



BUTTERFLIES & HURRICANES

Meccanismi periodici e caotici

Liceo Scientifico Statale

"Galileo Galilei", Bitonto

Anno scolastico 2008/2009

V E

Alunna: Marina Rossella Depalo

• <i>Introduzione</i>	3
• <i>Farfalle ed Uragani: la Teoria del caos dal clima alla matematica</i>	5
-Tre decimali di troppo.....	6
-Semplici reiterazioni.....	7
-Brevi cenni matematici.....	7
-Attrazione e repulsione.....	9
• <i>La mappa logistica: dall'equilibrio, passando per il periodo, fino al caos</i>	10
-Biforcazioni.....	12
-Kneading of the dough.....	14
-Henon e il suo attrattore.....	16
• <i>Darwin e i sistemi dinamici</i>	17
• <i>Dall'ordine al caos, dal caos all'ordine</i>	19
• <i>Strutture aperiodiche e razionali</i>	
-Aperiodicità del Decostruttivismo.....	21
-Bauhaus.....	24
• <i>Inconcinnitas & concinnitas</i>	
-Un'analisi dello stile di Seneca.....	27
-....e di Cicerone.....	30
• <i>Caos e ordine in letteratura</i>	
-La sera fiesolana tra forma e contenuto.....	33
-X agosto, una poesia di periodo 2.....	36
• <i>Conclusioni</i>	39
• <i>Appendice</i>	40
• <i>Bibliografia</i>	42

Nessuna idea. Questo è stato il punto di partenza, ma anche d'arrivo di questa tesina. E' ovvio che tutti coloro i quali devono affrontare la stesura di un percorso e quindi la scelta di un tema da trattare non abbiano inizialmente nessuna idea. Questa situazione non ci scoraggia perché prima o poi l'idea arriverà, presto o tardi, e quando arriverà ci illuminerà la mente rendendoci entusiasti del tema che ha fatto silenziosamente capolino tra i neuroni della nostra testa. Per me è stato diverso.

Nessuna idea chiara né all'inizio, né durante, né alla fine. Un punto fisso: trattare un argomento di ambito scientifico, ma quale? Devo ammettere che la biologia e la chimica non sono mai riuscite negli ultimi tre anni ad affascinarmi più di tanto e mai ci riusciranno! Un secondo punto fisso, forse più importante del primo: cercare di trattare un tema di ambito matematico perché è la matematica la materia che mi ha più attratta in questi cinque anni. Questa tesina è frutto di una ricerca, non di una idea improvvisa, è frutto della voglia di confrontare due ambiti della realtà che esistono in parallelo: da una parte l'ordine, dall'altra il disordine, confronto che è sfociato nella trattazione della *teoria del caos*, ambito tra la matematica e la fisica la cui nascita è piuttosto recente e risale agli inizi degli anni '60 del 900. Inoltre nel corso della tesina le pagine sono state "marcate" con due diversi colori, arancione e celeste, a seconda se si sviluppi un argomento relativo rispettivamente al caos o all'ordine.

Quest'ultimi non sono due concetti che si escludono a vicenda, ma interagiscono tra loro quasi a formare una dialettica causa-effetto. Dove c'è ordine ci sarà anche caos, dove domina il caos potrebbe generarsi l'ordine. E' buffo pensare che attualmente non ci sia nessuna isola d'ordine se pensiamo alla recente crisi economica che ha scosso il mondo. Era prevedibile? E' stato un evento casuale o causale? Perché è avvenuta a quasi ottant'anni di distanza dalla crisi del '29?

Ebbene, la *teoria del caos* è applicabile anche in ambito finanziario, ambito non discusso in questo percorso che verte più ad uno stampo matematico-scientifico.

Altri campi in cui ho voluto stabilire un collegamento tra caos e ordine sono l'arte, letteratura latina e italiana, evidenziando come caos non nasca casualmente, ma affiori a partire dalla sensibilità dei diversi autori analizzati.

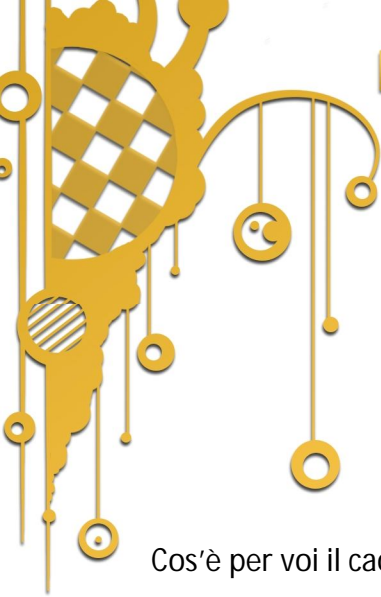
In ultimo, per quanto riguarda il titolo, esso è stato "gentilmente" preso in prestito da una nota canzone dei *Muse*, gruppo *alternative-rock* inglese, la cui traduzione letterale è "Farfalle ed

uragani". Ho voluto dare al titolo una interpretazione simbolica: alla farfalla simbolo di ordine, bellezza e simmetria si contrappone l'uragano, simbolo di caos, distruzione, morte.

Non meno casualmente i due termini ricorrono nella teoria del caos, il cui aneddoto principale è:

"Può una farfalla che sbatte le ali a Londra provocare un tornado in Texas?"





Farfalle ed Uragani

La Teoria del Caos dal clima alla matematica

I fisici amano pensare che tutto ciò che si deve fare è dire: "Queste sono le condizioni; e ora, che cosa accadrà subito dopo?"
Richard P. Feynman.

Cos'è per voi il caos? Io potrei rispondere con l'esempio di molti libri sparpagliati su un tavolo, altri potrebbero fare riferimento alla miriade di impegni condensati in un unico giorno, altri ancora ad un casa in disordine; eppure tutte queste situazioni hanno un elemento in comune: tutte sono difficili da gestire e da tenere sotto controllo. In questo percorso non parlerò del caos che dobbiamo affrontare noi nel nostro piccolo, ma di ben altra cosa, che supera certamente in fascino e in bellezza le situazioni del nostro quotidiano.

Attualmente nell'ambito scientifico sta prendendo piede una nuova teoria: la cosiddetta teoria del caos, la cui nascita risale agli studi del meteorologo Edward Lorenz. Ormai gli scienziati, tra cui fisici e matematici, vedono il caos dappertutto: le spire irregolari del fumo di una sigaretta sono difficilmente prevedibili (quindi di difficile gestione delle evoluzioni future), i moti di nubi e venti (prevedibili solo per piccoli intervalli di tempo), un rubinetto gocciolante, l'equilibrio di un ecosistema, la sopravvivenza di una specie su una o più, ecc...

Nel lontano 1960 Lorenz invece vedeva, o meglio, immaginava cieli soleggiati e venti intensi "digitalizzati" nel suo computer. Egli infatti aveva elaborato un modello matematico costituito da ben venti equazioni che, una volta inseriti dei parametri-*condizioni iniziali*-descrivevano minuziosamente l'andamento del sistema al variare del tempo.

Era come improvvisarsi un *Dio orologiaio* il quale, stabiliti dei parametri iniziali, assisteva impassibile all'evolversi della sua opera che curiosamente non ripeteva mai per più di una volta uno stesso valore, presentando quindi una aperiodicità perfetta.

Certamente il modello matematico messo a punto da Lorenz non è che una versione semplificata della realtà dove gli elementi che influenzano un sistema come quello climatico sono molteplici e vanno dalla pressione, dalla velocità dei venti nelle diverse zone esaminate fino alle attività umane che possono influenzare il clima stesso. Inoltre esistono altre grandezze che non possono essere contemplate in un modello matematico in quanto non misurabili oggettivamente: l'aggressività degli animali di un ecosistema o l'umore degli operatori finanziari.

Ritornando al modello matematico di Lorenz, esso è costituito da grandezze misurabili in modo oggettivo (esprimibili cioè attraverso grandezze matematiche) chiamate *variabili di stato*; l'insieme delle variabili di *stato* descrivono lo stato di un sistema, ovvero la configurazione del sistema in un certo istante di tempo. In questo caso il sistema prende il nome di *sistema dinamico* di cui mi occuperò meglio nei capitoli successivi.

tre decimali di troppo

Un bel giorno dell'inverno 1961, Lorenz, volendo riesaminare una fase computerizzata del suo tempo meteorologico, introdusse nel modello matematico della sua macchina delle condizioni iniziali corrispondenti all'incirca a quelle della metà del ciclo compiuto precedentemente. Lorenz era più che convinto che questa nuova fase di rielaborazione avrebbe dovuto replicare i dati ottenuti nel tempo precedente...non fu così.

La nuova serie numerica ottenuta per reiterazione (la quale descriveva lo stato del sistema secondo per secondo), dopo una fase di similarità, si discostava in modo significativo dalla precedente; lo sbaglio o la fortuna di Lorenz fu quello di introdurre nel computer numeri con tre cifre decimali prelevati dallo stampato del ciclo precedente, stampato che registrava solo tre cifre decimali anziché sei, cioè quelle immesse in un altro tempo da Lorenz.

Ci si trovò più o meno consapevolmente di fronte ad una grande scoperta: le condizioni meteorologiche, in questo caso, non presentavano minime variazioni a partire da differenze minime di valori iniziali, ma variazioni enormi, "catastrofiche" addirittura (il cosiddetto *effetto farfalla*).

Questo è ovviamente un motivo della impossibilità della previsione meteorologica a lungo termine. Evoluzioni differenti legate a minime differenze di valori iniziali ponevano certamente gli scienziati a fronteggiare qualcosa apparentemente non deterministico e quindi caotico.

Prima di introdurre la scoperta di Lorenz, è meglio soffermarsi sul concetto di iterazione e come questo generi degli andamenti caotici ed imprevedibili.

Semplici reiterazioni

Abbiamo già detto che i sistemi di una realtà ideale sono descrivibili attraverso un modello matematico. Un semplice modello matematico è ad esempio una funzione ricorsiva del tipo $x'=f(x)$. Reiterando più volte la funzione si otterrà quindi una serie di punti che descrivono ad ogni intervallo di tempo lo stato del sistema preso in considerazione. Questi punti possono essere visualizzati su un grafico cartesiano che, a riguardo della *teoria del caos*, prende il nome di *spazio degli stati* o *spazio delle fasi*.

Ma capiamo meglio cosa significhi reiterare una funzione: prendiamo come esempio la funzione $y=2x$ con condizione iniziale $x=1,5$; il valore di uscita sarà uguale a $1,5 \times 2$ e quindi 3. Sostituiamo nuovamente il valore 3 alla x della funzione per riottenere un altro valore $x''=6$. Ovviamente attraverso questo meccanismo possiamo ottenere un numero infinito di valori che rappresentano l'evoluzione nel tempo del sistema. Bisogna però precisare che qui il tempo è considerato una grandezza discreta, esso può cioè assumere valori appartenenti solo a numeri naturali ($t=0, 1, 2$, ecc...)

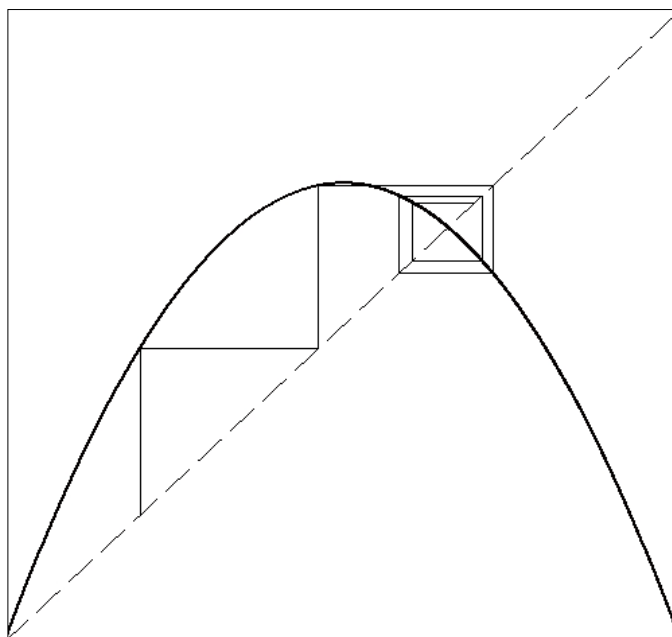
Brevi cenni matematici

Prendiamo ora in considerazione la funzione $f(x)=x^2-3x+3$ (il cui grafico è una parabola con asse parallelo a quello delle y e concavità verso l'alto) e proviamo a reiterarla. Per far questo prendiamo un valore iniziale, ad esempio $x=0,5$, il quale darà una serie numerica pari a 1,750-0,8125- -4,777...(ecc...) come si può verificare attraverso una semplice calcolatrice tascabile. In assenza della calcolatrice o in presenza di una funzione abbastanza complessa possiamo comunque sapere in modo approssimativo il valore dei reiterati individuando la loro posizione sul grafico cartesiano su cui abbiamo disegnato la nostra funzione. Pertanto tracciamo la bisettrice del primo e terzo quadrante e una retta parallela all'asse y passante per la nostra ascissa iniziale

$x=0,5$; questa retta intersecherà il grafico della funzione in un punto P da cui faremo passare un'altra retta parallela questa volta all'asse x. Quest'ultima intersecherà la bisettrice in un punto di ascissa x' , equivalente al primo reiterato cercato. Ripetendo questo ciclo avremo così la serie dei reiterati tutti posizionati sulla bisettrice.¹

Continuando a reiterare possiamo trovarci di fronte a comportamenti diversi: la serie dei numeri potrebbe aumentare sempre di più in valore o decrescere, potrebbe fermarsi in un punto o oscillare intorno ad un altro oppure avere un andamento caotico e quindi irregolare.

Prendiamo ad esempio $x=3$ come valore iniziale della funzione analizzata qualche riga più su: nonostante ripetute iterazioni avremo solamente un unico valore corrispondente a quello iniziale, 3 appunto. Infatti, $x=3$ non è stato un valore preso casualmente in quanto esso è una delle due soluzioni dell'equazione $x^2-3x+3=x$ (nonché l'ascissa del punto di intersezione tra il grafico e la bisettrice del primo quadrante) le quali, in questo caso, prendono il nome di punti fissi.



Metodo della scala applicato ad una parabola, $x=0,2$

Si definiscono quindi punti fissi di una funzione $f(x)$, i punti che sono soluzione dell'equazione $f(x)=x$, nonché i punti intersezione della funzione con la bisettrice del primo e terzo quadrante.

Consideriamo ora il sistema dinamico descritto dalla funzione $x' = x^2 - 3x + 3$ con condizione iniziale $x=1,5$; iterando la funzione si ottiene la successione

$x'=1,5$
 $x''=1,25$
 $x'''=0,5625$
 $x''''=0,6836$
 $x'''''=-0,5327$
 ecc...

¹ Il metodo descritto si chiama “metodo della scala” e consiste in una serie di ribaltamenti dei reiterati dall'asse delle y alla bisettrice.

Se continuiamo a reiterare usando una calcolatrice noteremo che la serie numerica convergerà verso due valori distinti: 0, -1. Siamo di fronte a una situazione che presenta un ciclo di periodo 2. Su questo concetto torneremo più avanti analizzando la curva logistica.

Attrazione e repulsione

Se volessimo concretizzare il significato di punto fisso, esso rappresenta lo stato di equilibrio di una sistema dinamico, descritto da una determinata funzione, al variare del tempo. Ad esempio se la condizione iniziale di una popolazione di insetti coincidesse con un punto fisso della funzione che descrive l'andamento di quella popolazione, non ci sarebbe nessuna variazione del numero di individui nella popolazione. Verrebbe da chiedersi cosa accadrebbe al sistema se assumessimo come condizioni iniziali valori appartenenti ad un intorno di un punto fisso del sistema stesso (valori vicini al punto fisso). Ebbene in questo caso abbiamo due comportamenti principali: reiterando la funzione del sistema, il sistema potrebbe discostarsi sempre di più da un punto fisso della funzione oppure convergere ad esso. Nel primo caso il punto fisso viene detto *repulsivo*, nel secondo *attrattivo*. Possiamo comunque usufruire di una regola matematica per capire a priori la natura dei punti fissi di una funzione:

Detta $f'(x_f)$ la derivata prima² di $f(x)$ in uno dei suoi punti fissi x_f , se:

$|f'(x_f)| < 1$ allora il punto fisso è attrattivo;

$|f'(x_f)| > 1$ allora il punto fisso è repulsivo.

² Per il concetto di derivata prima si vada all'appendice.



La mappa logistica

Dall'equilibrio, passando per il periodo fino al caos

Per colpa di un chiodo si perse uno zoccolo;
per colpa di uno zoccolo si perse il cavallo;
per colpa di un cavallo si perse il cavaliere;
per colpa di un cavaliere si perse la battaglia;
per colpa di una battaglia si perse il regno...

Fu un biologo, Robert May, a confrontarsi con il caos, proprio come Lorenz. Perfezionatosi in matematica applicata ad Harvard, si interessò sempre di più allo studio delle variazioni di una popolazione, di pesci o di insetti, ad intervalli di tempo generalmente di un anno. Si trattava quindi di mettere a punto un modello matematico che descrivesse il comportamento del sistema dinamico preso in esame.

Era già stato il filosofo positivista Malthus a sostenere che una popolazione crescesse in progressione geometrica mentre le risorse presenti in progressione aritmetica, a lungo andare però la popolazione sarebbe destinata all'estinzione a causa della scarsità delle risorse stesse.

Nella realtà non accade esattamente così come suggerisce il modello matematico messo a punto da May, che risulta una modificazione della versione maltusiana:

$x' = ax(1-x)$ (detta equazione logistica)

dove il parametro a rappresenta il tasso di incremento della popolazione, x la popolazione stessa e $1-x$ un parametro di controllo che mantiene la crescita entro certi limiti. Le variazioni della popolazione sono misurate ad intervalli di un anno.

Assunta una condizione iniziale, May si propose di studiare il modello matematico cercando di capire, al variare del parametro a , se la popolazione convergesse negli anni ad un unico valore di assestamento. Prendiamo ad esempio come popolazione iniziale $x=0,02$, $a=2,7$, mentre $1-x=0,98$.

Reiterando la funzione di May avremo una serie di valori che convergeranno verso $x_n=0,6296$.

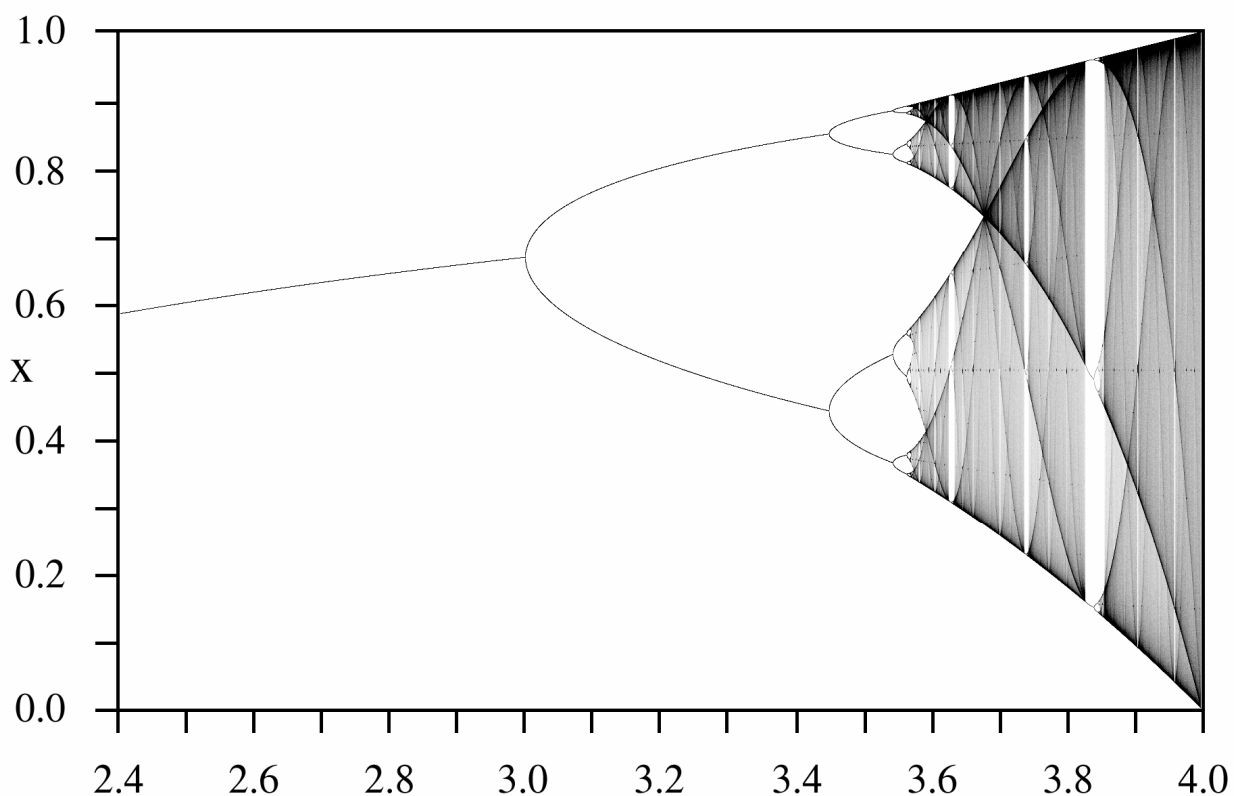
Andremo a posizionare quest'ultimo valore in un grafico cartesiano in cui sull'asse delle ascisse sono registrati i valori di a , mentre sulle ordinate i valori a cui converge la x ad ogni variazione di a ; nel nostro caso il punto ottenuto avrà coordinate $(2,7 ; 0,6296)$

Il risultato ottenuto rappresenta l'equilibrio a cui è giunta la popolazione dopo n iterazioni del modello matematico o n anni.

Fissato un numero n di iterazioni massime, May ed altri matematici usarono un computer per visualizzare il grafico dell'equazione logistica al variare del parametro a . Il risultato fu

sconcertante: non un'unica linea, ma coppie di linee curve sempre più fitte che a mo' di bivio si allontanavano da altre linee curve dipartitesi a loro volta da altre, a queste strane biforcazioni si accostavano delle bande costituite da una intensa miriade di punti neri ed ancora una nuova serie di biforcazioni che prendevano avvio da punti nella "banda nera"

Le biforcazioni stavano a significare che per un preciso valore di a la stessa condizione iniziale non convergeva ad un unico valore, ma a 2,4,8 punti di convergenza distinti; il che equivale ad affermare la presenza di cicli periodici come abbiamo visto nei paragrafi precedenti.



In questa mappa logistica sono facilmente distinguibili cicli di periodo 2, 4, 8.

Inserendo ad esempio una valore di partenza pari a 0,4 e $a=3,5$ otteniamo la sequenza:

0,4000	0,8400	0,4704	0,8719
0,3908	0,8332	0,4862	0,8746
0,3846..ecc..	0,8284..ecc..	0,4976..ecc..	0,8750..ecc..

Qui non siamo ancora in presenza del caos, ma di un comportamento periodico corrispondente ad una popolazione che oscilla tra n valori in n anni.

Per capire comunque l'andamento della mappa logistica dobbiamo introdurre il concetto di biforcazione e quello di *biforcazione flip*.

Biforcazioni

Finora abbiamo considerato la natura dei punti fissi in relazione a funzioni prive di parametro; in presenza del parametro, invece, un punto fisso potrebbe per certi valori di a (parametro) avere un comportamento repulsivo o attrattivo.

Consideriamo $f(x) = ax(1-x)$, $a > 1$

E calcoliamo i suoi punti fissi.

$x_1 = 0$ (indipendente dal parametro a)

$x_2 = 1 - 1/a$

$f'(x_1) = a$ (è repulsivo essendo $a > 1$)

$f'(x_2) = 2 - a$ (dipendente quindi dal parametro a)

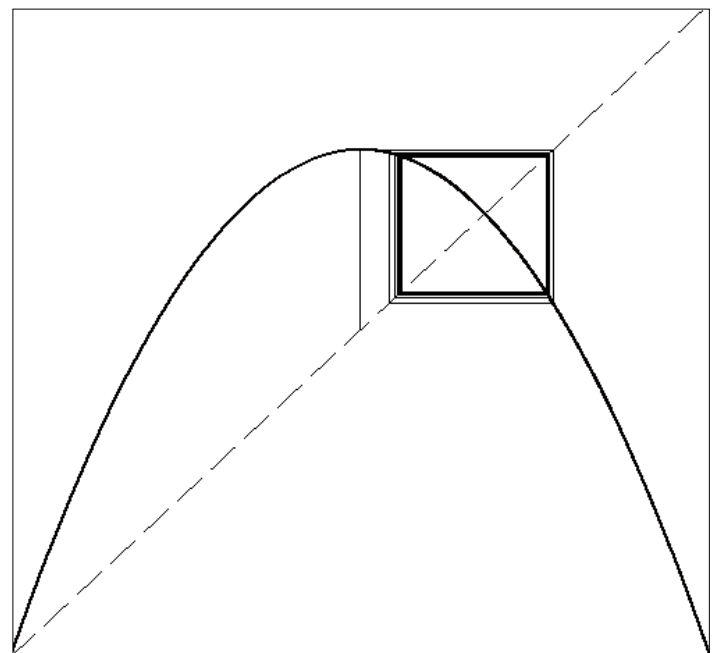
Risolvendo la disequazione $|2 - a| < 1$ abbiamo che x_2 è un punto attrattivo per $1 < a < 3$, mentre è repulsivo per $a > 3$. Per $a > 3$ $f(x)$ presenta due punti fissi repulsivi; cosa accade se la reiteriamo?

Consideriamo a questo proposito $f(x) = 3,1x(1-x)$ con $x_0 = 0,5$.

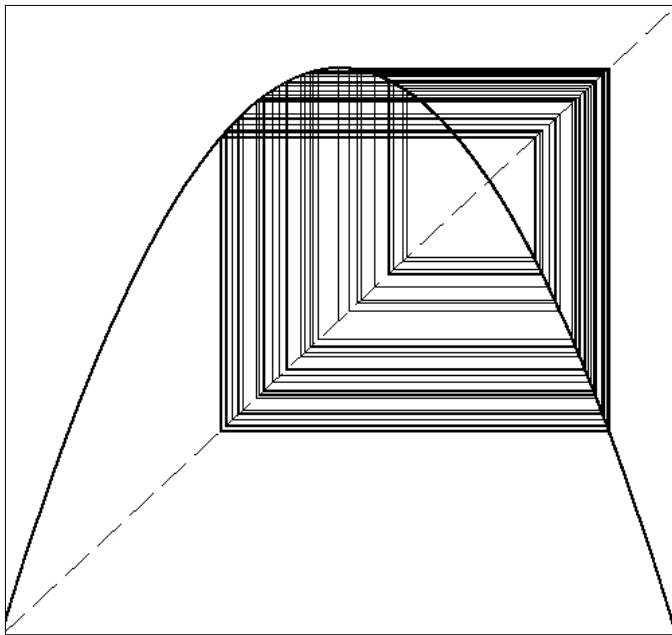
Come notiamo dal grafico, nonostante il secondo punto fisso sia repulsivo, intorno ad esso gli iterati rimbalzano producendo un ciclo di periodo 2. (gli iterati passano da valori che corrispondono a circa 0,77 a valori di circa 0,56)

Passando da $a < 3$ ad $a > 3$, x_2 è diventato da attrattivo a repulsivo generando dei cicli periodici qualunque sia la condizione iniziale compresa tra 0 e 1. Questo diverso comportamento a seconda del parametro a costituisce una *biforcazione flip*.

Una situazione identica era stata notata da May a proposito della curva logistica che presentava una prima biforcazione a partire da $a = 3$; la biforcazione assumeva successivamente periodo 4 a partire da $a = 3,5$ e così via.



Ciclo di periodo 2 per $x = 0,5$



Sono qui raffigurati “solo” 65 iterati senza nessuna convergenza

Le bande nere della curva logistica sono invece situazioni in cui la condizione iniziale, per alcuni determinati valori di a , non converge a nessun ciclo periodico e a nessun punto attrattivo (non ci sono infatti): siamo di fronte al caos, appunto. Possiamo esaminare più semplicemente e concretamente questo stato caotico prendendo in considerazione il grafico di $f(x)=ax(1-x)$ con $a=3,67854$ e $x_0=0,1$. Usando il metodo della scala noteremo che i reiterati non convergono a nessun ciclo periodico dando origine ad una infinita serie di valori

sempre diversi l'uno dall'altro.

Il momento in cui il caos inizia a far capolino coincide con un preciso valore del parametro a chiamato punto di Feigenbaum, indicato con a_∞ , che vale circa 3,56994; oltrepassato questo valore entriamo nel cosiddetto regime caotico come abbiamo osservato in precedenza.

Il bello consiste nel fatto che, se facciamo variare anche di un milionesimo il valore della condizione iniziale (per $a > a_\infty$), otterremo una nuova traiettoria aperiodica che si differenzierà sempre di più dalla prima, ottenuta a partire dalla prima condizione iniziale.

Questo fenomeno per il quale un sistema dinamico risente in modo così significativo dei valori iniziali è stato già considerato nel primo capitolo a proposito delle osservazioni meteorologiche di Lorenz (fenomeno chiamato più propriamente *sensitività rispetto alle condizioni iniziali*).

C'è da notare, inoltre, che il nostro caos è stato prodotto da precise relazioni e modelli matematici che infrangono paradossalmente i loro concetti intrinseci di ordine e prevedibilità, il nostro è quindi un caos generato dall'ordine, un caos deterministico.

Possiamo finalmente attribuire al caos due principali proprietà:

- *Sensitività rispetto alle condizioni iniziali* (generando due successioni da condizioni iniziali diverse, ma vicine tra loro, la distanza fra i valori ottenuti cresce esponenzialmente)

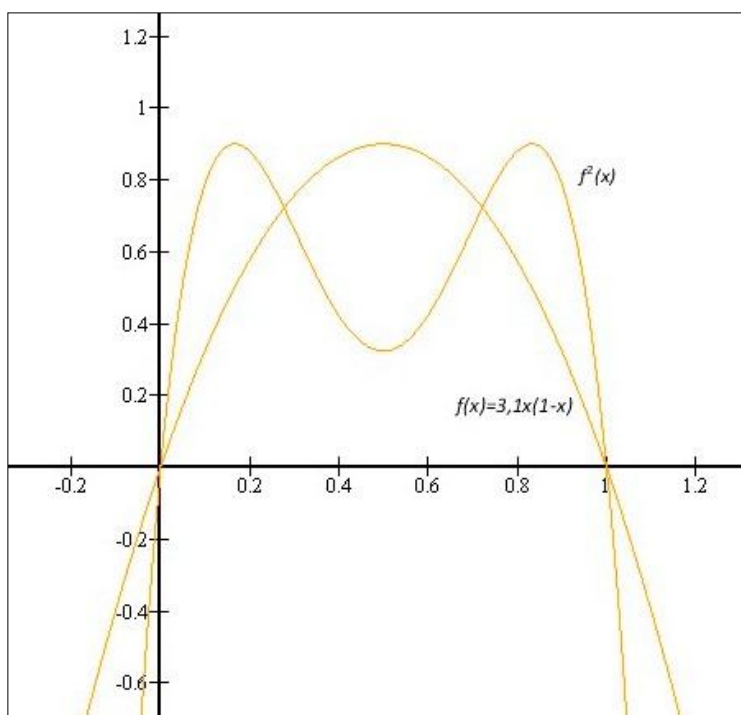
- *Transitività (mixing)* (i punti di una successione generata partendo da una generica condizione iniziale ricoprono densamente una zona dello spazio degli stati)

Kneading of the dough

In ultima analisi, anche il caos possiede una certa geometria. Infatti il processo di iterazione di $f(x)=ax(1-x)$ non è altro che la composizione n volte della stessa funzione:

$$f \cdot f(x) = f(f(x)) = f^2(x) \quad (\text{per } n=2)$$

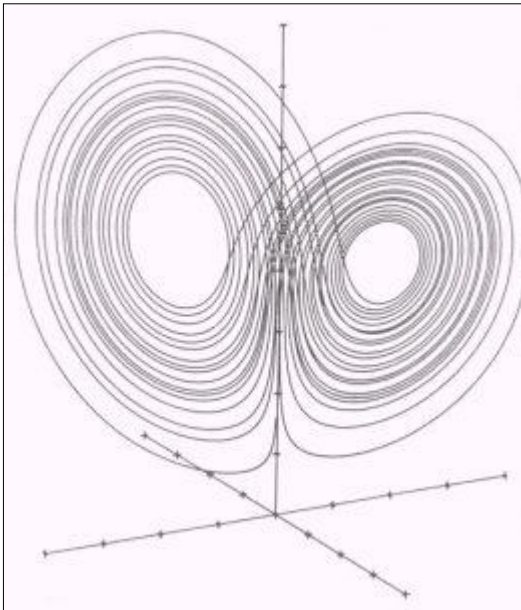
Se rappresentiamo su un grafico cartesiano, stabilito un valore del parametro a , $f(x)$ e $f^2(x)$, noteremo che quest'ultima presenta rispetto alla prima tre gobbe (o meglio due punti di massimo e un punto di minimo), come se $f(x)$ abbia subito una serie di stiramento - ripiegamento-compressione. Se invece rappresentiamo $f^3(x)$ e così via le "gobbe" e i relativi processi di ripiegamento e compressione aumentano. Questo fenomeno è stato quindi chiamato col nome inglese di *stretching & folding* ed assomiglia ai processi di spianamento e ripiegamento che subisce un impasto per la preparazione della sfoglia.



Processo di stiramento e ripiegamento subito da $y=3.1x(1-x)$

Possiamo ora finalmente ritornare alla "questione Lorenz"; l'avevamo lasciato col suo effetto farfalla, fenomeno riscontrato anche nella mappa logistica. Ebbene le conclusioni di Lorenz non si discostano molto da essa. Anch'egli scoprì il caos dopo aver rimodernato il suo sistema meteorologico con un modello matematico costituito da un sistema di tre equazioni differenziali.

Iniziando a reiterare il sistema partendo da una tripla di condizioni iniziali egli scoprì che esso degenerava nell'aperiodicità, proprio come è avvenuto in corrispondenza della banda nera della mappa logistica. Anch'egli registrò il valore dei reiterati su un diagramma cartesiano, in questo



caso a tre dimensioni, i quali diedero origine a un grafico simile alle ali di una farfalla, come in figura. Spicca subito agli occhi una caratteristica fondamentale: le molteplici linee curve che costituiscono il disegno si muovono da una parte all'altra dello spazio tridimensionale senza mai intersecarsi, ogni linea quindi non coincide mai con un'altra e man mano che si va avanti le ennesime descrivono traiettorie all'interno di quelle precedenti, come un complicato meccanismo di bambole russe. Questo disegno prende il nome di *attrattore*, in questo

Attrattore di Lorenz

caso quello di *attrattore strano o caotico* in quanto è stato generato da una serie di iterati che non mostrano periodicità.

E' intuitivo capire la causa di questo nome, infatti il grafico descrive la condizione verso la quale evolve il sistema dinamico stesso a passare del tempo; anche il metodo della scala applicata alle parabole già esaminate costituiva una specie di attrattore perché ci mostrava il punto o i punti verso i quali il sistema si dirigeva. Nell'attrattore di Lorenz però il sistema non converge verso un punto di stasi poiché esso è caotico (aperiodico) generando così una serie infinita di punti sempre differenti tra di loro che si collocano su linee differenti.

Esistono certamente altri tipi di attrattori più semplici come gli stessi punti fissi o altri grafici che rappresentano un sistema in evoluzione verso cicli periodici di equilibrio.

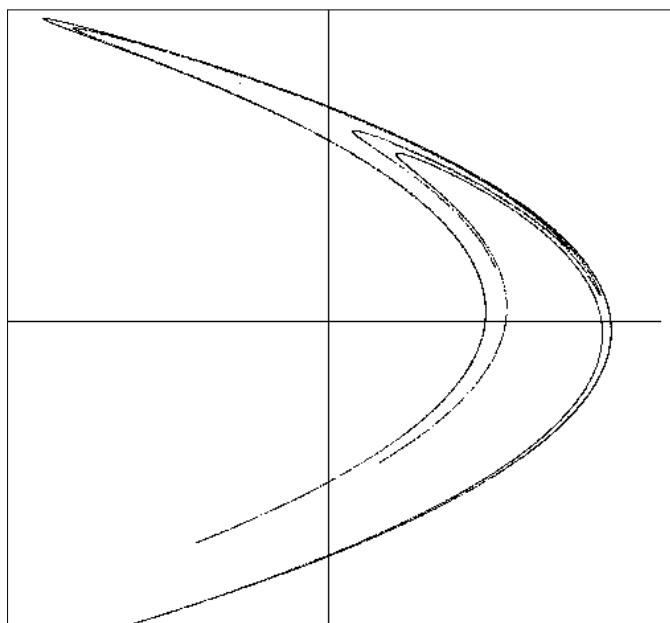
Henon e il suo attrattore

Ora che abbiamo capito il principio base su cui si fonda la teoria del caos deterministico potremmo considerare una equazione non lineare, prendere un valore iniziale e provare a reiterare per vedere cosa ne esca fuori. Michel Hénon, ad esempio, ottenne un risultato simile all'attrattore di Lorenz reiterando una trasformazione del piano costituita dal sistema di equazioni

$$\begin{cases} x' = y + 1 - 1,4x^2 \\ y' = 0,3x \end{cases}$$

e scegliendo più o meno a caso una condizione iniziale (va anche bene $x=0, y=0$). Dopo una serie iniziale di punti che non convergeva a nessun risultato, Henon usò un computer, un IBM 7040, per farsi registrare più di 5 milioni di reiterati su uno schermo grafico. Man mano che i reiterati si disponevano nello spazio del diagramma cartesiano, emergeva una forma sinuosa, a "banana", fatta da una miriade di filamenti, alcuni più fitti altri meno, che nascondevano altri situati tra due filamenti diversi. Insomma, quei fili che avremmo visto ad occhi nudo sono in realtà costituiti da altri fili più sottili, apprezzabili se applichiamo un potere risolutivo maggiore al grafico.

Come per l'attrattore di Lorenz, le linee sinuose non si intersecavano mai e continuavano all'infinito posizionandosi una dentro l'altra all'interno del "guscio banana".



**L'attrattore di Henon ottenuto dopo 11915 iterazioni
($x=0, y=0$)**

Come ha inizio la vita? Che
cos'è la turbolenza?
Soprattutto in un universo
governato dall'entropia, come
ha origine l'ordine?

Come abbiamo detto all'inizio del percorso, un modello matematico descrive lo sviluppo di un qualsiasi sistema dinamico.

A questo proposito prendiamo in considerazione il modello matematico che descrive la competizione tra due specie (indicata con x_0 la prima e con y_0 la seconda) che consiste nell'iterare il sistema

$$\begin{cases} x' = x(a - sx - by) \\ y' = y(e - dy - cx) \end{cases}$$

I cui punti fissi si ottengono risolvendo il sistema

$$\begin{cases} x(a - sx - by) = x \\ y(e - dy - cx) = y \end{cases}$$

Essi sono: $p_1(0,0)$ $p_2((a-1)/s;0)$ $p_3(0; (e-1)/d)$ $p_4 \left(\frac{d(a-1) - b(e-1)}{sd - bc}; \frac{s(e-1) - c(a-1)}{sd - bc} \right)$

Il primo punto fisso rappresenta l'estinzione di entrambe le specie, il secondo la sopravvivenza della prima a scapito della seconda, il terzo la sopravvivenza della seconda, l'ultimo l'equilibrio in cui le due specie coesistono nella stessa nicchia ecologia.

Se diamo ai parametri i valori $a=e=s=d=2$, $b=c=3$ ed assumiamo come condizioni iniziali $x_0=0,1$ e $y_0=0,2$ (in questo caso la prima specie è in minoranza rispetto alla seconda), reiterando i valori giungiamo ad un punto di ascissa nulla che decreta l'estinzione della prima specie in minoranza. Scambiamo i valori delle condizioni iniziali e reiterando il sistema avremo invece la vittoria della prima specie e la sconfitta della seconda (in questo caso si annulla il valore dell'ordinata).

Cambiando i valori dei parametri otteniamo situazioni diverse: se poniamo $b=5$ ed assumiamo come condizioni iniziali $x_0=0,4$ e $y_0=0,2$ il sistema convergerà verso l'asse delle ordinate decretando la scomparsa della prima specie che era in maggioranza. I parametri stabiliscono infatti l'efficienza di una specie nel trarre sostentamento dall'ambiente e quindi quest'ultimo caso dimostra che solo la specie più adatta all'ambiente sopravvive, a conferma della legge dell'evoluzione di Charles Darwin.

Come tutti ben sappiamo Darwin giunse alla sua teoria dell'evoluzione attraverso l'analisi di campioni e di resti fossili vegetali e animali raccolti durante i suoi viaggi che vanno dalle Isole Galapagos fino in Australia. Il materiale con annesse deduzioni fu riordinato ne *L'origine della specie*, pubblicata nel 1859.

La teoria evoluzionistica di Darwin sostiene che *1) in ogni specie gli individui sono diversi tra loro, 2) ogni specie mette al mondo più individui di quanti ne possano sopravvivere (una popolazione cresce in progressione geometrica).*

Ciò significa che solo un certo numero di individui di una specie può sopravvivere scatenando la lotta per la vita attraverso la quale si decreta l'affermazione dell'organismo più adatto (e non più forte), o meglio, più adeguato alle condizioni ambientali entro cui vive. Perché alcuni individui possono sopravvivere ed altri no? Darwin trovò la risposta in mutamenti organici che non si manifestano in modo omogeneo in tutte le specie; gli individui presso i quali si manifestano mutamenti organici vantaggiosi hanno maggiori probabilità di sopravvivere nella lotta per la vita, avendo l'individuo maggiori probabilità di sopravvivenza, avrà maggiori probabilità di crescita anche la specie a cui appartiene l'individuo dal momento che i mutamenti organici sono ereditari. Nonostante Darwin non abbia mai affermato che ci sia sempre una evoluzione e quindi un progresso inevitabile delle specie, la teoria dell'evoluzione porta alla produzione di varietà animali sempre più complesse, appartenenti a livelli di ordine superiore.

E' comunque necessario riportare in modo schematico i limiti e le problematiche suscitate dal pensiero di Darwin:

- Il racconto biblico e il modello creazionistico vengono meno a fronte di specie animali che si sono evolute passando da organismi semplici a strutture più complesse fino ad arrivare all'uomo.
- Nella legge dell'evoluzione di Darwin non c'è nessun finalismo, tutto è dominato da meccanicismo.
- Darwin sembra svalutare la dignità dell'uomo mettendolo quasi allo stesso livello dell'animale.
- Diffusione del darwinismo sociale secondo il quale si possono estendere i concetti di *selezione naturale* e *lotta per l'esistenza* anche alla società arrivando a giustificare guerre e discriminazioni razziste.



Dall'ordine al caos, dal caos all'ordine

Colui il quale portò alle estreme conseguenze il pensiero di Darwin fu Hebert Spencer, filosofo positivista inglese. Egli infatti, convinto di aver scoperto la causa ultima su cui si basa tutta la realtà, formulò la sua legge dell'evoluzione, riassumibile in tre processi:

- passaggio dall'indefinito al definito
- passaggio dall'omogeneo all'eterogeneo
- passaggio dal semplice al complesso

A differenza di Darwin quindi l'evoluzione di Spencer non riguarda tutti gli esseri viventi, ma tutti i campi della realtà: ogni cosa, ogni evento, ogni essere vivente si evolve passando da strutture semplici ed indefinite a strutture più complesse, ma allo stesso tempo distinte le une dalle altre e dunque definite.

L'evoluzione è inoltre un processo *necessario*. L'omogeneità, da cui parte tutto, è uno stato instabile che non può durare e deve inevitabilmente trapassare nell'eterogeneità per raggiungere l'equilibrio. *L'evoluzione deve perciò cominciare e una volta cominciata deve continuare perché la parti rimaste omogenee tendono, a loro volta, per la loro instabilità, verso l'eterogeneità.* Il processo sostenuto da Spencer è quindi puramente ottimistico poiché tende alla perfezione assoluta. Il passaggio dall'indefinito al definito non è netto e non è composto da due eventi distinti, ma si verifica nel tempo in modo ritmico: evoluzione (andamento verso il definito e ordinato) e dissoluzione (indefinito e caotico) si alternano in un processo in cui la dissoluzione è la premessa per una ulteriore evoluzione. In astronomia, ad esempio, l'evoluzione di Spencer si attua a partire da una materia nebulare dispersa ed indifferenziata che pian piano ha cominciato a concentrarsi in nebulose di varia forma, in stelle e in pianeti dando luogo a livelli di differenziazione sempre maggiori. Per quanto riguarda la geologia Spencer intravedeva una evoluzione considerando i differenti strati di rocce attraverso i quali le parti della crosta terrestre si sono ordinate e differenziate. Anche per quanto riguarda la psiche dell'uomo essa si sarebbe evoluta nel tempo tanto che noi alla nascita non siamo una "tabula rasa", ma conserviamo le strutture mentali sviluppatesi nel corso dell'evoluzione.

Le teorie di Spencer che decretano un inevitabile passaggio dal caotico e indefinito al semplice al complesso, dopo un primissimo momento di successo, furono tuttavia abbandonate nella seconda metà dell'ottocento, a partire dalla formulazione del concetto di entropia nel 1865 da parte di Rudolf Clausius il quale aveva formulato anche il secondo principio della termodinamica per il quale *è impossibile realizzare una trasformazione spontanea il cui risultato finale sia solamente il passaggio di calore da un corpo a una data temperatura a un altro a temperatura maggiore.*

Questo accade perché il passaggio di calore da un corpo a temperatura maggiore a un corpo a temperatura minore è un processo irreversibile; in generale il secondo principio afferma che se un sistema si evolve spontaneamente in un determinato verso, non è possibile riportare il sistema e l'ambiente con cui esso interagisce esattamente nelle condizioni iniziali. Qui si inserisce appunto la definizione di entropia che è, in parole povere, il rapporto tra la quantità di calore scambiata dal sistema e la temperatura T a cui avviene lo scambio, anche definita come la misura dello stato di "disordine" di un sistema.

Per il principio dell'aumento dell'entropia, se ci troviamo di fronte ad un sistema isolato insieme al suo ambiente dall'esterno, l'entropia è destinata ad aumentare se avviene un processo irreversibile. In un universo isolato come il nostro (in cui la quantità di calore e quindi di energia è finita) l'entropia tende quindi ad aumentare fino all'esaurimento di energia disponibile che decreterà un regime di stasi eterna e di morte termica dell'universo.

Se l'universo quindi è destinato alla degradazione, come si spiegano forme di auto-organizzazione e crescita in natura? Può avvenire, in vista del secondo principio di termodinamica un passaggio dal disordine all'ordine, dall'entropia all'isotropia?

A questo proposito consideriamo un semplice esempio. Esaminiamo un bicchiere d'acqua in equilibrio identico in ogni sua parte (isotropia) e riscaldiamolo con temperatura crescente.

Il bicchiere d'acqua non riscaldato presenta una simmetria chiamata isotropia.	Se viene riscaldato dal basso e il gradiente di temperatura è minimo, le particelle del liquido non hanno ancora abbastanza energia per muoversi.	Se il gradiente di temperatura aumenta, le molecole d'acqua iniziano a ruotare formando celle convettive.	Se il gradiente di temperatura aumenta ancora, le celle convettive lasciano spazio ad un caos turbolento.	Se il riscaldamento aumenta il caos si distribuisce uniformemente e il fluido recupera l'isotropia perduta.
--	---	---	---	---



Aperiodicità del Decostruttivismo

“Perché il profilo di un albero spoglio piegato dal vento impetuoso contro un cielo serale viene percepito come bello, mentre il profilo di un edificio universitario funzionale non viene percepito come tale?”

Gert Eilenberger in “Caos, la nascita di una nuova scienza”

Sicuramente a tutti sarà capitato durante un viaggio o semplicemente navigando su internet o sfogliando un libro di arte moderna, di rimanere sbalorditi o di ammirare strutture architettoniche che “cozzano” in un primo impatto con i nostri gusti estetici: palazzi strambi e *complessi*, impianti architettonici fini a sé stessi, ma anche sculture di cui non percepiamo un significato senza un



Casa Danzante, Gehry (Praga)

adeguato retaggio culturale di fondo. Ammettiamolo, siamo abituati al semplice, alla forma architettonica legata alle sue finalità: ecco quindi che ciò che vediamo di consueto è per noi sinonimo di ordine...eppure quelle strutture che noi stessi a primo acchito definiamo bizzarre e dominate dal disordine si mantengono in piedi e magari sono più solide di quelle della tradizione architettonica *basata sull'inviolabile integrità di figure geometriche semplici*: ecco quindi che soprattutto nell'architettura contemporanea (come nel decostruttivismo) il caos, nel mero significato del

termine, cessa di esistere.

Caotiche e traballanti sono solo le strutture esteriori, ma il tutto certamente si basa su un complesso equilibrio di forze. (Si osservi in figura l'apparentemente struttura instabile della Casa Danzante ad opera dell'architetto canadese Gehry). Ancora una volta il caos paradossalmente obbedisce a leggi, o meglio tutto si regge su relazioni complesse che producono un complesso ordine che ci sfugge.

A queste leggi obbedisce anche il movimento decostruttivista.

Per quanto riguarda la sua nascita, essa risale all'anno 1988, quando in una mostra di New York organizzata da Philip Johnson (architetto statunitense) furono esposti progetti di architetti come Frank O. Gehry, Daniel Libeskind, Zaha Hadid: il nuovo stile emergente fu appunto definito "Deconstructivist Architecture" (*Architettura decostruttivista*)

Esponiamo di seguito le caratteristiche principali del movimento:

- Rifiuto a priori del classicismo e di armonie formali
- Gusto per asimmetrie e dissonanze (*se l'ordine matematico si identifica con la periodicità-simmetria, qui prevale l'aperiodicità-asimmetria*)
- Eliminazione della "scatola chiusa" e rifiuto delle figure geometriche elementari (*il gusto del pericolo sta proprio in questo: allontanarsi dalla geometria banale per ricercarne altre. E' l'ora della geometria del caos scoperta da Lorentz, May, ecc...*)
- Interazione edificio-città-territorio (*come da introduzione, un edificio che obbedisce a questi canoni architettonici cozza con l'ambiente che lo circonda; decostruendolo, bisogna decostruire il suo contesto urbano e territoriale. Decostruendo tutto si reintegra in quanto le varie parti decostruite dialogano tra loro formando un caos omogeneo*)

Ma chiariamo meglio cosa significhi più precisamente de-costruttivismo. L'architetto decostruttivista si libera dai cadaveri ingombranti e dai dogmi legati all'armonia, alla stabilità, all'equilibrio, alla sintonia, convinto che l'arte non ha raggiunto un punto di non ritorno e che può produrre ancora "qualcosa" di nuovo slegato dall'arte passata. Ecco quindi che il decostruttivismo assume i caratteri di un'architettura d'avanguardia. L'architetto è chiamato a "contaminare" la forma pura di un edificio, di un teatro, di un qualsiasi luogo pubblico o privato distruggendola non dall'esterno, ma dall'interno dell'edificio stesso adoperando torsioni azzardate che spezzano finalmente la rigida stabilità della linea retta.

Afferma Mark Wigley¹: *"Se si tenta di disturbare una forma dall'esterno non vi si riesce pienamente, si riesce solo a danneggiarla. [...] Invece l'architettura decostruttivista disturba la forma dall'interno...La distorsione subita è particolarmente inquietante perché essa sembra*

¹ Mark Wigley è un architetto neo-zelandese.

appartenere alla forma, essere parte della stessa...[...] Ciò mette in dubbio il senso di stabilità e di coerenza che comunemente viene associato alle forme pure. E' come se la perfezione ha da sempre ospitato l'imperfezione. [...] La perfezione è segretamente mostruosa, Torturata dall'interno, quella forma che sembrava perfetta confessa i propri crimini, la propria imperfezione" E' come se gli architetti decostruttivisti ci mostrassero quale grado di disordine-complessità ci nascondi l'ordine proprio come quelle semplici funzioni matematiche trattate precedentemente nascondevano spazi di apparente confusione mai esplorati prima!

C'è comunque da aggiungere che a questa inquietudine se ne affianca un'altra: essendo totalmente svincolato dalla rigidità funzional/razionalista², il decostruttivismo rischia di perdere quella continuità tra forma e contenuto in quanto il programma funzionale svanisce una volta che la forma viene totalmente disturbata e plasmata a discrezione dell'architetto.

Un esempio eclatante è lo Stata Center, un complesso accademico progettato da Gehry e completato nel marzo 2004 per il Massachusetts Institute of Technology (MIT). Parallelepipedi e coni "attorcigliati", rivestimenti in titanio che poggiano su una struttura tra il rosa e il marrone hanno fatto sicuramente torcere il naso a non pochi studenti e professori universitari tanto che il MIT ha chiamato in causa Gehry accusandolo della non stabilità e integrità della struttura stessa. Questa *coppia di robot ubriachi* (Gehry), infatti, ha problemi di infiltrazione d'acqua a causa di un difetto nel sistema di drenaggio e presenta muffe e crepe su alcuni muri.

**Scorcio in titanio
dello Stata Center**

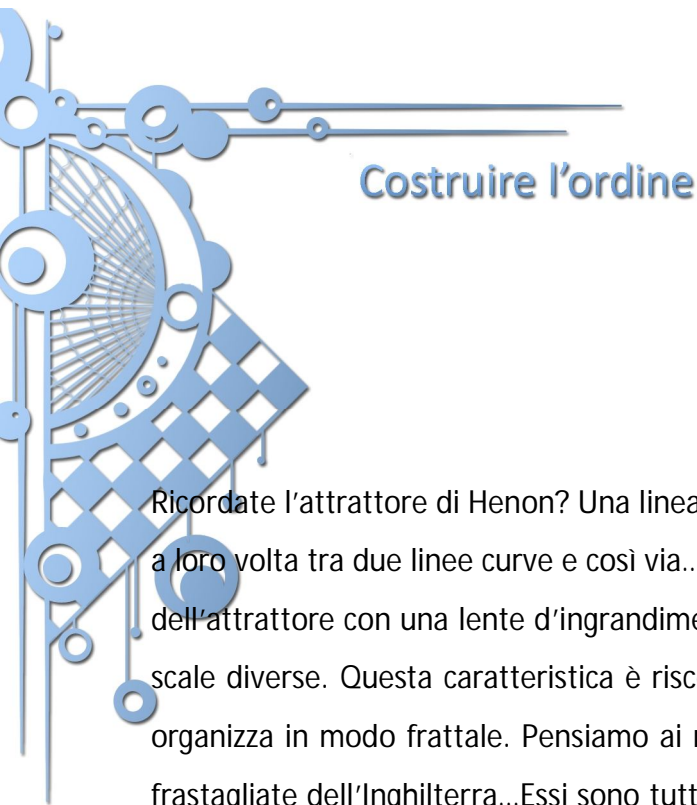


"Gehry si considera un artista, uno scultore. Purtroppo non si vive in una scultura e c'è chi, in questi palazzi, deve viverci e lavorare" E' così che replica John Silber, ex rettore della Boston University in quale mette in primo piano la dicotomia forma-funzione. E' impossibile concepire un edificio senza dare una minima importanza all'esercizio che dovrà assumere, l'originalità non esclude la funzionalità. Gehry si difende affermando che tutti i problemi strutturali sono risolvibili e di aver

² Funzionalismo e razionalismo verranno trattati nella sezione dedicata al Bauhaus.

messo insieme strutture che sembrano sfidare la forza di gravità col fine di creare un ambiente più stimolante e “armonioso” per i ricercatori del MIT.

Insomma, creatività e desiderio di conoscenza richiamano in architettura voglia di sfidare e scompaginare le leggi della natura attraverso strutture caotiche e complesse.



Ricordate l'attrattore di Henon? Una linea curva tra due linee curve ciascuna delle quali si trovano a loro volta tra due linee curve e così via...In una parola, autosimilarità. Se osserviamo il grafico dell'attrattore con una lente d'ingrandimento scopriremo che la sua struttura rimane costante su scale diverse. Questa caratteristica è riscontrabile anche in natura, o meglio, nella natura che si organizza in modo frattale. Pensiamo ai rami di un albero, al contorno di una nuvola, alle coste frastagliate dell'Inghilterra...Essi sono tutti esempi banali attraverso cui è facile capire che l'uomo non vive nell'ordine assoluto, ma in un “contenitore” complesso, di difficile comprensione. Per B. Maldebrod³ la ragione è chiara: le forme semplici sono disumane, eppure esse non sono eliminabili. Pensiamo al Bauhaus, movimento che trasforma tutto in una linea razionale che si insinua attraverso l'architettura tra le due guerre e nel design industriale. E' proprio l'architettura l'elemento portante di questo movimento il quale propone strutture *funzionali* alla vita e alla società, la cosiddetta *cuccia del cane* che in questo caso è l'individuo stesso. L'aspetto estetico

³ Matematico polacco.

viene quindi lasciato da parte a favore di una produzione piatta e in serie che risente soprattutto delle esigenze dell'acquirente.

Basta pensare al capolavoro di Walter Gropius, la sede del Bauhaus a Dessau⁴ (1925-26). L'edificio assume l'aspetto di una doppia "elle" fatta di vetro, acciaio e cemento armato. E' semplice individuare la funzione di ogni parte dell'edificio scolastico: in alto è collocato il settore dei laboratori, in basso quello delle aule; aule e laboratori sono collegati da una struttura a ponte in cui ci sono uffici amministrativi. Agli estremi di una delle due elle è collocato un edificio per gli alloggi degli allievi, cui si accede mediante un passaggio sede del refettorio, dell'auditorium e del palcoscenico.

Altro elemento importante è la facciata, del tutto assente nella sede del Bauhaus poiché nessun settore è più importante di un altro; se ci fosse una facciata principale si verrebbero a creare delle gerarchie tra gli ambienti adibiti a determinate funzioni, funzioni che sono tutte allo stesso modo importanti per Gropius.

Dessau non è sempre stata la dimora del Bauhaus. Esso infatti nasce nel 1919 a Dresda⁵ per poi essere momentaneamente sciolto nel 1925. Dopo essersi trasferito a Berlino, il movimento scompare definitivamente il 19 luglio 1933 a causa della salita al potere di Hitler il 30 gennaio dello stesso anno. Il Bauhaus era infatti denominato dal nazionalsocialismo il *covo del bolscevismo*, a causa della collaborazione tra insegnanti e allievi in base a una ideologia democratica e a una non discreta presenza di artisti russi.

Nonostante siano passati più di novant'anni, il movimento del Bauhaus sta riscuotendo ancora un certo interesse in Germania



Scorcio della sede del Bauhaus, Dessau.

⁴ Città della Sassonia

⁵ Capitale della Sassonia

soprattutto nel campo del design. C'è da dire, inoltre, che esso ha lasciato una grande eredità artistica certamente non da disprezzare.

Qui di seguito sono elencate alcune differenze tra Bauhaus e Decostruttivismo:

- | | |
|--|--|
| • <i>Uso di linee rette e rigide</i> | • <i>Uso di linee curve e tortuose</i> |
| • <i>Edifici "tutti d'un pezzo"</i> | • <i>Forme sinuose con pieni e vuoti</i> |
| • <i>Unità forma-funzione</i> | • <i>Prima la forma, poi la funzione</i> |
| • <i>Unità tra architetto-designer-falegname</i> | • <i>E' inevitabile che l'architetto diventi artista-sculitore</i> |

Nella vita ho avuto modo di frequentare gli ambienti più disparati: da quello della IBM, dove l'Ordine è un abito mentale indispensabile per fare carriera, a quello dello Spettacolo, dove il Disordine viene considerato un presupposto per avere successo. L'esperienza, comunque, mi ha insegnato a usarli entrambi e senza mai assumere atteggiamenti preconcepiuti.

Luciano De Crescenzo.

Finora abbiamo considerato le relazioni che intercorrono tra caos e ordine solo sotto un aspetto matematico-scientifico, evidenziando quant'altro studio e dedizione possano essere applicati ad ambiti reali come in un ecosistema o in architettura. Certamente emergono aspetti relativi al caos e all'ordine anche in altri ambiti prettamente umani e indescrivibili attraverso numeri e formule come la letteratura (italiana e latina). Ciò non vuol dire che in letteratura manchino cause o *condizioni iniziali* che abbiamo portato più verso il complesso o più verso l'equilibrio-ordine. Per far questo analizziamo dapprima lo stile di due autori latini, Cicerone e Seneca, vissuti rispettivamente nel I secolo a. C. e d. C., cercando di cogliere soprattutto le differenze tra i due.

Circa Seneca ho analizzato due passi tratti rispettivamente dal De Ira III, 5 (*Non facciamoci cogliere dalla peste e dall'ira*) e da Epistulae ad Lucilio, 1 (*Sii padrone del tuo tempo*)

Il primo passo è il seguente: "*Quemadmodum adversus pestilentiam nihil prodest firmitas corporis et diligens valetudinis cura (promiscue enim imbecilla robustaque invadit), ita ab ira tam inquietis moribus periculum est quam compositis et remissis, quibus eo turpior ac periculosior est quo plus in illis mutat.*"

[Proprio come contro una pestilenza a nulla giovano la costituzione robusta e la diligente cura della salute (infatti senza distinzione invade i corpi robusti e deboli) così dell'ira c'è pericolo tanto per i caratteri più inquieti, quanto per quelli più composti e remissivi per i quali tanto più è brutta e pericolosa l'ira, quanto più in quei caratteri comporta cambiamenti.]

- La struttura di questo periodo abbastanza complesso è la seguente:

Quemadmodum adversus pestilentiam nihil prodest firmitas corporis et diligens valetudinis cura
(Proprio come contro una pestilenza a nulla giovano la costituzione robusta e la diligente cura della salute)

Ita ab ira tam inquietis moribus periculum est quam compositis et remissis
(così dell'ira c'è pericolo tanto per i caratteri più inquieti, quanto per quelli più composti e remissivi)

quibus eo turpior ac periculosior est
(per i quali tanto più è brutta e pericolosa l'ira)

quo plus in illis mutat
(quanto più in quei caratteri comporta cambiamenti)

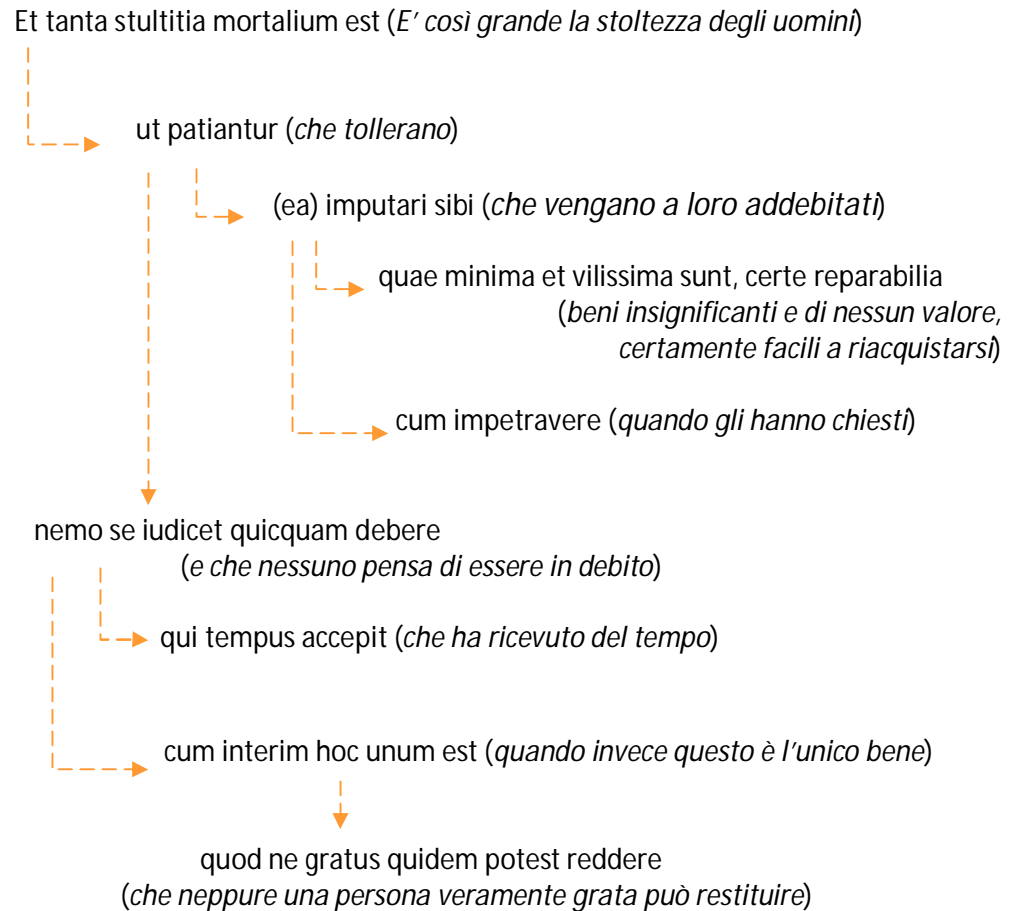
Bisogna anche notare il chiasmo in *firmitas corporis et valetudinis cura*; la coppia antitetica *imbecilla robustaque*, un'altra antitesi in *tam inquietis quam compositis et remissis*.

Ciò si spiega attraverso lo scrivere morboso di Seneca volto a chiarire i concetti in tutte le loro sfaccettature. Non mancano, soprattutto nel testo da cui è stato estratto il passo precedente, un accumulo di sostantivi e verbi, rapporti di sinomimia ed antitesi e in ultimo frasi ad effetto come "*Accusanda est apud nos damnanda*" ("Davanti a noi dev'essere processata e condannata), tratto caratteristico di questo autore latino.

Il secondo passo esaminato è invece: "*Et tanta stultitia mortalium est ut quae minima et vilissima sunt, certe reparabilia, imputari sibi cum impetravere patiantur, nemo se iudicet quicquam debere qui tempus accepit, cum interim hoc unum est quod ne gratus quidem potest reddere*"

[E' così grande la stoltezza degli uomini che tollerano che vengano a loro addebitati, quando gli hanno chiesti, beni insignificanti e di nessun valore, certamente facili a riacquistarsi e che nessuno che ha ricevuto del tempo a disposizione pensa di essere in debito, quando invece questo è l'unico bene che neppure una persona veramente grata può restituire.]

● La struttura presenta una forte asimmetria:



Si nota immediatamente che dalla principale diparte una secondaria di primo grado a cui sono collegate altre due secondarie di secondo grado. Da entrambe dipendono a loro volta due secondarie di terzo grado, una delle quali è legata con una secondaria di quarto grado.

Eppure una certa simmetria (e quindi un modesto ordine) è presente a partire dalle due secondarie di secondo grado in quanto ad esse dipendono due proposizioni relative introdotte rispettivamente da *quae* e *qui* e altre due proposizioni introdotte da *cum* (*cum impetravere/ cum interim hoc unum est*).

In questo testo (*Sii padrone del tuo tempo*), inoltre, non solo sono presenti le stesse caratteristiche linguistiche e stilistiche del testo precedente, come *sententiae* e accumulazioni sinonimiche, ma anche parecchi climax¹, ad esempio la *trica* "magna pars vitae elabatur male agentibus, maxima nihil agentibus, tota vita aliud agentibus." ("gran parte della vita ci sfugge nel compiere il male, la maggior parte di essa nel non far niente, tutta nel fare altro")

Come suggerisce il climax stesso, lo stile originale di Seneca ha alla base lo scopo di condurre il lettore a una verità che non si pone a priori, ma cui si giunge attraverso un cammino, una ricerca

¹ Climax: figura retorica che consiste nell'usare più termini o locuzioni con intensità crescente.

filosofica. E' proprio a causa della trasmissione del messaggio filosofico (soprattutto di stampo stoico) che Seneca fa uso di un modo di esprimersi tipico del linguaggio comune, con un uso frequente di proposizioni coordinate, variazioni e di altri espedienti già citati. Qui, dunque, il complesso e l'asimmetrico (lo stile di Seneca è stato addirittura definito baroccheggiante) non sono da biasimare in quanto funzionali all'educazione del lettore.

Verrebbe da chiedersi se fosse solo questo il motivo per il quale Seneca abbia deciso di far propria questa forma espressiva. Seneca, infatti, non è stato affatto l'unico a voler comunicare il suo pensiero stoico e molti, come Quintiliano, ne hanno rimproverato lo stile.

Il disordine stilistico deriverebbe dal disordine del contesto storico durante il quale Seneca stesso è vissuto. A pensarla così è Alfonso Traina che, in un saggio sullo stile di Seneca, scrive: "*L'avvento dell'impero segna una frattura in quest'ordine. La realtà politica passa in secondo piano e individuo e cosmo si trovano di fronte. [...] Riaffiora la solitudine esistenziale e l'urgenza di solitudini individuali. Il contraccolpo stilistico di questo mutamento di valori è una prosa esasperata e irrelata, che ha tanti centri e tante pause quante sono le frasi. La trama logica del discorso si smaglia in un fitto balenio di sententiae, ognuna fine a se stessa.*"

Quest'autore latino, infatti, non ebbe vita facile: desiderato morto da Caligola, condannato all'esilio in Corsica da Claudio, fu costretto da Nerone al suicidio nel 65 d. C. Di fronte a questi mali e ad un impero corrotto, l'unica via di scampo è stata certamente l'otium filosofico, ultima spiaggia attraverso cui cercare di educare i posteri secondo una morale sana.



...e di Cicerone

- Nonostante Cicerone sia vissuto in un mondo più conflittuale² di quello di Seneca, il suo stile è completamente agli antipodi del filosofo latino; egli infatti nasce come oratore, ruolo che rimpiangerà anche in esilio, durante il quale sarà costretto ad intraprendere un compito simile a quello di Seneca.

² Sono gli anni delle guerre civili, dei due triumvirati, dell'uccisione di Cesare.

Scrivi Traina che la prosa letteraria di Cicerone "è retta da pochi grandi centri sintattici e/o unificata da una ininterrotta trama di nessi logici. In questa struttura architettonica sembra tradursi il senso di una realtà bene organizzata, un equilibrio di valori morali, politici, religiosi."

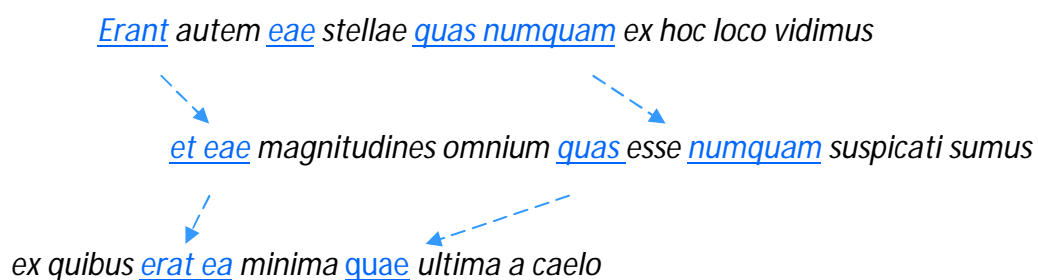
La cella stilistica di Cicerone è dunque il periodo costituito dalla principale e da una miriade di secondarie a differenza della frase-sententia di Seneca. Il tutto è in perfetta armonia e la forma, fondata su ipotassi e connettivi logici, rispecchia lo svolgersi del pensiero di Cicerone mettendo in atto l'"*apte dicere* (esprimersi in modo adeguato sull'argomento). Viene data importanza, inoltre, al ritmo del discorso e delle chiusure di periodo (clausole) che devono obbedire, seppur in prosa, a precise regole metriche.

Per concretizzare il discorso, riporto un passo tratto capitolo sedici del *Somnium Scipionis*:

"Erant autem eae stellae quas numquam ex hoc loco vidimus, et eae magnitudines omnium quas esse numquam suspicati sumus, ex quibus erat ea minima quae ultima a caelo, citima terris luce lucebat aliena."

[Vi erano poi quelle stelle che noi non abbiamo mai visto dalla terra e le loro dimensioni erano quali mai abbiamo sospettato che fossero, tra queste c'era quella più piccola che, ultima dalla parte del cielo, ma più vicina alla terra, risplendeva di luce altrui.]

- La descrizione del cielo da una diversa prospettiva che non coincide con quella terrestre è resa con gusto simmetrico, non riconoscibile nella traduzione italiana:



E ancora, è da notare il costrutto della clausola del capitolo 24, appartenente al *Somnium Scipionis*:
"et ut mundum ex quadam parte mortalem ipse deus aeternus, sic fragile corpus animus sempiternus movet."

[e come, in un certo senso, quel dio eterno muove questo mondo mortale, così l'anima immortale muove il corpo fragile]

Mundum mortalem e *fragile corpus* (entrambi complementi oggetto) sono infatti posizionati in chiasmo secondo lo schema A-B-B-A, inoltre *fragile corpus* si pone in antitesi col soggetto *animus sempiternus*. Una antitesi finale è resa dall'allitterazione della *m* in *mundum mortalem* e dalla figura etimologica³ *aeternus-sempiternus*, a sottolineare la contrapposizione tra sfera divina e mortale.

³ figura retorica in cui si ha l'accostamento di due parole che condividono la stessa radice etimologica.



Siamo ormai giunti alla parte conclusiva di questo percorso, parte riservata a due autori della letteratura italiana, Pascoli e D'Annunzio. Nonostante siano vissuti all'incirca nello stesso lasso di tempo, essi hanno sviluppato una poetica davvero differente che cercherò di esaminare, apprezzando quegli aspetti utili per il tema che ho voluto trattare.

Entrambi hanno abbracciato il simbolismo ed entrambi tendono al sublime ed aspirano al ruolo di poeta-vate, ma se Pascoli cerca il sublime nel basso, nel quotidiano, nel nido familiare, operando una sorta di riscoperta del mondo mettendosi nei panni di un *fanciullino*¹, D'Annunzio lo cercherà puntando all'innalzamento della stessa persona. Anche il rapporto con il pubblico è diverso: Pascoli ricerca protezione e isolamento rimanendo fedele al ruolo di letterato ottocentesco, D'Annunzio, invece, si erge al di sopra dei suoi lettori e della massa fino a voler dominare la natura stessa e a congiungersi con essa, come avviene nella lirica *La pioggia nel pineto*.

E' proprio questo desiderio di prevaricare ogni limite ed elevarsi come oltreuomo² avente sensibilità e capacità di capire la natura non comuni che fa delle sue liriche un misto di versi creatori di scene mitiche e sublimi.

Ne è un esempio la lirica *La sera fiesolana* (appartenente alla raccolta *Alcyone*) riportata ed analizzata di seguito:

¹ Opera di Giovanni Pascoli in cui egli indica la sua poetica.

² Elemento centrale della filosofia di Nietzsche.

*Fresche le mie parole ne la sera
 ti sien come il fruscio che fan le foglie
 del gelso ne la man di chi le coglie
 silenzioso e ancor s'attarda a l'opra lenta
 su l'alta scala che s'annerà 5
 contro il fusto che s'inargenta
 con le sue rame spoglie
 mentre la Luna è prossima a le soglie
 cerule e par che innanzi a sé distenda un velo
 ove il nostro sogno si giace 10
 e par che la campagna già si senta
 da lei sommersa nel notturno gelo
 e da lei beva la sperata pace
 senza vederla.*

*Laudata sii pel tuo viso di perla, 15
 o Sera, e pè tuoi grandi umidi occhi ove si tace
 l'acqua del cielo!*

*Dolci le mie parole ne la sera
 ti sien come la pioggia che bruiva
 tepida e fuggitiva, 20
 commiato lacrimoso de la primavera,
 su i gelsi e su gli olmi e su le viti
 e su i pini dai novelli rosei diti
 che giocano con l'aura che si perde,
 e su 'l grano che non è biondo ancora 25
 e non è verde,
 e su 'l fieno che già patì la falce
 e trascolora,
 e su gli olivi, su i fratelli olivi
 che fan di santità pallidi i clivi 30
 e sorridenti.*

*Laudata sii per le tue vesti aulenti,
 o Sera, e pel cinto che ti cinge come il salce
 il fien che odora!*

*Io ti dirò verso quali reami 35
 d'amor ci chiami il fiume, le cui fonti
 eterne a l'ombra de gli antichi rami
 parlano nel mistero sacro dei monti;
 e ti dirò per qual segreto
 le colline su i limpidi orizzonti 40
 s'incurvino come labbra che un divieto
 chiuda, e perché la volontà di dire
 le faccia belle
 oltre ogni uman desire
 e nel silenzio lor sempre novelle 45
 consolatrici, sì che pare
 che ogni sera l'anima le possa amare
 d'amor più forte.*

*Laudata sii per la tua pura morte
 o Sera, e per l'attesa che in te fa palpitare 50
 le prime stelle!*

Disordine, incomprensione. Sono queste le prime impressioni che affiorano a lettura terminata. Ma subito dopo, il disordine insieme all'incomprensione sembrano scomparire per dare spazio a qualcos'altro legato alla musicalità dei versi, alla dolcezza delle sillabi, al senso di sospensione del discorso a causa dei frequenti enjambement; a una lettura più attenta, è impossibile individuare un nucleo del discorso, non a caso l'andamento della lirica è paratattico, tanto che nessun verso ha una importanza maggiore di un altro. Azzardando un accostamento con Cicerone (la cui cella stilistica era il periodo che implica gerarchie tra le frasi), lo stile di D'Annunzio è assolutamente diverso e più incline a quello di Seneca, come suggerisce l'anafora della e che coordina i versi dal 25 al 29. Qui sono le parole che la fanno da padrona, ciascuna delle quali portatrici di un'immagine, o meglio, di un'immagine filtrata attraverso la sensibilità del poeta, della compagna fiesolana alla luce della luna.

Nella prima strofa subito assistiamo ad un mescolamento di sensazioni tattili, uditive e soprattutto visive: le parole sono fresche perchè pronunciate di sera, il fruscio delle foglie, il gelo della campagna resa in tutte le sue parti argentea dalla luna. Nella seconda strofa le parole assumono un sapore dolce (compare il senso del gusto) ed ancora sensazioni uditive e visive rese per mezzo della pioggia primaverile (*tepida e fuggitiva*) che bagna il grano, né verde né biondo, il fieno, gli ulivi, i rami degli alberi...

Che senso ha tutto questo? Che senso ha questa combinazione di sensi? "*Io ti dirò*" scrive il poeta nel primo verso dell'ultima strofa ripetendolo al verso 39. Ma a questa dichiarazione non segue nessun messaggio ma solo altre immagini, altre sensazioni che, per di più, sono più indecifrabili delle precedenti: fiumi le cui fonti eterne rimangono in silenzio, limpidi orizzonti, colline incurvate a custodire un segreto (forse proprio quello di cui il poeta vuol parlare) per la qual cosa l'animo le ama sempre di più ogni sera.

E' proprio questa mancanza di significato e questo accostamento di colori e sensi a causare un disordine di parole che non ha nessun centro. Eppure un certo ordine, o meglio ritmo, è individuabile nei tre ritornelli che iniziano tutti con "*Laudata sii*" (avvio del cantico delle creature di San Francesco in riferimento alla sera) e terminano con una esclamativa. Nella parte finale delle tre strofe, inoltre, alla descrizione della natura seguono tre elementi, pace, sorriso e amore, a cui giungere attraverso la lettura di questa lirica.

Non sono poche infatti le contaminazioni con altri generi che, a parere di Leone de Castris³ si spiegano ammettendo che D'Annunzio fosse privo di contenuti. Questo probabile vuoto è scaltramente riempito dal preziosismo verbale del poeta, comunque a vantaggio della forma anziché del contenuto (verrebbe da pensare al decostruttivismo...)

Sono infatti presenti parole latineggianti come *cerule* (v. 9), *aura* (v. 24), *aulenti* (v. 32), gallicismi come *desire* (v. 44, dal provenzale *dezire*) e *bruiva* (v. 19, dal francese antico *bruire*). Originale è la variazione grafica-fonetica di alcune parole di uso comune: *tepida* (v. 20) invece di *tiepida*, "le sue rame" invece di "i suoi rami", "i...diti" invece di "le dita"; altre parole perdono la vocale finale come *fan* (v. 2), *man*, (v. 3), *fien* (v. 34), *amor* (v. 36-48), *lor* (v. 45). Infine un altro espediente meccanico è quello di scrivere separatamente proposizioni che risultano articolate: "ne la sera" (v. 1-18), "ne la man" (v. 3), "de la primavera" (v. 21), "su i gelsi e su gli olmi e su le viti" (v. 22).

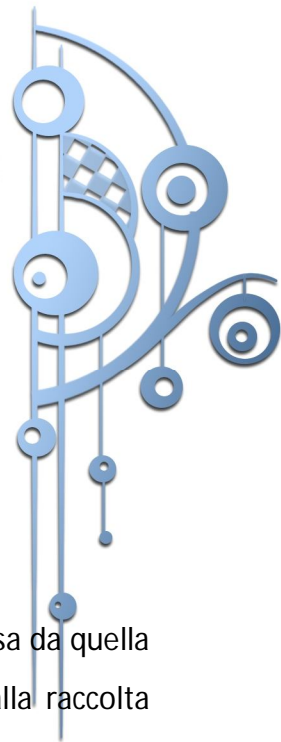
Il risultato è in ogni pur minima parte della lirica è presente questo registro aulico che scade a lungo andare nel banale, nel ripetitivo, nel *caos*.

³ Arcangelo Leone de Castris, docente all'Università di Bari e italianista.

Potrebbe essere curioso il fatto che la sintassi della *sera fiesolana* possa essere ricollegata alla originale interpretazione da parte di D'annunzio del superuomo di Nietzsche, superuomo più simile a quello della vita estetica introdotta da Kierkegaard; questo genera di vita, infatti, è dominata dal caos in quanto l'esteta non si rifà a nessun vincolo sociale, vive nell'istante, in pratica sceglie di non scegliere niente. Il risultato è un'esistenza vuota, sregolata.

Tuttavia al di là del preziosismo linguistico e della carenza di significato, compare un barlume di ordine, quello lasciato nell'animo del lettore rasserenato dal suono dei versi di D'Annunzio.

X agosto, una poesia
di periodo 2



In Pascoli, invece, la natura assume un altro aspetto, forse per un'indole poetica diversa da quella di D'annunzio, forse per le vicende familiari. La poesia che ho analizzato (tratta dalla raccolta *Myricae*) fa leva proprio su questi due elementi, oltre ad essere un esempio di ordine e simmetria in letteratura.

Per comprenderla pienamente dobbiamo dunque rifarci alla biografia del poeta e al tragico evento che ha marchiato la sua vita e i suoi versi; il 10 agosto 1867 il padre Ruggero, amministratore di una tenuta dei principi Torlonia, venne ucciso con una fucilata mentre tornava a casa in calesse e per di più, il suo delitto rimase impunito. Pascoli farà di tutto per evitare lo sgretolamento della

sua famiglia, ritenuta il suo nido, segnata per non bastare dalla morte di altri due fratelli e della madre.

La lirica, non a caso, è intitolata *X agosto*:

*San Lorenzo , io lo so perché tanto
di stelle per l'aria tranquilla
arde e cade, perché si gran pianto
nel concavo cielo sfavilla.*

*Ritornava una rondine al tetto:
l'uccisero: cadde tra i spini;
ella aveva nel becco un insetto:
la cena dei suoi rondinini.*

*Ora è là, come in croce, che tende
quel verme a quel cielo lontano:
e il suo nido è nell'ombra, che attende,
che pigola sempre più piano.*

*Anche un uomo tornava al suo nido:
l'uccisero: disse: Perdono;
e restò negli aperti occhi un grido:
portava due bambole in dono.*

*Ora là, nella casa romita,
lo aspettano, aspettano in vano:
egli immobile, attonito, addita
le bambole al cielo lontano.*

*E tu, Cielo, dall'alto dei mondi
sereni, infinito, immortale,
oh! d'un pianto di stelle lo inondi
quest'atomo opaco del Male!*

A prima vista la differenza con D'Annunzio è palese; la poesia, infatti, oltre a fornirci una notizia biografica per quanto terribile sia (anche il titolo è informativo) ci comunica anche sensazioni e riflessioni di Pascoli.

I versi sottolineati sono invece quelli posti sotto attenzione. Quattro immagini ripartite nei quattro versi della seconda strofa compongono la visione della morte di una rondine, visione resa in modo impressionistico e telegrafico: la rondine ritorna al suo nido, viene uccisa (non si sa come poiché è il tema della morte ciò che si vuol evidenziare), cade tra i rovi, nel suo becco c'è un insetto. Nella quarta strofa ritroviamo immagini simili: un uomo (il padre di Pascoli) torna a casa, viene ucciso, prima del silenzio emana un grido, ha nelle sue mani due bambole; il legame tra queste due strofe è inoltre rafforzato dalla coppia di parole *tetto-nido*, infatti il tetto che, per sineddoche, dovrebbe

significare la casa dell'autore, è invece usato per indicare il rifugio della rondine, mentre il nido riunisce propri i cari di Pascoli, affetti del padre.

Anche la terza e la quinta strofa sono speculari: "Ora è là" fa eco a "Ora là", il nido (i pulcini) che attende e che pigola sempre più piano fa eco ai cari della vittima che aspettano il suo impossibile ritorno; il verme rivolto verso il cielo rispecchia le bambole anch'esse rivolte verso il cielo (in questo caso *lontano*). Un riferimento al cielo è presente, come cornice delle quattro strofe centrali, nella prima e nell'ultima quartina: il cielo, che più è distante dalla terra, più allarga la sua visuale, scintilla di stelle cadenti simili a gocce di pianto sul corpo del padre di Pascoli (il 10 agosto, giorno di San Lorenzo, è proprio il momento dell'anno durante il quale si verifica il fenomeno delle "stelle cadenti")

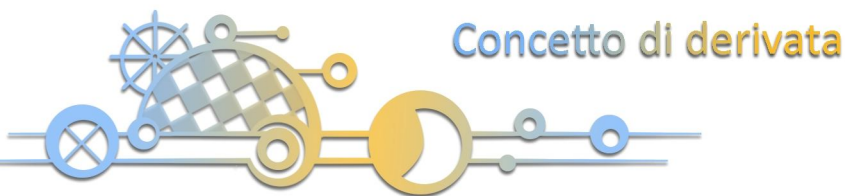


Arrivederci determinismo Addio riduzionismo

“Dio gioca a dadi con
l’universo, ma sono dadi
truccati. E il principale
obiettivo della fisica oggi è di
trovare per mezzo di quali
regole essi siano stati truccati.”
Joseph Ford.

In questo percorso ho voluto analizzare che il caos non è da intendersi come prodotto del caso, neanche in ambito umano. In letteratura latina abbiamo visto come lo stile di Cicerone e di Seneca sono stati influenzati dai contesti storici in cui sono vissuti e dai loro rispettivi ruoli nella società; stesso discorso vale per D’Annunzio che ha voluto fare della sua vita un’opera d’arte e per gli architetti Gehry e Gropius i quali, dotati di sensibilità diverse e di diversi modi di vedere la realtà, hanno voluto proporre al mondo una loro visione di cosa sia l’architettura.

Vorrei infine soffermarmi nuovamente sulla *Teoria del caos*. Abbiamo visto come modelli matematici deterministici provochino ondate di caos tanto da far pensare che quasi tutta la realtà in cui viviamo sia determinata da esso. Che ruolo ha quindi il determinismo? Prima con un semplice modello matematico si potevano prevedere sviluppi futuri di un fenomeno, ma se siamo davanti ad un sistema in cui vige il caos come risaliamo al modello matematico che l’ha prodotto, dal momento che anche una innocua funzione, se reiterata a partire da certe condizioni, sfocia nel caos? E’ vero che sorgono una miriade di problemi legati a questa teoria, ma allo stesso tempo la scienza ha fatto un altro passo avanti poiché è riuscita a descrivere meglio la realtà spesso imprevedibile in cui viviamo. Di una cosa possiamo essere certi: il riduzionismo è morto. Ora per capire un sistema, è inutile studiarlo scomponendolo nelle sue parti semplici in quanto ogni sua parte semplice è in relazione con le altre, relazioni che non vengono prese in considerazione applicando un metodo riduzionista. La legge di Newton di interazione tra due pianeti è un classico esempio di riduzionismo in quanto essa descrive l’orbita di un pianeta come la Terra in relazione con il Sole. Nel caso del sistema solare, già nel 1889 Poincaré aveva dimostrato che l’orbita di un pianeta non dipende solo dalla interazione con il Sole, ma anche dalle relazioni gravitazionali con gli altri vicini, relazioni che invece sono prese in considerazione dalla teoria del caos.



Concetto di derivata

Consideriamo una funzione di equazione $y = f(x)$ definita in un intorno I del punto x_0 . Diamo a x_0 un incremento $\Delta x = h$ in modo che $x_0 + h$ appartenga ad I .

La differenza $\Delta y = f(x_0 + h) - f(x_0)$ è l'incremento che subisce la funzione quando dal valore x_0 si passa al valore $x_0 + h$; questa differenza può essere positiva, negativa o nulla.

Il rapporto incrementale è definito come il rapporto tra l'incremento della funzione e l'incremento della variabile indipendente x :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}$$

La derivata di $f(x)$, indicata con $f'(x)$, non è altro che il limite, se esiste ed è finito, del suo rapporto incrementale per h che tende a 0:

$$f'(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}$$

Il rapporto incrementale, inoltre, rappresenta il coefficiente angolare di una retta secante di $f(x)$ che passa per i punti di ascissa x_0 e $x_0 + h$.

Quando Δx diventa sempre più piccolo, diminuirà anche Δy fino a che la derivata in un punto x_0 di $f(x)$ coincide con il coefficiente angolare della retta tangente a $f(x)$ in x_0 .



Entropia di un sistema isolato

Consideriamo una trasformazione irreversibile I che conduce un sistema dallo stato A allo stato B e successivamente una trasformazione reversibile R che lo riporta allo stato iniziale. Il ciclo complessivo è quindi irreversibile.

Applicando la disuguaglianza di Clausius:

$$\left(\sum_A^B \frac{\Delta Q}{T} \right)_I + \left(\sum_B^A \frac{\Delta Q}{T} \right)_R < 0$$

Essendo $S(A)-S(B)=\left(\sum_A^B \frac{\Delta Q}{T}\right)_R$, risulta $S(B)-S(A)>\left(\sum_A^B \frac{\Delta Q}{T}\right)_I$

In un sistema isolato in cui ogni scambio di calore è nullo $\Delta Q=0$, quindi $S(B)>S(A)$.

Per ogni trasformazione di un sistema isolato, quindi, l'entropia dello stato finale è sempre maggiore di quella iniziale.

- James Gleick, CAOS. *La nascita di una nuova scienza*
- Bischi-Carini-Gardini, Tenti: *Sulle orme del caos, comportamenti complessi in modelli matematici semplici*
- Le Scienze*, gennaio 2009, pp 68-73
- Abbagnano-Fornero: *Protagonisti e Testi della Filosofia (vol. C)*
- Caforio-Ferilli: *Fisica 2*
- Dodero-Baroncini-Manfredi: *Nuovi elementi di matematica (vol. C)*
- Alosi-Nicola-Pagliani: *Auctores 3*
- Di Sacco: *Seneca e la filosofia dell'individuo*
- Luperini-Cataldi-Marchiani-Tinacci: *La scrittura e l'interpretazione (vol. 3)*
- Adorno-Mastrangelo: *L'arte (vol. 3B)*

Alcune immagini di questa tesina sono state realizzare con programmi scaricabili dal sito
www.brunomondadori.com/sulleormedelcaos