

Nota della Redazione: in ricordo dell'esimio prof. Giuseppe Del Re¹ - nella foto qui a lato - pubblichiamo questo suo saggio che c'invio tempo addietro. Egli è adeguatamente ricordato da Giovanni Villani (in <http://www.ilsussidiario.net/articolo.aspx?articolo=12420>), autore del bel libro *La Chiave del Mondo*, CUEN, Napoli 2001. Giuseppe Del Re era un ammiratore di Teilhard de Chardin.



L'ORGANIZZAZIONE, L'AUTO-ORGANIZZAZIONE E L'IMMAGINE DELL'OROLOGIO

Giuseppe Del Re

Introduzione

Si parla spesso della crisi iniziata tra il XV e il XVII secolo dopo il crollo della concezione medioevale del mondo. Quella concezione unitaria, in cui l'universo era sottomesso all'azione diretta e sempre presente dell'amore divino "che muove il sole e l'altre stelle", si trasformò, al termine di quella crisi, in un'altra concezione che, sia pure a prezzo di una separazione netta tra materia e spirito, permise di ritrovare l'armonia dell'universo e una certa misura d'accordo tra i due.

La nuova concezione fu riassunta da Boyle nella famosa immagine dell'orologio: l'universo materiale è un meraviglioso meccanismo, realizzato e messo in moto dal Divino Ingegnere, ma funzionante dopo il primo istante in maniera completamente autonoma. In questa famosa immagine dell'universo-macchina ci sono due aspetti distinti che ci interessa sottolineare qui: il *determinismo rigoroso* e l'*autonomia di funzionamento*, che non lascia nulla né al caso né all'intervento di una volontà esterna.

Una crisi non meno profonda della concezione del mondo è esplosa a partire dalla seconda metà del XIX secolo, e comincia appena ad esser presa in conto dalla filosofia della scienza; essa è nata con l'apparizione del *caso* sulla scena della scienza. La chimica-fisica ha introdotto nella spiegazione dei fenomeni fisici le molecole e, con queste, la *statistica*. Più tardi, la biologia molecolare ha ricondotto in maniera incontestabile la vita a processi chimici e fisico-chimici coordinati. Infine, si è potuta constatare sperimentalmente la comparsa spontanea di ordine in un insieme disordinato di molecole o di altri oggetti distribuiti a caso. Questo ha consentito di dare un fondamento scientifico solido all'ipotesi della "nascita" della vita dal non vivente, ipotesi che è stata formulata non tanto in chiave ideologica, ma perché è suggerita dalla nostra convinzione profonda che la natura è una.² Tale ipotesi è stata studiata nell'orizzonte scientifico del "come?", e si è dimostrata del tutto ragionevole, anzi molto plausibile, anche se, lo diciamo subito, è improbabile che si riesca ad arrivare oltre una prova di plausibilità.

Le implicazioni filosofiche di queste novità sono state sfiorate per ora solo in opere che presentavano un loro proprio concetto del mondo, come quelle di Jacques Monod (1970) e di Ilya Prigogine (1979).

Abbiamo parlato altrove della nuova metafora, quella della "Grande Danza", che si sta gradualmente affermando nella *Weltanschauung* dell'uomo di oggi, ritrovando tramite il concetto di armonia dell'universo quello che ancora per Boyle era l'ordine creato del mondo. Qui invece, con riferimento particolare alla vita e alla sua origine, vorremmo analizzare la crisi in corso, nella speranza di aiutare i lettori a collocarla in un contesto più generale e di segnalare alcuni aspetti particolarmente interessanti dal punto di vista filosofico.

¹ N. d. R. - Giuseppe Del Re era professore ordinario di Chimica all'università di Napoli Federico II e membro dell'International Academy for the Philosophy of Science e dell'European Academy for Environmental Problem. Ha pubblicato più di 180 lavori scientifici la maggior parte dei quali su riviste internazionali. Il suo libro, *La danza del cosmo - Complessità e armonia dell'universo* è dal 2006 nel catalogo della UTET. È deceduto il 6 febbraio 2009.

² H. Poincaré, *La science et l'hypothèse* (1902) (Paris: Chmpps-Flammarion 1968), p. 161.

Una caratteristica dell'orologio di cui si coglie l'importanza solo oggi è la sua *organizzazione*: ogni parte ha una funzione ben precisa nel comportamento del tutto, e questa funzione dipende dalla presenza e spesso dallo stato delle altre parti. È questa una caratteristica la cui importanza non è stata riconosciuta che molto tardi, ed è pertanto sfuggita o è stata trascurata specie dai materialisti a vantaggio di quella che essi continuano, un po' contraddittoriamente, ad attribuire all'universo, cioè il determinismo rigoroso, malgrado che quest'ultimo sia stato rimesso in causa dopo l'introduzione della casualità nella scienza.

Quest'ultimo avvenimento ha dato anche luogo a tesi ben note per le quali la vita sarebbe opera del "caso". Il problema del vivente e della sua comparsa, spiegata in termini di auto-organizzazione dovuta al caso, ha un ruolo centrale nella crisi attuale: è per questo, senza voler disconoscere l'importanza della rivoluzione che si è prodotta in fisica teorica in seguito alla relatività einsteiniana e della meccanica quantistica, che faremo riferimento soprattutto ai problemi biochimici; tanto più che sono essi che conducono ad un problema più generale, il problema corpo-mente.

La chimica e la vita

Fu con la nascita della chimica moderna che gli atomi e le molecole entrarono nella scienza moderna. La necessità di descrivere le proprietà della materia in termini di numeri immensi di queste particelle dettero luogo a due sviluppi diversi, che d'altronde hanno raggiunto la loro maturità solamente nel corso dei primi decenni del nostro secolo. Essi sono: l'ipotesi del *caos molecolare* e la teoria della *valenza diretta*. La prima, discussa in maniera magistrale da Max Born³, introdusse un'immagine dei gas (che sono i sistemi di riferimento per lo studio delle reazioni chimiche) in cui le molecole sono dotate di un moto continuo e disordinato, tanto che ogni molecola ha la stessa probabilità di occupare un qualsiasi punto del recipiente e di muoversi in qualunque direzione; e la sua energia di moto può prendere tutti i valori intorno a una certa media (che dipende dalla temperatura secondo una distribuzione di probabilità che corrisponde alla famosa curva di Gauss). È il *principio di caos molecolare*, che include anche il principio secondo cui vi è nell'universo una sorta di moto perpetuo che soggiace al divenire. Spesso, e in particolare se le molecole di un gas appartengono a due specie differenti, le molecole possono prendere parte a collisioni anelastiche e dare luogo a nuove molecole. Per esempio, una miscela di idrogeno e di cloro può dar luogo sia a molecole di HCl (acido cloridrico), che ad atomi liberi di cloro e di idrogeno. Questi ultimi si ricombineranno molto rapidamente, ma le molecole di HCl avranno un "tempo di vita" molto lungo: H₂ e Cl₂ hanno dato origine ad una nuova specie chimica. Si può dire che ognuna delle molecole di questa nuova sostanza si è formata "per caso"; intendendo che essa si è formata in seguito a un urto tra molecole di idrogeno e cloro, ma tale urto poteva essere efficace solo se la velocità e l'orientamento relativo delle molecole soddisfacevano certe condizioni; ora queste condizioni ben precise erano tuttavia imprevedibili quanto al luogo e all'istante della loro realizzazione in un insieme disordinato qual è un gas; pertanto, non c'era modo di prevedere la formazione della nuova molecola se non in termini di probabilità.

Le reazioni chimiche - e la formazione della vita dalla materia non vivente non può essere stata che un insieme di reazioni chimiche - a meno di non postulare un apposito intervento creativo, cosa che la scienza non può ammettere senza rinunciare a spiegare la vita - sono dunque opera del *caso* nel senso di cui sopra. Ma la chimica ci insegna anche che esse sono soggette a regole molto strette in quanto alla natura e alle caratteristiche delle molecole che si formano da certi reagenti in certe condizioni. Per esempio, fra tutti i gruppi possibili di atomi di idrogeno e di cloro, solo le tre molecole H₂, Cl₂ e HCl sono stabili, cioè si comportano come entità ben definite durante tempi relativamente lunghi. Come ognuno sa, queste regole permettono di prevedere non solo il numero di atomi di ogni specie che entrano nella formazione di una molecola stabile, ma anche la loro sistemazione nello spazio. Per esempio, la molecola d'acqua (H₂O) si presenta essenzialmente come un triangolo in cui l'ossigeno è uno dei vertici e i due idrogeni gli altri vertici; l'angolo HOH vale circa 105 gradi e la

³ M. Born, *The Natural Philosophy of Cause and Chance* (Oxford: Clarendon Press 1951).

distanza OH 0.92 centomillesimi di centimetro. Più generalmente, le regole della chimica determinano in maniera rigorosa la costituzione, la capacità d'interazione con ciò che le circonda, la forma geometrica delle molecole stabili che possono formarsi in linea di principio (e per mezzo di urti a caso in una miscela di miliardi di miliardi di molecole) partendo da sostanze chimiche date. Cosa meravigliosa, la chimica moderna sa effettivamente costruire questi "edifici molecolari" partendo da sostanze molto semplici: è il caso particolare dei farmaci, come i tranquillanti, i pesticidi, i coloranti.

L'importanza di queste considerazioni per la biologia deriva dal fatto che la tesi secondo la quale la vita consiste in un numero enorme di reazioni chimiche *interdipendenti* è ora accettata da tutti i biologi, anche da quelli che non sono riduzionisti nel senso forte della parola - quelli, cioè, che non ammettono che la vita sia qualcosa di più di una somma di processi chimici.

Già verso la fine del XIX secolo lo studio della materia che forma i tessuti viventi aveva stabilito che questa era formata di sostanze chimiche ben definite, in linea di principio suscettibili di essere preparate artificialmente; e che essa era la sede di reazioni chimiche molto complesse ma del tutto analoghe a quelle che il chimico realizza in laboratorio. Nacque così l'idea che la cellula vivente (e per estensione, qualsiasi organismo vivente) è in realtà un immenso laboratorio chimico o, per dirlo in altra maniera, una "macchina chimica". Anche se non è stata data una prova completa e diretta di quest'affermazione, il numero di prove indirette è tuttavia immenso, soprattutto dopo la scoperta del codice genetico e la dimostrazione che la riproduzione e la trasmissione dei caratteri ereditari sono delle catene di reazioni chimiche di cui si è già potuto stabilire i vari anelli. Per i non specialisti, dovrebbe essere sufficiente d'altra parte ricordare il successo enorme e talora inquietante della farmacologia, che ha prodotto sostanze capaci di modificare la personalità, il comportamento e perfino i caratteri sessuali di un essere umano. Si sono inoltre identificate le molecole responsabili di fenomeni, a prima vista molto differenti, di cambiamenti di composizione chimica, come la trasmissione degli impulsi nervosi. Negli organismi multicellulari perfino la coordinazione dello sviluppo (per esempio, l'ordine ad alcune molecole di fermare la moltiplicazione) è assicurato da particolari molecole, dette "messaggeri chimici", sintetizzate dall'organismo stesso.⁴ Insomma, un organismo è un immenso laboratorio chimico automatizzato, che mantiene le proprie caratteristiche unitarie in virtù di un'attività organizzata e finalizzata (che oggi chiameremmo *organizzazione*, e che Aristotele chiamò *entelechia* per sottolineare l'aspetto finalistico, riconosciuto peraltro anche da materialisti dichiarati come il premio Nobel Jacques Monod). Peraltro, tale attività, che ne fa un vivente, anzi *quel particolare vivente*, è guidata dal suo inizio da un "programma" registrato sotto forma molecolare nel DNA.

Le diverse obiezioni proposte dai vitalisti sono cadute l'una dopo l'altra. Per esempio, l'obiezione che fa appello alla straordinaria efficacia e selettività delle reazioni "in vivo" è caduta quando ci si è resi conto che gli organismi viventi dispongono di catalizzatori speciali (gli enzimi), il funzionamento dei quali non è legato alla vita, ma solo alle condizioni fisico-chimiche esistenti in un organismo vivente. Un'altra obiezione proviene da quelli che vedono male come la forma di una mano o il ricordo di un avvenimento potrebbe essere ricondotto a dei processi chimici. La risposta in questi casi è più sfumata, ma del tutto convincente: le molecole biologiche hanno una propria *forma*, e si giustappongono per dare strutture che, come i cristalli, hanno una forma ben definita; questa forma può cambiare in seguito a certi stimoli, tanto che di tali cambiamenti, come dei cambiamenti di composizione chimica, possono molto bene spiegare la fissazione dei ricordi.

Questo concetto del vivente come di uno stato altamente organizzato della materia, che mantiene le proprie caratteristiche in virtù di una continua attività interna e di scambio con l'ambiente, sembra definitivamente accettato. Questa spiegazione della vita, che non richiede alcun "principio vitale",

⁴ Si troverà un gran numero di articoli che illustrano questi problemi nelle riviste *Nature*, *Science*, *Scientific American*, *La Recherche*. Una referenza puntuale che illustra la regolazione chimica della crescita è stata pubblicata da Wai Yu Cheung, *Science*, vol. 19(1981), p. 207sq.

si scontrava, fino a circa una ventina di anni fa, con tre difficoltà cruciali: come spiegare la nascita e la crescita di un organismo; come giustificare il fatto che la vita è un fenomeno contrario alla tendenza universale alla degradazione dell'energia e al disordine; come spiegare in particolare, che la materia inerte e disordinata dell'universo primordiale abbia potuto dar luogo a dei sistemi altamente attivi come gli esseri viventi.

Abbiamo già dato la risposta alla prima domanda: tutte le cellule dell'organismo contengono una molecola che, come il nastro di un registratore, contiene le informazioni relative a tutto il piano di sviluppo dell'organismo.⁵

La risposta alla seconda domanda è stata data da I. Prigogine⁶, il cui lavoro sulla termodinamica dei processi irreversibili ha aperto nuovi orizzonti alla fisico-chimica. Prigogine ha dimostrato che, in un mezzo disordinato sottoposto ad un flusso di energia e/o di materia, possono insediarsi delle strutture "ordinate" in equilibrio dinamico, strutture che durano tanto a lungo quanto il flusso menzionato resta presente. Queste strutture tendono a diminuire la loro entropia a spese, per così dire, dell'entropia del mezzo; in altri termini, il principio di degradazione dell'energia è rispettato nell'insieme di un sistema come l'universo, ma non impedisce che in esso si formino delle strutture "dissipative" ordinate e persistenti. Inoltre, il fatto che queste strutture restino stabili in virtù di uno scambio continuo di materia e di energia con il mezzo ambientale suggerisce che gli organismi viventi sono proprio sistemi di questo tipo.

Quanto alla terza domanda, la risposta data correntemente può enunciarsi nella maniera seguente. La vita non essendo dovuta all'azione di un principio speciale, può essere considerata come una "forma" della materia, molto più complicata, ma obbediente alle stesse leggi dei cristalli e delle altre strutture esistenti nell'universo. Ci si può dunque aspettare che essa si sia formata spontaneamente a partire dalla materia informe, proprio come, secondo la cosmogonia di oggi, si sono formate le stelle e i pianeti. Una tale supposizione è già suggerita dalla teoria dell'evoluzione, nella quale, malgrado le numerose difficoltà sia d'ordine epistemologico che scientifico, praticamente tutti i biologi contemporanei riconoscono uno strumento di unificazione e di spiegazione insostituibile. Ora, la teoria dell'evoluzione vede l'inizio della vita in una specie unicellulare primitiva; il problema sta dunque nel rintracciare il cammino possibile dell'evoluzione partendo dall'atmosfera primordiale della terra, fino a una tale specie iniziale. Il paragrafo seguente è dedicato agli aspetti filosofici molto interessanti dei tentativi che sono stati fatti per risolvere questo problema.

Organizzazione e auto-organizzazione

Non ci fermeremo sulle esperienze realizzate per mostrare che effettivamente gli aminoacidi e le basi del DNA si sono potute formare partendo dal gas dell'atmosfera riducente della terra qualche miliardo di anni fa. Beninteso, non si dispone ancora di prove dirette e complete in questa direzione; ma alcune informazioni e le esperienze che sono state fatte rendono perfettamente verosimile e perfino probabile che le molecole di base degli organismi viventi si sono potute formare *spontaneamente* - a costo di precisare il significato di questo avverbio.

Per esempio, l'azione di scintille elettriche sulle molecole di una miscela di idrogeno, metano, acqua, ammoniaca e ioni fosforici ha potuto certamente produrre i primi ingredienti della materia vivente. Da qui alla vita, sicuramente, c'è una grande distanza, ma sono stati proposti schemi e modelli abbastanza convincenti. Qui ci limitiamo a sottolineare alcuni punti di speciale portata concettuale. L'idea generale è che i primi aminoacidi e le prime basi nucleiche si siano combinati per dar luogo alle prime strutture "autoreplicative" - cioè capaci di catalizzare la formazione di copie di se

⁵ Un eccellente articolo d'introduzione alle proprietà dell'ADN e alla sua struttura è stato pubblicato nella rivista *Scientific American* 1979, da J. C. Fiddes ("La struttura nucleoditica di un ADN virale").

⁶ Un'ottima presentazione della questione delle strutture dissipative in relazione alla vita è stata fornita dallo stesso Prigogine ne *La Recherche* 3 (1972), p. 47sq. sotto il titolo "La termodinamica della vita". Si può ritrovare la discussione di questi argomenti nel libro *La Nuova Alleanza* di I. Prigogine e I. Stengers e nel libro di Schoffeniels citato nella nota 18.

stesse partendo da molecole più piccole. Queste strutture prebiotiche o “protobionti” avrebbero dato luogo alle prime cellule.

Mentre l'autocatalisi è un fenomeno molto conosciuto in chimica, così come processi che sono qualitativamente dello stesso genere del metabolismo negli esseri viventi, ci sono delle obiezioni molto importanti. Prima di tutto, è ragionevole pensare che le strutture prebiotiche spontanee siano state di tipi differenti: perché invece la vita sembra formata solo di strutture fondamentali la cui costituzione chimica è sempre la stessa? In secondo luogo, si sa molto bene che le strutture autoreplicative tipiche dei tessuti viventi sono estremamente labili; come hanno fatto alcune di queste strutture a permanere tanto a lungo da formare delle superstrutture sempre più complicate fino ad arrivare alla prima cellula?

Hans Kuhn, un fisico-chimico tedesco, ha suggerito⁷ che l'inomogeneità della materia nello spazio (per esempio i pori delle prime masse rocciose) e la periodicità del flusso di energia (per esempio l'alternanza del giorno e della notte) - hanno fatto in modo che le molecole più grosse formatesi di tanto in tanto (durante due miliardi di anni) si siano separate dall'atmosfera e si siano concentrate in un punto tanto da poter reagire tra loro per dare luogo a strutture sempre più complicate. Queste, ad un certo momento, hanno acquistato *per caso* la proprietà di autoreplicazione (riproduzione) che caratterizza la vita. La tesi di Kuhn è che questi processi avvengono in un numero molto grande di piccole tappe; e che è seguendole nei dettagli che si può superare la barriera psicologica che ci fa considerare il vivente come fundamentalmente differente dal non vivente.

Eigen, premio Nobel per la chimica (1967) ha osservato⁸ che il modello proposto da Kuhn è troppo poco selettivo per spiegare il fatto già citato che i mattoni della vita sono comuni a tutta la materia vivente, vegetale ed animale. Per questa ragione ha proposto un modello più complicato, che presenta inoltre il vantaggio di introdurre dagli stadi prebiotici i concetti di selezione e di auto-organizzazione. Le idee di Eigen permettono, in effetti, di rispondere in maniera più efficace alle obiezioni ricordate sopra.

Supponiamo che a partire dall'ambiente primordiale i meccanismi del genere di quelli proposti da Kuhn abbiano dato luogo a dei micro-ambienti nei quali erano presenti più specie autoreplicative. Queste si possono immaginare, nello stadio più semplice, come delle grandi catene molecolari formate da unità essenzialmente identiche a molecole presenti nell'ambiente; catene capaci di fare in modo che le molecole dell'ambiente si orientassero e si legassero tra loro esattamente nella stessa maniera, cioè in modo da dare delle catene identiche alla prima. Si può descrivere questo processo come una “trascrizione”, perché le molecole che formano le catene sono come le lettere di una parola che è copiata al momento della riproduzione.

Sulla base della sua esperienza di specialista delle reazioni chimiche, Eigen ha cercato di utilizzare delle considerazioni di cinetica chimica per dimostrare, a partire da questo modello, che la selezione di un solo gruppo di strutture chimiche di base, come pure la persistenza di strutture molto complicate e debolmente legate, si possono spiegare con considerazioni (si potrebbe dire “dei principi”) valide per la materia inorganica in generale.

In primo luogo, le specie replicative devono avere una certa “mortalità”, perché gli individui di una specie data (cioè le catene autoreplicative di un certo tipo) avevano senza dubbio una tendenza intrinseca a decomporsi in catene più piccole, non dotate di una capacità replicativa. Le specie in que-

⁷ H. Kuhn, “Evolution biologischer Information”, *Berichte der Bunsengesellschaft* 80(1976), p.1209sq. Quest'articolo, come il successivo di Eigen, fa parte dei rendiconti di un colloquio al quale tutti i partecipanti hanno dato dei punti di vista molto pertinenti sulla relazione tra informazione e fenomeni di chimica-fisica biologica. Eigen e Kuhn danno l'impressione di considerare i loro punti di vista come opposti, ma noi abbiamo l'impressione che in realtà siano ampiamente complementari.

⁸ M. Eigen, “Wie entsteht Information? Prinzipien der Selbstorganisation in der Biologie”, *Berichte der Bunsengesellschaft* 80(1976), p.1059sq. Quest'articolo è stato pubblicato in inglese, senza la parte di discussione con Kuhn, in *Advances in Chemical Physics* nel 1980.

stione devono avere anche - per ipotesi - una certa probabilità di formarsi per combinazione spontanea dagli ingredienti presenti nell'ambiente circostante: è la "natalità" di queste specie.

Per spiegare con quale meccanismo solo gli individui di una certa specie abbiano potuto prevalere, Eigen ha introdotto la "mutagenità": è la possibilità che, in seguito a un errore di trascrizione, un individuo di una certa specie autoreplicativa abbia prodotto un individuo di un'altra specie. In altri termini, si ammette che più tipi di catene autoreplicative siano possibili e che esse differiscano per il tipo di catena; la mutagenità consiste in questo, che nel corso della replicazione una catena B entra per errore al posto di una catena A, cosicché si forma una catena differente dalla catena madre.

Anche intuitivamente ci si rende conto che, qualunque sia stata la popolazione iniziale delle diverse specie capaci di essere il punto di partenza della vita, ha dovuto finire per dominare quella che aveva un bilancio più favorevole tra natalità (naturale e risultante dagli errori di trascrizione delle altre specie) e la mortalità corrispondente. Eigen ha verificato questa intuizione con l'analisi matematica del problema.

Per un'analogia evidente Eigen ha chiamato "selezione darwiniana" il processo che conduce alla presenza quasi esclusiva di una sola tra le specie in concorrenza. Egli ha sottolineato anche che lo si può immaginare come un gioco particolare, le cui mosse sono la nascita, la replicazione (con certi errori) e la morte di ogni individuo, le cui regole dicono che il numero di individui è limitato e che ogni errore equivale alla morte di un individuo di una specie e alla nascita di un individuo di un'altra; e quindi la strategia vincente consiste nello scommettere sulla specie che si riproduce più rapidamente e con il più piccolo numero di errori.

La selezione darwiniana dei sistemi autoreplicativi elementari non è sufficiente a dare un modello ragionevole della formazione della vita. È ben vero che essa rappresenta una strategia in virtù della quale qualcosa di speciale emergerà, presto o tardi, dal caos di un gran numero di specie chimiche o prebiotiche differenti: una specie formata da "individui" poco stabili ("mortali") ma capaci di riprodursi in modo da essere sempre presenti. Tuttavia, essa non è capace di render conto della persistenza delle specie estremamente complicate che occorre immaginare per rappresentare le prime cellule, per semplici che esse siano state. Infatti, la selezione in sé non è sufficiente a garantire che un grado molto elevato di complessità e di ordine si conservi e si propaghi, giacché ci si deve attendere che la riproduzione degli individui sia soggetta a un numero di errori tanto più grande quanto la complessità dei caratteri da trasmettere è grande. Altrimenti detto, la riproduzione è equivalente ad una trasmissione d'informazione; quando l'informazione da trasmettere è molto ricca, il numero degli errori di copia è molto grande. Si può dimostrare che, in queste condizioni, la selezione darwiniana non opera più: gli errori di trascrizione impediscono la formazione di una specie dominante.

Per superare queste difficoltà, Eigen ha proposto un meccanismo che egli chiama l'*iperciclo*. Egli ha dimostrato che un insieme di specie (ciascuna delle quali ha un contenuto abbastanza basso di informazioni) diventa stabile se ciascuna di esse controlla la formazione di un'altra. Pensiamo all'insieme come a una frase di cui le parole A, B, C, D,...Z, corrispondono alle specie; l'iperciclo consiste allora nel supporre che il numero delle parole A controlli il numero delle parole B, questo il numero delle parole C, e così di seguito, fino a Z il cui numero controlla il numero delle parole A. In queste condizioni, la sequenza ABCD...Z è stabile preferibilmente a qualunque altra. In conclusione, le "parole" appartengono a delle specie che sono sopravvissute alla selezione darwiniana, le "frasi" sono degli insiemi di parole che mantengono il loro ordine e la loro struttura generale pur moltiplicandosi in virtù del meccanismo dell'iperciclo. Nei sistemi viventi, le parole potrebbero essere i geni che costituiscono il DNA così come le differenti proteine che, prodotte sotto il controllo del DNA, ne assicurano a loro volta la replicazione.

La presentazione molto schematica data fin qui dovrebbe bastare a dimostrare come Eigen vede la nascita della vita. Le strutture prebiotiche primitive, formate dall'urto casuale di opportune molecole in ambienti particolarmente favorevoli, sono entrate in concorrenza in modo da eliminare quelle il cui bilancio mortalità-mutazioni-natalità era meno favorevole. Il meccanismo dell'iperciclo, a sua

volta, avrebbe perpetuato un insieme di specie chimiche che, a partire da una certa struttura autoreplicativa, poteva dar luogo appunto a sistema iperciclico avente la proprietà di produrre con basso numero di errori copie fedeli di se stesso, malgrado la sua grande ricchezza di informazioni.

L'ordine nato dal disordine

Tenuto conto dei risultati scientifici più recenti, e ammettendo che il meccanismo proposto da Eigen superi, almeno in principio, le due obiezioni più delicate enunciate più sopra, si devono dunque accettare tre enunciati:

- (a) lo stato attuale dell'universo, compresi gli esseri viventi, era contenuto interamente in potenza nelle sue condizioni iniziali e nelle leggi della fisica e della chimica;
- (b) l'universo stesso tende a organizzarsi, o almeno a raggiungere una perfetta armonia fra tutte le sue parti con il loro divenire, e ciò in maniera unica, malgrado la degradazione dell'energia;
- (c) la sua realtà effettiva e, in particolare l'esistenza della vita, è il risultato di avvenimenti che avrebbero anche potuto non aver luogo.⁹

Questi tre punti aprono prospettive epistemologiche estremamente vaste. Noi non considereremo qui che l'aspetto che passa sotto il nome di *riduzionismo* e l'aspetto che mette in gioco il *caso*.

Il punto (c) significa (almeno a prima vista) che l'universo primordiale conteneva la possibilità ma non la necessità della vita. È in questo senso che si è parlato d'emergenza "per caso". Monod lo disse senza ambiguità:

*Che mi si capisca bene: dicendo che gli esseri viventi in quanto classe non sono prevedibili a partire dai primi principi, non voglio suggerire che non sono "spiegabili" secondo questi principi, che li trascendono (...). La biosfera è, ai miei occhi, imprevedibile né più né meno della configurazione particolare di atomi che costituiscono questo ciottolo.*¹⁰

Le due affermazioni che le leggi e i principi che governano la formazione e il comportamento di un organismo vivente sono proprio quelli e solo quelli che governano il comportamento di un pezzo di roccia e che questi principi non implicano pertanto che esso "dovesse" formarsi, toccano al fondo il problema posto dalla biologia molecolare. Da un lato si esclude ogni forma di vitalismo e ogni forma di intervento trascendente in un istante particolare del tempo; dall'altro si nega il determinismo scientifico dell'ultimo secolo, in seguito al quale tutto l'avvenire dell'universo era non solamente contenuto nelle condizioni iniziali, ma imposto da esse: alcuni avvenimenti hanno luogo "per caso", cioè possono allo stesso modo avvenire o non avvenire (in un certo intervallo di tempo); non c'era niente nelle condizioni iniziali che ne assicurasse la realizzazione.

Occorre sottolineare qui esplicitamente che l'introduzione del caso riguarda tre questioni diverse, non sempre ben distinte a livello intuitivo, che sono introdotte dalle parole "se", "quando" e "chi": all'occorrenza la parola "caso" può riferirsi all'avvenimento stesso, al momento della sua realizzazione e/o alle singole molecole che vi intervengono. Ritorneremo più tardi su questa precisazione importante.

Il "principio vitale" e l'unità mente-corpo

La catena di avvenimenti di cui occorrerebbe cercare le prove per spiegare la formazione della vita secondo la teoria generalmente accettata è dunque individuata a livello teorico generale. All'inizio c'era il caos (molecolare); dal caos uscirono per caso i primi mattoni della materia vivente; le disomogeneità della materia solida presente e le variazioni periodiche della temperatura (rocce terrestri e alternanza del giorno e della notte) permisero la concentrazione di queste molecole "prebiotiche";

⁹ Una discussione degli eventi aleatori (la casualità), distinguendo quando è irrilevante per il risultato di certi processi e quando invece ha una funzione significativa nel mondo che interessa l'uomo si può trovare in G. Del Re, *The Cosmic Dance* (Philadelphia: Templeton Foundation Press 2000).

¹⁰ J. Monod, *Le hasard et la nécessité* (Paris: Le Seuil 1970).

i principi di selezione e stabilizzazione iperciclica intervennero in modo da favorire la formazione e la persistenza di sistemi sempre più complessi, fino alla prima cellula. In seguito le mutazioni, la selezione naturale e la conservazione delle specie condussero alla vita quale noi la conosciamo.

Lasciando da parte le macchie d'ombra di questo quadro, vorremmo fermarci ora alle implicazioni per così dire filosofiche dell'accettarla. In primo luogo, la teoria che stiamo presentando è in accordo con la tesi che, dal punto di vista scientifico, la materia vivente non differisce dalla materia inanimata che per le sue caratteristiche di non equilibrio e per il suo alto grado di organizzazione. La scienza e la tecnica contemporanee danno a questa tesi un sostegno molto importante.¹¹ Come abbiamo già ricordato, la costruzione di macchine sempre più complicate ha provato che l'organizzazione e la capacità di effettuare delle operazioni estremamente complesse in maniera completamente autonoma, perfino di fare una scelta, possono essere conferite anche ad oggetti artificiali. Ben inteso, il grado di complessità di un organismo vivente è enormemente più grande di quello della macchina più perfezionata costruita dall'uomo; ma non si vede perché una differenza quantitativa, per grande che sia, dovrebbe divenire una differenza qualitativa. D'altra parte, alcune delle funzioni classiche di un organismo ci sono anche nelle nostre macchine. Per esempio, la capacità di riprodursi è presente nei grandi torni automatici che fabbricano, senza bisogno d'intervento esterno, pezzi molto complicati, e potrebbero fabbricare addirittura copie di se stessi, se opportunamente programmati; la capacità di decidere, benché a un livello molto elementare, è presente nei calcolatori elettronici, nei piloti automatici degli aerei e in quelli che guidano per anni le sonde spaziali; e così di seguito. All'obiezione che le nostre macchine sono in metallo e in materie plastiche, e che il loro funzionamento dipende da processi meccanici ed elettromagnetici che non hanno un equivalente nel vivente, si risponde che in questi ultimi sono stati realizzati per mezzo di trasformazioni chimiche gli stessi tipi di meccanismi e processi, con il vantaggio che si poteva ottenere a scala molecolare una miniaturizzazione enorme. E il consistente progresso della biochimica e della biologia molecolare verso il chiarimento di queste trasformazioni è stato coronato da successi talmente importanti che sarebbe temerario negare il buon fondamento di questa risposta.

Malgrado questo parallelismo tra le macchine costruite dall'uomo e gli organismi viventi, le considerazioni presentate nei paragrafi precedenti sembrano fornire un argomento in favore della tesi secondo la quale le "macchine" biologiche, a differenza delle macchine artificiali, non sono state fatte da un artefice, ma sono apparse spontaneamente. In altre parole, perfino quella versione molto particolare dello spirito vitale che sarebbe il soffio iniziale del creatore non sarebbe necessaria.

Non possiamo soffermarci sui particolari di queste argomentazioni. Noi riteniamo che il punto essenziale in cui la "teoria della vita" così costruita incontra difficoltà insormontabili è la mente dell'uomo. In effetti, anche volendo concedere alle cosiddette scienze cognitive molto più di quanto non meritino - giacché ritengono che spiegare il "come" dei processi cerebrali significhi spiegare il pensiero e pertanto confondono il piano del "che cosa" con quello del "come" - rimane anche per esse il fatto che l'uomo "sa di sapere". Per spiegare la mente gli uomini di scienza di oggi tendono a essere sia materialisti, sia dualisti nel senso cartesiano o, se si vuole, agostiniano. L'idea generale sembra essere la seguente. C'è nella materia, malgrado il secondo principio della termodinamica, la capacità di dar luogo a strutture organizzate. Ora, l'organizzazione ha più livelli: una colonia di formiche ha un'organizzazione che è distrutta quando la colonia è dispersa, anche se l'organizzazione biologica propria di ciascuna formica resta intatta. L'attività pensante si spiegherebbe nella stessa maniera: si tratterebbe di un livello di organizzazione del cervello che è addirittura al di sopra di un livello, d'altronde già molto elevato, quello della sensibilità. Senza fermarci troppo a lungo su questa questione, sottolineiamo che in ogni caso questo punto di vista corrisponde a una forma di riduzionismo molto diversa dal fisicalismo ingenuo, perché implica che le proprietà di un organismo vivente, come quelle di una macchina, altro non sono che amplificazioni delle proprietà delle

¹¹ A. Cottrell, "The Natural Philosophy of Engines", *Contemporary Physics* 20(1979), p. 1sq. J. Tonnelat, "Qu'est-ce que c'est qu'un être vivant?" *La recherche* 10(1979), p. 611sq. V. anche nota seguente.

parti che lo compongono.¹² In realtà, se è vero che il vivente risulta esclusivamente da atomi, da quanti e dalle loro interazioni, è vero anche che le proprietà di un organismo vivente non si riducono a quelle dei suoi atomi e dei suoi quanti.

Detto questo, l'analisi riduzionista della mente si arresta per alcuni - quali Eccles e Popper - alla soglia dell'autocoscienza.¹³ Questi "spiritualisti riduzionisti" dichiarano insostenibile la tesi che fa rientrare la qualità di soggetto cosciente nella gerarchia dei livelli di organizzazione della materia. Forse che il robot più perfezionato potrà mai dire: "io"? È un argomento trattato da un famoso autore di fantascienza, I. Asimov, in una serie di novelle intitolate: "**I, robot**". Egli arriva alla conclusione, che non è per niente fantastica, che è appunto la capacità di agire come essere libero e responsabile ciò che fa la vera differenza tra un soggetto pensante e una macchina.¹⁴

Nel suo mirabile tentativo di tener conto delle conquiste della scienza contemporanea in una nuova ontologia che tuttavia incorpora l'ontologia aristotelica (in particolare potenza e atto, forma e materia), è lecito seguire il filosofo Nicolai Hartmann¹⁵ e applicare la sua "analisi categoriale", per sostenere che il vivente corrisponde a uno "strato dell'essere" (*Seinsschicht*) superiore a quello della materia non organizzata, pur essendo costituito come attualizzazione di potenzialità che fino a poco tempo fa non sembravano contenute nelle leggi della materia. Quanto allo spirito (nel senso di *das Geistige*) esso appartiene ad uno strato dell'essere ancora superiore. Ben inteso, questa visione ontologica non giunge alla questione del "puro spirito", cui si riconduce quella questione dell'anima separata che San Tommaso superò con l'audace concetto che alcuni chiamano "forma sostanziale", cioè con la tesi che l'anima sia un'entità capace di sussistere di per sé, ma in una condizione molto speciale, quando le manca il corpo cui ha bisogno di unirsi per realizzarsi completamente.¹⁶

Quanto al punto di vista degli uomini di scienza spiritualisti di oggi, va detto che, data la poca familiarità dei moderni con Aristotele, essi vedono un accordo migliore con le idee attuali sui viventi in quella di Eccles e Popper.

Un'analogia, utile soprattutto per sottolineare la differenza rispetto al dualismo cartesiano, è data da un aereo in volo. Questo comprende tre parti: il pilota, l'aereo propriamente detto e il complesso mani di pilota-tavolo di comandi (che potrebbe chiamarsi l'"interfaccia"). Ora, l'insieme è un'unità: il pilota cessa di essere tale se non pilota il suo aereo; l'aereo - salvo quando è controllato da un pilota automatico, come il nostro corpo in certi casi di perdita di coscienza - non potrà scegliere da solo una rotta o una meta; privato delle mani del pilota il tavolo di comando non avrà più senso. Allo stesso modo, nell'ottica interazionista, lo spirito e il corpo si integrano a formare una sola unità con l'aiuto di quella misteriosa interfaccia che è la psiche. Questo dualismo, come abbiamo cercato di far vedere nell'articolo citato alla nota 14, si differenzia poco dall'olismo tomista, il quale in realtà si caratterizza per non voler separare la mente dall'anima (intesa in senso aristotelico), e quindi fa

¹² Il fondatore della «teoria generale dei sistemi» e dell'attuale biologia organismica, il viennese L. von Bertalanffy, ha illustrato questo punto di vista e la sua relazione con l'umanesimo in molte pubblicazioni. V. fra l'altro i suoi contributi «Teoria generale dei sistemi» in E. Agazzi (cur.): *I sistemi fra scienza e filosofia*. (Torino: SEI 1978), e «Biologie und Weltbild» («Biologia e immagine del mondo», in tedesco), in Michael Lohmann (cur.): *Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Kolloquium* (1970) (München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1977). Eccellente l'articolo generale di R. Munson, "Meccanicismo e vitalismo", Enciclopedia del 900 (Roma, Istituto dell'Enciclopedia Italiana 1979).

¹³ K. R. Popper e J. C. Eccles, *The Self and its Brain* (Berlin: Springer 1979), tradotto in italiano presso l'editrice Adelphi.

¹⁴ Un'analisi molto chiara e serena del problema delle macchine pensanti è stata data da E. Agazzi, "Alcune osservazioni sul problema dell'intelligenza artificiale" in: *Cibernetica e teoria dell'informazione*, a cura di P. A. Rossi (Brescia: La Scuola 1978).

¹⁵ N. Hartmann: *Der Aufbau der realen Welt* (1940; dritte Auflage, Berlin: De Gruyter 1964). Un sommario è proposto dal filosofo in *Neue Wege der Ontologie* (1942) (Stuttgart: Kohlhammer 1949), tradotto in italiano da Giancarlo Penati con il titolo: *Nuove vie dell'ontologia* (Brescia: La Scuola 1975).

¹⁶ G. Del Re, "La questione dell'anima e la scienza di oggi", *Sapienza (ed. domenicane di Napoli)* vol. 53(2000) pp. 383-418.

dell'anima immortale un'entità capace bensì di esistenza autonoma, ma bisognosa di un corpo per realizzare i suoi canali di comunicazione con il mondo cui appartiene, cioè il mondo sensibile.

La creazione

Un altro problema posto dall'ipotesi dell'apparizione spontanea della vita è l'origine dell'uomo e il rapporto creatore-creatura: problema legato al rapporto corpo-mente e carico di risonanze emotive, come ha dimostrato giustamente il classico libro di Monod. Il bisogno di leggere nella natura quale essa ci appare il progetto eventuale di un'intelligenza creatrice è tipico dell'uomo di qualunque latitudine e longitudine e di qualunque epoca, anche se lo spirito critico e razionale con cui è stato affrontato dal mondo occidentale è legato al miracolo della filosofia greca. Come abbiamo detto, il rapporto creatore-creatura appariva evidente alla visione medioevale del mondo, perché questa implicava la presenza di Dio in qualità di primo motore. Nella concezione dell'orologio, si passa dall'idea del Divino Ingegnere all'ateismo di Laplace. Siamo attualmente a una terza fase, in cui il determinismo è messo in discussione e si pensa piuttosto ad una "Grande Danza", in cui alcuni vedono all'opera il caos - cadendo ovviamente in contraddizione, perché il caso non è che assenza di cause [N.d.R.: nel senso che gli eventi non sono finalizzati ad alcun risultato specifico] e quindi per definizione non può operare -, altri un divenire con creazione di ordine in cui il caso ha bensì una funzione speciale, quella di produrre novità, ma sono sempre all'opera delle leggi di selezione che dirigono verso un fine di coerenza e armonia anche i processi che, considerati da soli, sono stocastici (casuali).

Pertanto, malgrado i numerosi richiami alla prudenza, che risalgono fino a S. Agostino, non si può non vedere nella descrizione del mondo proposta dalla scienza una via per chiarire (in pro o contro) la questione della creazione: in ultima analisi, anche la metafora della danza, che dà spazio al caso e al libero arbitrio, indica un ordine dell'universo che rientra nella quarta via di San Tommaso. Gli uomini, compresi sia gli scienziati che i filosofi, vorrebbero che le scienze della natura dicessero loro: (i) se il mondo ha avuto un inizio che non si può spiegare che con un intervento "dall'esterno" - o viceversa; (ii) se il mondo mostra un disegno, un progetto che occorre attribuire a un'intelligenza trascendente. Molti pongono queste domande - forse per ragioni filosofiche - soprattutto a proposito della vita.

Queste domande sono probabilmente mal poste. Per definizione, il Creatore è al di fuori del tempo (ciò è sottolineato dalla nozione del tempo nella relatività einsteiniana); per conseguenza tanto l'inizio dell'universo che il limite verso cui tende non riguardano la creazione in senso assoluto. La maniera di procedere del Creatore è inconcepibile per noi, esattamente come l'altezza e ciò che ne dipende sarebbero inconcepibili per degli esseri infinitamente piatti.

Le domande stesse sono dunque da intendersi nel seguente modo. Prendendo come ipotesi che ci sia stata una creazione, e che abbia avuto luogo nello spazio e nel tempo quali noi li conosciamo, si può rivelare nella sua storia - tale come noi la conosciamo - la presenza di un'intelligenza creatrice? Teilhard de Chardin scriveva ne "Il fenomeno Umano":

Che non ci si sbagli più sul grado di realtà che io accordo alle differenti parti del film che presento. Quando tenterò di immaginare il Mondo prima dell'origine della Vita, o la Vita nel paleozoico, non dimenticherò che ci sarebbe contraddizione cosmica nell'immaginare un Uomo spettatore delle fasi anteriori alla comparsa di ogni Pensiero sulla Terra. Non pretenderò dunque di descriverle come sono state realmente, ma come dobbiamo rappresentarle perché il Mondo sia vero in questo momento per noi".¹⁷

È importante insistere sul fatto che, se l'affermazione che la vita si è formata per caso è senza dubbio suggestiva e poetica, essa risulta dalla trasposizione di un termine scientifico con un significato metafisico molto leggero, che identifica l'assenza di informazioni con l'assenza di cause. In realtà tutto ciò che possiamo dire è che le modalità della creazione, vista *come se fosse* l'opera di un essere legato quanto noi allo spazio-tempo, sembrano oggi totalmente differenti da quelle che erano im-

¹⁷ P. Teilhard de Chardin, *Le phénomène humain*, (Paris: Le Seuil).

plicità nella metafora dell'orologio. Occorre poi rendersi conto che né il determinismo, né il meccanicismo sono realmente rinnegati dal nuovo concetto. Eigen, come si è visto, ha paragonato a un gioco il meccanismo proposto per i primissimi stadi della comparsa della vita: e in effetti c'è un'analogia formale con un gioco in cui si lanciano bensì dei dadi, ma il risultato di questa operazione è seguito da scelte ben precise, conformi a certe regole e a una certa strategia. Le regole, lo ripetiamo, sono quelle della chimica; la strategia è contenuta nei principi di selezione darwiniana e di stabilizzazione iperciclica. Con queste regole e questa strategia, il risultato del gioco è completamente determinato: quando essa appare, la vita è e non può essere che quale noi la conosciamo. Per conseguenza, anche se si accettano tutte le ipotesi di partenza, comprese quelle del caos molecolare, tutto si riduce a decidere se questo primo incontro "fortuito" di molecole al quale si riduce la parte di caso implica l'assenza d'una volontà creatrice. La risposta è senz'altro negativa: se si crede all'esistenza di un Dio creatore, non c'è che da sostituire la metafora del Divino Ingegnere con quella del Divino Giocatore, che (vista da esseri immersi nello spazio-tempo) realizza il suo disegno d'ordine e di bellezza con una strategia diversa da quella del determinismo.

A parte eventuali riserve sulla validità metafisica di queste considerazioni, si vede molto bene che riposano su concetti che sono ancora mal definiti: tempo, spazio, causalità, caso. Per sottolinearlo, basterà ricordare che il biologo Schoffeniels, riduzionista radicale se mai ce ne fu, ha voluto combattere l'emergenza dal caso nella quale credeva il materialista Monod.¹⁸

Conclusioni

Di fronte ai problemi posti dalle teorie moderne della biologia, è molto facile rifugiarsi in un atteggiamento di disdegno: è una tentazione alla quale non sfuggì un filosofo marxista come Althusser, che parlava con sufficienza della concezione del mondo e della filosofia spontanea degli scienziati. Noi vorremmo qui ricordare piuttosto che è partendo da cose sensibili e dallo sforzo di trarne una concezione del mondo che è nata la filosofia. E anche il problema molto limitato dell'emergenza della vita, qualunque sia la validità delle ipotesi attualmente più favorevoli, pone una serie di problemi d'ordine filosofico in generale: il caso, il tempo, la creazione, il rapporto corpo-mente.

Non diciamo che le ricerche scientifiche possono dare la soluzione di questi problemi, lungi da ciò; ma esse pongono dei problemi e, spesso, propongono anche dei punti di vista di partenza per la loro analisi.

*"In Principio era il Verbo"*¹⁹



¹⁸ E. Schoffeniels: *L'anti-hasard*, (Paris: Gauthiers-Villard 1973).

¹⁹ Galleria d'Arte di Pino Santoro in <http://www.pinosantoro.it/pittura.htm>