

MICHAEL J. BEHE

La scatola nera di Darwin

La sfida biochimica all'evoluzione



Alfa & Omega

ISBN 978-88-88747-70-5

Titolo originale:

Darwin's Black Box. The Biochemical Challenge to Evolution

Per l'edizione inglese:

Copyright © 2006 di Michael J. Behe

Pubblicato con permesso concesso dalla Free Press.

Una suddivisione della Simon & Schuster, Inc.

New York, NY, USA

Per l'edizione italiana:

Copyright © 2007 Alfa & Omega

Casella Postale 77, 93100 Caltanissetta, IT

e-mail: info@alfaomega.org - www.alfaomega.org

Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, non autorizzata

Traduzione e adattamento: Antonella Galiero

Revisione: Nazzareno Ulfo

Impaginazione e copertina: Giovanni Marino

Tutte le citazioni bibliche, salvo diversamente indicato, sono tratte dalla versione "Nuova Riveduta"

Indice

Introduzione all'edizione italiana.....	5
Prefazione	21

PRIMA PARTE: LA SCATOLA APERTA

1. Biologia lillipuziana.....	29
2. Viti e bulloni	55

SECONDA PARTE: ESAME DEL CONTENUTO DELLA SCATOLA

3. Finché la barca va.....	85
4. Rube Goldberg tra i flutti del sangue	111
5. Da qui a là.....	139
6. Un mondo pericoloso.....	161
7. La strada uccide	187

TERZA PARTE: COSA CI DICE LA SCATOLA

8. Pubblica o muori	215
9. <i>Intelligent Design</i>	243
10. Domande sul progetto	269
11. Scienza, filosofia, religione.....	297

Postfazione: dieci anni dopo.....	323
Appendice: la chimica della vita	349
Riconoscimenti	375
Indice dei nomi.....	377
Indice analitico	381

Prefazione

Un fenomeno molecolare

Non dico niente di nuovo, se affermo che, negli ultimi anni, la scienza ha fatto degli enormi passi in avanti nella comprensione della natura. La nostra conoscenza delle leggi della fisica è talmente raffinata, che siamo ormai in grado di costruire sonde spaziali, capaci di andare a fotografare mondi distanti dalla Terra miliardi di chilometri. Computer, telefoni, luci elettriche, sono solo alcuni degli esempi che testimoniano il dominio della scienza e della tecnologia sulle forze della natura. I vaccini e le colture ad alta produttività hanno posto un freno alla minaccia rappresentata dai più antichi nemici dell'umanità: la malattia e la fame – quantomeno in alcune parti del mondo. Quasi ogni settimana vengono annunciate nuove scoperte nel campo della biologia molecolare, scoperte che rafforzano la speranza di trovare una cura per le malattie genetiche, e non solo.

Eppure, comprendere il modo in cui qualcosa funziona non significa comprendere il modo in cui ha visto la luce. Il moto dei pianeti all'interno del sistema solare, ad esempio, può essere previsto con incredibile accuratezza; ciononostante, l'origine del sistema solare (il modo in cui, in principio, si formarono il sole, i pianeti e le loro lune) è una questione ancora controversa¹. Forse un giorno la scienza riuscirà a risolvere l'enigma, ma resta comunque il fatto che, comprendere l'origine di qualcosa, è diverso dal comprendere il suo funzionamento abituale.

Il controllo della scienza sulla natura ha portato molta gente a

¹ A. G. W. CAMERON, *Origin of the Solar System*, in «Annual Review of Astronomy and Astrophysics», 26 (1988), pp. 441-472.

pensare che essa possa – o addirittura debba – essere anche in grado di spiegare l'origine della natura e della vita. L'ipotesi di Darwin, che la vita possa essere spiegata mediante l'azione della selezione naturale sulla variazione, è stata accettata in maniera assoluta nei circoli colti più di un secolo fa, anche se i meccanismi fondamentali della vita sono rimasti un mistero completo fino a pochi decenni fa.

La scienza moderna ha compreso che, in ultima analisi, la vita è un fenomeno molecolare: tutti gli organismi sono fatti di molecole, che agiscono come viti e bulloni, ingranaggi e pulegge dei sistemi biologici. Ovviamente, esistono caratteristiche biologiche complesse (come la circolazione del sangue) che emergono ad un livello superiore; ma i raffinati dettagli della vita sono il territorio proprio delle biomolecole. È per questo che la biochimica, la scienza che studia queste molecole, ha come missione l'esplorazione delle fondamentali stesse della vita.

A partire dalla metà degli anni '50, la biochimica ha chiarito a fondo i meccanismi della vita a livello molecolare. Darwin ignorava le ragioni della variazione all'interno di una specie (uno dei requisiti fondamentali della sua teoria), ma la biochimica è stata in grado di individuarne la base molecolare. La scienza del XIX secolo non poteva neanche immaginare come funzionasse il meccanismo della vista, quello del sistema immunitario o del movimento, ma la moderna biochimica ha identificato le molecole che permettono queste ed altre funzioni.

Una volta si supposeva che la base della vita dovesse essere eccezionalmente semplice; ma questa aspettativa è stata delusa. La vista, il moto e le altre funzioni biologiche si sono rivelate non meno sofisticate delle telecamere e delle automobili. La scienza ha fatto progressi enormi nella comprensione del modo in cui funziona la chimica della vita, ma l'eleganza e la complessità dei sistemi biologici a livello molecolare hanno paralizzato ogni tentativo scientifico di spiegarne le origini. Non c'è stato praticamente nessun tentativo di chiarire l'origine di specifici sistemi biomolecolari complessi, figuriamoci progressi. Molti scienziati hanno affermato coraggiosamente che le spiegazioni sono già a portata di mano, o lo saranno, presto o tardi, ma non si trova alcun sostegno a simili affermazioni nella letteratura scientifica. Ancora più importante è il fatto che ci sono forti

motivi – basati sulla struttura dei sistemi stessi – che inducono a pensare che non si riuscirà mai a trovare una spiegazione darwiniana per il meccanismo della vita.

Evoluzione è una parola versatile¹: può essere usata da qualcuno per indicare qualcosa di semplice, come un cambiamento nel corso del tempo, e da qualcun altro per indicare il fatto che tutte le forme di vita discendono da un antenato comune, senza specificare il meccanismo alla base del cambiamento. Nel suo più pieno senso biologico, comunque, per *evoluzione* si intende un processo attraverso il quale la vita nacque da materia non-vivente, sviluppandosi in seguito grazie a mezzi esclusivamente naturali. È questo il senso che Darwin diede alla parola, ed è il senso che essa mantiene all'interno della comunità scientifica. Ed è in questo senso che io userò la parola *evoluzione* nel mio libro.

Apologia dei dettagli

Diversi anni fa, Babbo Natale portò in dono al mio figlio maggiore un triciclo di plastica. Sfortunatamente, essendo un uomo particolarmente impegnato, Babbo Natale non ebbe tempo di toglierlo dalla scatola e assemblarlo, prima di consegnarlo, e così il compito toccò a papà. Tolsi i pezzi dalla scatola, aprii il manuale delle istruzioni, e sospirai. C'erano ben sei pagine di dettagliate istruzioni: allineare gli otto diversi tipi di viti, inserire le due viti da 38 millimetri nella stanga attraverso il manubrio, introdurre la stanga nel corpo del triciclo attraverso il foro quadrato, e così via. Io non volevo neanche leggerle, le istruzioni, perché sapevo che non si potevano scorrere come un giornale – il senso è tutto nei dettagli. Ciononostante, mi rimoboccai le maniche, aprii una lattina di birra, e mi misi al lavoro. Dopo diverse ore il triciclo era assemblato. Alla fine avevo letto ogni singola istruzione del manuale più di una volta (per farcele entrare in testa), e avevo compiuto esattamente le azioni richieste dalle istruzioni.

¹ PHILLIP E. JOHNSON, *Darwin on Trial*, Washington, Regnery Gateway, 1991, cap. 5; ERNST MAYR, *Un lungo ragionamento. Genesi e sviluppo del pensiero darwiniano*, trad. it. Fiamma Bianchi Bandinelli, Torino, Bollati Boringhieri, 1994, pp. 30-33.

A quanto pare, la mia avversione per i manuali di istruzioni è molto diffusa. Sebbene quasi la totalità delle famiglie posseda un videoregistratore, ad esempio, sembra che la maggior parte della gente non riesca a programmarlo. Queste meraviglie tecnologiche sono dotate di esaurienti indicazioni pratiche, ma il solo pensiero di dover studiare ogni singola frase del manuale fa sì che quasi tutti deleghino il compito al primo ragazzino a portata di mano.

Sfortunatamente, gran parte della biochimica assomiglia ad un manuale di istruzioni, nel senso che l'importanza sta nei dettagli. Uno studente di biochimica che si limiti a sfogliare il libro di testo, è praticamente certo di passare gran parte dell'esame fissando il soffitto, mentre gocce di sudore gli scorrono lungo la fronte. Sfoffiare il libro di testo non prepara uno studente a rispondere a domande come: «Delinea dettagliatamente il meccanismo di idrolisi di un legame peptidico attraverso la tripsina, prestando particolare attenzione al ruolo dell'energia di legame dello stato di transizione». Sebbene esistano principi generali della biochimica, che aiutano i comuni mortali a comprendere il quadro complessivo della chimica della vita, i principi generali non vanno oltre questo livello. Una laurea in ingegneria non sostituisce le istruzioni del triciclo, né è di aiuto immediato nella programmazione del videoregistratore.

Molte persone, sfortunatamente, sono fin troppo consapevoli delle difficoltà della biochimica. Coloro che sono affetti da anemia mediterranea, e che devono soffrire molto, nel corso della loro breve vita, conoscono bene l'importanza del piccolo dettaglio che ha modificato uno dei 146 residui amminoacidi in una delle decine di migliaia di proteine del loro corpo. I genitori dei bambini che muoiono per la sindrome di Tay-Sachs, o per la fibrosi cistica, o che soffrono di diabete o emofilia, conoscono più di quanto vorrebbero l'importanza dei dettagli biochimici.

Dunque, in quanto scrittore che vuole che la gente legga il suo libro, mi trovo di fronte ad un dilemma: la gente odia leggere i dettagli, ma la storia dell'impatto della biochimica sulla teoria evuzionista risiede unicamente nei dettagli. Pertanto, devo scrivere il genere di libro che alle persone non piace leggere, per poterle convincere di quelle idee, che mi spingono a intraprendere questo lavoro. Ciononostante, per poter apprezzare la complessità bisogna farne esperien-

za. Quindi, gentile lettore, ti prego di avere pazienza: ci saranno un sacco di dettagli in questo libro.

Il libro è diviso in tre parti. La prima parte fornisce la base, e dimostra perché sia ormai necessario mettere in discussione l'evoluzione a livello molecolare – il dominio della biochimica. Questa sezione è in gran parte scevra da dettagli tecnici, anche se alcuni saltano fuori durante la discussione sull'occhio. La seconda parte contiene i “capitoli esemplificativi”, quelli più complessi e maggiormente ricchi di dettagli. La terza parte è una discussione non tecnica sulle implicazioni delle scoperte della biochimica.

La roba difficile, quindi, è confinata principalmente nella seconda parte. In quella sezione, comunque, farò ampio ricorso ad analogie con oggetti familiari, di uso quotidiano, per chiarire i concetti, e anche lì le descrizioni dettagliate dei sistemi biochimici saranno ridotte al minimo indispensabile. I paragrafi che contengono la dose maggiore di dettagli – zeppi di termini tecnici capaci di far addormentare chiunque – sono separati dal testo normale tramite il simbolo □, per preparare il lettore a quanto lo aspetta. Alcuni lettori riusciranno a farsi strada attraverso la seconda parte; altri, invece, potrebbero desiderare di limitarsi a sfogliarla, o addirittura di saltarne alcune parti, per poi tornarci su quando saranno pronti ad assorbire altri dettagli. Per coloro che desiderano comprendere più a fondo la biochimica, poi, ho incluso un'appendice, che ne delinea alcuni principi generali. Consiglio, infine, a coloro che vogliono tutti i dettagli, di andare in biblioteca e prendere in prestito un testo di introduzione alla biochimica.

PRIMA PARTE

La scatola aperta

Biologia lillipuziana

I limiti di un'idea

Questo libro si occupa di un'idea – l'evoluzione darwiniana – che le scoperte della biochimica stanno ormai spingendo al limite estremo. La biochimica è lo studio delle fondamenta ultime della vita: le molecole che costituiscono cellule e tessuti, che catalizzano le reazioni chimiche della digestione, della fotosintesi, dell'immunità, e di altro ancora¹. Gli incredibili progressi della biochimica, dalla metà degli anni '50 in poi, sono un monumentale tributo alla capacità della scienza di comprendere il mondo. Si tratta di progressi che hanno portato molti benefici pratici, alla medicina come all'agricoltura. Per la nostra conoscenza, però, potremmo dover pagare un prezzo: quando si portano alla luce le fondamenta, le strutture che vi poggiano vengono scosse, e a volte crollano. Quando una scienza come la fisica arriva a svelare le proprie fondamenta, è necessario gettar via, rivedere ampiamente, o restringere ad una parte limitata della natura, il vecchio modo di intendere il mondo. Succederà lo stesso alla teoria dell'evoluzione per selezione naturale?

Come molte grandi idee, quella di Darwin è elegantemente semplice. Egli osservò che in tutte le specie esistono delle varianti: alcuni membri sono più grandi, altri più piccoli, alcuni più veloci, alcuni hanno colori più brillanti, e così via. Riflettendo sul fatto che la quantità limitata di cibo non poteva bastare per tutti gli organismi che venivano alla luce, Darwin giunse alla conclusione che gli indi-

¹ Nel termine *biochimica* intendo includere tutte le scienze che investigano la vita a livello molecolare, anche se la specifica ricerca viene portata avanti in un dipartimento con un altro nome, come biologia molecolare, genetica, o embriologia.

vidui, cui il caso aveva fornito una variazione che rappresentava un vantaggio nella lotta per la sopravvivenza, avrebbero avuto la tendenza a sopravvivere e riprodursi, escludendo dalla competizione quelli meno favoriti. Se la variazione fosse stata ereditata, poi, le caratteristiche della specie si sarebbero modificate nel tempo, e a lungo andare avrebbero potuto prodursi grandi cambiamenti.

Per più di un secolo, la maggior parte degli scienziati ha ritenuto che praticamente tutta la vita, o almeno tutte le sue caratteristiche più interessanti, risultassero dalla selezione naturale applicata alla variazione casuale. L'idea di Darwin è stata usata per spiegare il becco del fringuello e gli zoccoli del cavallo, la colorazione della falena, gli insetti schiavi, e la distribuzione della vita nel tempo e nello spazio. Alcuni scienziati hanno addirittura ampliato questa teoria, spingendosi ad applicarla al comportamento umano: perché le persone disperate si suicidano, perché gli adolescenti hanno figli fuori dal matrimonio, perché alcuni gruppi riescono meglio di altri nei test d'intelligenza, e perché i missionari religiosi rinunciano a sposarsi e ad avere figli. Non c'è niente – nessun organo, nessun'idea, nessun senso né pensiero – che non sia stato oggetto della riflessione evoluzionista.

Quasi un secolo e mezzo dopo l'enunciazione, da parte di Darwin, della sua teoria, la biologia evoluzionista è riuscita con successo a dar conto degli schemi della vita che vediamo intorno a noi. A molti, il suo trionfo sembra completo. Ma il vero meccanismo della vita non opera a livello dell'intero animale o organo: le parti più importanti degli esseri viventi sono troppo piccole per essere viste. La vita è una questione di dettagli, e sono le molecole che si occupano dei dettagli della vita. L'idea di Darwin può forse spiegare gli zoccoli dei cavalli, ma è in grado di spiegare le fondamenta della vita?

Poco dopo il 1950 la scienza avanzò al punto da essere in grado di determinare la forma e le proprietà di alcune delle molecole che costituiscono gli organismi viventi. Lentamente, minuziosamente, venne spiegata la struttura di un numero sempre maggiore di molecole biologiche, e il modo in cui esse operano fu dedotto sulla base di innumerevoli esperimenti. I risultati complessivi dimostrano con penetrante chiarezza che la vita è basata su *macchine* – macchine fatte di molecole! Le macchine molecolari trasportano il carico da una parte all'altra della cellula, attraverso “autostrade” fatte di altre

molecole, mentre altre ancora operano come cavi, funi e pulegge, per tenere insieme la cellula. Le macchine azionano gli interruttori cellulari, uccidendo la cellula o facendola crescere. Macchine ad energia solare catturano l'energia dei fotoni, stipandola sotto forma di sostanze chimiche. Macchine elettriche permettono alla corrente di scorrere attraverso i nervi. Macchine manifatturiere costruiscono altre macchine molecolari, oltre a se stesse. Le cellule nuotano usando delle macchine, copiano se stesse con dei macchinari, ingeriscono cibo con dei macchinari. In breve, delle macchine molecolari altamente sofisticate controllano tutti i processi cellulari. I dettagli della vita, pertanto, sono finemente calibrati, e il meccanismo della vita è enormemente complesso.

Siamo in grado di far rientrare tutta la vita nella teoria evolutiva di Darwin? Dal momento che i mezzi di comunicazione di massa amano pubblicare storie emozionanti, e dal momento che alcuni scienziati si divertono a speculare su quanto lontano possano arrivare le loro scoperte, è stato difficile per il pubblico separare i fatti dalle congetture. Per trovare le vere prove, dovette scavare nei giornali e nei libri pubblicati dalla stessa comunità scientifica. La letteratura scientifica riporta gli esperimenti di prima mano, e i resoconti sono generalmente privi di quei voli di fantasia, che si fanno strada nelle successive applicazioni allargate ad altri campi. Ma, come sottolineerò più avanti, se si studia a fondo la letteratura scientifica sull'evoluzione, concentrandosi sulla questione dello sviluppo delle macchine molecolari – le fondamenta della vita –, ci si ritrova di fronte ad un misterioso e assoluto silenzio. La complessità delle fondamenta della vita ha paralizzato i tentativi scientifici di spiegarla: le macchine molecolari innalzano una barriera quanto mai impenetrabile, che limita le possibilità universali del Darwinismo. Per scoprirne il motivo, mi propongo di esaminare, in questo libro, diverse affascinanti macchine molecolari, per poi chiedermi se possano essere spiegate attraverso il meccanismo di mutazione casuale/selezione naturale.

L'evoluzione è un tema controverso, e quindi è necessario occuparsi di alcune questioni fondamentali, all'inizio di questo libro. Molta gente ritiene che, mettere in discussione l'evoluzione darwiniana, debba equivalere necessariamente a sostenere il creazionismo. Il creazionismo comunemente inteso implica il fatto di credere in una

Terra giovane, nata circa diecimila anni fa, secondo un'interpretazione della Bibbia ancora molto popolare. Per la cronaca, non ho alcun motivo per dubitare che l'universo sia vecchio di miliardi di anni, come sostengono i fisici. Inoltre, trovo l'idea della discendenza comune (secondo la quale tutti gli organismi hanno un antenato comune) molto convincente, e non ho alcun motivo particolare per metterla in dubbio. Ho molto rispetto per il lavoro dei miei colleghi, che studiano lo sviluppo e il comportamento degli organismi in una cornice evoluzionista, e penso che i biologi evoluzionisti abbiano contribuito enormemente alla nostra comprensione del mondo. Sebbene il meccanismo darwiniano – la selezione naturale che opera sulla variazione – possa spiegare molte cose, però, io non credo che spieghi la vita molecolare. E non ritengo neppure sorprendente che la nuova scienza del molto piccolo possa cambiare il modo in cui vediamo il molto grande.

Breve storia della biologia

Quando, nella vita, tutto procede con tranquillità, la maggior parte di noi tende a pensare che la società in cui viviamo sia “naturale”, e che la veridicità delle nostre idee sul mondo sia lapalissiana. È difficile immaginare che altre persone, in altri tempi e luoghi, potessero vivere come facevano, o comprendere perché credessero nelle cose in cui credevano. Durante i periodi di cambiamenti radicali, però, quando verità apparentemente solide vengono messe in discussione, può sembrare che niente nel mondo abbia senso. In questi momenti, la storia ci ricorda che la ricerca di una conoscenza affidabile è un processo lungo e difficile, che non è stato ancora completato. Allo scopo di sviluppare una prospettiva dalla quale osservare l'idea dell'evoluzione darwiniana, nelle prossime pagine tratterò una breve storia della biologia. Si tratta, in un certo senso, di una lunga serie di scatole nere: appena aperta una scatola, se ne trova un'altra.

Scatola nera è un termine bizzarro, che definisce un apparecchio che fa qualcosa, ma i cui meccanismi interni sono misteriosi – a volte perché è impossibile vederli, altre perché è semplicemente impossibile comprenderli. I computer sono un buon esempio di scatola nera: la maggior parte di noi usa queste macchine meravigliose senza avere la più vaga idea di come funzionino, elaborando parole e gra-

fici, o giocando ai più diversi giochi, nella felice ignoranza di cosa accada all'interno del contenitore – della scatola, appunto. Se anche dovessimo rimuovere l'involucro, infatti, ben pochi di noi potrebbero raccapazzarsi nel guazzabuglio di pezzi che si trovano all'interno. Non esiste un collegamento semplice e osservabile fra le parti del computer e le cose che la macchina fa.

Immaginate che un computer con una batteria a lunga durata venga trasportato indietro nel tempo di un migliaio di anni, alla corte di re Artù. Come reagirebbe la gente di quell'epoca alla vista di un computer in azione? La maggior parte ne avrebbe soggezione, ma, con un po' di fortuna, ci sarebbe qualcuno interessato a comprendere come funziona. Qualcuno potrebbe notare che le lettere appaiono sullo schermo quando si toccano i tasti. Qualche combinazione di lettere – corrispondente ai comandi del computer – potrebbe far modificare lo schermo e, dopo un po', si inizierebbero a comprendere alcuni comandi: i nostri Inglesi medioevali potrebbero credere di aver svelato i segreti del computer. Ma potrebbe anche accadere che qualcuno rimuovesse l'involucro, e desse un'occhiata ai meccanismi interni del calcolatore. Improvvisamente, la teoria del “come funziona il computer” si rivelerebbe profondamente ingenua. La scatola nera, che era stata lentamente decodificata, ha rivelato un'altra scatola nera.

Nei tempi antichi, *tutta* la biologia era una scatola nera, perché nessuno comprendeva, neppure al livello più generico, il modo in cui funzionavano le creature viventi. Gli antichi, che guardavano a bocca aperta una pianta o un animale, chiedendosi semplicemente come funzionassero, si trovavano al cospetto di un'insondabile tecnologia. Brancolavano letteralmente nel buio.

Le prime indagini scientifiche cominciarono nell'unico modo possibile: ad occhio nudo¹. Un certo numero di libri, risalenti all'incirca al 400 a.C. (e attribuiti ad Ippocrate, il “padre della medicina”), descrivono i sintomi di alcune malattie comuni, attribuendole alla

¹ La ricostruzione storica presentata in queste pagine si basa principalmente su CHARLES J. SINGER, *A History of Biology*, Londra, Abelard-Schuman, 1959. Fra le altre fonti: GORDON R. TAYLOR, *The Science of Life*, New York, McGraw-Hill, 1963; LOIS N. MAGNER, *A History of Life Sciences*, New York, Marcel Dekker, 1979.

dieta e ad altre cause fisiche anziché agli dei. Sebbene questo genere di libri rappresentasse un inizio, gli antichi brancolavano ancora nel buio quando si trattava della struttura degli esseri viventi. Essi credevano che tutta la materia fosse costituita da quattro elementi: terra, aria, fuoco e acqua, e che il corpo umano fosse costituito da quattro “umori”: sangue, flemma, bile bianca e bile nera – e che tutte le malattie fossero causate da un eccesso di uno di questi umori.

Il più grande biologo greco fu anche il maggiore dei loro filosofi: Aristotele. Nato mentre Ippocrate era ancora in vita, Aristotele comprese (a differenza di chiunque altro prima di lui) che la conoscenza della natura richiedeva un’osservazione sistematica. Attraverso attenti esami, egli riconobbe all’interno degli esseri viventi uno stupefacente ordine; un primo, cruciale passo in avanti. Aristotele raggruppò gli animali in due grandi categorie – quelli con sangue e quelli senza –, che, grossomodo, corrispondono alla classificazione moderna di vertebrati e invertebrati. All’interno dei vertebrati individuò le categorie dei mammiferi, degli uccelli, e dei pesci. Raggruppò insieme la maggior parte degli anfibi e dei rettili, e creò una classe a parte per i serpenti. Anche se le sue osservazioni non erano supportate da strumenti tecnici, gran parte del ragionamento aristotelico resta ancora valido, nonostante la conoscenza acquisita nelle migliaia di anni trascorse dalla sua morte.

Nei mille anni successivi, la storia ha registrato solo pochi rilevanti indagatori della biologia. Uno di loro fu Galeno, medico nella Roma del II secolo d.C., il cui lavoro dimostra che l’attenta analisi dell’esterno e (attraverso la dissezione) dell’interno di piante e animali, per quanto necessaria, non è sufficiente a comprendere la biologia. Galeno, ad esempio, cercò di comprendere la funzione degli organi animali. Sebbene sapesse che il cuore pompava il sangue, non poté dedurlo semplicemente osservando il sangue che circolava e ritornava al cuore. Galeno pensava, erroneamente, che il sangue venisse pompato per “irrigare” i tessuti, e che nuovo sangue venisse prodotto di continuo, per rifornire il cuore. La sua teoria fu materia di insegnamento per quasi quindici secoli.

Bisognerà aspettare il XVII secolo perché un Inglese, William Harvey, introduca la teoria che il sangue scorre continuamente in un’unica direzione, compiendo un percorso completo e ritornando

al cuore. Harvey calcolò che, se il cuore pompa solo due once di sangue per battito, a 72 battiti al minuto, in un'ora avrà pompato 540 libbre³ di sangue – tre volte il peso di un uomo! Dal momento che è chiaramente impossibile produrre in così breve tempo così tanto sangue, il sangue doveva necessariamente essere riutilizzato. Il fatto che Harvey usasse il ragionamento logico (coadiuvato dai numeri arabi, recentemente introdotti, che rendevano i calcoli più semplici) per sostenere una teoria relativa ad un'attività non osservabile, era un evento senza precedenti, che fissò le premesse del moderno pensiero biologico.

Durante il medioevo, l'indagine scientifica accelerò il passo. L'esempio di Aristotele fu seguito da un numero sempre maggiore di naturalisti: molte piante furono descritte dai proto-botanici Brunfels, Bock, Fuchs, e Valerius Cordus. L'illustrazione scientifica si sviluppò, grazie ai disegni di Rondelet, che ritraevano i dettagli della vita animale. Gli enciclopedisti, come Conrad Gesner, pubblicarono enormi volumi, che riassumevano tutta la conoscenza biologica. Linneo ampliò il lavoro di classificazione di Aristotele, introducendo le categorie di classe, ordine, genere, e specie. Gli studi di biologia comparativa mostrarono molte similitudini fra le diverse branche della vita, e si cominciò a discutere l'idea di una discendenza comune.

La biologia avanzò rapidamente, fra il XVII e il XVIII secolo, quando gli scienziati cominciarono a seguire l'esempio di Aristotele e Harvey, combinando un'attenta osservazione con un intelligente ragionamento. Eppure, anche la più attenta osservazione e il più intelligente ragionamento non possono spingersi oltre un certo limite, se le parti più importanti di un sistema sono impossibili da vedere. Anche se l'occhio umano può analizzare oggetti piccoli fino a un decimo di millimetro, molti dei fatti importanti della vita si verificano a livello microscopico, su scala lillipuziana. Così, la biologia raggiunse un punto morto: una scatola nera, la struttura grossolana degli organismi, era stata aperta, solo per rivelare la scatola nera del livello più fine della vita. Per poter procedere oltre, la biologia aveva bisogno di una serie di svolte tecnologiche, la prima delle quali fu il microscopio.

¹ Due once corrispondono a 0,59 decilitri e 540 libbre a 244,94 chilogrammi (N.d.E.).

Scatole nere dentro scatole nere

Le lenti erano note fin dall'antichità, e nel XV secolo erano di uso comune nella costruzione degli occhiali. Ma bisognò aspettare fino al XVII secolo, perché si mettessero insieme una lente concava ed una convessa all'interno di un tubo, per formare il primo, rudimentale microscopio. Galileo utilizzò uno dei primi esemplari di questo genere di strumento, e rimase stupito dalla scoperta degli occhi composti degli insetti. Stelluti osservò gli occhi, la lingua, le antenne, ed altre parti delle api e dei curculioni. Malpighi confermò la teoria sulla circolazione del sangue attraverso i capillari, e descrisse il primo sviluppo del cuore nell'embrione del pulcino. Nehemiah Grew studiò le piante; Swammerdam dissezionò l'effimera; Leeuwenhoek fu la prima persona nella storia ad osservare una cellula batterica; e Robert Hooke descrisse le cellule del sughero e delle foglie (anche se non ne afferrò la reale importanza).

Aveva avuto inizio la scoperta di un mondo lillipuziano mai immaginato, una scoperta che avrebbe ribaltato le nozioni ormai consolidate riguardo a cosa siano veramente gli esseri viventi. Charles Singer, storico della scienza, nota che «l'infinita complessità degli esseri viventi così rivelata era un elemento di disturbo filosofico, tanto quanto l'ordinata magnificenza del mondo astronomico, che Galileo aveva svelato alla generazione precedente, anche se ci volle molto più tempo, perché le sue implicazioni si facessero strada nella mente degli uomini». In altre parole, a volte le nuove scatole richiedono una revisione delle nostre teorie. In questi casi, è facile che si levino molte voci contrarie.

La teoria cellulare della vita alla fine fu enunciata, all'inizio del XIX secolo, da Matthias Schleiden e Theodor Schwann. Schleiden lavorò soprattutto sui tessuti vegetali, e sostenne la fondamentale importanza di un punto nero – il nucleo – presente all'interno di tutte le cellule. Schwann si concentrò sui tessuti animali, nei quali era più difficile individuare le cellule. Ciononostante, stabilì che gli animali erano simili alle piante, nella loro struttura cellulare. Schwann concluse che le cellule, o le loro secrezioni, compongono interamente il corpo degli animali e delle piante, e che in qualche modo le cellule sono unità individuali, dotate di vita propria. Egli scrisse che «la questione relativa alle capacità fondamentali dei corpi organizzati

si risolve in quella delle singole cellule». Come aggiunse Schleiden: «Dunque la domanda più importante è: qual è l'origine di questo peculiare piccolo organismo, la cellula?».

Schleiden e Schwann operarono durante la prima metà dell'Ottocento – lo stesso periodo in cui Darwin viaggiava e scriveva *L'origine delle specie*. Per Darwin, quindi, come per ogni altro scienziato dell'epoca, la cellula era una scatola nera; ciononostante, egli fu in grado di dare un senso a molta della biologia ad un livello superiore a quello della cellula. La sua idea che la vita si evolve non era originale, ma Darwin la sostenne nella maniera più sistematica mai vista fino a quel momento, e sviluppò in maniera originale e indipendente la teoria relativa al meccanismo dell'evoluzione – con la selezione naturale che opera sulla variazione.

Nel frattempo, si indagava diligentemente sulla scatola nera cellulare. L'indagine sulla cellula mostrò i limiti del microscopio, limiti dovuti alla lunghezza d'onda della luce: per ragioni puramente fisiche, un microscopio non può distinguere due punti che sono vicini più della metà della lunghezza d'onda della luce che li illumina. Dal momento che la lunghezza d'onda della luce visibile è approssimativamente un decimo del diametro di una cellula batterica, molti piccoli, importanti dettagli della struttura della cellula semplicemente non si possono vedere con un microscopio ottico. La scatola nera della cellula non poteva essere aperta, senza ulteriori scoperte scientifiche.

Verso la fine del XIX secolo, mentre la fisica progrediva rapidamente, J. J. Thomson scoprì l'elettrone; l'invenzione del microscopio elettronico seguì alcuni decenni dopo. Dal momento che la lunghezza d'onda dell'elettrone è più breve di quella della luce visibile, è possibile distinguere oggetti molto più piccoli, se li si “illumina” con gli elettroni. Il microscopio elettronico presenta diverse difficoltà pratiche, non ultima la tendenza del fascio di elettroni a friggere il campione. Ma si trovarono modi per superare i problemi e, dopo la seconda guerra mondiale, il microscopio elettronico ebbe il suo momento di gloria. Si scoprirono nuove strutture sub-cellulari: nel nucleo apparvero dei buchi, e furono individuate doppie membrane intorno ai mitocondri (gli impianti energetici della cellula). La stessa cellula, che appariva molto semplice alla luce di un microscopio ottico, ora aveva un aspetto molto diverso, e di nuovo si ripeté la

meraviglia degli scienziati: lo stesso stupore, provato dai primi che utilizzarono il microscopio ottico di fronte alla dettagliata struttura degli insetti, colse gli scienziati del XX secolo, quando videro per la prima volta tutta la complessità della cellula.

Scoperte di questo livello cominciarono a mettere i biologi in condizione di affrontare la scatola nera più grande di tutte. La questione del *come funziona la vita* era una domanda alla quale né Darwin né i suoi contemporanei potevano trovare una risposta: sapevano che gli occhi servono a vedere – ma com'è, esattamente, che vedono? Come si coagula il sangue? In che modo il corpo combatte le malattie? Le complesse strutture rivelate dal microscopio elettronico erano esse stesse costituite da componenti più piccoli. Cos'erano quei componenti? Che aspetto avevano? Come funzionavano? Le risposte a queste domande ci portano fuori dal regno della biologia, direttamente nella chimica. E ci riportano anche al XIX secolo.

La chimica della vita

È evidente per tutti che gli esseri viventi sono diversi da quelli non viventi: si comportano diversamente, e sentono anche diversamente. È facile distinguere pelle e capelli da rocce e sabbia. La maggior parte della gente, fino al XIX secolo, pensava semplicemente che la vita fosse fatta di un tipo particolare di materia, una materia diversa da quella che componeva gli oggetti inanimati. Nel 1828, però, Friedrich Wöhler riscaldò il cianato di ammonio, e constatò con stupore che ciò portava alla formazione di urea, un prodotto di scarto organico. La sintesi dell'urea da materiale non-vivente mise in crisi la facile distinzione fra vita e non-vita, e il chimico inorganico Justus von Liebig cominciò allora a studiare la chimica della vita (o biochimica). Liebig dimostrò che il calore del corpo degli animali è dovuto alla combustione del cibo: non si tratta di una proprietà innata della vita. A partire dai suoi successi in questo genere di analisi, egli sviluppò il concetto di metabolismo, per cui il corpo costruisce e distrugge sostanze attraverso processi chimici. Ernst Hoppe-Seyler cristallizzò il materiale rosso del sangue (emoglobina), e dimostrò che esso si lega all'ossigeno, per trasportarlo attraverso il corpo. Emil Fischer dimostrò che tutte le sostanze chiamate proteine sono costituite da soli venti tipi di componenti elementari (chiamati amminoacidi), collegati in catene.

Che aspetto hanno le proteine? Sebbene Emil Fischer avesse dimostrato che erano fatte di amminoacidi, i dettagli della loro struttura erano ancora sconosciuti. Le loro dimensioni le sottraevano persino alla capacità di indagine del microscopio elettronico; eppure, si stava lentamente cominciando a comprendere che le proteine sono le macchine fondamentali della vita, quelle che catalizzano la chimica della cellula e ne costruiscono le strutture. C'era bisogno, pertanto, di nuova tecnica, per poter studiare la struttura delle proteine.

All'inizio del XX secolo, per determinare la struttura delle piccole molecole si usava la cristallografia a raggi X. La cristallografia implica l'applicazione di un flusso di raggi X ad un cristallo di sostanza chimica: i raggi si disperdono tramite un processo chiamato diffrazione. Se si pone una pellicola fotografica dietro il cristallo, è possibile individuare la diffrazione dei raggi X, esaminando la pellicola esposta. Lo schema della diffrazione può, in seguito all'applicazione di complessi meccanismi matematici, indicare la posizione di *ogni singolo atomo* della molecola. Applicare la cristallografia a raggi X alle proteine, quindi, avrebbe mostrato la loro struttura. Ma c'era un grosso problema: più sono gli atomi in una molecola, più sono complessi i meccanismi matematici, e più è difficile riuscire, in primo luogo, a cristallizzare la sostanza chimica. Dal momento che le proteine hanno dozzine di volte più atomi delle molecole generalmente esaminate attraverso la cristallografia, il problema diventa dozzine di volte più complesso. Ma alcune persone hanno dozzine di volte più perseveranza di noi altri.

Nel 1958, dopo decenni di lavoro, J. C. Kendrew determinò la struttura della mioglobina proteica usando la cristallografia a raggi X: alla fine, una tecnica era riuscita a mostrare la struttura dettagliata di uno dei componenti fondamentali della vita. E cosa c'era da vedere? Ancora una volta, complessità. Prima della determinazione della struttura della mioglobina, si pensava che le proteine si sarebbero dimostrate strutture semplici e regolari, come i cristalli di sale. Osservando la struttura contorta, complessa, simile alle budella, della mioglobina, invece, Max Perutz brontolò: «È mai possibile che la ricerca della verità ultima abbia davvero rivelato un oggetto così disgustoso e dall'aspetto viscerale?». Da allora, i biochimici hanno imparato ad apprezzare la complessità della struttura delle proteine. I miglioramenti

apportati ai computer e ad altri strumenti hanno reso la cristallografia moderna molto più semplice di quanto non fosse per Kendrew, anche se si tratta ancora di una tecnica che richiede un grande impegno.

Grazie al lavoro con i raggi X di Kendrew sulle proteine, e a quello (famosissimo) di Watson e Crick sul DNA, per la prima volta i biochimici conoscono davvero la forma delle molecole sulle quali lavorano. L'inizio della moderna biochimica, che da allora ha fatto passi da gigante, può essere fissato in quel momento. I progressi della fisica e della chimica, poi, hanno contribuito, allargandosi ad altre discipline, a creare una forte sinergia nella ricerca sulla vita.

Sebbene, in teoria, la cristallografia a raggi X possa determinare la struttura di tutte le molecole degli esseri viventi, esistono tuttavia problemi pratici, che ne limitano l'uso ad un numero relativamente piccolo di proteine e acidi nucleici. Con incredibile rapidità, però, sono state introdotte nuove tecniche, che fungono da complemento e supplemento alla cristallografia. Un'importante tecnica per la determinazione della struttura è chiamata *risonanza magnetica nucleare* (Nuclear Magnetic Resonance, NMR): grazie a questa tecnica, la molecola può essere studiata in soluzione – senza passare attraverso il noioso processo di cristallizzazione. Come la cristallografia a raggi X, la NMR può determinare la struttura esatta delle proteine e degli acidi nucleici; sempre come la cristallografia, anche la NMR ha dei limiti, che la rendono utilizzabile solo con una parte delle proteine conosciute. Insieme, però, la NMR e la cristallografia a raggi X sono state in grado di chiarire la struttura di un numero di proteine sufficiente a dare agli scienziati un'idea precisa del loro aspetto.

Quando Leeuwenhoek usò un microscopio per osservare un minuscolo acaro su una minuscola pulce, ispirò a Jonathan Swift una canzone, che anticipava un processo senza fine verso parassiti sempre più piccoli:

In natura c'è una pulce
Anche lei con le sue pulci,
che hanno addosso pulcettine,
e così fino alla fine (*ad infinitum*).

Swift aveva torto: il processo non va avanti all'infinito. Alla fine del XX secolo, abbiamo ormai raggiunto il punto culminante, per

quanto riguarda la ricerca sulla vita, e cominciamo ad intravederne la fine. L'ultima scatola nera rimasta era la cellula, che è stata aperta per rivelare le molecole – il fondamento della natura. Più a fondo non possiamo andare. Il lavoro fatto sugli enzimi, altro genere di proteine, e sugli acidi nucleici, inoltre, ha chiarito quali siano i principi all'opera al livello fondamentale della vita. Rimangono ancora alcuni dettagli da sistemare, e ci saranno senza dubbio ancora sorprese; ma, a differenza dei primi scienziati, che guardavano un pesce, un cuore o una cellula, chiedendosi cosa fosse e cosa lo facesse funzionare, gli scienziati moderni hanno la soddisfazione di sapere che l'azione delle proteine e di altre molecole è una spiegazione sufficiente per le fondamenta della vita. Da Aristotele alla moderna biochimica, si è sollevato uno strato dopo l'altro, finché la cellula – la scatola nera di Darwin – non è stata aperta.

Piccoli salti, grandi salti

Immaginate che, nel vostro giardino, un fossato ampio un metro e mezzo, che si estende verso l'orizzonte in entrambe le direzioni, separi la vostra proprietà da quella del vicino. Se un giorno lo incontraste nel vostro cortile, e gli chiedeste come ci è arrivato, non avreste alcun motivo per non credere a una risposta del genere: «Ho saltato il fossato». Se il fossato fosse largo due metri e mezzo, e lui vi desse la stessa risposta, rimarreste impressionati dalle sue capacità atletiche. Se il fossato fosse largo cinque metri, potreste cominciare a insospettirvi e chiedergli di ripetere il salto davanti ai vostri occhi; se si rifiutasse, adducendo come scusa una distorsione al ginocchio, potreste conservare i vostri dubbi, ma non potreste essere certi che vi sta raccontando una frottola. Se il “fossato” fosse in realtà un canyon largo trenta metri, però, non credereste neanche per un momento alla sua sfrontata affermazione di averlo superato con un salto.

Supponete, però, che il vostro vicino – un uomo intelligente – corregga la sua affermazione: non ha attraversato con un solo salto. Piuttosto, dice, che nel canyon c'erano numerosi monticelli di terra, distanti l'uno dall'altro non più di tre metri, e che lui non abbia fatto altro che saltare dall'uno all'altro, per raggiungere la vostra sponda. Osservando il canyon, fate notare al vostro vicino che non riuscite a vedere alcun monticello di terra, ma solo una voragine che separa il

vostro giardino dal suo. Lui concorda, ma spiega che gli ci sono voluti anni per attraversare. Di tanto in tanto, nella voragine, veniva fuori qualche monticello di terra, e lui procedeva a mano a mano. Dopo che ne aveva lasciato uno, di solito il monticello di terra veniva riassorbito dal canyon. Molto dubbiosi, ma senza alcun modo per dimostrare che ha torto, cambiate argomento e vi mettete a parlare di sport.

Questa storiella ci insegna diverse cose. Innanzitutto, la parola *salto* può essere usata come spiegazione del modo in cui qualcuno ha superato una barriera, ma la spiegazione può spaziare dal totalmente soddisfacente al completamente inadeguata, a seconda dei dettagli (ad esempio quanto è larga la barriera). In secondo luogo, i lunghi viaggi sembrano più plausibili, se li si spiega come una serie di brevi salti, piuttosto che come un unico, grande salto. E, terzo, in assenza di prove per questi piccoli salti, è molto difficile dire sì o no, a qualcuno che afferma che le basi d'appoggio esistevano, ma che sono poi scomparse.

Chiaramente, l'allegoria dei salti su uno stretto fossato, in contrasto con il canyon, può essere applicata all'evoluzione. La parola *evoluzione* è stata invocata per spiegare microscopici cambiamenti negli organismi, come pure enormi mutamenti. Spesso si danno nomi diversi a questi due aspetti: genericamente parlando, *microevoluzione* identifica i cambiamenti che possono verificarsi con uno o pochi piccoli salti, mentre *macroevoluzione* identifica i cambiamenti che sembrano richiedere salti più lunghi.

La teoria di Darwin, che in natura potessero prodursi cambiamenti anche relativamente piccoli, fu un grande progresso a livello concettuale: l'osservazione di questi cambiamenti fu una conferma enormemente gratificante della sua intuizione. Darwin vide, sulle varie isole Galapagos, specie simili ma non identiche di fringuelli, e ipotizzò che discendessero tutte da un antenato comune. Recentemente, alcuni scienziati di Princeton hanno realmente osservato il mutamento, nel corso di pochi anni, delle dimensioni relative del becco della popolazione di fringuelli¹. In precedenza era stato osservato che il numero di falene scure, in opposizione a quelle colorate,

¹ Riportato in JONATHAN WEINER, *Il becco del fringuello. Giorno per giorno l'evoluzione della specie*, trad. it. Giovanna Praderio e Davide Scalmani, Milano, Mondadori, 1995.

all'interno di un gruppo, cambiava a mano a mano che l'ambiente passava da fuliginoso a pulito. Allo stesso modo, gli uccelli introdotti in America settentrionale dai colonizzatori europei si sono diversificati in molti, distinti gruppi. Negli ultimi decenni, poi, è stato possibile ottenere prove della microevoluzione su scala molecolare. I virus come quello che causa l'AIDS, ad esempio, mutano la loro membrana esterna per sfuggire al sistema immunitario umano. Si è verificato, poi, un ritorno dei batteri che causano malattie, da quando le specie hanno sviluppato la capacità di difendersi contro gli antibiotici. E potremmo citare molti altri esempi.

Su piccola scala, la teoria di Darwin ha trionfato; a questo livello è controversa quanto l'affermazione di un atleta che dica di aver saltato un fosso di un metro e mezzo. Ma è a livello della macroevoluzione – dei salti lunghi – che la teoria suscita scetticismo. Molti hanno seguito Darwin nella sua teoria che i grandi cambiamenti possano essere spezzettati in molti, plausibili piccoli passi, effettuati in lunghi periodi di tempo. Prove convincenti a supporto di questa posizione, però, non ne sono state trovate. Ciononostante, come la storia del vicino sui monticelli di terra che spariscono, è stato difficile poter valutare la plausibilità dei vaghi e indefiniti piccoli passi... fino ad ora.

Con l'avvento della moderna biochimica, infatti, ora siamo in grado di osservare la vita al livello più basso. Ora abbiamo i mezzi per valutare se gli ipotetici piccoli passi, necessari per produrre i grandi cambiamenti evolutivi, possano davvero essere abbastanza piccoli. Vedrete, in questo libro, che i canyon che separano quotidianamente le forme di vita trovano corrispondenza nei canyon che separano i sistemi biologici su scala microscopica. Come uno schema frattale in matematica, in cui un motivo si ripete all'infinito, anche se lo osservate su scala sempre più piccola, allo stesso modo esistono voragini che si presentano anche al livello minimo della vita.

Una serie di occhi

La biochimica ha messo alle strette la teoria di Darwin, e lo ha fatto aprendo l'ultima scatola nera, la cellula, e mettendoci così in condizione di comprendere in che modo funziona la vita. È proprio la stupefacente complessità delle strutture organiche sub-cellulari, che