



## ***l'effetto farfalla***

Cassio: *Quanti secoli venturi vedranno rappresentata da attori questa nostra grandiosa scena in regni ancora non nati, e in linguaggi non ancora inventati!*  
(Giulio Cesare, atto III, scena I)

Il 29 dicembre 1979, il fisico Edward Lorenz presentò alla Conferenza annuale della *American Association for the Advancement of Science*, una relazione in cui ipotizzava come il battito delle ali di una farfalla in Brasile, a séguito di una catena di eventi, potesse provocare una tromba d'aria nel Texas. L'insolita quanto suggestiva relazione, diede il nome al cosiddetto *butterfly effect*, effetto farfalla.

Ma cosa c'entra il battito d'ali di una farfalla? E' una secca giornata estiva. Un uomo passeggia in un bosco per godersi un pò di fresco. Dopo aver fumato una sigaretta, getta il mozzicone in una piccola radura. Il mozzicone cade su un fazzoletto di carta gettato da un villeggiante (tanto la carta non inquina!). Il fazzoletto prende fuoco e trova facile esca in un arbusto secco, ucciso da un coleottero. L'arbusto prende fuoco. Le fiamme si levano più alte. C'è un leggero venticello. Qualche scintilla e prende fuoco anche un arbusto lì vicino. Il fuoco, attizzato dal vento, si propaga ad altri tre alberi. Ognuno dei quattro alberi in fiamme ne incendia altri quattro: gli alberi in fiamme diventano 20, poi 100 e poco dopo tutto il bosco è in preda alle fiamme. Tutto questo per un piccolo parassita che ha ucciso un piccolo arbusto e per un mozzicone di sigaretta caduto su un fazzoletto usato.

A questo punto, il lettore si chiederà se "l'effetto farfalla" è solo una suggestiva speculazione, oppure ha un riscontro reale... Nel corso di un programma di simulazione del clima, Lorenz fece un'inaspettata quanto importante scoperta. Una delle simulazioni climatiche si basava su dodici variabili, incluse relazioni non lineari. Lorenz scoprì che, ripetendo la stessa simulazione con valori leggermente diversi (una serie di dati veniva prima arrotondata a sei cifre decimali, e successivamente a tre), l'evoluzione del "clima" elaborata dal computer si discostava nettamente dai risultati precedenti: a quella che si configurava appena una perturbazione, dopo una effimera somiglianza iniziale, si sostituiva un modello climatico completamente diverso.

Queste osservazioni hanno portato allo sviluppo della *Teoria del Caos* che pone limiti definiti alla prevedibilità dell'evoluzione di sistemi complessi non lineari. Nei sistemi lineari, una piccola variazione nello stato iniziale di un sistema (fisico, chimico, biologico, economico) provoca una variazione altrettanto piccola nel suo stato finale: per esempio, colpendo leggermente più forte una palla da biliardo, questa andrà più lontano. Al contrario, sono non lineari le situazioni di un sistema in cui piccole differenze nelle condizioni iniziali producono differenze non prevedibili nel comportamento successivo. Un sistema può anche comportarsi in modo caotico in certi casi e in modo non caotico in altri. Per esempio il movimento regolare di un pendolo fissato ad un appoggio elastico, diventa caotico.

E' impossibile prevedere il comportamento che un sistema caotico avrà dopo un intervallo di tempo anche piuttosto breve. Infatti, per calcolare il comportamento futuro del sistema, anche se descritto da un'equazione molto semplice, è necessario inserire i valori delle condizioni iniziali. D'altra parte, nel caso di un sistema complesso non lineare, data la grande sensibilità del sistema agli agenti che lo sollecitano, un piccolo errore nella misura delle condizioni iniziali, oppure una modifica apparentemente irrilevante dei dati immessi (ed ovviamente anche il loro successivo arrotondamento durante il calcolo) cresce esponenzialmente con il tempo, producendo un radicale cambiamento dei risultati. Questo significa che i dati relativi alle condizioni iniziali dovrebbero essere misurati con un'accuratezza teoricamente infinita, e ciò è praticamente impossibile.

Quanto detto, spiega perché le previsioni meteorologiche, sebbene descritte con le equazioni deterministiche della fisica (fluidodinamica e termodinamica) ed elaborate con raffinate tecniche di calcolo eseguite da super computer, producono risultati molto approssimativi.

I processi atmosferici, d'altra parte, sono estremamente vari e complessi, in quanto comprendono fenomeni limitati e di breve durata (come temporali e trombe d'aria) e fenomeni estesi per migliaia di chilometri, stabili per alcuni giorni o mesi (gli anticicloni interessano aree vaste quanto l'Europa e permangono per settimane; i sistemi monsonici impegnano oceani e continenti per mesi). Per rappresentare l'atmosfera nel momento in cui leggete questa pagina, sono necessari 6 milioni di numeri e questo comporta i problemi connessi alle misurazioni. Gli strumenti a terra sono molto accurati, ma le sonde



in quota possono rilevare la temperatura con un errore di un grado; i satelliti pagano lo scotto di sondare spazi altrimenti irraggiungibili con errori anche di 2 gradi.



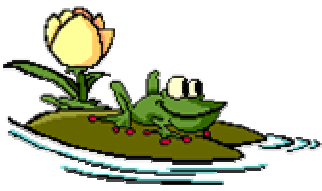
L'effetto farfalla (l'espressione metaforica della Teoria del Caos), in conclusione, sottolinea come nella maggior parte dei sistemi biologici, chimici, fisici, economici e sociali, esistano degli elementi che, apparentemente insignificanti, sono in grado, interagendo fra loro, di propagarsi e amplificarsi provocando effetti catastrofici. Questi elementi, e perché trascurati, e perché imprevedibili, e perché non individuabili, costituiscono il dilemma del nostro secolo giacché, come abbiamo visto, possono condurci a conclusioni errate.



Spesso, ad esempio, per spiegare il comportamento di un sistema (la crescita della popolazione, l'eutrofizzazione delle coste marine, le variazioni climatiche, ecc.), si ricorre ad un modello. Un modello è una riproduzione semplificata della realtà, ossia un'astrazione che considera solamente le principali caratteristiche di quello che è il reale oggetto di studio. Tuttavia, un modello, sebbene possa sembrare limitato, in quanto non riproduce completamente la realtà, permette di esaminare gli aspetti più importanti di un problema. E non è poco: se considerassimo tutti i dettagli di un problema, ottenendo quello che si definisce una simulazione (come quella meteorologica), ci troveremmo ad affrontare un insieme di dati difficilmente correlabili tra loro e quindi la loro analisi ci sarebbe impossibile o di utilità limitata all'analisi di brevi periodi, come appunto per le simulazioni climatiche.



Certo, come abbiamo visto, un modello non può offrire garanzie di sicurezza assoluta. Ma è comunque un indispensabile strumento per il progresso della scienza e della tecnologia. Per convincersene, basta pensare che l'uso di un modello è del tutto naturale. Ad esempio, quando uscite di casa per recarvi al lavoro o per una gita, vi formate mentalmente l'idea del percorso che seguirete, con la sosta per il giornale, per il caffè, per la benzina, ecc. Ma certo non prendete in considerazione la possibilità che un condor atterri sul tetto della vostra auto! Tuttavia, un conto è riprodurre, con tutti gli imprevisti e le semplificazioni che esso comporta, un sistema naturale (come ad esempio è stato fatto con l'ambizioso progetto di



Biosphere 2), un conto è intervenire su alcuni elementi di un sistema. Accettata l'impossibilità di superare i limiti imposti dalla nostra rappresentazione della realtà, diventa cruciale sostituire gli indugi dettati da una paranoica suggestione da effetto farfalla con l'azione. Abbiamo davanti il problema della sovrappopolazione, dell'inquinamento, dell'effetto serra, ecc. Certo, si può discutere, pianificare, aspettare; ma intanto il tempo passa. E forse, "poi" sarà troppo tardi. Così, per esempio, quando a proposito dell'effetto serra, dissertiamo se l'aumento della temperatura nella biosfera sia legato all'aumento del biossido di carbonio o piuttosto sia il contrario ([v. articolo del prof. Zichichi - sezione spazio degli ospiti](#)), facciamo un uso inappropriato dei modelli climatici: i loro risultati non contemplano il temporeggiamento!

C'è un esempio che viene spesso ricordato per visualizzare il drammatico trascorrere del tempo. Supponete di curare un laghetto dove crescono delle ninfea che ogni giorno duplicano sé stesse: se potessero svilupparsi liberamente, coprirebbero completamente il laghetto, poniamo in cinque giorni, soffocando tutte le altre forme di vita presenti nell'acqua. Si può ovviare al problema tagliando le ninfee e controllandone continuamente la crescita, ma prima del quarto giorno, perché allora rimarrà un solo giorno per salvare il laghetto!

copyright Marcello Guidotti, 2001  
Questo articolo, ripreso da: M. Guidotti - "L'effetto farfalla" - *Il Contemporaneo*, gennaio 1994; e poi riadattato da: *L'uomo, la Scienza e... i Media*, può essere liberamente pubblicato su qualsiasi supporto o rivista, purché con limitati adattamenti e con citazione della fonte e l'indirizzo di questo sito.