chronicity State of variable severity of disease evolution |
| $1.9 \leq fD < 3$ | limit cycle | initial implementation of the tendency to disease /potential pathology- i.e. Oncological Terrain (TO) – initial evolution to disease |
| $3 \leq fD < 3.81$ | limit cycle tending to strange attractor | tendency to physiologic condition (only potential phase) |
| $fD \geq 3.81$ | strange or chaotic attractor | Physiologic condition – healthy state |

Leggenda: la dimensione frattale (fD) viene calcolata nel modo più semplice come il tempo di scomparsa di un riflesso gastrico aspecifico prima che appaia il nuovo

riflesso. E' importante sottolineare che la fD è direttamente (d) o inversamente (INV) proporzionale a:

A) (d) la **riserva funzionale microcircolatoria RFM** (vasomotility and vasomotion) e poi

B) (d) con la presenza, o meno, del **Reale Rischio congenito locale**;

C) (d) con il **tempo di latenza** del riflesso gastrico aspecifico e con il pH tessutale;

D) (INV) con la **durata** del riflesso gastrico aspecifico.

Attrattore caotico: insieme attrattivo indecomponibile

Per definire un attrattore, ci sono due fasi:

- 1) Dobbiamo vedere se l'oggetto (compatto, ovvero chiuso e limitato) in questione è un insieme attrattivo, ovvero tale che in esso le orbite vi convergono

Infatti, quando studiamo un attrattore, dobbiamo analizzarne sia le proprietà geometriche (insieme compatto, attrattivo, denso, indecomponibile) che statistiche (dimensione frattale, LCE, entropia) perché vogliamo la CERTEZZA che stiamo studiando un oggetto omogeneo (non decomponibile).

Un insieme attrattivo può infatti essere caratterizzato da sottoinsiemi con altri comportamenti attrattivi, tale insieme (attrattivo) al suo interno può contenere altri insiemi attrattivi, ovvero può essere DECOMPONIBILE.

A noi interessa che un INSIEME ATTRATTIVO sia INDECOMPONIBILE.

Esempio:



Se consideriamo una grande nuvola solitaria in cielo essa è un esempio di attrattore caotico stabile ed indecomponibile, ma se mutano le condizioni iniziali, essa al suo interno può avere altri insiemi attrattivi, per cui può decomporsi in una molteplicità di nuvole più piccole.

DEFINIZIONE di INDECOMPONIBILITA'

Un insieme è indecomponibile se è:

- Topologicamente transitivo
- Indecomponibile (metricamente)
- Caratterizzato da un'orbita densa

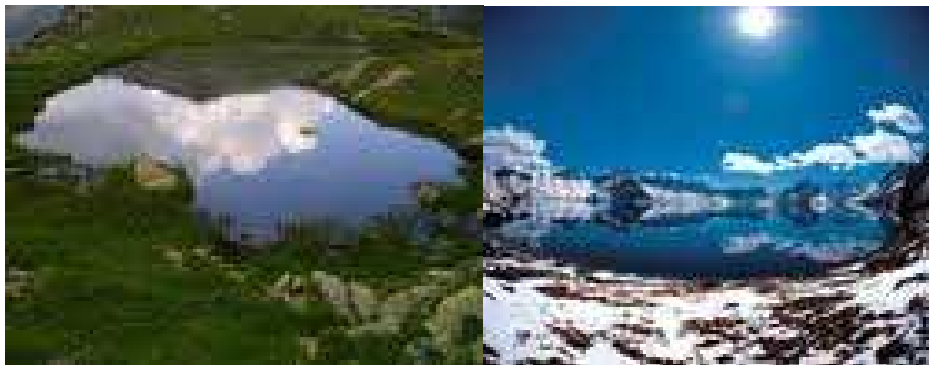
Es. mappa a tenda è indecomponibile perché data una condizione iniziale x_0 di partenza, si visita prima o poi tutto il sistema.

Un'orbita è densa se data una qualsiasi orbita che parta da qualsiasi punto dell'insieme, voglio che essa vada arbitrariamente vicino a qualsiasi punto dell'insieme.

Se in un insieme è INDECOMPONIBILE, LCE è indipendente da condizione iniziale.

Bacino di attrazione

Il bacino di attrazione è l'insieme delle condizioni iniziali che danno origine ad un particolare attrattore.





Come si vede nelle figure, con uno sforzo di immaginazione, possiamo pensare al lago di montagna come all'insieme delle condizioni iniziali (bacino d'attrazione) che danno luogo alla nuvola bianca in cielo (attrattore caotico). Se il lago di montagna dà luogo, per mezzo dell'evaporazione e delle correnti, a più di una nuvola in cielo, avremo sulla sua superficie diversi bacini di attrazione, ciascuno dei quali sarà direttamente correlato con la particolare nuvola che andrà a creare nel cielo. Ebbene, questi bacini disegnati graficamente sono bellissimi disegni frattali, spesso spiraliformi, quasi che ciascuna goccia d'acqua del lago sapesse già, nella sua traiettoria ascensionale non-lineare ed imprevedibile verso il cielo, quale nuvola contribuirà a formare.

Le biforcazioni

Abbiamo visto:

- Attrattori caotici
- SDIC
- La misura della SDIC: uno o più $LCE > 0$
- La dimensione frattale (proprietà in generale presente; però esistono insiemi generati da sistemi dinamici frattali che non sono caotici, non hanno SDIC)

I sistemi dinamici in tempo discreto ed in tempo continuo se sono sistemi dissipativi essi hanno uno o più attrattori (vari tipi di attrattori).

Adesso prendiamo un sistema dinamico dato, e supponiamo per ipotesi che il comportamento del sistema dipenda da uno o più parametri (esempio: dal parametro dell'ossigenazione tessutale).

Problema: come cambia il comportamento del sistema quando uno o più dei suoi parametri vengono modificati?

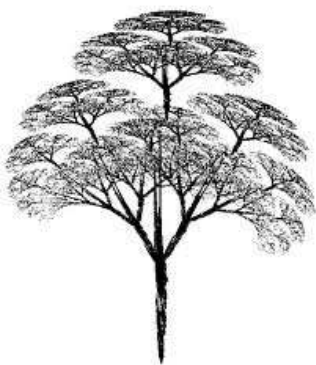
Possiamo pensare ad una famiglia di sistemi che dipendono da un parametro, c'è un sistema con una certa forma funzionale che dipende da un parametro, per ogni prefissato valore di un parametro corrisponde un sistema dato.

$DX = f(x, \mu)$ dove μ è un parametro

In generale ci aspettiamo che se il parametro cambia poco, pure il comportamento del sistema cambia poco, cioè non cambia qualitativamente. Mi aspetto in genere che cambiamenti piccoli del valore del parametro diano cambiamenti del comportamento del sistema da poco (qualitativamente irrilevanti).

Se però una variazione del parametro arbitrariamente piccola, dà luogo ad una variazione qualitativamente importante del sistema a tal punto da minare o rompere la sua stabilità o un suo equilibrio, allora dobbiamo definire un nuovo comportamento del sistema: tale comportamento viene chiamato BIFORCAZIONE, ed il valore del parametro che comporta questa variazione qualitativa del sistema viene chiamato VALORE DEL PARAMETRO di BIFORCAZIONE.

Pensiamo ad esempio alle biforcazioni dell'albero, che da tronco biforca in rami via via sempre più piccoli.



Biforcazioni di un albero



Dopo una iniezione di fluoresceina

In campo medico possiamo pensare a cosa ci appare dopo una iniezione di fluoresceina per via venosa, ma numerosi esempi troviamo in natura a questo proposito: per esempio il delta dei fiumi, le crepe di un terreno dopo un terremoto.

Le BIFORCAZIONI sono degli spartiacque: sono esse eventi eccezionali?

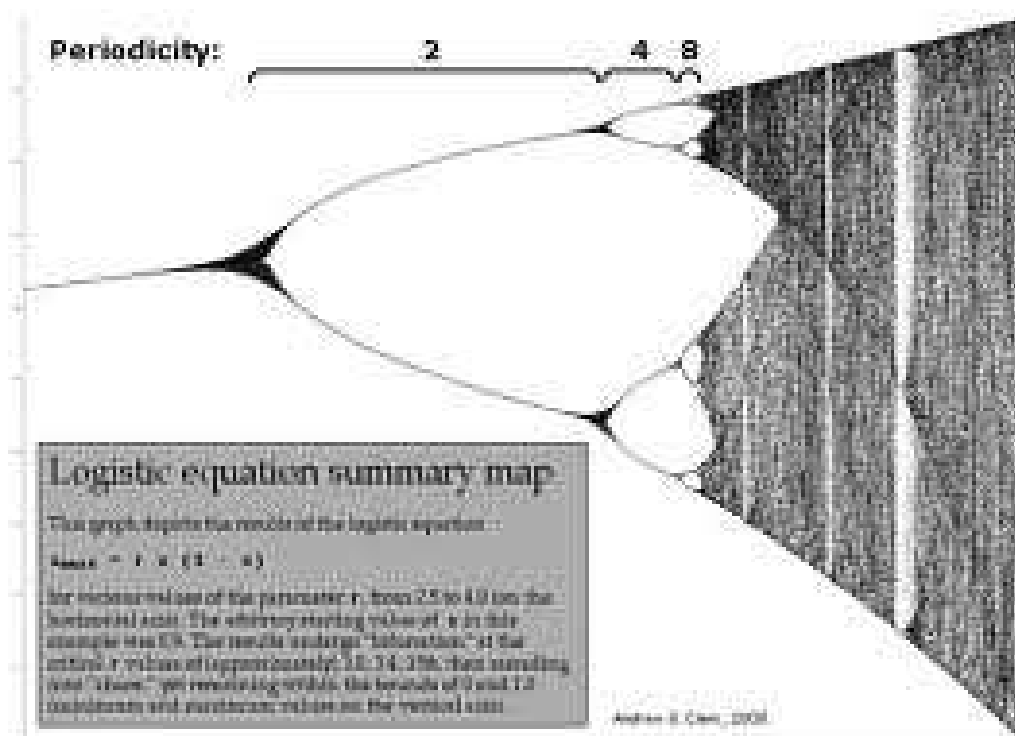
Ebbene sì, sono eventi rari, perché $P_{\mu}(B) = 0$ per sistemi individuali

C'è probabilità zero di trovare un punto nello spazio dei parametri tale che dia luogo a una biforcazione (per questo si ricorre spesso alle simulazioni numeriche per trovarli)

Però se prendiamo una famiglia di sistemi il cui comportamento dipende da un parametro allora $P_{\mu}(B) \neq 0$

Esempio di biforcazioni nella mappa logistica:

$$Dx = r x (1 - x)$$



La mappa definita dall'equazione logistica o di Verhulst $Dx = rx(1-x)$

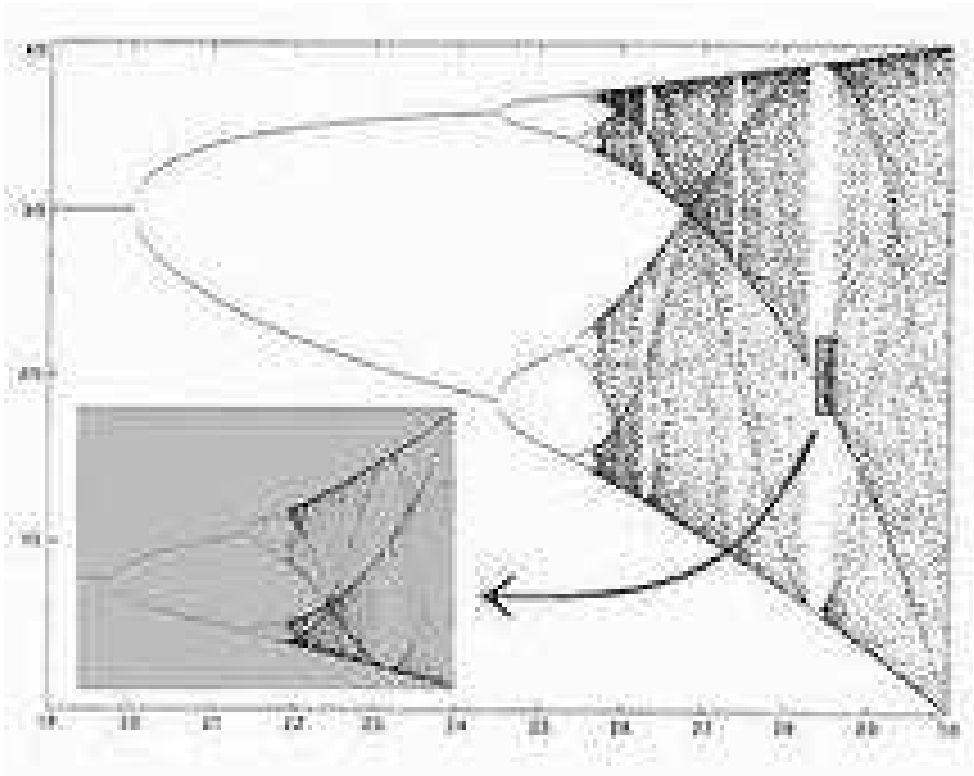


Diagramma di biforcazione logistica – zoom in una piccola porzione—si ripresenta lo stesso oggetto geometrico (invarianza di scala –auto somiglianza è la proprietà dei frattali, ovvero degli attrattori caotici)

Le BIFORCAZIONI dal punto di vista STRUTTURALE possono essere STABILI o INSTABILI.

BIFORCAZIONE STRUTTURALMENTE STABILE

Io sono nello spazio delle famiglie di sistemi di funzioni dei sistemi dinamici, trovo un certo valore, con certe proprietà, ad esempio un parametro di biforcazione, io vorrei che tale non fosse un caso eccezionale.

Il sistema è strutturalmente stabile se un sistema vicino lievemente perturbato ha le stesse proprietà. La stabilità in senso strutturale vuol dire quindi che se io perturbo lievemente la forma strutturale della funzione modificando il parametro (o i parametri) il sistema mantiene le stesse proprietà (STABILITA' IN SENSO STRUTTURALE).

Ad esempio, se la mia ossigenazione tessutale mi consente di avere una dimensione frattale di 3,81 rispetto al comportamento del mio cuore (misurata con il riflesso cardio gastrico aspecifico e percussione ascoltata dello stomaco), ciò vuol dire che

non ho reale rischio di CAD, ed il mio sistema biologico è strutturalmente stabile. Al contrario se la mia dimensione frattale fosse 3, il sistema non sarebbe strutturalmente stabile, perché variando di poco le condizioni iniziali (esempio non seguendo la terapia preventiva suggerita dalla SBQ) in senso peggiorativo potrei passare in un istante dal reale rischio di CAD residuo (per $fD \geq 3$), al reale rischio di CAD effettivo (per $fD < 3$).

STABILITA' in SENSO DINAMICO DEL SISTEMA è relativa al fatto che osservo il comportamento del sistema (stabile o instabile) se perturbo le variabili (i loro valori di stato). Ad esempio, per quanto io abbia perturbati i miei sistemi biologici dal punto di vista dinamico (es. fattori ambientali di rischio) se non ho terreno oncologico, mai potrò ammalarmi di un cancro tra quelli definiti dalla SBQ.

Riepilogando: la stabilità di un sistema può essere intesa come STABILITA' STRUTTURALE (perturbiamo nello spazio dei sistemi o dei parametri, per vedere come il sistema si comporta) o come STABILITA' DINAMICA (rispetto a perturbazioni delle variabili; perturbiamo nello spazio delle fasi, cioè delle variabili).

Per quanto riguarda la STABILITA' DINAMICA abbiamo un sistema dato, esiste un punto di equilibrio, ci chiediamo se è stabile, ovvero ci chiediamo come reagisce il sistema quando le variabili di stato vengono spostate dal punto di equilibrio (es. test dell'apnea, varie manovre della SBQ), quando le condizioni iniziali siano diverse dal punto di equilibrio.

Se il sistema perturbato si allontana poco dal punto di equilibrio allora il sistema è stabile (se inoltre il sistema tende a ritornare al punto di equilibrio allora esso è asintoticamente stabile).

Per quanto riguarda la STABILITA' STRUTTURALE non siamo più nello spazio delle fasi, ma siamo nello spazio dei parametri (o dei sistemi).

Identifichiamo il sistema e lo perturbiamo nello spazio dei sistemi, in un sistema vicino a quello dato, ed investighiamo la STABILITA' STRUTTURALE.

Transizioni al caos

Nel mondo delle biforcazioni esistono differenti vie o transizioni al caos:

- **Period doubling** (o raddoppiamento di periodo es. albero)
Che è 'Safe bounding' (annunciata da segni premonitori)
- **Intermittenza** (comportamento dinamico per cui a fasi di dinamica tranquilla semplice si alternano fasi di comportamento più complesso)

A volte si pensa che tali comportamenti siano dettati da shock esogeni o esterni, ma non sempre è così. Esempio: immaginiamo una traiettoria che cerca il punto di equilibrio in tempo discreto per un numero elevato di iterazioni, non lo trova e poi se ne va. Per un numero di iterazioni grande il **sistema sembra stabile**, possiamo osservare una serie stazionaria. Quando l'orbita esce da questo 'tunnel' essa ha un comportamento fluttuante, poi ritorna prima o poi al punto di partenza, rientra nel tunnel, c'è riavvicinamento al valore stazionario per un tempo arbitrariamente lungo. Osserviamo quindi una serie temporale con periodi lunghi di quiete soggetti poi a periodi di comportamento più o meno irregolare. Dal punto di vista visivo, abbiamo un **attrattore** che al variare del valore del parametro **scompare** o **riappare** attraverso una biforcazione in modo catastrofico. Il sistema si dirige in ipotesi verso un altro attrattore che contiene questo nuovo attrattore come sottoinsieme del vecchio attrattore, inoltre l'orbita dopo la biforcazione continua a passare del tempo vicino al vecchio attrattore, e sta un tempo e tanto più grande quanto più vicino è il valore del parametro al valore di biforcazione: **questo non è un caos annunciato**.

- **Blue sky catastrophe** – orbita omoclina

Un'orbita omoclina si può pensare come a un ciclo che si allarga sempre più, passa molto vicino al punto di sella, si allunga il tempo di percorrenza (vicino al punto di equilibrio le velocità sono arbitrariamente piccole) per cui per un valore c il ciclo è SCOMPARSO (modificazione catastrofica), ciclo di periodo infinito: fulmine a cielo sereno!! Con la collisione il CICLO SCOMPARE, non si può più vedere.

Tale biforcazione si chiama blue sky catastrophe, fulmine a ciel sereno. E' una configurazione invisibile, esiste solo per $c = c^*$, caso particolarissimo, non si vede, ma è esattamente uguale. Con l'analisi locale la biforcazione non si vede! Le modificazioni del parametro comportano cambiamenti qualitativi GLOBALI del sistema.

Esiste poi il fenomeno di ISTERESI: MANCANZA di SIMMETRIA, riferito al comportamento dinamico del sistema quando aumentiamo e poi diminuiamo un certo parametro.

Ricostruzione degli attrattori

Se osserviamo un ciclo limite, possiamo chiederci quale è il sistema più semplice che lo ha generato. In tal caso la risposta è facile: il sistema più semplice è un sistema di due variabili $\rightarrow R^2$.

Se invece osserviamo una intersezione fra orbite in R^2 , il sistema più semplice che lo ha generato è un sistema con minimo 3 variabili R^3 .

Esiste un teorema, teorema della singolarità delle funzioni, o teorema di Wightly, che dice così:

se la dimensione di un oggetto (es. ciclo limite) è 'm' allora condizione sufficiente ma non necessaria è che lo spazio su cui è proiettato l'oggetto è '2m+1'.

Se dimensione ciclo limite è 1 allora $2m+1 \rightarrow 3$

Per stare tranquillo devo scrivere un sistema in 3 dimensioni.

E' possibile ricostruire un attrattore a partire da serie temporali.

La ricostruzione dell'attrattore è il problema inverso. E' un problema deduttivo. Solitamente abbiamo un modello dato e lo studiamo.

Ora invece osserviamo dei valori di una certa variabile, osserviamo i segnali o riflessi del nostro corpo, e dai dati raccolti dobbiamo derivare informazioni qualitative riferite ad un ipotetico sistema da cui deriviamo tali valori.

I sistemi dissipativi: volumi di condizioni iniziali, vengono ridotti, ristretti, dall'azione del sistema dinamico. Conseguenza: c'è un numero di variabili di stato molto grande, ma il numero di variabili che controllano il moto dell'attrattore non è necessariamente grande (può anche essere molto piccolo)

Ipotesi: se il sistema che rappresentiamo è con caratteristiche di sistema dissipativo (ha attrattori), e se ci interessa il moto asintotico del sistema, allora il numero delle variabili che controllano il moto può essere molto piccolo.

C'è un teorema che dice che LA DINAMICA RICOSTRUITA è "fedele" ricostruzione della DINAMICA VERA.

La $\dim M = m$ ignoto

La dinamica vera di un sistema dissipativo è ignota.

Esiste però un teorema, teorema di Takens-Mané (1981) che dice:

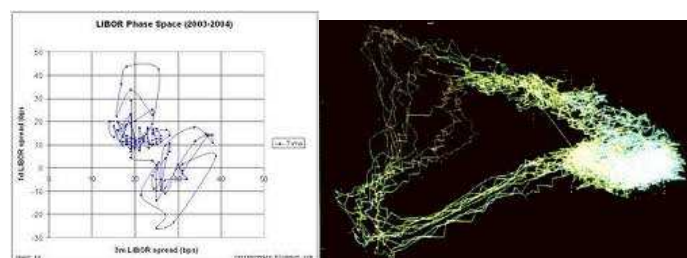
se sono verificate 2 condizioni:

- 1) h appartiene a C^2 (si richiede che la nostra osservazione sia rappresentabile da funzione sufficientemente differenziabile)
- 2) $d \geq 2n + 1$ (condizione sufficiente non necessaria: spazio in cui ricostruiamo la dinamica non sia troppo piccolo)

allora fra la DINAMICA VERA e la DINAMICA RICOSTRUITA c'è una relazione DIFFEOMORFICA.

d si chiama DIMENSIONE di EMBEDDING (o immersione).

Questo teorema vale per serie pulite (senza rumore), solo che spesso studiamo serie contaminate da rumore (disturbi esogeni).



Esempi di ricostruzione di un attrattore

Microangiologia clinica e numero di Feigenbaum: geometrizzazione degli attrattori.

In un sistema dinamico non-lineare possono verificarsi raddoppiamenti dei periodi quando è modificato il rifornimento di energia al sistema stesso, vale a dire, variando le forze applicate al sistema. Nel caso delle cellule muscolari lisce microvasali, correlate con cicliche variazioni della concentrazione di elettroliti, ATP, pH, ecc., si possono osservare, come ormai noto al lettore, contrazioni con periodi oscillanti tra 9 e 12 sec. ed intensità – convenzionale – tra 0,5 e 1,5 cm., in condizioni fisiologiche; le HS, sempre presenti, sono precedute da fluttuazioni con massimo periodo (12 sec.), in cui la durata della scomparsa dei riflessi ureterali è massima, finalizzata alla maggiore ripolarizzazione delle 'smooth muscle cells' necessaria alla attuazione delle 'highest spikes'.

Questi raddoppiamenti dei periodi sono regolati rigidamente dal rapporto

$$R_n - R_{n-1} / R_{n+1} - R_n = \mathbf{4,66920\dots}$$
 numero di M. Feigenbaum.

R_n rappresenta lo stato iniziale del sistema dinamico.

A questo punto, appare interessante il fatto che, se si moltiplicano le fD da 1,9 a < 3 (sistema biologico in lenta evoluzione patologica, ma ancora reversibile sotto opportuna terapia) per il numero di Feigenbaum si ottiene:

$$fD \ 1,93 \times 4,67 = \mathbf{9}$$

$$fD \ 2 \times 4,67 = \mathbf{9,4}$$

$$fD \ 2,56 \times 4,67 = \mathbf{11,9}$$

valori che corrispondono ai periodi delle oscillazioni microvasali in condizioni fisiologiche di riposo.

Analogamente, fatto di grande rilievo, se si dividono questi periodi di 9 – 12 sec. per la fD della lenta evoluzione patologica (1,9 a < 3), si avrà:

$$9 / 1,95 = \mathbf{4,61538\dots}$$

$$11 / 2,36 = \mathbf{4,661016\dots}$$

$$12 / 2,57 = 4,66926...$$

numeri oscillanti intorno a **4,66920...** o numero di Feigenbaum.

Da quanto sopra riferito ne consegue che, moltiplicando il numero di Feigenbaum per le fD comprese tra 1,9 e < 3 , vengono alla luce i periodi, compresi tra 9 e 12, delle fluttuazioni proprie della vasomotility e della vasomotion fisiologiche.

Accanto a ciò, lo studio della dinamica di Verhulst

$$X_{n+1} = X_n \lambda (X - 1) \quad 1)$$

dove $\lambda = fD$, mostra che la trasformazione verso il caos ed il raddoppiamento dei periodi si verificano in punti ben precisi, disposti con ordine (Fig. 12).

Definiamo R_n il valore del parametro di crescita, in corrispondenza del quale si presenta la ennesima biforcazione: raddoppiamento, quadruplicazione.....caos.

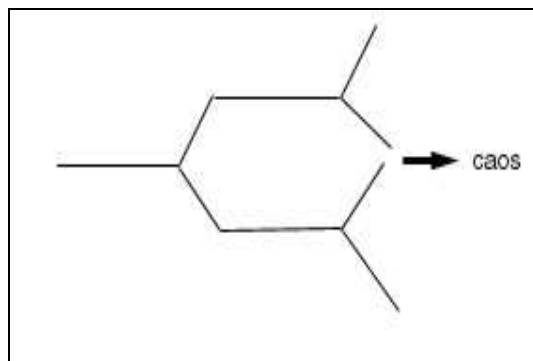


Fig. 12

Dopo una serie di successive biforcazioni il sistema dinamico evolve verso il caos.

La lunghezza di due eventi consecutivi di biforcazione è pari a

$$S_n = R_n - R_{n-1} / R_{n+1} - R_n \quad 2)$$

se, per esempio,

$$S_n = 2,5 - 2,3 / 2,57 - 2,5 = 0,2 / 0,07 = \mathbf{2,857} \quad 3)$$

Vale la curiosità riferire che nel racemo che porta i fiori del Clerodendron Trichotonum, una Verbanacea, abbiamo osservato lo stesso numero di Feigenbaum evidenziato nelle bi-, tri-forcazioni: $6,4 - 0,66 - \mathbf{0,41666...}$

Infatti, in base alla 2), dalle misurazioni da noi fatte nei segmenti della nervatura di queste foglie (Fig. 13), abbiamo ottenuto i seguenti rapporti:

$$1,8 - 5 / 1,4 - 1,8 = 3,2 / 0,5 = \mathbf{6,4}$$

$$1,4 - 1,8 / 0,8 - 1,4 = 0,5 / 0,6 = \mathbf{0,66}$$

$$0,55 - 0,8 / 0,02 - 0,55 = 0,25 / 0,53 = \mathbf{0,471698.....}$$

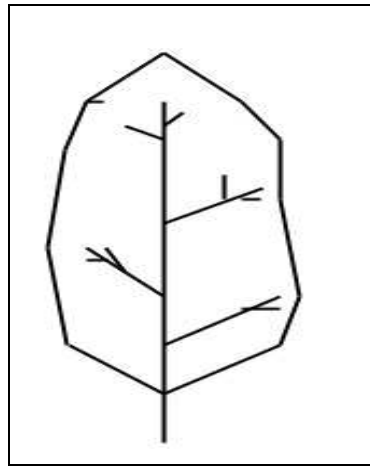


Fig. 13

La figura indica una foglia schematizzata di una Verbanacea, il Clorodendrum.

Se portiamo avanti il processo sopra descritto, il rapporto S_n si avvicina sempre più ad un numero irrazionale, fisso: $\mathbf{4,66920166...}$, che è il numero di Feigenbaum, in realtà scoperto da Grossmann. un numero decimale illimitato, non periodico, costante universale, presente nelle transizioni che ricorrono in natura ed anche, quindi, nei sistemi biologici, come dimostrato clinicamente con l'aiuto della **Semeiotica Biofisica Quantistica**.

Nella Microangiologia Clinica, accade che, se la fD è 1, la trasformazione di Fourier è del tipo "a colonna vicina", o tipo IV; quando la fD è 1,3, la trasformazione è del tipo "a colonna lontana", o tipo III, mentre la fD compresa tra 2,21 e 2,52 corrisponde alla trasformazione del tipo II, "a tetto".

Pertanto, in base alla 2) facilmente si ottiene un risultato interessante:

$$1,3 - 1 / 2,21 - 1,3 = 0,3 / 0,18 = \mathbf{1,666...} \quad 4)$$

dove il numero frattale **1,666...** si avvicina alla sezione aurea, ϕ ,

come abbiamo già messo in evidenza nel rapporto esistente tra fD fisiologica (fD fisiologica) ed fD della lenta evoluzione verso la patologia, per esempio, diabetica (fD lenta evoluzione):

$$\text{fD fisiologica} / \text{fD lenta evoluzione} = 3,81 / 2,36 = \mathbf{1,614} \quad 5)$$

Nel passaggio da oscillazioni “ordinate”, espressione di malattia sottostante, con periodo fisso, monotono, di 10 secondi a quelle fisiologiche, caratterizzate da un periodo oscillante tra 9 e 11 secondi, con una fD di 2,36 – sistema biologico in lenta evoluzione patologica, al momento senza fenomenologia clinica – si osserva un tipico rapporto dividendo il massimo periodo (11 secondi) per la fD (2,36)

$$11 / 2,36 = \mathbf{4,661016...} \quad 6)$$

per cui, all’inizio della prima biforcazione incontriamo il numero di Feigenbaum, come ad esempio passando dalle trasformazioni “a colonna vicina” o “a colonna lontana” alla trasformazione “a tetto”.

Quando, poi, la fD sale, spontaneamente o sotto opportuna terapia, da 2,36 a 2,57 e l’attrattore diventa un “attrattore strano”, con l’aumento del caos deterministico, il periodo si allunga (9 - 12 sec.) ed allora il rapporto

$$12 / 2,57 = \mathbf{4,6692607...}$$

con un chiaro movimento “ondulatorio” e non-lineare, si avvicina ulteriormente al numero “mitico” di Feigenbaum, **4,66920166...**, superandolo prima di identificarsi momentaneamente con esso.

Per riassumere quanto sopra, nella Microangiologia Clinica, studio del caos deterministico delle fluttuazioni microvascolari, autonome e autoctone, che causano

quelle macroscopiche dei relativi sistemi biologici, in fisiologia e in patologia, si incontra un ordine superiore, ennesima espressione della coerenza interna ed esterna della 'Semeiotica Biofisica Quantistica'.

Il test delle Resistenze Periferiche Arteriose (RAP) e quello della Compliance arteriosa (1, 2) evidenziano la biforcazione della dinamica non-lineare dei sistemi biologici. In modo analogo a quanto accade nei sistemi chimici e fisici, i sistemi biologici dinamici, dissipativi, lontani dal punto di equilibrio, oscillano secondo traiettorie solo apparentemente caotiche, ma in realtà attratte da differenti "attrattori", all'interno dei quali – sotto-spazi dello spazio delle fasi – esse si muovono senza uscirne né cadervi dentro. Questo fenomeno, ben noto nel mondo chimico e fisico, con l'aiuto della **Semeiotica Biofisica Quantistica** è stato messo in evidenza per la prima volta bedside con il semplice uso del fonendoscopio, durante il test delle RAP e della compliance arteriosa, come dimostra la seguente evidenza sperimentale.

In un soggetto sano, supino e psico - fisicamente rilassato, con gli occhi aperti per evitare la secrezione melatoninica, la pressione digitale intensa applicata sopra l'arteria brachiale in modo da occludere il vaso con conseguente scomparsa del polso radiale, provoca immediatamente a valle, a livello microcircolatorio, diminuzione della fD, trasformazione di Fourier del tipo III, "a colonna lontana", espressione dell'attivazione associata di tipo I.

Dopo un t_l variabile ($t_l X$), però, la fD scende a 1, dimensione topologica, la trasformazione di Fourier diventa di tipo IV, "a colonna vicina" e l'attrattore è "a punto fisso".

In altre parole, il mancato rifornimento energetico alla periferia provoca inizialmente una reazione di difesa, con pronta e massima attivazione della riserva funzionale microcircolatoria (RFM), ovviamente senza risultato in questa condizione sperimentale, che esita inesorabilmente nell'equilibrio caratteristico dei sistemi termodinamicamente isolati: le oscillazioni del pendolo, quando manca la somministrazione di energia dinamica, a poco a poco si riducono d'intensità e si arrestano: il pendolo si ferma.

Tuttavia, è sufficiente ridurre leggermente la pressione digitale sopra l'arteria omerale che, con l'immissione di energia nel sistema biologico, compare un lieve

polso radiale e le fluttuazioni microcircolatorie, per esempio nel polpastrello, sono attratte da due attrattori: attrattore “a ciclo limite”. Infatti, “a valle” il sistema biologico da termodinamicamente isolato ridiventa un sistema aperto, dissipativo, che si allontana subito dall’equilibrio.

Pr. occlusiva sull’arteria.....(tl X).....> fD 1 ; Pr. non-occlusiva.....(tl Y)..... > fD 2,54

Infine, interrotta completamente la pressione sopra il vaso arterioso, a seguito della fisiologica iperemia reattiva post-ischemica, le fisiologiche oscillazioni, dopo un periodo caratterizzato dal tipo “a colonna lontana”, tipo III, ritornano ad essere quelle tipiche del tipo I, “a sella”, cioè fisiologiche, e in questo momento l’attrattore è “l’attrattore strano”.

Detto altrimenti, in caso di equilibrio, i sistemi biologici sono lineari; quando, invece, in essi viene introdotta sufficiente energia e sono opportunamente stimolati, mostrano il caratteristico comportamento non-lineare proprio dei sistemi dinamici lontani dall’equilibrio.

Il caos richiede energia sufficiente per attuare meccanismi dissipativi e la vita è la traiettoria di un attrattore: dall’attrattore strano all’attrattore a punto fisso. Compito principale del medico è quello di riconoscere tempestivamente i vari momenti della traiettoria della vita del paziente, per poter intervenire rapidamente con la terapia appropriata, utile ed efficace ad invertire la pericolosa direzione della traiettoria verso l’irreversibilità.

Teoria del caos e Semeiotica Biofisica Quantistica: analisi dei dati della SBQ connessi con il riflesso cardio gastrico aspecifico

La tabella qui sotto mostra una casistica relativa al riflesso cardio gastrico aspecifico ottenuto in seguito a pressione digitale di media intensità sui trigger point cardiaci (precordio).

| Latency time (Lt) in seconds | Latency time after preconditioning (pause of 5 sec.) | MFR in seconds | fD & equilibria | EBD | Preconditioning | Diagnosis |
|------------------------------|--|---|--|--|---|--|
| Lt = 8 | Lt = 16 | 3 < MFR < 4 normal MFR, associated activation, outcome + | fD ≥ 3 (ideal value fD=3.81) strange attractor | Normal EBD physiological function | Type I Physiological tissue microvascular unit | Health |
| Lt = 8 | Lt < 16 | MFR = 4 compromised MFR, dissociated activation, outcome ± | 2 < fD < 3 limit cycle | Normal, slightly modified EBD function, small number of pathological EBD | Type II A Intermediate tissue microvascular unit | CAD Inherited Real Risk |
| 7 < Lt < 8 | Lt < 16 | 4 < MFR ≤ 5 growing compromised MFR, dissociated activation, outcome ± | 1 < fD ≤ 2 limit cycle | Modified EBD function, increasing number of pathological EBD | Type II B Intermediate tissue microvascular unit | CAD Inherited Real Risk in evolution |
| Lt ≤ 7 | Lt < 14 | MFR > 5 absent MFR, dissociated activation, outcome – (MFR ≈ 8 angina pectoris) | fD = 1 fix point | Normal EBD function pathological, large number of pathological EBD | Type III Pathological tissue microvascular unit | Overt CAD |

Table 1. Legend: MFR (Microcircular Functional Reserve); EBD (Endoarteriolar Blocking Device); CAD (Coronary Artery Disease); fD (fractal Dimension); Lt (Latency time)

Geometrizzazione degli attrattori

In pratica, per visualizzare i differenti tipi di attrattori nello spazio matematico delle fasi, sono di grande utilità alcuni modelli qui suggeriti, nei quali sono presi in considerazione i parametri delle fluttuazioni, sia macro- sia micro-scopiche, dei sistemi biologici e, rispettivamente, dei loro microvasi.

Un modello, semplice da realizzare ma pratico ed affidabile, è fondato sulla registrazione delle intensità di successive oscillazioni, parenchimali e/o microvascolari: i valori delle intensità delle consecutive fluttuazioni sono riportati, ancorché mentalmente, sopra i "raggi" di un cerchio, il cui diametro è il doppio delle HS, procedendo in senso orario; in tale modo si ottengono figure geometriche interessanti ed utili nella valutazione clinica delle dinamiche dei vari organi, ghiandole e tessuti (Fig. 14).

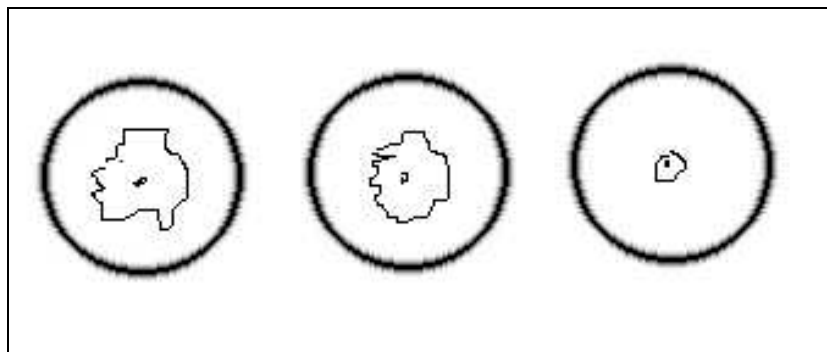


Fig. 14

A sinistra è geometrizzato l'attrattore strano, al centro quello a ciclo limite e a ds l'attrattore a punto fisso, secondo un modello basato sulla valutazione dell'intensità di successive oscillazioni micro- e macro-scopiche dei sistemi biologici, riportate in senso orario sopra i raggi di un cerchio il cui diametro è il doppio dell'intensità delle highest spikes.

Un altro modello SBQ (bi-modale) utilizza i valori delle intensità e dei periodi di successive oscillazioni, micro- e/o macro-scopiche del sistema biologico oggetto di studio. In un sistema di assi cartesiani, i dati relativi all'intensità delle oscillazioni sono trasferiti sopra l'ordinata, mentre i valori dei periodi sopra l'ascissa.

Se si riuniscono i numerosi punti, così ottenuti, si evidenzia geometricamente il corrispondente attrattore (Fig. 15).

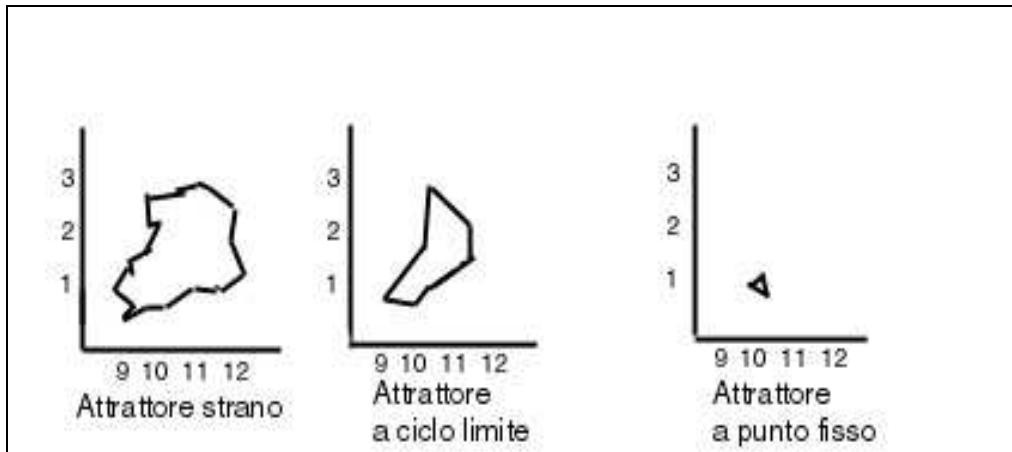


Fig. 15

Nella figura sono geometrizzati i tre principali attrattori delle fluttuazioni microvasali in condizioni fisiologiche (a sinistra), nella lenta evoluzione patologica (al centro) e nella patologia cronica (a destra).

Infine, esiste un terzo modello efficace nel descrivere geometricamente gli attrattori, basato sulla sovrapposizione di successive onde di fluttuazione (Fig. 16).

La figura mostra con chiarezza l' utilità di questo modello della "sovrapposizione" di successive onde di fluttuazione per geometrizzare i differenti attrattori. E' facilmente comprensibile che la sovrapposizione di figure parzialmente differenti tra loro, danno origine ad una geometrizzazione piuttosto "irregolare, strana", mentre, sovrapponendo parallelepipedi via via sempre più simili l'uno all'altro, la figura originata appare sempre più regolare.

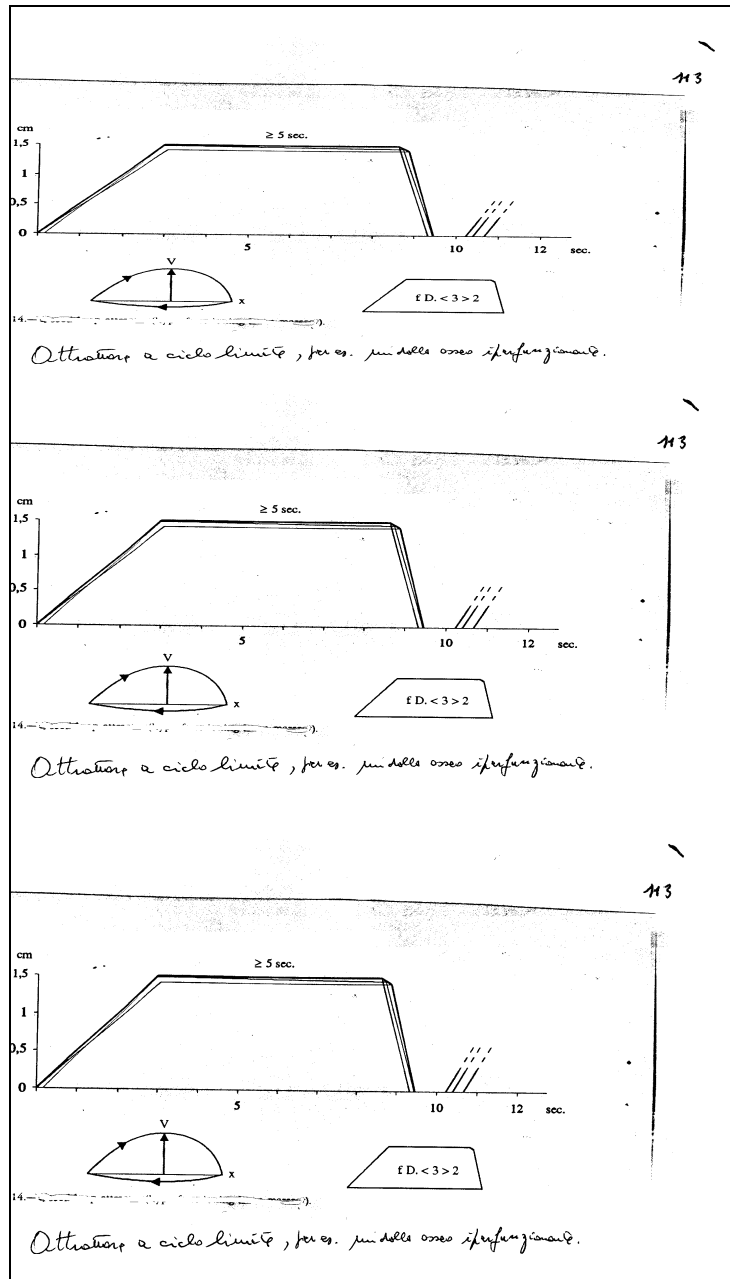


Fig. 16

* **Simone Caramel**

Via Doberdò, 3

31020 Fontane di Villorba – TV - **Italy**

Cell. +39 338 8129030

simonecaramel@yahoo.it

Bibliografia Generale

Antanavičiūsa K., Bastysa A., Blužasb J., Gargasasb L., Kaminskienėb S., Urbonavičienėb G., Vainorasb A. (2008) Nonlinear dynamics analysis of electrocardiograms for detection of coronary artery disease, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Volume 92, Issue 2 Pages: 198-204 ISSN:0169-2607

Aspect A., Grangier P., Roger G. (1982) Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities, *Physical Review Letters*, Vol. 49, Iss. 2, pp.91-94

Bohm D. (1989) *Quantum Theory*, Ed. Dover Publications, New York, ISBN 0-486-65969-0

Bohm D. (1980) *Wholeness and the Implicate Order*, Ed. Routledge, ISBN 0-7100-0971-2

Bohm D., Peat D. (1989) *Science, order and creativity*, Ed. Routledge, ISBN 0-415-17182-2

Bohm D. (1961) *Causality and chance in modern physics*, UPA press, ISBN 0-8122-1002-6

Capra, F. (1997), *The Web of Life*, Random House, ISBN 0-385-47676-0

Caotino, Stagnaro S. (2009) Il fattore C, <http://ilfattorec.altervista.org/fcindice.html>

Caramel S. (2008) Entropia.

<http://www.scienzaeconoscenza.it/articolo/entropia.php>

Caramel S., Stagnaro S. (2010) The role of mitochondria and mit-DNA in oncogenesis, *Quantum Biosystems* 2010, 2(1), 250-281

[http://www.quantumbiosystems.org/admin/files/QBS%202\(1\)%20250-281.pdf](http://www.quantumbiosystems.org/admin/files/QBS%202(1)%20250-281.pdf)

Caramel S. (2010) Primary Prevention of T2DM and Inherited Real Risk of Type 2 Diabetes Mellitus <http://ilfattorec.altervista.org/T2DM.pdf>

Caramel S. (2010) CAD and Inherited Real Risk of CAD,
<http://ilfattorec.altervista.org/cad.pdf>

Caramel S. (2010) La Semeiotica Biofisica Quantistica.
<http://www.scienzaeconoscenza.it/articolo/la-semeiotica-biofisica-quantistica.php>

Caramel S. (2010) Quantum Chaotic Determinism and inherited real risk of CAD, 3rd Quantumbionet Workshop, 24th September 2010, University of Pavia, Pavia, Italy <http://www.quantumbionet.org/eng/index.php?pagina=153>
http://ilfattorec.altervista.org/Paviaworkshop_SimoneCaramel.pdf

Collini et al. (2010) Coherently wired light-harvesting in photosynthetic marine algae at ambient temperature, Nature 463, 644-647 (4 February 2010)
doi:10.1038/nature08811; Received 14 July 2009; Accepted 17 December 2009

Cvitanovic P., AA.VV. (1996) Classical and Quantum Chaos, Chaosbook,
<http://chaosbook.org/>

Cramer F. (1994) Chaos and Order: The Complex Structure of Living Systems
Foreword by I. Prigogine, Wiley-VCH, ISBN-13: 978-3527290673

Dekker (2009) The fractal genome
<http://www.wired.com/wiredscience/2009/10/fractal-genome/>

Eigen M. (1979) The hypercycle: A principle of natural self-organization, Ed. Springer
Goldberger A.L. (1991), Is the normal heart-beat chaotic or homeostatic? NIPS, O, 87

Goldberger A.L., West B.J., (1987) Applications of non-linear dynamics to clinical cardiology, ANN. N.Y. Acad. Sci., 1987, 504, 195

Hayek V. F. (1952) The Sensory Order, Chicago University Press

Haken H. (1983) Laser theory, Ed. Springer

Horwitz L.P., Katz N.,Oron O. (2004) Could the classical relativistic electron be a strange attractor? <http://www.emis.de/journals/HOA/DDNS/8c3d.pdf>

Huikuri H.V., Mäkikallio T.H. (2001) – Heart rate variability in ischemic heart disease. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical* Volume 90, Issue 1, Pages 95-101

Jung C. G. (1976) *La sincronità*, Ed. Bollati Boringhieri

Kauffman S. (1993) *The Origins of Order*, Oxford University Press, New York

Lorenz E. N. (1963) Deterministic non periodic flow, *J. Atmospheric Sciences* vol. 20

Mandelbrot B. (1982) *The fractal geometry of nature*, Ed. Freeman, ISBN 0-7167-1186-9

Mandelbrot B. (1967) How long is the coast of Britain? *Science* vol. 156

Manzelli P., Stagnaro S. (2007) *Semeiotica Biofisica: Realtà non-locale in Biologia*. Dicembre 2007, <http://www.ilpungolo.com/leggi-tutto.asp?IDS=13&NWS=NWS5217>

Manzelli P., Stagnaro S. (2007) *Semeiotica Biofisica Quantistica* <http://www.ilpungolo.com/leggi-tutto.asp?IDS=13&NWS=NWS5243>

Medio A. (1992) *Chaotic Dynamics*, Cambridge University Press

Medio A., Lines M. (2001) *Nonlinear dynamics*, Cambridge University Press

Pavlov A. N., Janson N. B., Anishchenko V. A., Gridnev V. I., Dovgalevsky P. Y. (2008) Diagnostic of cardio-vascular disease with help of largest Lyapunov exponent of RR-sequences, *Computer methods and programs in biomedicine – cmpbjournal* Volume 92, Issue 2, Pages 198-204

Philippe P., Mansi O. (2004) *Nonlinearity in the Epidemiology of Complex Health and Disease Processes – Theoretical Medicine and Bioethics*

Poincaré J. H. (1914) Science and Method, Chapter 3, Mathematical Discovery, pg.58

Prigogine I. (1967) Dissipative structures in chemical systems, in Fast reactions and primary processes in chemical kinetics, by S.Claesson, Interscience, New York

Prigogine I. (1997) End of certainty, The Free Press, ISBN 0684837056

Prigogine I., Stengers I. (1984) Order out of chaos, Ed. Flamingo, ISBN 0006541151

Ristimäe T., Juhani Airaksinen K.E., Peng C.K., Goldberger A.L., Huikuri H. V. (1998) - Heart Rate Dynamics in Patients With Stable Angina Pectoris and Utility of Fractal and Complexity Measures - The American Journal of Cardiology Volume 81, Issue 1, Pages 27-31

Ruelle D. (1991) Chance and chaos, Princeton University Press

Sakai, H. Tokumaru, H. (1980) Autocorrelation of a certain chaos, Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, 28:5, 588-590.

Stagnaro S. (2005) Microangiologia Clinica e numero di Feigenbaum.

Geometrizzazione degli attrattori

<http://www.semeioticabiofisica.it/microangiologia/>

Stagnaro S., Manzelli P. (2008) L'esperienza di Lory

<http://www.ilpungolo.com/leggi-tutto.asp?IDS=13&NWS=NWS5267>

Stagnaro S. (2010) La bellezza dei frattali nella semeiotica biofisica quantistica – articolo in preparazione