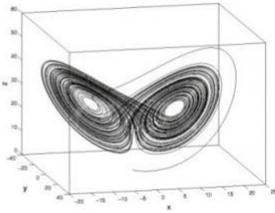


Editore Controluce  
©TUTTI I DIRITTI RISERVATI

## Edward Lorenz e il caos deterministico

di Gian Italo Bischi

E. Lorenz e il suo 'attrattore strano'



*Riceviamo e volentieri pubblichiamo il seguente necrologio di Edward Lorenz, recentemente scomparso. L'autore è il prof. G.I. Bischi, Ordinario di Matematica Generale presso la Facoltà di Economia dell'Università "Carlo Bo" di Urbino, esperto di modelli dinamici e loro applicazioni. Una versione più estesa dell'articolo è consultabile nel sito di Lettera Matematica Pristem alla pagina*

<http://matematica.unibocconi.it/interventi/Lorenz/lorenz.htm>

Il 16 aprile è morto, all'età di 90 anni, Edward Lorenz, matematico e meteorologo del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) famoso per aver riconosciuto, in un sistema di equazioni differenziali utilizzato come modello per le previsioni del tempo, quello che ora è chiamato 'caos deterministico'. Oltre ad aver rivoluzionato le basi concettuali della prevedibilità matematica in meteorologia, Lorenz è considerato uno dei pionieri e principali divulgatori della moderna teoria del caos deterministico, anche grazie alla metafora del battito di ali di una farfalla (*butterfly effect*) che, dopo essere comparsa nel titolo di un suo articolo, è diventata un'espressione ricorrente per indicare un evento di grande portata innescato da una causa quasi insignificante, fenomeno che costituisce una delle principali caratteristiche del caos deterministico.

Nato il 23 maggio 1917 a West Hatford, nel Connecticut (USA), Lorenz si era laureato in matematica ad Harvard nel 1940 e poi aveva combattuto nella seconda guerra mondiale come ufficiale dell'Aeronautica militare, elaborando le previsioni del tempo per i piloti dei bombardieri. Finita la guerra, Lorenz si laureò in meteorologia al MIT, dove rimase per il resto della sua carriera accademica.

Alla fine degli anni '50 Lorenz sviluppava modelli matematici per descrivere i movimenti di masse d'aria nell'atmosfera. Questi modelli erano costituiti da sistemi di equazioni differenziali ordinarie, che poi venivano risolti numericamente. In quegli anni, gli scienziati incominciavano a disporre di computer, prima a valvole e poi a transistor, e l'ostacolo più duro per i meteorologi sembrava essere la limitata velocità con cui bisognava trattare una grandissima quantità di dati: misure di pressione, umidità, temperatura, velocità del vento, e così via, raccolte in migliaia di stazioni sparse per il mondo e da altrettanti palloni sonda.

Secondo il racconto riportato nel famoso libro divulgativo *Chaos* di James Gleick, Lorenz scoprì accidentalmente il comportamento caotico delle soluzioni nel 1961. Infatti, mentre stava stampando lunghe sequenze di numeri che rappresentavano gli andamenti delle variabili utilizzate per le previsioni del tempo in base a un modello di 12 equazioni differenziali, un giorno provò a ripetere una di queste simulazioni ma, anziché generare l'intera sequenza, iniziò da un valore intermedio ricopiandolo dai tabulati ottenuti in precedenza. Quando Lorenz andò a vedere il risultato rimase stupito nel vedere che, da un certo punto in poi la nuova sequenza ottenuta differiva in modo significativo dalla precedente, fino a non percepire più alcuna somiglianza fra le due. All'inizio pensò a un malfunzionamento del computer, ma poi si rese conto che il problema era legato al fatto

che non aveva immesso le condizioni iniziali con sufficiente precisione: il computer utilizzava nei calcoli numeri con sei cifre decimali, mentre i risultati venivano stampati con tre cifre decimali soltanto, e Lorenz aveva utilizzato questa precisione ridotta per ripetere le simulazione numerica. Come dire che aveva introdotto 0.506 invece di 0.506127. La cosa stupefacente era che un errore iniziale davvero minimo, meno dello 0.1 per cento, aveva prodotto cambiamenti così drastici nell'andamento delle traiettorie ottenute.

Lorenz si appassionò a questo fenomeno, si rese conto che era legato alla non linearità delle equazioni differenziali e ottenne simili risultati anche per sistemi molto più semplici, ad esempio un sistema di tre equazioni differenziali, che utilizzò per scrivere un articolo ora famoso, dal titolo *Deterministic Nonperiodic Flow*, comparso nel 1963 nella rivista *Journal of the Atmospheric Sciences*.

In questo articolo considerò un modello dinamico per la descrizione dei moti convettivi nell'atmosfera espresso mediante il seguente sistema di tre equazioni differenziali:

$$\begin{aligned} dx/dt &= S(y-x) \\ dy/dt &= Rx - y - xz \\ dz/dt &= xy - Bz \end{aligned}$$

dove  $x$ ,  $y$ ,  $z$  sono variabili di stato (funzioni del tempo) che servono a descrivere le modalità di movimento del fluido,  $S$ ,  $R$ ,  $B$  sono parametri legati a proprietà del sistema. Se non fosse per i termini  $xz$  e  $xy$ , le equazioni del moto studiate da Lorenz sarebbero lineari, e quindi si potrebbe ottenere la soluzione esatta in forma analitica. In questo senso quel sistema di tre equazioni differenziali è considerato semplice, e non ci si aspetta che possa dare luogo ai fenomeni bizzarri descritti da Lorenz. Invece, partendo da questo modello, nell'articolo del 1963 Lorenz descrisse con una chiarezza magistrale ed esempi efficaci, il fenomeno del caos deterministico. Infatti, calcolando numericamente le soluzioni di quel sistema di equazioni differenziali, si possono ottenere, per certi valori dei parametri, oscillazioni molto irregolari.

Ma la sorpresa più grande consiste nel fatto che, partendo da condizioni iniziali che differiscono da quelle in maniera quasi impercettibile, dopo un breve periodo iniziale, in cui i comportamenti sono quasi uguali, gli andamenti di lungo periodo risultano completamente diversi: le corrispondenti traiettorie si allontanano fra loro con rapidità esponenziale, per poi avvicinarsi di nuovo, e poi riallontanarsi, e così via.

Rappresentando le traiettorie nello spazio tridimensionale delle variabili  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , Lorenz si rese anche conto che queste andavano a disporsi su una particolare figura che non mutava cambiando le condizioni iniziali. Si trattava di un 'attrattore caotico' che venne chiamato *attrattore strano di Lorenz*. La sua forma ci dà informazioni di regolarità perché ci dice che, per quanto bizzarre, le traiettorie rimarranno intrappolate all'interno di quella figura. Inoltre la forma e l'estensione dell'attrattore dipendono dai parametri, e da questo si possono dedurre, ad esempio, informazioni sull'ampiezza delle oscillazioni climatiche, pur non permettendo di fare previsioni a lungo termine circa le condizioni meteorologiche.

La scoperta di Lorenz, che riportò all'attenzione degli studiosi il fenomeno del caos deterministico, già studiato ai primi del Novecento dal francese Poincaré e poi negli anni Venti dall'americano Birkhoff, fu frutto di una fortunata coincidenza, un tipico caso di *serendipity*, che si manifesta soltanto se chi si trova dinanzi l'evento fortunato ha le conoscenze per coglierne il significato e l'importanza che ad altri sfuggirebbero. Lorenz, infatti, fu in grado di capire e approfondire la portata dell'avvenimento fortuito grazie alle sue ottime qualità di matematico, essendo laureato in matematica all'Università di Harvard. Non è certamente un caso se nel suo articolo del 1963 Lorenz

cita Poincaré e Birkhoff, dai cui lavori dedusse la descrizione del fenomeno del caos deterministico (anche se il termine fu proposto per la prima volta successivamente da Li e Yorke nel 1975, nell'articolo *Period three implies chaos*).



H. Poincaré e J. Von Neumann

Lorenz non fu il primo a scoprire il fenomeno del caos deterministico. Già il francese Henry Poincaré (1854-1912) aveva evidenziato l'esistenza di soluzioni caotiche (anche se non erano ancora chiamate così) studiando il problema, apparentemente semplice, del moto di tre corpi che interagiscono tra loro attraverso la forza di gravità. I suoi studi furono poi continuati dall'americano George David Birkhoff (1884-1944), ed entrambi

questi autori sono citati nell'articolo di Lorenz del 1963. Per renderci conto con quale chiarezza Poincaré avesse compreso il fenomeno del caos deterministico, pur senza usufruire dell'ausilio dei computers, riportiamo un suo famoso passo del 1903:

"Una causa piccolissima che sfugga alla nostra attenzione determina un effetto considerevole che non possiamo mancare di vedere, e allora diciamo che l'effetto è dovuto al caso. Se conoscessimo esattamente le leggi della natura e la situazione dell'universo all'istante iniziale, potremmo prevedere esattamente la situazione dello stesso universo in un istante successivo. Ma se pure accadesse che le leggi naturali non avessero più alcun segreto per noi, anche in tal caso potremmo conoscere la situazione iniziale solo approssimativamente. Se questo ci permettesse di prevedere la situazione successiva con la stessa approssimazione, non ci occorrerebbe di più e dovremmo dire che il fenomeno è stato previsto. Ma non è sempre così; può accadere che piccole differenze nelle condizioni iniziali ne producano di grandissime nei fenomeni finali. Un piccolo errore nelle prime produce un errore enorme nei secondi. La previsione diviene impossibile ...".

I risultati ottenuti da Poincaré erano probabilmente troppo avanzati rispetto ai suoi tempi, e non suscitarono subito l'interesse che meritavano. Ma la rivoluzione scientifica provocata dalla scoperta del caos deterministico era solo ritardata. Le conclusioni alle quali giunse sessant'anni dopo Lorenz iniziarono a diffondersi in modo sempre più rapido negli anni '70 e '80, suscitando un vasto interesse sia perché potevano essere 'visualizzate' attraverso figure al computer, sia perché erano scaturite dal contesto delle previsioni del tempo, un argomento al quale l'opinione pubblica è molto interessata. La teoria del caos deterministico ha ormai modificato radicalmente la filosofia della modellizzazione matematica in tante discipline, dalla fisica alla chimica alla biologia e le scienze sociali. Oggi sappiamo che non solo l'atmosfera (a tempi brevi) e il moto dei pianeti (per tempi lunghi) sono caotici, ma anche il ritmo con cui batte il nostro cuore.

Ma la teoria del caos ha destato curiosità e dibattito anche al di fuori della cerchia degli specialisti, e Lorenz ha avuto un ruolo non trascurabile in questo processo di diffusione. Un particolare contributo a questa popolarità è stato offerto dal titolo di un articolo di Lorenz, presentato nel 1972 al 139° meeting della American Association for the Advancement of Science. Il titolo era *Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?* (Il battito di ali di una farfalla in Brasile può provocare un tornado in Texas?). Dopo questo efficace titolo la metafora della farfalla è stata utilizzata in contesti sempre più ampi, e il fenomeno della dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali è stato sempre più spesso indicato col termine 'effetto farfalla' (*butterfly effect*). In realtà anche la storia sulla scelta di quel titolo è abbastanza controversa. Pare infatti che ci fu,

durante una conferenza di Lorenz, un intervento di un meteorologo che parlava di battito di ali di un gabbiano. Poi, lo stesso Lorenz raccontò che quando decise di partecipare al meeting del 1972 si dimenticò di inviare il titolo della sua comunicazione e allora uno degli organizzatori, Philip Merilees, ricordò quell'intervento e assegnò quel titolo sostituendo però la farfalla al gabbiano, sostituzione legata anche al fatto che l'attrattore strano di Lorenz ha proprio la forma di una farfalla. Comunque andarono le cose, la metafora della farfalla è ormai diventata parte del linguaggio di ogni giorno, e la ritroviamo nei quotidiani, al cinema, nei libri gialli. E ormai tutti sappiamo che è colpa dell'«effetto farfalla» se neppure i più potenti supercomputer sono in grado di prevedere che tempo farà tra una settimana, come ci spiega Ian Malcom, il matematico protagonista del famoso romanzo *Jurassic Park* di Michael Crichton:

“I computer vennero costruiti verso la fine degli anni 40, perché matematici come John Von Neumann, il massimo matematico della sua generazione, pensavano che avendo a disposizione una macchina capace di gestire contemporaneamente molte variabili, si sarebbe stati in grado di fare previsioni meteorologiche a lungo termine. [...]. La teoria del caos manda all'aria tutto questo, non si può prevedere il tempo se non per pochi giorni. [...] Tutto il denaro speso per previsioni meteorologiche lungo termine - circa mezzo miliardo di dollari negli ultimi decenni - è buttato via. È un'impresa vana quanto cercare di trasformare il piombo in oro. Oggi gli sforzi degli alchimisti ci fanno ridere, ma generazioni future guarderanno noi e rideranno nello stesso modo”.

Nel 1991 Lorenz ottenne il prestigioso Premio Kyoto per le Scienze della Terra. La commissione che gli assegnò il premio scrisse che Lorenz “ha posto le basi teoriche per lo studio della prevedibilità delle condizioni meteorologiche e climatiche, e anche le basi per lo studio dell'atmosfera mediante l'uso del computer” La commissione ha anche aggiunto che Lorenz “ha messo in evidenza il fenomeno del caos deterministico, un principio che ha profondamente influenzato un ampio spettro di discipline scientifiche conducendo al cambiamento più drastico, nella visione delle leggi della natura, dopo quello che scaturì dall'opera di Sir Isaac Newton”

Nel 1993 Lorenz ha pubblicato il libro *The Essence of Chaos*, e ha continuato a lavorare senza sosta fino alla fine: una settimana prima della morte aveva consegnato a una rivista il suo ultimo articolo, scritto insieme con un collega. Di questo fatto mi era giunta testimonianza diretta attraverso il seguente messaggio di posta elettronica:

*From: "Jason Gallas"*

*Date: January 21, 2008 7:03:56 AM PST*

*Prof. Edward Lorenz has a paper coming out soon in Physica D. I am very happy that prof Lorenz is now working in parameter space. He will soon be 91 years old.*

*All the best,*

*jason*

Sebbene le sue scoperte siano state così importanti e abbiano ottenuto tanta risonanza, Lorenz era un uomo schivo e riservato, dedito al suo lavoro e alla sua famiglia, appassionato di montagna e sci di fondo, nonché gran camminatore. Corre anche voce che lo studio di Lorenz all'MIT fosse così incredibilmente caotico che alcuni anni fa alcuni suoi studenti di dottorato, rovistando tra le pile di cartelle e fotocopie ammassate sul pavimento e sulla scrivania, abbiano trovato bozze di articoli originali e interessanti su cui Lorenz lavorò negli anni '50 e che non inviò mai ad alcuna rivista per essere pubblicati.

Pubblicato nei numeri 6,7 dell'anno XVII – 2008 di *Notizie in... ControLuce*