

La crisi quantica

La nostra immaginazione si è spinta fino all'inconcepibile, ma a differenza della fantascienza, invece di immaginare cose che non esistono realmente, è arrivata a comprendere la realtà di ciò che è.

Richard P. Feynman,
The Character of Physical Law (1999)

In questo libro tracciamo la storia di quella rivoluzione che trasformerà infine il nostro mondo e ciò che siamo, e che ha già coinvolto neurobiologi, psichiatri, informatici, fisici e matematici in una competizione senza precedenti, il cui motore, più che un vero e proprio progetto, è la mera eccitazione. In tale competizione si intersecano due diversi obiettivi: ottenere una più profonda comprensione (e quindi un certo controllo) del cervello umano e arrivare a creare cervelli sintetici ancor più potenti di quello umano. Ci stiamo via via avvicinando a questi due obiettivi, con crescente velocità, giacché ogni passo compiuto in una delle due direzioni finisce per sovralimentare la corsa verso l'altro. Ci siamo infine resi conto che entrambe le competizioni confluiscono nel misterioso mondo della *meccanica quantistica*.

Quando le acque si saranno calmate, questa rivoluzione finirà ovviamente per comportare un enorme progresso sia in campo scientifico sia in campo tecnologico. Per esempio, gli scienziati del Massachusetts Institut of Technology e di altri centri di ricerca stanno già progettando una nuova rete globale, un nuovo internet, che funzioni come un unico computer quantico mondiale. Tuttavia gli stessi concetti

che ci porteranno a una tecnologia del genere costituiscono qualcosa di rivoluzionario nella nostra concezione di noi stessi, della vita in generale e persino di Dio.

ILLUMINISMO

La nostra ricerca sul funzionamento del cervello ha seguito lo stesso percorso che ha caratterizzato ogni altro progresso scientifico successivo all'Illuminismo. Si è cioè basata sull'idea che nel cervello (e a dire il vero, nell'intero universo) non ci fosse niente di più di un *meccanismo* all'opera. Né la mente né il cervello possono essere caratterizzati da qualcosa di spirituale o di insostanziale; nell'uomo non c'è un'anima ma un semplice insieme di componenti fisici che si influenzano vicendevolmente, in virtù di forze impersonali. Il divenire di tali oggetti, per quanto complicati, non può che essere determinato dalla loro condizione precedente, quale che sia. Il quadro che si delinea è in pratica quello di un biliardo universale, senza giocatori, né risultati, senza punti né fine.

Messe in moto una volta per tutte all'epoca del Big Bang, le particelle che molto tempo dopo sarebbero entrate a far parte di un cervello umano, non hanno mai avuto alcuna libertà d'azione, né a livello individuale né in quanto insieme. Il fatto di pensarci "liberi", dotati di una "mente" capace di effettuare certe "scelte", e in definitiva il fatto stesso di *pensare di pensare* non può che essere definito in un solo modo: illusione, mera illusione. Ciò che chiamiamo "volontà" è soltanto il sottoprodotto inevitabile di un'interazione meccanica tra le diverse componenti del cervello. Questa "mente" illusoria non può influenzare né i processi cerebrali né le azioni del corpo messe in atto dal cervello stesso.

Poeti, mistici, filosofi e teologi hanno sempre insistito su un punto: questo gioco di biliardi universali deve avere i suoi protagonisti, nonché una meta. Di fatto i seguaci delle più diverse dottrine sono persino arrivati a guerreggiare per definire la questione una volta per tutte. Tuttavia, successivamente all'Illuminismo, la scienza ha fatto

notare come la questione fosse tanto irrisolvibile quanto inutile. Chi mai avrebbe potuto determinare se quella prima mossa fosse stata la manifestazione della volontà di un grandissimo giocatore, dotato di incredibile accortezza, oppure quella di un brillante dilettante? Quale che fosse la risposta, la stecca giaceva da tempo abbandonata al bordo del tavolo; molto tempo era passato da quando la prima palla era stata messa in movimento, e il giocatore si era ormai allontanato dal gioco, dal tavolo e da quella stessa partita. Sì, la sala da biliardo era ormai vuota, deserta, anche se le luci al neon erano ancora accese. Come ha ben sottolineato l'astronoma Margaret Galler: «Perché mai l'universo dovrebbe avere uno scopo? Che scopo? Non è che un sistema fisico, e non segue alcun progetto particolare».¹

Per millenni l'umanità si è rivolta all'universo considerandolo un'entità in qualche modo guidata, caratterizzata da un suo preciso progetto e da un significato, nonostante il suo operato continuasse a dimostrarsi misterioso. Ma con l'avvento della scienza i misteri sono stati via via svelati, uno dopo l'altro. E la scienza non si è fermata, ma ha continuato imperterrita il suo cammino, fino a esplorare la vita, la vita umana, e a penetrare in quei misteri della mente che sembravano assolutamente impenetrabili: l'apprendimento, l'intelligenza e l'intuizione. Oggi possiamo analizzarli estensivamente, e capirne appieno la meccanica. La cosa più stupefacente è che ormai abbiamo macchine create dall'uomo che cominciano a scimmiettare tali meccanismi. In effetti le scoperte sulla struttura cerebrale sembrano dimostrare, con maggior veemenza di qualsiasi altra scoperta scientifica, che tutto a questo mondo, compresa la mente umana, è un semplice meccanismo.

Steven Weinberg, Nobel per la fisica nel 1979, è sempre stato un eloquente portavoce della teoria meccanicistica, e queste sono le sue conclusioni: «Più riusciamo a capire di questo nostro universo, più sembra assolutamente privo di senso».² In un'altra occasione lo stesso Weinberg ha aggiunto: «Sarebbe davvero meraviglioso poter scovare nell'ambito delle leggi della natura un qualche piano divino, in virtù del quale un creatore saggio potrebbe aver conferito all'umanità un

qualche ruolo particolare. Tuttavia devo dolorosamente constatare che nulla sembra indicarlo... E d'altro canto non mi è di nessun aiuto imitare Einstein, che volle identificare le leggi della natura con una forma divina, lontana e disinteressata. In effetti, più raffiniamo la nostra comprensione di Dio, cercando di rendere tale concetto plausibile, più finisce per risultare anch'esso privo di senso».³

L'idea che l'intero universo non fosse altro che un "sistema fisico", ovvero una macchina, che si dispiegava meccanicamente in accordo a leggi rigide e immutabili, cominciò sotto forma d'eresia nella mente di qualche coraggioso scienziato. Prendendo spunto da quell'ipotesi, questi primi rivoluzionari e i loro seguaci cominciarono a inanellare una serie infinita di successi. Oggi non c'è una sola apparecchiatura medica, una cura, un veicolo, una tecnologia di comunicazione o un processo industriale che non sia basato su quell'ipotesi. Nel periodo compreso tra le scoperte di Galileo e la fine del ventesimo secolo, quella che una volta rappresentava un'eresia estrema si è trasformata nella visione dominante dell'universo, che viene condivisa da miliardi di esseri (che ne siano consapevoli o no). La trasformazione è stata talmente radicale che per esempio, qui negli Stati Uniti, dove una volta si richiedeva che un qualsiasi docente di una buona università fosse un "uomo timorato di Dio", troviamo ormai ben pochi professori disposti ad ammettere di prendere sul serio un concetto talmente dubbio come quello del creatore universale. Richard Dawkins, noto zoologo evoluzionista, sostiene per esempio che chiunque continui a credere in un Dio creatore non può che essere definito "scientificamente analfabeta". Verso la fine del XIX secolo, gli scienziati credevano di aver scoperto quasi tutte le leggi fondamentali della fisica. Si trattava di leggi meramente meccaniche; grazie a quelle interazioni meccaniche (per quanto potessero sembrare complicate e difficili da identificare e ricostruire) si poteva arrivare all'origine di ogni fenomeno sperimentabile su qualsiasi scala. Anche la stessa materia vivente non era considerata nulla di più che un ingranaggio particolarmente complesso, basato su meccanismi molecolari.

Ovviamente abbiamo avuto, e abbiamo tuttora, molte eminenti personalità che ritengono che tale visione della realtà sia alquanto deprimente. Molti pensano di sapere quanto basta del punto di vista meccanicistico (e del metodo scientifico) per poterlo tranquillamente rigettare, senza neppure mettere seriamente alla prova la forza delle sue pretese. C'è stato invece chi si è infine reso conto della sua potenza, e ha sperato fino in fondo che alla fine quel metodo si dimostrasse in qualche modo sbagliato. Per dirla altrimenti, questi individui speravano che un bel giorno gli scienziati avrebbero scoperto almeno una legge fondamentale dell'universo che *non fosse* pienamente meccanica e che godesse di una qualche forma di libertà dai vincoli meccanicistici. Tali speranze si sono rinfocolate all'emergere di una strana teoria definita *meccanica quantistica*.

ASPIRAZIONI QUANTICHE

Per quanto verso la fine del XIX secolo l'uomo potesse vantarsi di aver compreso quasi tutti i fenomeni fisici, c'erano ancora tre situazioni che sfuggivano alla comprensione meccanica della natura. Naturalmente nessuna di queste sembrava aver qualcosa a che fare con la complessità della natura umana, del libero arbitrio, della vita o di Dio. In realtà, per l'uomo comune, si trattava di tre fenomeni del tutto insignificanti:

1. Perché un nucleo radioattivo emette di tanto in tanto una particella alfa, senza che ciò possa essere previsto, ovvero in modo assolutamente casuale? (Secondo la visione meccanicistica dovrebbe esserci una qualche forma di orologio interno, di regola precisa, capace di predeterminare la sistematicità del fenomeno, e invece non c'è nessuna formula che possa prevederlo).
2. Se si riscalda un oggetto perfettamente nero, per esempio una palla da bowling, il calore che irradia è invisibile, e pur tuttavia è sempre *calore*, ovvero radiazione infrarossa, caratterizzata peraltro da un'identica distribuzione di colori dell'infrarosso. Perché? (Secondo la visione meccanicistica più la palla da bowling si riscalda, più l'energia che irradia dovrebbe manifestarsi in forma visibile, come

luce, a partire dal rosso fino a toccare tutti gli altri colori dell'arcobaleno e a raggiungere l'ultravioletto. Attenzione: non stiamo parlando di riscaldare la palla al punto che bruci per conto proprio!).

3. Se si illumina un corpo metallico, emetterà elettroni per via del cosiddetto "effetto fotoelettrico". Ora, se il colore della luce emessa è quello giusto per quel determinato metallo, ovvero, in linea generale, se è più spostato verso il blu, verrà subito espulso un elettrone, indipendentemente dall'intensità del fascio luminoso. Tuttavia, nel caso di una luce più spostata verso il rosso, non verrà mai espulso alcun elettrone, neppure nel caso di fasci di luce particolarmente intensi, come quello di un laser industriale. Perché? (Secondo la visione meccanicistica, non appena viene emessa una quantità di luce sufficiente – ovvero superiore a un certo minimo – il colore o l'intensità del fascio luminoso non dovrebbe più avere alcuna rilevanza).

Ovviamente non si tratta certo di questioni fondamentali. Tuttavia, quando gli scienziati riuscirono finalmente a sciogliere questi enigmi, si trovarono di fronte a risposte sconvolgenti, che per alcuni di loro comportarono speranze altrettanto scioccanti. La teoria che portò la soluzione a quei dilemmi era proprio la *meccanica quantistica*, e le sue risposte delfiche furono le seguenti:

In tutto l'universo non c'è un bel niente che possa "causare" il salto di una particella alfa all'esterno del suo nucleo, eppure ciò accade. Potremmo dire che la particella alfa compie il suo salto quantico "ogni volta che le gira". Non solo: la particella compie quell'impresa nonostante la barriera fisica che la tiene legata al nucleo sia talmente forte che, in teoria, dovrebbe bloccare ogni via di fuga. Se il mondo fosse stato davvero così ordinato come gli scienziati avevano immaginato, per le particelle alfa abbandonare il nucleo avrebbe dovuto rappresentare una missione impossibile, tanto quanto è impossibile che un detenuto di Alcatraz si materializzi nel bel centro di San Francisco.

I corpi neri e caldi sono neri perché l'energia si trasmette mediante unità discrete. Sebbene in ciò non ci sia nulla di soprannaturale, è para-

gonabile allo scoprire che il tempo si sposti solo in unità di ore, per cui il tempo che scorre da un'ora all'altra non può più essere sperimentato! In tal caso i passaggi da un'ora all'altra avverrebbero istantaneamente.

Un raggio di luce del colore adatto, indipendentemente dalla sua intensità, genera istantaneamente elettricità nel metallo perché; *sebbene la luce si diffonda sotto forma di energia, è nel contempo un flusso di particelle simili a palle da biliardo, che sbattono gli elettroni fuori dalla loro orbita*. Tuttavia, se il colore non è quello giusto e l'energia della luce è troppo debole, non ha più alcuna importanza quante particelle raggiungano il metallo: nessuno dei suoi elettroni si sposterà (potremmo paragonarlo al gettare migliaia di palline da ping-pong contro una palla da biliardo bloccata nel suo solco).

A partire dalla sua comparsa, la meccanica quantistica ha dato origine a una pletora di nuovi enigmi, ma è riuscita peraltro a risolverli, dimostrandosi così la teoria più valida in tutta la storia della scienza. In tale contesto ha potuto provare che, a livello fondamentale, la materia non si comporta affatto come una macchina. Di conseguenza le stesse premesse meccanicistiche su cui la scienza ha costruito la sua ascesa potrebbero essere invalidate dalla scienza stessa. Ciò ha dato vita a qualche speranza di trovare proprio nell'ambito della meccanica quantistica una via d'uscita al vicolo cieco di un mondo che «ha esattamente le stesse proprietà che ci potremmo aspettare se, in definitiva, non ci fosse alcun progetto, alcuno scopo, né bene né male... Insomma null'altro che una cieca e spietata indifferenza», come bene illustra l'eminente evoluzionista Richard Dawkins.

Alcune di queste vie d'uscita quantistiche si basano sui bizzarri fenomeni scoperti su scala subatomica e quantistica, per poi applicarli indiscriminatamente al contesto umano, viste e considerate le analogie possibili, per esempio, tra il libero arbitrio che noi uomini crediamo di possedere e la "libertà di scelta" apparente di un elettrone. Gran parte degli scienziati più seri rifiutano questo genere di paragoni, perché ne sanno abbastanza sul modo in cui gli effetti quantici si manifestano su

larga scala, e quindi sono convinti del fatto che tutte quelle bizzarrie quantiche sono già scomparse da tempo nel momento stesso in cui abbiamo a che fare con aggregati di fantastiliardi di particelle, sufficientemente grandi da poter dare vita a esseri umani.

Tuttavia, nel momento stesso in cui la moderna scienza biologica è penetrata nella materia vivente a livello *subcellulare*, e in particolare in quella che costituisce il cervello, si è trovata di fronte a quegli stessi bizzarri effetti quantici che per un secolo avevano tenuto in scacco il mondo della fisica. Si tratta di veri effetti, di qualcosa di reale, non di semplici analogie, e come vedremo siamo tenuti a prenderli in considerazione se vogliamo cominciare a capire quali siano le mattonelle fondamentali della materia vivente. Non sono molti i biologi che se ne sono già resi conto, ma ben presto dovranno farlo. E ciò avrà effetti sensazionali sia sulla scienza sia sugli scienziati.

Come ammette un noto fisico, a livello subcellulare la materia stessa assume i connotati e un comportamento “paragonabile a quello del pensiero”, più che alle pulegge di un macchinario. I primi studiosi della meccanica quantistica finirono per scoprire che *non c'è nulla al mondo che causi il salto della particella*; tuttavia la scienza si basa su una premessa fondamentale: *nel mondo, tutto accade solamente come effetto di una qualsivoglia causa*. Uno dei pionieri della meccanica quantistica ebbe a confessare: «Se finiremo per incagliarci in questo dannato enigma del salto quantico sarò costretto a rimpiangere il momento stesso in cui ho imboccato questa strada».⁴

Inoltre, se le particelle subatomiche possono liberamente scegliere di andare e venire a loro piacimento, forse le antiquate ipotesi relative alla natura umana non-meccanicistica non sono poi così arcaiche *come sembra*. Improvvisamente, la presunta meccanicità del cervello potrebbe dimostrarsi illusoria, mentre la mente e la volontà potrebbero dimostrarsi una realtà più sostanziale. Sono già diversi i fisici quantistici che si sono chiesti pubblicamente se non sia infine possibile che quei vecchi mistici avessero ragione: forse il Grande Architetto

esiste davvero! Mantenendosi al di fuori dei “sistemi fisici”, effettua le mosse giuste un po’ ovunque, facendo in modo che accada tutto in un certo modo, invece che in un altro. Wolfgang Pauli la pensava così, e con fare tutt’altro che scherzoso prese a identificare con “Dio” una delle pietre miliari della fisica moderna e della chimica, ovvero il cosiddetto “principio di esclusione”.

In realtà gli scienziati hanno ben presto compreso che l’ammontare di “libertà assoluta” individualmente disponibile alle diverse componenti dell’universo è incredibilmente piccolo. È di una certa rilevanza solo a livello delle particelle atomiche e subatomiche. Se passiamo ad analizzare qualcosa che abbia effettivamente a che vedere con gli esseri umani (per esempio un virus) la somma totale di tutta quella libertà risulta pari a zero, ovvero si cancella da sola. Gli elettroni possono andarsene a spasso di qua e di là senza nessun motivo apparente, ma ciò non potrà mai accadere ai pianeti, alle montagne, né a un granello di sabbia e neppure a noi umani.

Ma ecco qualcosa di rivoluzionario: sembra possibile che invece di essere caratterizzato da una generale mancanza di libertà, il *cervello umano*, che è esso stesso una macchina, abbia nondimeno evoluto una struttura unica, capace di attingere alla “possibilità di scelta” del livello subatomico, per poi concentrarla e amplificarne l’intensità a livelli superiori, approfittando, come vedremo in seguito, delle peculiari caratteristiche del “caos”. È la macchina che abbiamo in testa ciò che, più d’ogni altra cosa, ci permette di trascendere la nostra stessa meccanicità.

Volendo, potremmo definire i nostri cervelli come dei “computer quantici”. Tuttavia non si tratta dello stesso genere di computer che troviamo sugli scaffali dei grandi magazzini. Gli infinitesimali effetti quantici che hanno luogo nel nostro cervello ci permettono di fare cose che altrimenti non riusciremmo a portare a termine; oggi, per poter sfruttare al meglio tale capacità naturale del nostro cervello, stiamo progettando cervelli ancora più potenti, sintetici. Questa nuova categoria di cervelli dovrà servirsi dei principi quantici in

modo diretto, mentre nel cervello umano la meccanica quantistica è all'opera in modo estremamente sottile, pressoché invisibile. Alcuni di questi cervelli sintetici potranno essere lasciati liberi di evolversi per conto loro, in modo darwiniano, hardware compreso. Dobbiamo però considerare che se i processi quantici che operano nel cervello umano hanno il merito di permettere la nostra caratteristica capacità di pensiero (e anche la nostra tipica volontà, intenzione e capacità di scelta), inevitabilmente i computer quantici che stiamo per progettare (o di cui, come minimo, stiamo agevolando l'evoluzione) potranno trasformarsi in veri e propri esseri senzienti. Potranno cioè avere la nostra stessa intelligenza, se non addirittura un'intelligenza superiore a quella umana. La quantità di "effetti quantici" di cui il cervello umano può disporre deve sottostare a rigide limitazioni; anche il tipo di effetti di cui si può servire è parimenti strettamente controllato (si tratta di una distinzione che analizzeremo in seguito). Per contro, un cervello sintetico potrebbe godere di una maggior capacità d'uso degli "effetti quantici". L'idea di computer immensi, sintetici, auto-evolutivi, super-intelligenti e completamente senzienti può sembrare fantascientifica, ma non lo è affatto. E non si tratta neppure di qualcosa che accadrà solo in un lontano futuro.

Non dobbiamo dimenticare che nel cervello umano l'amplificazione della libertà quantica ha luogo in modi che finiscono per preservare le apparenze, in base alle quali noi stessi e il nostro universo siamo nella nostra quotidianità completamente meccanici. Tutto ciò risulta terribilmente incoerente, soprattutto agli occhi di quei filosofi che cercano di comprendere il mondo, e la vita umana, in base a schemi già noti. Tuttavia per comprendere appieno la direzione imboccata dalla scienza potremmo aver bisogno di una disciplina molto più logica e rigorosa e di una metodologia più solida, capace di superare le convenzioni di inflessibili riduzionisti, di tradizionali filosofi teisti e di ondivaghi manipolatori New Age. Come disse il noto fisico teorico Richard Feynman: *«La nostra immaginazione si è spinta fino all'inconcepibile, ma a differenza della fantascienza, invece di immaginare cose che non esistono*

*realmente, è arrivata a comprendere la realtà di ciò che è».*⁵ Sono molti gli scienziati che parlano della “crisi” prodottasi in seguito all’avvento della meccanica quantistica, e che quindi cercano qualcosa di più limpido, una teoria più puramente “meccanica” che possa prenderne il posto e restaurare l’austero riduzionismo dell’epoca illuminista. Non sono pochi neppure quelli che nella meccanica quantistica vedono una conferma delle antiche tradizioni religiose. Ma c’è anche chi vi percepisce qualcosa di assolutamente nuovo, irto di incredibili opportunità come di rischi terribili. Se la natura umana continuerà a tener fede alle sue più consolidate tradizioni comportamentali, possiamo aspettarci di veder realizzate sia le speranze sia i timori, con le rispettive inevitabili conseguenze. In ogni caso, la nostra comprensione di ciò che siamo e delle nostre origini, nonché la nostra stessa concezione del nostro ruolo nel grande schema della natura e del nostro futuro, sembra proprio destinata a dover subire cambiamenti epocali.

Note all'Introduzione

1. Citato in S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory* (New York, Pantheon Books, 1992), p. 255.
2. S. Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe* (New York, Basic Books, 1977), p. 154.
3. Citato in Weinberg, *Dreams*, p. 256.
4. Abraham Pais, *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy, e Polity* (Oxford, Clarendon Press, 1991), p. 299; e W. Pauli, L. Rosenfeld e V. Weisskopf, (a cura di), *Niels Bohr and the Development of Physics* (New York, McGraw-Hill, 1955), p. 349.
5. R. Feynman, *The Character of Physical Law* (New York, Modern Library, 1999), p. 9.

Dalla materia alla mente: I meccanismi del quarto cervello

Cervello: apparato con cui pensiamo di pensare.

Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary* (1906)

Il cervello in realtà non è un organo singolo, ma una serie di organi impilati uno sull'altro, organi che per l'esattezza si appoggiano uno sull'altro in ordine evolutivo, con l'ultimo della serie che domina gli altri. La neocorteccia è uno strato di tessuto variolato rosa-grigiastro, brillante e spiraleggiante, dello spessore di poco superiore al mezzo centimetro. Se venisse stesa su una superficie piana, risulterebbe larga circa 45 cm e lunga circa 60 cm. In realtà questa struttura è a sua volta suddivisa in sei strati, ognuno dei quali ha uno spessore di circa venticinque cellule. Nel suo complesso la neocorteccia si compone di un numero di neuroni variabile tra i 10 e i 20 miliardi, meravigliosamente collegati tra loro grazie a innumerevoli interconnessioni, che stabiliscono anche le necessarie connessioni tra la stessa neocorteccia con le porzioni inferiori del cervello e con il resto del corpo. Il cervello genera e conduce l'incredibile complessità che caratterizza una forma di vita intelligente, sulla base di processi che sono fondamentalmente computazionali, e che tuttavia non assomigliano affatto a quelli eseguiti dal nostro PC o dal nostro Mac. *Il cervello impara da solo, sulla base delle sue stesse esperienze, e radica le lezioni apprese sperimentando, riconfigurando il suo stesso hardware.* Per molti decenni si è continuato a supporre che la corteccia dovesse essere dotata di una sorta di "schema elettrico", in cui veniva descritto in modo preciso il ruolo specifico di ogni neurone, e di ogni connessione tra

neuroni. Ma era già ben chiaro che in realtà il cervello non poteva operare in base a uno schema di quel tipo: c'erano davvero tanti, troppi neuroni, e le loro innumerevoli interconnessioni sfuggivano alla logica di ogni possibile schema. In effetti dieci miliardi di cellule caratterizzate da un migliaio di interconnessioni l'una comportano l'incredibile numero di diecimila miliardi di connessioni. Inoltre era pressoché impossibile impostare la logica di una configurazione generale tra queste connessioni, la maggior parte delle quali sembravano confuse e caotiche; molte cellule neuroniche erano sistematicamente ricollegate su se stesse, generando quelli che sicuramente dovevano essere dei "circuiti chiusi infiniti".

Se anche ci fosse stato un progetto di qualche tipo, l'ammontare di informazioni necessario per codificare uno schema talmente complesso avrebbe di gran lunga superato le capacità informatiche del cervello stesso, per non parlare poi della capacità di codificazione del DNA. E comunque, come poteva essere possibile *assemblare fisicamente* qualcosa del genere, soprattutto a quel livello microscopico, in soli nove mesi?

La risposta, che costituisce una recente conquista scientifica, ha sorpreso un po' tutti: in effetti le connessioni del cervello sono *in gran parte casuali*. Eppure, contrariamente a quanto il comune buon senso potrebbe suggerire, questo sistema casuale è in grado di manifestare una forma d'intelligenza. In effetti riesce a manifestare un'intelligenza superiore, anzi, per essere più precisi, un genere d'intelligenza superiore, di gran lunga migliore di quello che potrebbe essere generato sulla base di un progetto più definito. È proprio grazie a questo guazzabuglio caotico che un pilota da combattimento riesce a manovrare il suo caccia a velocità supersoniche, cosa che neppure un congegno elettronico da un quarto di miliardi di dollari riuscirebbe a fare altrettanto bene. Se l'elettronica riuscirà ad avvicinarsi a qualcosa del genere, sarà solo perché i progettisti avranno voluto, e saputo, creare un elaboratore elettronico in grado di addestrarsi da solo, proprio come fa il cervello umano.

Un sistema come quello del nostro cervello si *auto-organizza*, raggiungendo livelli sempre più elevati, evolvendo continuamente la

sua capacità di elaborazione dei dati. Come vedremo, un'intelligenza globale (e per "globale" potremmo persino intendere qualcosa che riguardi l'*intero pianeta*) scaturisce dal basso verso l'alto, prendendo cioè spunto da interazioni meramente locali. È un po' come dire che la vera intelligenza, quella che guida l'economia americana, non è nelle mani (o nelle teste) dei politicanti di Washington, ma è invece sparpagliata nelle conversazioni notturne dei camionisti che si incontrano all'autogrill, nelle domande dei clienti ai negozianti e nelle loro pronte risposte, nelle chiacchierate amichevoli dei vicini, che discutono di affitti e di mutui. Analogamente, l'autentica intelligenza del cervello umano non risiede in qualche centrale o schema di comando fissato nel DNA, ma nelle interazioni casuali di un neurone e dei suoi vicini (oppure negli scambi a lunga distanza attraverso la rete cerebrale, che potrebbe essere equiparata al nostro Internet).

Il processo funziona anche nell'altro senso. È evidente come l'elemento fondamentale, il "mattoncino" del "sistema nervoso", sia un singolo "nervo", ovvero un neurone. Ma i neuroscienziati hanno a lungo insistito sul fatto che nelle forme di vita complesse del pianeta questa è la più piccola unità capace di elaborare dati. Ovviamente i batteri e gli altri organismi unicellulari privi di sistema nervoso sono anch'essi in grado di elaborare dei dati, a loro modo. Ma si è sempre ritenuto che quei processi rudimentali non abbiano nulla a che vedere con l'intelligenza umana. Vedremo invece che nell'ambito di ogni singolo neurone si palesa un complesso insieme di eventi computazionali, che possono analogamente essere definiti relativamente "intelligenti" e che si servono dello stesso principio dell'auto-addestramento spontaneo che dirige lo sviluppo complessivo del cervello. Dal microcosmo al macrocosmo e viceversa, ovvero dal più piccolo elemento nell'ambito della cellula cerebrale umana che sia possibile studiare al funzionamento dell'intera società umana, l'ordine scaturisce dal caos sulla base dello stesso insieme di principi.

Ciò potrebbe sembrare assurdo, ma per poter cominciare a capire in che modo funziona, e quindi renderci conto delle capacità di cui stiamo

parlando, dobbiamo procedere alla creazione di un cervello in miniatura, capace anch'esso di imparare da solo. Per riuscirci tutto ciò di cui abbiamo bisogno è qualche dozzina di scatole di fiammiferi e un po' di bilie.

IL CERVELLO IN UNA SCATOLA DI FIAMMIFERI

Il gioco del filotto è piuttosto sciocco e noioso, perché si basa su poche e semplici regole che, se rispettate, rendono pressoché impossibile la sconfitta: in gergo informatico parliamo di un "algoritmo":

1.1.1 *Se sei X*

Poni X in un Angolo

1.2.1 *Se O Risponde al Centro*

Poni X nell'Angolo della Diagonale

1.2.2 *Se O Risponde su uno dei Bordi*

Poni X in un Angolo non Diagonale

1.2.3 *Se O Risponde nell'Angolo della Diagonale*

Poni...

L'unico motivo per il quale questo gioco non ci è sembrato stupido è che i nostri genitori non sono stati così crudeli da fornirci l'algoritmo prima del tempo. D'altro canto, ben pochi di noi, pur giocando alla perfezione, saprebbero definirlo e metterlo per iscritto. In realtà, se qualcuno ci chiedesse all'improvviso di codificarlo ci troveremmo quasi tutti in grande impaccio, anche se nessuno di noi perde più una partita da tempo. La domanda che sorge spontanea è dunque questa: come abbiamo *appreso* quell'algoritmo? Possiamo ragionevolmente sostenere di averlo imparato, nel senso che oggi come oggi lo *conosciamo*? Ma dal momento che non possiamo davvero affermare di conoscerlo, anche se nel giocare lo rispettiamo alla perfezione, qual è la *forma* esatta e la sua *collocazione* all'interno del nostro cervello? Di quale forma di apprendimento stiamo parlando?

Indice

Ringraziamenti7

PRIMA PARTE: IL CERVELLO QUANTICO

Introduzione: La crisi quantica11

 Illuminismo12

 Aspirazioni quantiche15

Capitolo 1: Dalla materia alla mente:

I meccanismi del quarto cervello.....23

 Il cervello in una scatola di fiammiferi26

 Perdere le proprie bilie: gioco e partita a *Her*27

 Ma quanto è umano?33

 Hercules, ovvero Allevamento Robotico36

Capitolo 2: L'apertura dell'occhio della mente39

 Petalì di rosa41

 Esatto, non abbiamo banane!45

 Dal tutto all'uno (*ex uno plures*)46

Capitolo 3: Nascita e morte.....51

 Minsky52

 Sfidando il cervello54

 Morte XOR Resurrezione: il secondo avvento
 delle reti neurali59

 All'esterno della scatola59

 Calcolo parallelo contro calcolo seriale.....62

Capitolo 4: Non si possono drizzare le gambe ai cani.....	66
Talvolta due errori portano alla risposta giusta.....	68
Il catalogo olografico cerebrale	73
Vincere a mani basse	74
Net Talk.....	79
Capitolo 5: La rete umida	85
Il dolce avanzare della notte	87
E dunque, come possiamo insegnare nuovi giochetti a un vecchio pagliaccio?	92
Cavarsela da soli.....	95
Mappe computazionali	97
Capitolo 6: Producendo spin vetrificati, ... eccezionale!	103
Alla ricerca del tempo perduto: da madaline alle maddalene	104
John Hopfield e la rete di Hopfield	105
Riconitori metallici	106
Anti-ferro	110
Frustrazione, madre dell'intelligenza	111
Aumentare la temperatura	118
Il folle, l'amante e il poeta hanno un'immaginazione compatta	123
Due strade separate.....	129
Un momento per ricuocersi	130
Capitolo 7: Il gioco della vita, ovvero come il leopardo si procura le sue macchie	137
“Tutto scorre” (Eraclito).....	141
Nel cuore dell'automa	144
La vita: un computer universale	148
Tesoro, mi si è ristretto il computer!	151
Embriogenesi computazionale	153
Sempre più in basso.....	155

Capitolo 8: Inizializzazione per l'autocaricamento	160
Gli algoritmi genetici: accoppiamento sincopato	161
Un milione di scimmie	164
Dalla programmazione genetica alla computazione	mo-
lecolare: l'hardware evolutivo.....	168
Costruttori di cervelli: ritorno al futuro	172
La vita: set, partita e vittoria finale?	175
 Capitolo 9: L'uomo è una macchina?	178
Dalla ricottura simulata a quella quantica.....	180

PARTE SECONDA: MIRACOLI

Capitolo 10: La soluzione irrisolvibile	189
Bruxelles, ottobre 1930	189
La nuova sostanza primordiale: non materia ma informazione	196
 Capitolo 11: EPR: ricercato, vivo e morto.....	205
Contando le pallottole	206
Sia onde sia particelle	215
 Capitolo 12: Ex uno plures - Da un mistero solo,	
eccone infiniti altri	222
La dualità onda-particella	223
Contestualità	224
Indeterminismo	224
Probabilità assoluta	225
Assenza di traiettorie contro... ..	225
Sovrapposizione	227
Effetto tunnel.....	228
Piramide magiche	229
La sovrapposizione dell'ammoniaca: una spruzzata di quanti	231

Molti cercheranno qua e là (e la conoscenza si accrescerà)
– Daniele 12:4233
Buone vibrazioni234

Capitolo 13: Straniero in terra straniera

(Più straniero è, meglio è)237
La massima informazione238
Ritorno al non-percorso244
Il resto di tutti i mondi possibili248
Du-Bi-Bi-Bi-Du250
Lo zen e l'arte del calcolo quantistico252
Dal PSAT al QSAT256
Wu Wei: sono quello che faccio258
Il golem259

Capitolo 14: Nella materia della mente265

C'è qualcuno laggiù?265
Non per caso268
Da tutto ciò possiamo trarre due conclusioni270
La cellula della cellula275
Le reti di microtubi e i microtubi come rete281
La connessione di CA di Langton284
Dettagli diabolici288
La costruzione di un cervello di microtubi290

Capitolo 15: Un computer fatto di proteine295

Biologia quantica297
Computer quantici di seconda generazione300
Origami organici304
Attraverso lo specchio... ancora una volta306
Fantastico e indefinito307
Effetto tunnel e chiralità311
Migliori vibrazioni312
La fulmineità quantica314

Gli elettroni lo fanno, e lo fanno anche i protoni.....	316
L'evoluzione come algoritmo genetico quantico?.....	318
Ma ora torniamo a Bob!.....	320
Capitolo 16: Nel mutevole azzardo, il caos governa il conflitto ..	326
Il caos classico.....	328
Rifallo... e poi rifallo ancora, e ancora... ..	330
Un battito d'ala.....	336
Oscillatori accoppiati: provo una strana attrazione per te!.....	336
Un ritratto di Poincaré	339
Caos e spin	343
La vita, il cervello e la corteccia	344
Il caos, mio amico	345
E dal disordine scaturì l'ordine: la versione quantica del caos	348
Marcature quantiche.....	353
Il mondo in un granello di sabbia.....	356
L'istante quantico.....	359
Capitolo 17: Gorgoglii quantici	365
Dio	365
Libero arbitrio	372
Coscienza	373
Etica	380
Religione e fede.....	382
Il futuro	382
Società.....	385
Appendice A: La più semplice rete di Hopfield e	
il "microcircuito corticale canonico"	390
Appendice B: Il modulo a microtubo di Tuszynski.....	394
Tubolare!.....	401
Appendice C: Coerenza e de-coerenza	407
Coerenza	409