
Carlo Cosmelli

CHI HA PAURA DEL CAOS? Il caos deterministico dalla nascita del cosmo alle reti neurali

ABSTRACT: *Who's Afraid of Chaos? Deterministic Chaos from the Birth of the Cosmos to Neuronal Networks*

In this brief essay we will see how the word “chaos”, from the usual meaning of confusion, uncertainty or similar meanings it had in the eighteenth century came to be used to mathematically describe – through the definition of “deterministic chaos” – some of the basic structures of the world which are necessarily present in all complex or emerging phenomena linked to fractals and/or networks, whether they are natural, such as the structure of the brain, or artificial, as the structure of the Internet.

Key words: Chaos, Deterministic Chaos, Fractals, Complex Networks

1. Introduzione

Il significato delle parole, in ambito scientifico, segue regole diverse da quelle spesso utilizzate in altre discipline. Se, infatti, in ambito umanistico, s’incontrano spesso termini che possono assumere vari significati secondo l’autore che li utilizza, talvolta contraddittori ma non per questo “sbagliati”, nel mondo della scienza ciò che fa testo è l’ultima definizione e/o l’ultima teoria validata su un certo argomento¹. La costruzione scientifica che descrive la natura e il mondo che ci circonda è, infatti, il risultato di una serie di teorie elaborate e di esperimenti condotti essenzialmente negli ultimi quattro secoli, con un gran salto concettuale operato dai fisici nella prima metà del ventesimo secolo, con la Relatività e la Meccanica Quantistica. Da questo insieme di teorie, e da esperimenti ed osservazioni condotte sul microscopico (dalle molecole in giù), sul macroscopico (la scala umana) e sui corpi celesti, prende forma la scienza moderna con una ridefinizione dei termini e delle relazioni che si devono utilizzare per una corretta descrizione dei fenomeni naturali. Queste definizioni sono state cambiate ed affinate più volte man mano che procedeva la conoscenza della natura, ogni nuova definizione conglobando e/o modificando quelle precedenti.

Un caso tipico è quello del termine “energia”, che appare per la prima volta nel linguaggio scientifico ai primi del XIX secolo², con il significato di energia “meccanica”, quella cioè associata a un corpo che si muove o che si può muovere; ma ci vollero circa cinquanta anni perché si riconoscesse che anche il “calore” era una forma di energia, e che si poteva scrivere

1 Tralasciamo qui gli studi strettamente storici o di interpretazione di testi antichi.

2 Nel mondo ellenistico la parola ἐνέργεια (energeia) aveva un significato legato all’azione efficace ed alla forza, nelle accezioni ancora ambigue di questo termine, e fu così utilizzato fino al 1600.

una legge di conservazione delle “energie” di un sistema, nelle più svariate forme che poteva assumere. E, di nuovo, la definizione dovette essere aggiornata nel 1905 quando Albert Einstein, con la sua relatività speciale, ridefinì l’energia assegnandola anche alla “quantità di materia”³ e stabilendo che essa stessa era una grandezza relativa, quindi non conservata.

Al giorno d’oggi, poi, troviamo usi perversi della parola “energia”: nei giornali, nei libri, nelle dichiarazioni o lezioni di pseudo-esperti s’incontrano spesso termini come energie “positive” o “negative”, energie olistiche, quantistiche o con attributi di fantasia che sono proprie più dei ciarlatani che degli uomini di scienza, trattandosi di termini che non hanno nessun significato fisico né descrittivo, e che non hanno nessun riscontro con la realtà, neanche con quella della mente, dove per realtà s’intende quella delle “sensate esperienze” galileiane, cioè quella che esiste e di cui posso prevedere gli effetti⁴.

E veniamo al caos, e al significato che ha assunto questa parola nel mondo moderno. La parola “caos” può essere presa a paradigma per mostrare come possano cambiare, non solo gli atteggiamenti, ma le attribuzioni dei significati dati ad una parola con l’avanzare della conoscenza scientifica e la scoperta di nuove regole per il nostro universo. In questo breve saggio vedremo come la parola “caos”, dal significato usuale di confusione, indeterminatezza o significati simili che aveva nel XVIII secolo, giunge ad essere utilizzata per descrivere matematicamente alcune delle strutture fondamentali del mondo che ci circonda che si trovano necessariamente in tutti i fenomeni complessi o emergenti legati ai frattali e alle reti, siano essi naturali, come la struttura del cervello, o artificiali, come la struttura di Internet.

2. Il Passato Remoto. Le certezze

Siamo nel XVIII secolo. Le leggi di Newton della meccanica sono oramai ben conosciute, così come le lezioni di Galileo e di Keplero. I significati dei termini posizione, velocità, accelerazione e forza sono ben definiti, così come le leggi che descrivono il comportamento dei corpi, da quelli più piccoli fino agli astri dell’universo. Il Principio di causa-effetto è ben assodato, e questo porta Pierre Simon de Laplace ad affermare nel 1776:

[...] possiamo considerare lo stato attuale dell’universo come l’effetto del suo passato e la causa del suo futuro. Un intelletto che ad un determinato istante dovesse conoscere tutte le forze che mettono in moto la natura, e tutte le posizioni di tutti gli oggetti di cui la natura è composta, se questo intelletto fosse inoltre sufficientemente ampio da sottoporre questi dati ad analisi, esso racchiuderebbe in un’unica formula i movimenti dei corpi più grandi dell’universo e quelli degli atomi più piccoli; per un tale intelletto nulla sarebbe incerto ed il futuro proprio come il passato sarebbe evidente davanti ai suoi occhi⁵.

È il mondo delle certezze: l’impossibilità di conoscere gli avvenimenti futuri è legata

3 La famosa relazione $E = mc^2$.

4 Si parla di “prevedere” non necessariamente di “vedere”. In ambito scientifico ci sono decine di casi in cui si è previsto qualcosa di non immediatamente visibile o sperimentabile, ma coerente con i principi di causa-effetto.

5 P.S. Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, Gauthier-Villars et C. Ed., Paris 1921, vol. I, p. 3.

solo ad una pratica impossibilità di calcolo, ma in linea di principio tutto è esattamente calcolabile, anche il futuro, essendo legato necessariamente al passato. Gli ovvi problemi legati all'esistenza del libero arbitrio sono per il momento latenti sotto la cenere, torneranno prepotentemente nel XX secolo. Il caos è disordine, ma, in linea di principio, ha la stessa dignità della realtà più regolare; entrambi sono semplicemente causati dagli stati precedenti secondo regole precise.

3. *Il Passato. Le incertezze*

Fra la fine dell'800 ed i primi del '900 alcune leggi-osservazioni-principi stravolgono la visione della realtà. Nasce la Termodinamica, si scopre che molti corpi necessitano di una descrizione probabilistica dei fenomeni che li coinvolgono, e che da questa descrizione nascono nuove leggi. Viene definita la freccia del tempo, cioè la direzione temporale dei fenomeni naturali. Si stabilisce che un sistema ordinato evolverà sempre in un sistema disordinato, caotico⁶ (una colonna corinzia di marmo dopo 10.000 anni sarà solo polvere e sabbia). Ludwig Boltzmann, nel 1897, dopo averci dato la descrizione quantitativa dell'evoluzione che lega l'entropia alla probabilità – con la formula $S = k \ln W$ – scriverà:

Se per spiegazione meccanica della natura intendiamo quella che poggia sulle leggi della meccanica usuale, dobbiamo allora dichiarare che è del tutto incerta la possibilità che l'atomismo del futuro continui ad essere una spiegazione meccanica della natura⁷.

Oramai la descrizione certa della natura, fornita dalla meccanica, è crollata, non resta che affidarsi alla probabilità, molti scienziati non lo accetteranno, ma sarà solo una questione di tempo. La descrizione termodinamica, tuttavia, è ancora deterministica, nel senso che è solo legata all'enorme numero di particelle coinvolte di cui non conosciamo la posizione e la velocità (si pensi al numero di particelle che si trovano nella stanza di chi legge, con un tavolo, una sedia e l'aria: si tratta di qualcosa come 10^{26} particelle, troppe per qualunque calcolo). Quindi di base resta un principio di causa-effetto lineare (cioè semplice) che governa l'evoluzione della realtà. Ma nel 1908 Jules Henri Poincaré fa un'osservazione che getta le basi per la moderna teoria del caos e per la comprensione di tutta una serie di fenomeni allora incomprensibili:

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 questo 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 feno-

6 Si noti che qui sto chiamando "caotico" un sistema disordinato, utilizzando la terminologia del senso comune. In realtà nella terminologia della statistica è disordinato un mazzo di carte messe in ordine di seme e valore, mentre è ordinato un mazzo di carte mischiato e con le carte in ordine casuale.

7 L. Boltzmann, *Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik*, vol. I, J.A. Barth, Leipzig 1897.

meno è stato previsto, che è governato da leggi. Ma non è 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 diventa impossibile e si ha un fenomeno fortuito⁸.

Questo è il punto di svolta nella comprensione di fenomeni quali la forma delle nuvole, il mischiarsi dell'inchiostro nell'acqua, il momento in cui un oggetto crolla e così via; cause infinitesime, quindi non controllabili, possono portare ad effetti macroscopici. Noi siamo circondati da fenomeni che presentano queste caratteristiche, di qui l'incertezza di base che governa molti aspetti della nostra vita (fortunatamente non tutti: se giro la chiave di accensione della macchina, so che, in genere, il motore della macchina si accenderà).

È l'abbandono definitivo di una rigida causalità e prevedibilità, in linea di principio, dei fenomeni naturali. Una gran parte dei fenomeni che ci circondano sono incerti nella loro evoluzione, si torna ad una visione "caotica" del mondo che ci circonda, intendendo con essa qualcosa che va oltre le nostre possibilità di previsione o di descrizione. Ritorna il termine caos, per descrivere ora l'evoluzione imprevedibile di molti sistemi (fenomeni) naturali.

In questo panorama di una realtà talvolta incerta entra negli anni 30 del XX secolo la Meccanica Quantistica con il suo Principio di Indeterminazione (PdI). Questo principio viene spesso invocato per giustificare l'indeterminazione associata ai fenomeni naturali: nulla di più errato. Il Principio di Indeterminazione riguarda (cioè fornisce effetti sensibili) solo se riferito ad alcune coppie di variabili relative a particelle ultra-microscopiche isolate. Quindi se voglio descrivere lo stato di un singolo elettrone o di un protone o di altre particelle "elementari", dovrò tener conto del Principio di Indeterminazione, ma anche solo per descrivere un virus (di dimensioni tipiche inferiori al milionesimo di metro) non avrò nessun effetto dovuto al PdI⁹. Quindi in questa discussione, come in molte altre, il PdI va lasciato perdere.

4. L'altro ieri. Il caos deterministico

Il XX secolo è caratterizzato, fra l'altro, dall'avvento di sistemi di calcolo sempre più potenti. I calcolatori permettono di eseguire calcoli su sistemi complicati che prima non erano nemmeno pensabili. Eppure l'intrinseca impossibilità di descrivere alcuni fenomeni rimane fino al 1963, quando Edward N. Lorenz, (ri)scopre e descrive il *caos deterministico*¹⁰:

-
- 8 J. H. Poincaré, *Scienza e metodo*, in *Opere epistemologiche*, a cura di G. Boniolo, Piovani Ed., Abano Terme 1989, vol. II, p. 50.
 - 9 La ragione risiede nel fatto che gli effetti del Principio di Indeterminazione sono inversamente proporzionali, fra l'altro, alla massa dell'oggetto in esame. Con un protone si possono apprezzare; con un virus, che ha una massa 1000 miliardi di volte più grande di quella del protone, l'effetto sarà 1000 miliardi di volte più piccolo, quindi assolutamente trascurabile. A maggior ragione sarà praticamente zero l'effetto per un fiore, una farfalla, un uomo, etc.
 - 10 E.N. Lorenz, *Deterministic Nonperiodic Flow*, in «Journal of the Atmospheric Sciences», 20, 1963, pp.130-141.

[...] mentre stava preparando una previsione meteorologica che aveva iniziato introducendo nel computer vari parametri quantificati in numeri con sei cifre decimali. Riprendendo poi il lavoro dopo un'interruzione pensò bene di abbreviare il compito del computer riducendo a tre le cifre decimali dei parametri, considerato che esse erano più che sufficienti per assicurare la precisione scientifica dei risultati; ma quando li ebbe davanti agli occhi non poté che strabiliare constatando l'abissale difformità riscontrata tra questi e quelli che si sarebbe ragionevolmente aspettato in base ai parametri impostati. Lorenz si rese allora conto che il tempo atmosferico costituisce un esempio di sistema non lineare molto complesso e che quella infinitesima modifica apportata ai parametri meteorologici si era ingigantita a dismisura nel corso del successivo sviluppo fino a sfociare in un risultato finale del tutto diverso ed imprevedibile¹¹.

L'osservazione di Lorenz è quindi l'esistenza di sistemi in cui a una minima variazione di una grandezza iniziale corrisponde un'enorme differenza nel risultato finale, pur muovendosi in un ambito deterministico.

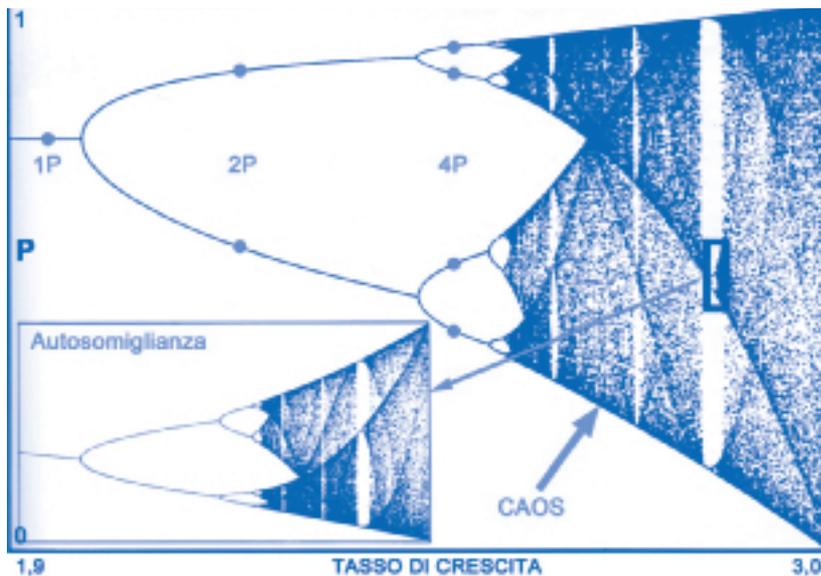
Il termine *caos deterministico* può sembrare un controsenso, eppure in questa definizione sta il nocciolo dell'intuizione di Lorenz che porterà a una descrizione quantitativa del caos. Vediamo di darne una spiegazione non troppo tecnica. I fenomeni naturali sono descritti da una serie di relazioni matematiche derivabili dai grandi principi della fisica (le leggi di Newton, della termodinamica, dell'elettromagnetismo e così via). Queste relazioni possono essere divise, dal punto di vista formale, in due grandi classi, quelle *lineari* e quelle *non lineari*. Le relazioni lineari sono quelle "semplici" in cui una piccola modifica dello stato iniziale di un processo porta ad una piccola modifica dello stato finale. Un esempio può essere quello di un arciere che lancia una freccia: se è molto bravo troverà uno stato (una posizione) da cui lanciare la freccia che la porterà a colpire il centro del bersaglio. Se per caso l'arciere cambiasse la sua posizione di pochissimo, quello che succederebbe è che la freccia non colpirebbe il bersaglio, ma andrebbe sempre molto vicino al centro. Ora supponiamo, per assurdo, che la relazione fra la posizione iniziale dell'arciere e il moto della freccia nell'aria sia di tipo non lineare, caotica: quello che potrebbe succedere è che la freccia, in seguito ad un minimo spostamento dell'arciere, potrebbe prendere una direzione completamente diversa, per esempio dirigendosi verso l'alto, facendo un giro, e colpendo l'arciere da dietro. Per una freccia reale ciò è impossibile, ma serve a dare un'idea di quello che può essere un comportamento caotico. È lo stesso tipo di comportamento che rende molto difficile, al limite impossibile, fare previsioni meteorologiche a lungo termine. Una variazione infinitesima delle condizioni iniziali determina una variazione macroscopica del risultato finale di un processo per cui situazioni iniziali *quasi* identiche possono portare alla pioggia come al Sole. Qualcuno potrebbe obiettare: ma allora tutto si riduce semplicemente al fatto di non poter determinare esattamente le condizioni iniziali; in teoria, se le conoscessi, potrei determinare, magari con calcoli molto complicati, tutto il resto. La risposta è no. E la ragione sta nella termodinamica e nella frase di Boltzmann che abbiamo citato all'inizio. Noi viviamo in un universo che ha una temperatura maggiore dello zero assoluto (-273,15 °C). Ci sono posti più freddi o più caldi (lo spazio a -270 °C, l'Antartide a -60 °C, il nostro corpo a 37 °C, la superficie del Sole

11 S. Grieco, *La conoscenza scientifica*, (1998), nell'ipertesto *Entropologia // Eventi // Conoscenza e Caos //* di Franco Boschetto et al., www.fmboschetto.it/didattica/entropologia/conoscenza_e_caos.html (2010).

a 5.000 °C, l'interno delle stelle a milioni di gradi), ma sempre maggiori dello zero assoluto, questo porta ad avere "fluttuazioni" intrinseche casuali ed imprevedibili a livello microscopico che si riportano a livello macroscopico, per cui "non potrò mai fare una previsione esatta e completa di uno stato fisico complesso", e non serve neppure fare una misura dello stato, dato che dopo la misura l'oggetto cambierà con una nuova fluttuazione imprevedibile. Questa indeterminazione causerà nei sistemi lineari piccole differenze nei risultati, mentre in alcuni sistemi non lineari porterà ad una completa imprevedibilità del risultato finale. Ma, attenzione, il termine usato è "caos deterministico", dove sta allora il determinismo?

Il determinismo si ritrova analizzando teoricamente, cioè con simulazioni al computer, e con esperimenti, i possibili risultati di questi eventi caotici. Quello che si trova è che esiste tutta una classe di fenomeni in cui il comportamento è caotico, cioè imprevedibile, ma i "risultati" possibili, sono pochi e ben conosciuti. Un esempio, legato alla teoria delle catastrofi, è quello del comportamento di un cane di fronte ad un essere umano sconosciuto, che mostra i denti (il cane, non l'uomo!). Questa è una tipica situazione che può evolvere verso due comportamenti molto diversi, in seguito a minime variazioni delle condizioni iniziali. Il cane decide di attaccare, oppure decide di scappare. Il determinismo sta nelle possibili soluzioni e nel fatto che si possono provare ad individuare alcune cause che aiutano a risolvere l'indeterminazione.

Per capire meglio cosa vuol dire un comportamento caotico può essere utile vedere un'elaborazione grafica di un'evoluzione caotica.



Mappa delle popolazioni al variare del tasso di crescita T dal valore 1,9 fino a 3. Si può vedere come all'inizio possa esistere una sola popolazione (1P), poi due (2P), quattro (4P), otto, e dopo inizia la zona caotica in cui per piccolissime differenze della variabile T si hanno valori completamente diversi di P . Nell'inserto è mostrato un ingrandimento della zona caotica rettangolare, che mostra il fenomeno dell'autosomiglianza, cioè la forma piccola riproduce la forma grande, si tratta di un frattale.

Nel grafico viene rappresentata la cosiddetta *mappa logistica*, un grafico cioè degli stati possibili in cui può evolvere una popolazione di individui¹². In questo caso ciò che si va a disegnare sul grafico è il numero di individui di una popolazione a partire da alcuni dati iniziali [il valore di P è normalizzato ad 1, cioè il massimo può essere un qualunque multiplo di 1, quindi: 100, 1000, 10.000, 10 milioni...]: il numero iniziale di individui (in questo caso 0,75), un certo tasso di crescita (l'aumento o la diminuzione percentuale del numero di individui per ogni anno), e una certa quantità di risorse (il cibo disponibile, per esempio). Quello che si vede nel grafico è che, al variare dei parametri, la popolazione non cresce all'infinito, ma si stabilizza su alcuni valori ben definiti che rimangono all'incirca costanti; questo avviene per un fenomeno di controreazione (*feedback*) per cui ad un aumento eccessivo della popolazione corrisponde una diminuzione delle risorse disponibili per ogni individuo; questa diminuzione porta alla riduzione del numero di individui fin quando non si crea un equilibrio fra il numero individui e la quantità di risorse disponibili. Nella figura ad ogni punto corrisponde un possibile valore della popolazione, al variare del tasso di crescita che è posto sull'asse orizzontale. Quello che si vede è che per alcuni valori si ha un numero di popolazioni ben determinato (1, 2, 4, 8), mentre da un certo valore in poi il numero di popolazioni esplose in maniera incontrollabile. È questa la parte caotica, una minima variazione di uno dei parametri del sistema può portare a popolazioni molto numerose, o addirittura alla distruzione della popolazione (0 individui). Il grafico, e quindi la funzione che viene descritta, presenta inoltre un'altra caratteristica fondamentale: l'autosomiglianza. Se si vede l'insero piccolo nella figura, ingrandimento della zona rettangolare in mezzo al caos, si può notare come la *forma geometrica* del grafico piccolo riproduca la forma di quello grande. È quello che si dice un frattale.

Un "frattale" è un oggetto "moderno", nel senso che, dal punto di vista matematico non esisteva, né poteva essere descritto con i mezzi matematici esistenti prima del XX secolo. Torniamo un momento al XVII secolo. Galileo Galilei afferma nel *Saggiatore*:

La filosofia (naturale) è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto¹³.

L'affermazione di Galilei è chiara: il mondo è descritto dalla geometria euclidea, senza di essa non posso trattare, quindi calcolare, quello che succede in natura. Fino al XX secolo si assunse che quest'affermazione valesse anche in senso inverso: se utilizzo la geometria euclidea potrò descrivere qualunque fenomeno naturale, magari sarà troppo complicato da calcolare, ma le "equazioni" del moto potrò in ogni caso scriverle. Ma nel 1975 Benoît Mandelbrot, nel libro *Les Objects Fractals: Forme, Hazard et Dimension*, conia un nuovo termine: il frattale, un oggetto geometrico con una dimensione frazionaria, cioè non intera.

12 Questo esempio in realtà risale al 1838, quando Pierre F. Verhulst scrisse per primo l'equazione che descriveva le auto-limitazioni di crescita di una popolazione biologica. Solo in seguito si scoprirono le proprietà collegate.

13 G. Galilei, *Il Saggiatore*, Feltrinelli, Milano 2008, cap. VI.

Una linea ha dimensione 1, una superficie ha dimensione 2, un volume ha dimensione 3. Una linea costiera invece ha una dimensione intermedia fra 1 e 2, per esempio 1,42. Senza addentrarci in dettagli formali, è sufficiente dire che questi “oggetti” frattali non seguono la geometria di Euclide, eppure sono la descrizione matematica di una miriade di oggetti reali che troviamo in natura, prima “indescrivibili” e che ora possiamo provare a descrivere. Fra questi ci sono tutti gli oggetti ed i fenomeni che portano al caos. Mandelbrot non “scopre” i frattali, che già avevamo sotto gli occhi, ma trova il modo di descriverli e di trattarli in forma matematica.

La teoria del caos, quindi, porta a soluzioni frattali nei fenomeni naturali. Queste strutture frattali si ritrovano nella struttura delle ramificazioni dei vasi polmonari, come nel battito cardiaco: può sembrare un controsenso, ma una persona con un battito cardiaco troppo regolare è molto più a rischio di infarto che una persona con un comportamento leggermente caotico del battito cardiaco in funzione del tempo. La natura ama il caos.

Nel 1964, appena un anno dopo l'osservazione di Lorenz e solo apparentemente scollegata, un'altra osservazione stravolgeva la nostra concezione, non solo del mondo in cui viviamo, ma di tutto l'universo, gettando una prima luce sull'origine del cosmo. Si trattava dell'osservazione della radiazione cosmica di fondo misurata da Penzias e Wilson¹⁴. In cosa consisteva l'esperimento? Il cielo è pieno di stelle, di galassie, di ammassi di galassie. In genere quando si osserva il cielo, si punta il telescopio verso qualcosa che si vede o che c'è. Penzias e Wilson invece decisero di fare l'opposto, di puntare il telescopio in una zona “buia”, una zona, cioè, da cui non provenivano segnali di nessun tipo, fossero essi luce visibile, onde radio o altro.

La scoperta che fecero è che il “fondo” dell'Universo in realtà emetteva radiazioni debolissime, ma non una radiazione qualunque, una radiazione ad una frequenza ben precisa che corrispondeva ad un corpo ad una temperatura di circa $-270\text{ }^{\circ}\text{C} = 3\text{ K}$, cioè solo 3 gradi sopra lo zero assoluto. Questa radiazione, studiata ed analizzata nei successivi 50 anni, che permea tutto l'universo, non è altro che il residuo della radiazione iniziale che costituiva il nostro universo nei primi attimi della sua nascita, il *big bang*, avvenuto 13,5 miliardi di anni fa. Ci si potrebbe chiedere che legame ci sia fra l'evoluzione del nostro universo ed il caos. I legami sono molteplici, intanto l'evoluzione stessa dei corpi celesti segue leggi in alcuni casi altamente non lineari, quindi regolate dal caos deterministico. Uno dei problemi insoluti riguardanti la struttura del nostro universo era, infatti, la risposta al perché ci fossero alcune zone del cielo piene di “materia” cioè di galassie ed ammassi di galassie, circondati da enormi zone dell'universo in cui non c'è nulla. Questa asimmetria nella distribuzione dei corpi sembrava difficile da prevedere supponendo che nello stato iniziale (il Big Bang) l'universo fosse composto di un piccolo volume di energia distribuita uniformemente. Ebbene la teoria del caos ha mostrato come la nascita e l'aggregazione di materia fino a formare l'universo attuale, è un processo naturale una volta che si assumano delle regole “caotiche” nell'aggregazione di sistemi celesti.

Tornando alla scala umana è stato recentemente accertato che la maggior parte dei processi “complessi”, quelli che danno origine a strutture complesse, alla vita, ai frattali, alle reti

14 A.A. Penzias / R.W. Wilson, *A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s*, in «The Astrophysical Journal», 142, 1965, pp. 419-421.

naturali (quelle neuronali del cervello) o alle reti artificiali (Internet), hanno alla base leggi che portano ad uno sviluppo talvolta caotico, cioè non prevedibile e incredibilmente vario a partire da condizioni che appaiono simili. La caratteristica comune di tutti questi processi è la capacità di un'evoluzione non deterministica dei legami interni (i neuroni fra di loro) o con il mondo "esterno" (le reti di amici, i collegamenti in Internet). L'evoluzione che porta a creare legami nuovi e non prevedibili è analoga a quella che regola la crescita e la morte dei legami neuronali: i neuroni creano legami in numero sempre maggiore man mano che vengono utilizzati, ripetuti, "ricordati". Mentre per esempio collegamenti non utilizzati decadono con il tempo fino ad essere "cancellati". Questo tipo di evoluzione-sviluppo è analoga a quella che regola la struttura di Internet. Tutti questi fenomeni sono descritti da innumerevoli variabili, che dipendono dal singolo fenomeno; tuttavia esiste una variabile comune sempre presente, che "comanda" qualunque avvenimento, atto o pensiero: si tratta del tempo, che descrive, con scale diverse, l'evoluzione del nostro universo quando ancora era solo energia, la nascita degli atomi, delle molecole, delle stelle, dei pianeti, degli animali, dell'uomo e dei suoi pensieri, siano essi un'indagine sull'essenza dell'essere, la capacità di comporre una melodia mai sentita prima o di innamorarsi.

Il tempo, una delle grandezze fisiche forse meno chiarite dal punto di vista strettamente ontologico, è la variabile a cui è possibile ridurre qualunque "misura" di qualunque oggetto o grandezza naturale. Si può dimostrare (la cosa non è elementare) che è possibile riportare le lunghezze, le masse, le cariche elettriche, le temperature in secondi. In questo mondo, in parte caotico e incomprensibile, alla fine l'unica variabile "indipendente" che rimarrebbe sarebbe il tempo.