

L'eredità di Vittorio Somenzi e gli sviluppi dell'epistemologia evoluzionistica

Silvano Tagliagambe

1. Somenzi e l'epistemologia evoluzionistica

Nel loro pregevole contributo, intitolato *Natura, macchine, cervello e conoscenza. Attualità del pensiero di Somenzi*, che figura nel libro *Vittorio Somenzi. Antologia e Testimonianze 1918-2003*¹, Gilberto Corbellini e Roberto Cordeschi, sintetizzando egregiamente l'inquadramento teorico di Somenzi a partire da un punto di vista che cercava di cogliere nell'insieme le linee di sviluppo della biologia che emergeva dalla rivoluzione genetica-molecolare prodottasi negli anni Cinquanta e Sessanta, così ne enucleano l'aspetto principale: "La tesi che è l'organizzazione delle strutture biologiche a *estrarre* l'informazione dall'ambiente, e che l'organizzazione di informazione nei sistemi biologici comporta una loro 'trasformazione' come sistemi materia/energia, metteva Somenzi in una posizione privilegiata per cogliere le novità delle spiegazioni in chiave selettiva delle dinamiche adattative a livello epigenetico. Egli afferrò immediatamente il significato 'filosofico' delle teorie immunologiche e il processo di generalizzazione del principio esplicativo della selezione a tutti i fenomeni di cambiamento adattativo che avvengono durante l'ontogenesi"².

Segnalando la funzione centrale che nel pensiero teorico di Somenzi ha, oltre al concetto di *informazione*, interpretato oggettivamente, anche quello di *selezione* i due autori riportano il seguente passo tratto da un suo articolo del 1967, dal titolo "Mente, vita e materia": "La selezione, intesa come riproduzione di determinate strutture organiche a preferenza di altre, non viene a rigore operata dall'ambiente sulla base del ventaglio di possibilità offerte dal materiale ereditario con le sue mutazioni; in concreto, essa viene operata dal materiale ereditario stesso, che *accetta* dall'ambiente determinati apporti e ne *respinge* altri in base alla propria struttura formale, ovvero attraverso il *crivello* delle leggi fisico-chimiche che determinano la riproducibilità o meno di tale struttura in quel certo ambiente"³.

Somenzi sviluppò questo suo approccio, che pone in primo piano l'idea, attualissima, della percezione come selezione e la centralità del concetto di struttura formale e di organizzazione del materiale ereditario, avendo presenti "i processi di replicazione e trascrizione dell'informazione genetica codificata nel DNA e considerando i problemi implicati nell'ipotesi che, attraverso il processo selettivo, vi sia un'ulteriore apporto di informazione da parte dell'ambiente, sotto forma di *un'interpretazione* del messaggio ereditario. Il programma genetico è soggetto a mutazioni e ricombinazioni, e queste variazioni potranno propagarsi all'interno del pool genetico della popolazione solo se saranno in grado di 'selezionare' strutture, presenti nell'ambiente, che siano vantaggiose

¹ G. Corbellini, R. Cordeschi, *Natura, macchine, cervello e conoscenza. Attualità del pensiero di Somenzi*, in *Vittorio Somenzi. Antologia e Testimonianze 1918-2003*, Fondazione Banca Agricola Mantovana, 2011, pp. 33-45

² *Ibidem*, p. 42

³ V. Somenzi, "Mente, vita e materia", in *Giornale critico della Filosofia*, 1967, 3, p. 348.

dal punto di vista della sopravvivenza e della riproduzione del fenotipo che ne è portatore”⁴.

Per cogliere pienamente il significato di questo commento va brevemente richiamato il meccanismo del sistema immunitario descritto da Edelman, che nel 1969 fornì la prima descrizione completa di una molecola di anticorpo, da cui risultavano confermate tutte le straordinarie caratteristiche funzionali di questa proteina, soprattutto il fatto che è composta di parti variabili e di parti costanti. In un’opera scritta in collaborazione con Giulio Tononi lo stesso Edelman così ne sintetizza il funzionamento: “I vertebrati sono in possesso di uno straordinario sistema cellulare capace di distinguere tra le molecole estranee (i batteri, i virus, e persino la cute di un’altra persona, dalle molecole del proprio corpo (o soma)). Il riconoscimento viene effettuato da un complesso di proteine eccezionali, gli anticorpi, prodotti dalle cellule del sangue circolante. Gli anticorpi presentano siti speciali che combaciano o si legano a parti di altre molecole, praticamente come una stampatrice di biscotti combacia con un biscotto di forma determinata. L’aspetto straordinario è che praticamente ogni molecola estranea, o antigene, iniettata nel corpo indurrà la produzione di un anticorpo complementare, che sarà poi essenziale nella difesa immunitaria che seguirà”⁵.

Quello che possiamo chiamare, riferendoci a questa spiegazione del funzionamento del sistema, il “sé immunologico” attiva, dunque, una prima forma di distinzione del “sé” dal “non sé”, basata sul principio della corrispondenza di forme e sul riconoscimento che ne scaturisce. Questo processo è particolarmente interessante perché mostra come nel corpo e nella sua pura fisicità siano presenti e attivi legami di correlazioni strutturali che svolgono il ruolo di *vincoli*, che canalizzano lo sviluppo futuro attraverso meccanismi di riconoscimento e di selezione che incidono, appunto, su questo sviluppo. “La teoria che in origine spiegava l’adattamento complementare tra antigene e anticorpo era una teoria ‘istruzionista’: l’anticorpo avrebbe dovuto *piegarsi intorno alla sagoma dell’antigene e conservare la ripiegatura* opportunamente plasmata. Questa teoria si è rivelata erronea. Il sistema immunitario funziona invece per selezione somatica. A fondamento del riconoscimento molecolare di un numero enorme di differenti molecole estranee vi è la *variazione somatica dei geni che specificano gli anticorpi di ciascun individuo*. Viene così favorita la produzione di un vasto repertorio di anticorpi, *ognuno con un differente sito di legame*. All’esposizione dell’enorme repertorio di anticorpi differenti a una molecola estranea fa seguito la selezione e la proliferazione delle cellule che producono esclusivamente gli anticorpi che con buon margine si adattano alla struttura chimica estranea di un determinato antigene, anche di una struttura mai esistita nella storia della terra. I meccanismi e i tempi degli eventi selettivi sono ovviamente diversi tra evoluzione e immunità, ma i principi sono gli stessi. Sono i processi darwiniani della variazione e della selezione”⁶.

Il senso dello spostamento dalla teoria precedente a quella di Edelman è chiaro e ha conseguenze di indubbio rilievo sul piano gnoseologico generale. La concezione che lo stesso Edelman chiama “istruzionista” si fondava sull’ipotesi che, nel sistema immunitario, la molecola estranea trasmettesse informazioni sulla propria forma e struttura al sito combinatorio della molecola dell’anticorpo per poi ritrarsi (al modo in cui dalla pasta per dolci si toglie lo stampino per formare i biscotti), *lasciando un incavo di forma complementare*, capace di legarsi, in seguito, con tutte le molecole estranee le cui regioni fossero di forma uguale a quella che era servita per dare la prima impronta. Questo è manifestamente un processo istruttivo, in cui la forma, determinante, come si è visto, per il funzionamento dell’intero meccanismo, viene “importata” dall’esterno, come informazione trasmessa dall’ambiente. La spiegazione fornita da Edelman si basa invece

⁴ G. Corbellini, R. Cordeschi, *Natura, macchine, cervello e conoscenza. Attualità del pensiero di Somenzi*, cit., p. 43.

⁵ G. Edelman-G. Tononi, *Un universo di coscienza*, Einaudi, Torino, 2000, p. 99.

⁶ *Ivi* (i corsivi sono miei).

sul presupposto che nello stesso corpo sia già disponibile, *prima dell'interazione con l'ambiente e indipendentemente da essa*, un sistema selettivo di riconoscimento capace di distinguere le molecole estranee (non sé) da quelle proprie del corpo (sé) grazie alla loro forma diversa, e che ovviamente si attiva quando dall'esterno arrivano molecole estranee, cioè solo in seguito allo scambio interattivo con l'ambiente medesimo. Questo spostamento dall'esterno all'interno del meccanismo di produzione delle forme e di loro riconoscimento ha un rilievo teorico generale, data l'importanza che un meccanismo di questo genere assume ai fini del successivo sviluppo di più complessi processi percettivi e cognitivi.

Infatti lo stesso Edelman non manca di sottolineare il senso e l'incidenza, anche per quanto riguarda la teoria generale della conoscenza, di questo spostamento. A suo giudizio, infatti, la teoria istruzionista si basa ben precisi presupposti circa il rapporto tra organismo vivente e ambiente, che possono essere sintetizzati così: "gli oggetti del mondo appartengono a categorie prefissate; esistono descrizioni essenziali delle cose; i concetti e il linguaggio poggiano su regole che acquistano significato grazie a un'assegnazione formale alle categorie prefissate del mondo; la mente funziona attraverso quelle che sono chiamate 'rappresentazioni mentali'. Alcuni ritengono che tali rappresentazioni si esprimano mediante un linguaggio proprio del pensiero - 'mentalese', come lo chiama il filosofo Jerry Fodor. Il significato consiste nelle corrispondenze *precise* che vengono assegnate tra i simboli di tale linguaggio e le entità o categorie del mondo, definite da condizioni individualmente necessarie e congiuntamente sufficienti (categorie classiche)"⁷. Ben diverso è lo scenario di fronte al quale ci si trova se si adotta l'idea che l'interazione tra organismo vivente e ambiente sia regolata da un meccanismo che si basa sulla selezione e non su istruzioni. In tal caso, infatti, dobbiamo cominciare con lo sbarazzarci della radicata convinzione che nell'ambiente vi siano delle caratteristiche predefinite, le informazioni, che vengono trasferite da esso al cervello e da questo elaborate in base a programmi computazionali. Questo presupposto, a giudizio di Edelman, risulta falsificato da accurate indagini sperimentali che mostrano come individui differenti non rappresentino una categoria nello stesso modo, e come lo stesso individuo cambi la propria visione dell'appartenenza di categoria a seconda del contesto. "Ciò si accorda con il fatto che le categorie sono di origine eterogenea: nella realtà, per determinare l'appartenenza a una categoria, gli esseri umani fanno uso di proprietà che sono interattive e che dipendono da diverse variabili biologiche, culturali e ambientali"⁸.

A stabilire quali partizioni del mondo esterno sono rilevanti per la sopravvivenza sono dunque le funzioni organiche, che dipendono, a loro volta, dalle strutture che le supportano. L'ambiente non contiene caratteristiche predefinite per un organismo, in quanto possono darsi un numero enorme di modalità di suddividere una nicchia ecologica, che dipendono dall'organizzazione percettiva e comportamentale dell'organismo che la utilizza.

Il problema che veniva così posto al centro dell'attenzione era proprio quello, sul quale Somenzi aveva incardinato la sua prospettiva teorica, del ruolo attivo che i sistemi viventi assumevano nel loro scambio d'informazione con l'ambiente non solo selezionando l'informazione trasmessa da quest'ultimo ma estraendo, in base alla loro struttura formale e organizzazione interna, l'informazione dall'ambiente medesimo.

Questo modo di impostare il problema dello scambio d'informazione presupponeva un ripensamento del modello tradizionale della comunicazione in generale, e di quella linguistica in particolare, fondato sull'idea che quest'ultima sia essenzialmente un processo di trasferimento dell'informazione dal mittente al destinatario, nel quale il messaggio deve rimanere il più possibile inalterato. Proprio di questa revisione si stava occupando, più o meno negli stessi anni in cui Somenzi elaborava il suo approccio epistemologico, basato sui concetti di informazione e selezione e che puntava l'attenzione

⁷ G.M. Edelman, *Sulla materia della mente*, Adelphi, Milano, 1993, p. 353.

⁸ *Ibidem*, p. 365.

sui processi di interpretazione del messaggio nella relazione tra l'organismo vivente e l'ambiente, un gruppo di ricerca che operava all'altro capo del continente europeo a Tartu, in Estonia. Si trattava degli studiosi che operavano all'interno della Moskovsko-Tartuskaja semiotičeskaja škola (Scuola semiotica di Tartu-Mosca) fondata da Jurij Michajlovič Lotman (1922-1993), che annoverava tra i suoi membri Boris Uspenskij, Vjačeslav Ivanov, Vladimir Toporov, Michail Gasparov e altri. Il suo organo ufficiale era una rivista dal titolo *Trudy po znakovym sistemam* (Lavori sui sistemi di segni), il cui primo numero è uscito nel 1964 e che è attualmente la più antica rivista di semiotica del mondo. La cosa interessante ai fini del nostro discorso è che l'elaborazione teorica di questa scuola si rifaceva esplicitamente, come vedremo, a un interessante e pionieristico modello di teoria dei sistemi e di epistemologia evoluzionistica.

Va segnalato l'apporto che alle ricerche del gruppo raccolti intorno a Lotman fornì uno dei più grandi matematici del XX secolo, Andrej Nikolaevič Kolmogorov (1903-1987), il quale, oltre a porre su solide base matematiche il calcolo della probabilità, nella monografia *Concetti fondamentali di probabilità*, pubblicata in Germania nel 1933, nel 1965 aveva pubblicato un lavoro, dal titolo *Problems Of Information and Transmission*, nel quale aveva mostrato come misurare la quantità di mutua informazione di un oggetto (finito) in rapporto a un altro e aveva posto le basi della teoria algoritmica della complessità, definendo la complessità $C(x)$ di un problema (o di un'entità) x come la lunghezza del più piccolo programma p che, eseguito da un elaboratore universale U risolve (o produce) x :

$$C(x) = \min_p \{|p| : U(p) = x\}$$

Questa complessità di Kolmogorov è una misura di casualità (*randomness*).

L'idea interessante era quella di misurare la complessità con la più concisa descrizione delle "strutture regolari" del problema (entità), assumendo che sono semplici i problemi (o le entità) caratterizzati da estrema regolarità o casualità, perché c'è poco o nulla da descrivere, mentre sono complessi i problemi (o le entità), come le immagini frattali, caratterizzati da strutture regolari "lunghe" da descrivere. Ad esempio l'insieme di Mandelbrot è certamente più complesso di un'immagine casuale, ma il programma che lo descrive è estremamente più sintetico. È altresì interessante ricordare che la complessità di Kolmogorov può essere estesa per tenere in considerazione il tempo t e lo spazio di memoria m richieste per il calcolo e che, in parallelo alla complessità computazionale, grazie ai contributi, oltre che dello stesso Kolmogorov, di Poincaré, Lyapunov e Andronov, si parla di teoria della complessità pensando ai comportamenti di non equilibrio dei sistemi dinamici, al caos deterministico, all'emergere di comportamenti nuovi dovuti all'interazione delle parti (non lineari) di un sistema, alla complessità delle reti di interazione. Il concetto centrale in questo contesto è quello di non linearità, cioè il non poter scomporre il problema in sottoproblemi per poi ricomporre i risultati parziali. L'interazione tra sistemi non lineari (o anche l'interazione non lineare tra sistemi lineari) può far nascere nuovi fenomeni, che non si osservano sulle singole parti.

Tutto questo è ampiamente noto: forse meno noto è il fatto che, proprio in seguito alla collaborazione con Lotman, Kolmogorov si dedicò anche allo studio del linguaggio dei poeti e dell'"entropia", intesa come perdita di significato, di senso e proprietà, dei testi letterari e poetici, concentrando in particolar modo la sua attenzione sul processo di assimilazione e interpretazione del testo da parte lettore. A questo proposito egli, con la collaborazione di Lotman, sviluppò un modello della comunicazione linguistica alternativo a quello classico di Jakobson, in quanto basato sull'idea che la comunicazione medesima, e in particolare quella non banale e interessante, non è mai un semplice trasferimento di

informazione dal mittente al destinatario, nel quale il messaggio rimane inalterato, bensì un autentico procedimento di traduzione dalla “lingua dell’io” alla “lingua del tu” che deve tenere adeguatamente conto dell’ibridazione e del rimontaggio particolare che l’impasto linguistico del testo subisce inevitabilmente in seguito alla relazione con le lingue che già esistono nella coscienza del destinatario (o del lettore) e con i suoi processi di soggettivazione. Si forma così “in certo qual modo una nuova lingua creola”⁹, di secondo/altro ordine, com’è la stessa lingua poetica. Un tessuto di per sé già creolo che, nonostante le “equivalenze” e i “parallelismi” che strutturano il sistema come costanti, mescola elementi diversi e livelli eterogenei gerarchizzati (insieme di insiemi e sottoinsiemi) e genera una comunicazione differenziata e determinata che, in entrata come in uscita, non si sottrae a ulteriori riletture negentropiche. “Tutto ciò naturalmente ha portato al problema dello studio dell’entropia della lingua poetica”¹⁰. Se tra i diversi livelli in cui si articola il testo poetico non si mantiene la “dismisura” che li mescola e li potenzia, il linguaggio della poesia non può dire e suggerire ciò che invece non può fare la sequenzialità della scrittura lineare e codificata.

È proprio su questo specifico aspetto che interviene Kolmogorov con un apporto teso a definire la *plasticità* della lingua come possibilità “di esprimere lo stesso contenuto con mezzi diversi, aventi pari valore”¹¹, o come ciò che si potrebbe definire come il *plusvalore* significante della “lingua creola”. A suo giudizio per caratterizzare l’entropia del linguaggio poetico può essere adottata la seguente formula:

$$H=h_1+h_2$$

La quale afferma che l’entropia H è uguale alla capacità d’informazione (h_1) più la flessibilità del linguaggio (h_2), cioè la possibilità di trasmettere il medesimo contenuto in differenti modalità equivalenti.

Per comprendere bene il significato di questa formula occorre tener conto delle due esigenze contrastanti presenti nell’elaborazione del linguaggio poetico ed espresse, appunto, da h_1 e da h_2 : “.Perché la struttura generale del testo conservi la sua capacità informativa, deve uscire costantemente dalla condizione di automatismo, propria delle strutture non artistiche. Opera tuttavia contemporaneamente la tendenza contrapposta: solo gli elementi posti in certe successioni preindicate possono adempiere alla funzione di sistemi comunicativi. In tal modo, nella struttura del testo artistico agiscono contemporaneamente due contrapposti meccanismi: il primo cerca di sottoporre al sistema tutti gli elementi del testo, di trasformarli in una grammatica automatizzata, senza la quale è impossibile l’atto di comunicazione, l’altro cerca di distruggere questa automatizzazione e di rendere la struttura stessa portatrice di informazione”¹².

Ciò che fa di uno scritto un testo di poesia, dice dunque Kolmogorov, è la polisemia, ossia la plasticità della “lingua creola”, ma *estraneata* rispetto allo standard e all’univoco o equivoco della stessa lingua di prima modellizzazione, quella materiale-letterale. In base a questa premessa d’ordine generale “la creazione poetica è possibile solo finché la quantità d’informazione utilizzata per le limitazioni (β) [quelle concernenti il ritmo, la rima, le norme stilistiche o lessicali ecc.] non supera ($\beta < h_2$), la plasticità del testo. In una lingua

⁹ Jurij M. Lotman, *Struktura chudožestvennogo teksta*, Moskva 1970 (tr. it. *La struttura del testo poetico*, Mursia, Milano, 1972, p. 33.

¹⁰ *Ibidem*, p. 35.

¹¹ *Ivi*.

¹² *Ibidem*, p. 93.

con $\beta \geq h_2$ la creazione poetica è impossibile”¹³. Ciò significa, detto altrimenti, che se la plasticità della lingua (“ h_2 ” di “H”, che è la lingua letterale-materiale) viene sopraffatta dal significato “ h_1 ” della stessa lingua “H”, ovvero dall’informazione della lingua naturale semplicemente decodificata nel suo significato più scontato, allora non si genera la poeticità, perché proprio “ h_2 ” è la fonte della poesia e della sua complessità non lineare, e se essa viene soffocata o sopraffatta c’è entropia, la stabilità dell’equilibrio, o la morte della quiete: si blocca lo scambio energetico tra gli organismi, le forme e l’ambiente.

Le lingue con “ $h_2 = 0$ ”, come quelle dell’artificialità scientifica che, per esempio, non hanno sinonimi, non sono utilizzabili come materiale per la poesia. Esse tendono a eliminare quanto più possibile l’ambiguità, cioè quel momento critico in cui il processo mentale si trova di fronte a una biforcazione, dovuta al fatto che si è abbandonata la via della coincidenza isomorfa e tra il piano del significante e il piano del significato, i quali risultano quindi strettamente fusi tra loro. Questa via è *sem-plice*, nel senso etimologico della parola – dal latino *semel plectere*, piegare una sola volta. Per comprendere un testo poetico bisogna attribuire alla *com-plexità* la funzione e l’importanza che essa riveste quando si ha a che fare con un elevato h_2 , cioè con un’alta plasticità e flessibilità della lingua. La parola “complessità” evoca una molteplicità di idee e di significati che si intrecciano, e sinergicamente e sistemicamente collaborano e competono nell’elaborazione del linguaggio, che si piega e si ripiega in molte pieghe (si fa verso), stendendosi in maniera complessa e aggomitata. Il testo poetico, quale *mix* temporale di alta complessità diveniente – *tempus* po(i)etico molteplice, in cui il ritmo stesso è molteplicità di variabili che procedono esplodendo e implodendo in termini non lineari –, si piega a più riprese, per cui è impossibile trattarlo come una prassi semantica sottoponibile a letture semplificate, o a semplici procedure statistiche blindate, o a combinazioni commutative numerico-binarizzate.

Queste considerazioni relative all’incidenza della complessità e alle conseguenze che ne derivano non riguardano soltanto il linguaggio poetico, in quanto possono essere estese a tutte quelle forme di elaborazione linguistica e di scambio dialogico in cui la comunicazione non è banale in quanto esige l’intervento di processi di traduzione e fa emergere nuovi significati, dovuti all’interpretazione del messaggio originario.

La cosa interessante da rilevare, per tornare all’epistemologia evoluzionistica, è che questi sviluppi della semiotica avvennero dichiaratamente, come si è anticipato, per influsso e sotto il segno dell’opera di un pioniere di questo orientamento, Vladimir Ivanovič Vernadskij (1863-1945), allievo di D.I. Mendeleev e V.V. Dokučaev, professore di cristallografia e di mineralogia all’università di San Pietroburgo, che lo seguì direttamente nelle sue prime ricerche teoriche e sperimentali.

Dokučaev nel 1879 aveva svolto all’università il primo corso di geologia quaternaria che si rammenti negli annali della storia della scienza e a partire dall’anno successivo aveva assunto la titolarità della cattedra di mineralogia e cristallografia. Percorrendo con i suoi collaboratori grandi tratti del territorio della Russia europea si rese conto che con il variare delle condizioni climatiche mutava non solo la coltre vegetale, ma anche la natura dei suoli. La cosa era resa particolarmente evidente grazie alla specifica situazione che si registrava nelle grandi pianure russe, dove morfologia e substrato non cambiavano molto e quindi l’azione del clima sulla vegetazione e sulla pedogenesi era meglio osservabile.

Egli constatò inoltre che muovendo dalla pianura e risalendo le pendici di una catena montuosa si incontravano varie fasce di vegetazione a cui si sovrapponevano, ovviamente senza identificarvisi, fasce caratterizzate da suoli assai diversi.

Sulla base di queste osservazioni giunse a sviluppare uno dei concetti centrali dell’intera sua impostazione di studio e di ricerca, quello di paesaggio geografico come unità dei processi, che si verificano sulla superficie terrestre, e attribuì particolare importanza alla distribuzione zonale geografica dei suoli, perché proprio nei suoli si realizza un più intimo

¹³ *Ibidem*, p. 35.

incontro del mondo organico col mondo inorganico e perché proprio i suoli dimostrano una più significativa distribuzione in zone altitudinali.

Questa impostazione gli permise di elaborare i concetti di zonalità orizzontale e zonalità verticale, intendendo con queste espressioni il susseguirsi delle varie regioni pedoclimatiche secondo la latitudine, dall'equatore ai poli, e delle diverse fasce disposte secondo l'altitudine nei grandi complessi montuosi. Queste idee ebbero una grandissima influenza sullo sviluppo di diversi settori della ricerca scientifica.

Nel quadro generale di questa direzione di indagine, caratterizzata da una forte impronta di tipo genetico ed evolutivo, egli riprese e inserì lo studio della terra nera russa, a cui si era dedicato già all'inizio della sua attività di ricerca, "terra benefica, che rappresenta la ricchezza fondamentale della Russia, che non ha confronto con nessun'altra"¹⁴. E nel dar corso a questi suoi interessi di carattere teorico egli non perdeva mai d'occhio le risultanze pratiche che ne potevano scaturire, convinto che risultati significativi e conseguenze importanti dal punto di vista applicativo potessero emergere soltanto da un'analisi attenta e rigorosa dei fenomeni naturali e delle loro relazioni reciproche e da un approccio capace di prendere in considerazione, nei limiti del possibile, la natura nella sua globalità, come un qualcosa di unico e indissolubile, e non singoli suoi aspetti o parti.

Del suo maestro, che nel 1894, tre anni prima del suo collocamento a riposo per motivi di salute andò a occupare la prima cattedra di pedologia istituita in Russia, Vernadskij ricordò sempre e apprezzò in particolare questo aspetto, che egli ereditò e a cui cercò costantemente di ispirarsi nello sviluppare il suo programma di ricerca. Questo approccio di carattere sistemico e olistico, per un verso, ed evoluzionistico, per l'altro, era, a suo giudizio, tanto più efficace nell'impostazione di Dokučaev, in quanto questi non l'intendeva come una metodologia generica e priva della necessaria precisione, ma ne traeva lo spunto per costruire con la massima consapevolezza l'oggetto specifico della propria ricerca, vale a dire *il terreno naturale* o *suolo*. Questo è un tratto caratteristico della massima importanza della sua attività di ricerca, secondo Vernadskij, che infatti nel ricordo che gli dedica concentra l'attenzione proprio su questo aspetto.

L'approccio sistemico ed evoluzionistico consentì a Dokučaev di assumere il "suolo" come entità vivente, in continua trasformazione, come il risultato delle molteplici trasformazioni avvenute a carico del substrato a opera degli agenti climatici e biologici. Tali azioni hanno avuto luogo in una determinata posizione del paesaggio e sono state di durata più o meno lunga. Quasi sempre c'è stata altresì un'influenza diretta o indiretta dell'uomo, spesso di considerevole entità. In questo modo nella definizione e nello studio di questo oggetto venivano a confluire considerazioni e indagini concernenti il substrato pedologico, il clima, la vegetazione, la microflora e la fauna del suolo, il rilievo, il tempo e l'uomo. "Egli si rese conto che l'oggetto specifico, che si ottiene in questo modo, non può in alcun modo essere confuso con la parte superiore, resa soffice in seguito a un'azione meccanica e via via modificata, che si stende sotto il terreno roccioso. Questa sua idea penetrò in modo lento e progressivo nella coscienza comune, non senza essere andata prima incontro a una serie nutrita di obiezioni. Ci sono del resto molti elementi di indeterminatezza e di vaghezza legati a essa. Ad esempio non è affatto chiaro dove si debba tracciare il confine inferiore del suolo o terreno naturale così definito, come pure non è per nulla evidente la differenza tra i suoli e i prodotti soffici di alcune alterazioni chimiche sul globo terrestre. Ma questi elementi di indeterminatezza non spariscono certo se si riconduce il concetto di suolo a quello di terreno roccioso, con il quale esso è stato a lungo confuso, secondo un'impostazione che Dokučaev si incaricò di confutare, al contrario in tal caso essi si

¹⁴ V.V. Dokučaev, *Russkij černozem* (La terra nera russa), in *Sočinenija* (Opere), vol. 3, Moskva-Leningrad, AN SSSR, 1949, p. 495.

ingigantiscono e si moltiplicano, divenendo altresì più marcati e meno facilmente risolvibili"¹⁵.

Altrettanto forte, anche se non facilmente identificabile e riconducibile a specifici punti, fu l'influenza esercitata sul giovane Vernadskij da Mendeleev, il quale, oltre a fornirgli le basi della sua profonda competenza nello specifico campo della chimica, contribuì in maniera determinante alla formazione del suo "stile di pensiero", del suo orizzonte teorico, del suo stesso modo di porsi di fronte ai complessi problemi che in quegli anni caratterizzavano il mondo della ricerca.

2. Vernadskij e la cultura del confine

Uno dei contributi più originali di questo poliedrico scienziato è lo studio sistemico della materia vivente, come insieme degli organismi viventi localizzato in uno spazio preciso e circoscritto, che occupa una posizione ben definita e ha una funzione altrettanto ben specificata all'interno di quel grande sistema che è la Terra nel suo complesso. Dal punto di vista geochimico quest'ultima va assunta "come un sistema chiuso la cui parte esterna (crosta) può essere considerata, a sua volta, come un distinto sistema fisico-chimico entro il quale si è verificata, fin dai tempi più antichi, e si verifica tuttora, una migrazione di materiale in parte per fenomeni meccanici indotti da movimenti orogenetici o da forze gravitazionali, in parte per fenomeni fisico-chimici e biochimici. In questa crosta terrestre distinguiamo una serie di involucri disposti concentricamente, sebbene le loro superfici di contatto, in generale, non siano sferiche. Ciascun involucro concentrico è caratterizzato da propri sistemi di equilibrio dinamici, fisici e chimici, in buona misura indipendenti e chiusi. [...] La scoperta di questi involucri terrestri è avvenuta per lungo tempo per via empirica. Alcuni di essi, per esempio l'atmosfera, sono stati individuati secoli fa, e la loro esistenza è entrata a far parte della nostra vita quotidiana. Solo verso la fine del XIX secolo e l'inizio del XX furono intraviste le ragioni che sono alla base della formulazione del concetto generale di involucro, ma finora la comprensione del loro ruolo nella struttura della crosta terrestre non è ancora entrata a far parte della coscienza scientifica generale. La loro formazione è strettamente legata al chimismo della crosta terrestre e la loro esistenza è conseguenza del fatto che tutti i processi chimici della crosta terrestre sono soggetti alle stesse leggi meccaniche dell'equilibrio. Grazie a ciò, pur nella estrema complessità della struttura chimica della crosta terrestre, balzano comunque agli occhi tratti comuni che, con approcci empirici, permettono di distinguere nei complessi fenomeni naturali le loro condizioni fondamentali e classificare i complicati sistemi di equilibri dinamici ai quali, in simili schemi semplificati, sottostanno gli involucri terrestri. Le leggi degli equilibri, nella loro forma matematica generale, sono state messe in luce tra il 1884 e il 1887 da J. Gibbs, che le ha ridotte a un rapporto possibile tra variabili indipendenti che caratterizzano i processi fisici o chimici, quali la temperatura, la pressione, la condizione fisica e la composizione chimica dei corpi che prendono parte ai processi.

Tutti gli involucri terrestri (*geosfere*), individuati empiricamente, possono essere caratterizzati da alcune variabili che figurano negli equilibri studiati da Gibbs. E così appare possibile distinguere: gli involucri termodinamici, che sono determinati dai valori della temperatura e della pressione; gli involucri fisici, caratterizzati dalla condizione fisica (solida, liquida, ecc.) dei corpi che li compongono e, infine, gli involucri chimici, che si

¹⁵ V.I. Vernadskij, *Stranica iz istorii počvovedenija. Pamjati V.V. Dokučeva* (Pagina di storia della pedologia. Ricordi di V. V. Dokučev), in *Trudy po istorii nauki v Rossii* (Lavori di storia della scienza in Russia), Moskva, Nauka, 1988, p.280.

distinguono per la loro composizione chimica. Da questo elenco è rimasto fuori solo l'involucro individuato da E. Suess, la biosfera"¹.

Se con il termine "geosfere" Vernadskij indica dunque gli involucri terrestri tra i quali avviene la migrazione degli elementi chimici la biosfera è invece la specifica pellicola geologica esterna che riveste il nostro pianeta e che è radicalmente diversa dagli altri suoi involucri. "Nell'ambito del pianeta la biosfera occupa un posto ben determinato, esprimibile mediante precise leggi, e si presenta in esso come una parte specifica e isolata del tutto.

La materia vivente, al pari della biosfera, ha una sua specifica modalità d'organizzazione e può essere considerata come una *funzione della biosfera*, esprimibile anch'essa tramite regolarità ben determinate.

Questo tipo di *organizzazione* non ha nulla a che vedere con un meccanismo. La sua differenza più netta rispetto a quest'ultimo sta in particolare nel fatto che essa si trova continuamente in uno stato dinamico, caratterizzato dal movimento di tutte le sue particelle materiali ed energetiche, anche delle più piccole. Se ci vogliamo riferire alle generalizzazioni della meccanica e servire di un modello semplificato, possiamo esprimere l'evoluzione di questa organizzazione nel tempo dicendo che nessuno dei punti che la compongono (materiale o energetico che sia) torna mai a occupare, per effetto di una qualche legge, la medesima posizione, lo stesso punto della biosfera nel quale gli sia capitato di trovarsi in un istante precedente qualsiasi. Se ciò accade, è solo per effetto della pura casualità matematica, con un grado di probabilità ovviamente molto basso.

L'involucro terrestre, la biosfera, che avvolge tutto il globo terrestre, ha un'estensione rigorosamente stabilita: essa, in definitiva, è determinata dalla presenza al suo interno della materia vivente, è cioè *popolata* da quest'ultima. Tra la sua parte priva di vita, e dunque inerte, i suoi corpi naturali inerti e le sostanze viventi che la abitano, si attua un continuo scambio di materia e di energia, che ha la sua espressione materiale nel movimento degli atomi, provocato dalla materia vivente. Questo metabolismo nel corso del tempo si presenta sotto forma di un *equilibrio* che muta in modo regolare, e tende di continuo verso la stabilità. Esso penetra tutta la biosfera, ed è proprio a questa *corrente biogena di atomi* che si deve, in larga misura, la formazione della biosfera medesima. Per tutta la durata del tempo biologico la biosfera è dunque legata in modo indissolubile alla materia vivente che la popola.

In questa corrente biogena di atomi e nell'energia a essa collegata si palesa all'improvviso tutto il valore planetario, cosmico della materia vivente. Poiché la biosfera costituisce l'unico involucro terrestre, nel quale penetrano di continuo l'energia cosmica, le radiazioni cosmiche e prima di tutto quelle provenienti dal Sole, che alimentano costantemente e mantengono vivo l'equilibrio dinamico e l'organizzazione che da esso scaturisce: 'biosfera ⇔ materia vivente'.

Dal livello del geoide la biosfera si estende verso gli strati superiori fino ai confini della stratosfera, penetrando anche all'interno di quest'ultima; è invece poco probabile che essa possa spingersi sino alla ionosfera – il vuoto elettromagnetico terrestre, che solo da poco è divenuto oggetto di indagine da parte del pensiero scientifico. Al di sotto del livello del geoide la materia vivente penetra invece nella stratosfera e nelle regioni superiori degli involucri metamorfico e granitico. Riferendosi alla sezione del pianeta si può dunque dire che tale materia verso l'alto arriva a circa 20-25 km al di sopra del livello del geoide, mentre verso il basso raggiunge in media i 4-5 km al di sotto di questo stesso livello. Questi confini mutano però nel corso del tempo e localmente, per estensioni invero piuttosto limitate, la penetrazione della materia vivente riesce a sfondare anche di molto questi limiti. Ad esempio nelle profondità marine essa riesce qua e là a scendere al di sotto degli 11 km, ed è stata appurata la sua capacità di radicarsi anche oltre i 6 km. Per quanto riguarda la stratosfera, l'uomo proprio di recente è riuscito a spingersi fino a 40 km al di sopra del livello del geoide: e questa quota di sconfinamento è destinata a innalzarsi

¹ V.I. Vernadskij, *Biosfera*, Naučno-Chimičeskoe-techničeskoe izdatel'stvo, Leningrad 1926, p. 5.

rapidamente con i progressi della tecnologia. E siccome la vita dell'uomo è inseparabile da quella degli altri organismi – insetti, piante, microbi – con l'uomo è l'intera materia vivente che dilata i propri confini.

Con il procedere del tempo geologico si assiste pertanto a un processo di continua estensione dei limiti della biosfera e della materia vivente che in essa s'installa, popolandola².

Nonostante l'eccezionale importanza di questo specifico ambiente, che è quello in cui si sviluppa la vita e la rende possibile, il pensiero scientifico – osserva Vernadskij – non si è molto curato di assumerla come oggetto di un'indagine approfondita e sistematica e di analizzare il nesso che sussiste tra la sua organizzazione interna e, appunto, la comparsa degli organismi viventi. Nella sua "Prefazione" alla *Biosfera* egli osserva infatti che "in tutta la letteratura geologica manca un saggio organico sulla biosfera, considerata nella sua interezza come manifestazione necessaria di un meccanismo planetario della crosta terrestre. *La stessa esistenza della biosfera quale prodotto di leggi ben definite non viene presa di solito in considerazione.* La vita sulla Terra viene considerata come un fenomeno casuale e di conseguenza le nostre concezioni scientifiche disconoscono l'influenza della vita sulla continua evoluzione dei fenomeni terrestri; non riconoscono cioè il carattere non casuale dello sviluppo della vita sulla terra e della formazione sulla superficie del pianeta, ai confini con il suo ambiente cosmico, di un involucro particolare impregnato di vita, la biosfera.

Questa caratteristica delle scienze geologiche è strettamente legata a una concezione particolare e storicamente definita dei fenomeni geologici, visti come la manifestazione di tante piccole cause, come un insieme disordinato di accidenti. Si perde così la visione scientifica dei fenomeni geologici come *fenomeni planetari*, le cui regolarità non appartengono solo alla nostra Terra. E scompare anche la nozione di una struttura della Terra come *meccanismo* le cui parti formano un insieme armonioso e indivisibile, e il cui studio non può pertanto prescindere da questa visione complessiva. In geologia generalmente si studiano soltanto i particolari e i dettagli dei fenomeni legati alla vita. L'indagine dei meccanismi d'insieme di cui tali fenomeni fanno parte non viene considerata dal punto di vista scientifico. Di conseguenza, mancando la consapevolezza di questo problema, il ricercatore è portato a trascurare le manifestazioni della vita senza comprenderne l'importanza. [...] Senza volere affermare *a priori* nulla circa l'esistenza di un meccanismo che coordina le diverse parti del pianeta in un insieme indivisibile, l'autore cerca tuttavia di abbracciare da questo punto di vista l'insieme dei fatti empirici stabiliti scientificamente, riconoscendo la perfetta concordanza tra questa concezione e quella che presta la debita attenzione alle manifestazioni geologiche della vita. Sembra all'autore che l'esistenza di un meccanismo planetario che comprende la vita come sua parte integrante, e in particolare la regione in cui essa si manifesta, la biosfera, sia in sintonia con tutti i dati empirici e scaturisca necessariamente dalla loro analisi scientifica³.

Grazie a questa impostazione, così chiaramente enunciata già nella "Prefazione" alla sua opera del 1926, Vernadskij va a buon diritto considerato il fondatore della tradizione di ricerca che mette al centro l'interazione tra il suolo, i mari, i laghi, i fiumi e la vita in essi contenuta e considera gli organismi viventi non semplici spettatori, ma partecipanti attivi e artefici dell'evoluzione della Terra. Alla base di questo indirizzo d'indagine sta la convinzione, anch'essa esplicitamente enunciata, che la Terra e la vita che la abitano costituiscano un solo sistema, che ha la capacità di autoregolarsi in modo da mantenere al suo interno le condizioni adatte alla sopravvivenza degli organismi viventi mediante un processo attivo, sostenuto dall'energia fornita dalla luce solare.

² V.I. Vernadskij, *Filosofskie mysli naturalista*, Nauka, Moskva 1988. Una traduzione parziale di quest'opera è disponibile in italiano: V.I. Vernadskij, *Pensieri filosofici di un naturalista*, trad. it. e a cura di S. Tagliagambe, Edizioni Teknos, Roma 1994. La citazione è alle pp. 8-9 di questa traduzione.

³ V.I. Vernadskij, *La Biosphère*, Librairie Félix Alcan, Paris 1929, pp. IX-XI (Il primo corsivo è mio).

Lo studio di questo grande sistema proprio per la sua specifica natura e organizzazione e per i suoi tratti distintivi così chiaramente enucleati non può essere condotto in modo frammentario e parziale, rispettando i tradizionali confini tra le singole competenze disciplinari. Esso esige un approccio del tutto nuovo e diverso, che frantumi e attraversi ogni barriera divisoria tra campi differenti e proponga un'indagine che abbia attenzione primaria per i problemi teorici da affrontare e risolvere, e non per le suddivisioni del sapere scientifico che sono, tra l'altro, "un fatto formale, esterno e superficiale. Nella vasta arena della vita scientifica internazionale i naturalisti e gli scienziati russi operano faccia a faccia con quelli dei paesi dell'Europa occidentale e del Nuovo mondo, che hanno avuto una diversa formazione e preparazione. Nella letteratura scientifica si manifestano interessi, cresciuti in un terreno diverso da quello costituito dalle pretese 'culture più pure' che le nostre condizioni di vita hanno imposto ai naturalisti, agli storici o ai filosofi.

Ovunque e a ogni passo si presentano di fronte agli storici, ai filosofi, ai naturalisti e ai matematici russi minimamente colti e informati problemi, teorie e spunti di riflessione, strettamente legati a settori e ambiti del sapere che sono per loro lontani, se non addirittura del tutto estranei, proprio in seguito a questa rigida organizzazione della formazione accademica qui da noi. E questa lontananza ed estraneità pesano e incidono, perché anche tra i ricercatori più preparati e specializzati, nei loro lavori, nella loro produzione e nei loro stessi interessi si riflette in un modo o nell'altro e in misura maggiore o minore il tipo di formazione e di sapere, ricevuti al tempo dei loro studi all'università. Per la stragrande maggioranza degli scienziati occidentali questa preparazione preliminare non conosce una così precoce ripartizione dell'insegnamento e del sapere, la cui violazione qui da noi sembra invece tuttora un elemento di dissonanza, una stonatura che strazia la nostra mente. A parte ogni altra considerazione, resta comunque il fatto che, pur all'interno di questa stessa separazione, si presentano alcune condizioni che fanno chiaramente comprendere come si tratti di qualcosa di artificioso, e che inducono di fatto a superare di continuo i confini posti da qualunque genere di cornice preordinata e di limitazione imposta.

Se infatti è ancora possibile tracciare una simile linea di demarcazione tra le scienze storiche e filologiche, da una parte, e le scienze della natura e quelle matematiche, dall'altra, fare la stessa operazione per ciò che riguarda la filosofia e tutte le discipline scientifiche che, in una maniera o nell'altra, hanno a che fare con essa, come la logica, la psicologia, la storia della filosofia, è del tutto impossibile, oltre che insensato. In sostanza il legame che c'è oggi tra la filosofia e le aree della conoscenza che ho appena elencato, da un lato, e le scienze storico-filologiche, dall'altro, è altrettanto sottile e sporadico di quello che sussiste tra le prime e il campo della scienza della natura o della matematica. Esse sono rientrate totalmente all'interno della Facoltà di Storia e filologia per quel complesso di circostanze casuali e quei conflitti di interessi che hanno contrassegnato la storia delle nostre università"⁴.

Questa interdisciplinarietà o, meglio, transdisciplinarietà, non è per Vernadskij un'enunciazione astratta, un semplice slogan propagandistico, ma un obiettivo pratico, un traguardo verso il quale indirizzare un programma di lavoro concreto, nutrito di contributi specifici. «In questi saggi» egli scrive sempre nella "Prefazione" alla *Biosfera*, "l'autore ha cercato di analizzare l'importanza geologica dei fenomeni della vita senza formulare alcuna ipotesi. Al contrario, egli si sforza di mantenere le proprie argomentazioni sul solido terreno delle generalizzazioni empiriche. Basandosi su fatti precisi e indiscutibili, egli tenta di descrivere le manifestazioni geologiche della vita, di fornire un quadro del processo planetario che si svolge intorno a noi. Nello stesso tempo, l'autore ha voluto lasciare da parte i pregiudizi, fortemente radicati nel pensiero geologico, che gli sembrano in contraddizione con le generalizzazioni empiriche della scienza, che costituiscono la fondamentale base conoscitiva del naturalista"⁵.

⁴ V.I. Vernadskij, *Filosofskie mysli naturalista*, cit., p. 389.

⁵ V.I. Vernadskij, *La Biosphère*, cit., p. X.

Così l'indagine biogeochimica, di cui Vernadskij è artefice, si presenta assai articolata e variegata, alimentata di continuo da contributi che hanno la loro matrice originaria e la loro base di sostegno in diversi campi disciplinari, e ciò nonostante non scade mai nel generico. Essa si pone come principale finalità lo studio della materia vivente e della sua funzione nella evoluzione geologica della Terra. A tal scopo ci si preoccupa, in primo luogo, di analizzare la composizione elementare di questa materia, variabile secondo gli organismi, ma anche invariabile per ciò che riguarda un determinato gruppo di elementi, come l'idrogeno il carbonio, l'azoto, l'ossigeno e il fosforo, che sono gli essenziali componenti dei carboidrati, lipidi e protidi; subordinatamente, cioè in quantità assai minore, il magnesio, lo zolfo, il sodio, il cloro, il potassio, il ferro; e infine, in piccolissima quantità, i cosiddetti microelementi, come il boro, il silicio, il manganese, il rame, lo iodio ecc. Tutti questi elementi non sono sempre presenti nella stessa categoria quantitativa (il calcio, ad esempio, può essere talvolta macroelemento, talvolta microelemento, a seconda delle categorie di organismi): appaiono però tutti indispensabili alla vita o comunque inseribili in attività della vita, e proprio per questo sono chiamati *biogeni*. L'indagine biogeochimica ha pertanto il compito fondamentale di accertare la distribuzione negli organismi di questi elementi e la loro funzione, l'incessante storia di migrazioni e concentrazioni di cui ciascuno di essi è protagonista o cui partecipa.

Su questa base essa può riuscire a fornire un quadro efficace dei processi che si attuano nella biosfera e dell'importanza che assumono elementi chimici di essa nel divenire della crosta terrestre. Vernadskij sottolinea come la sostanza della biosfera sia permeata di energia, che ha origine cosmica (soprattutto solare) e si distribuisce attivamente entro tutta l'estensione di questo particolare involucro. Esempi di funzioni chimiche in cui si manifesta questa attività sono: 1) la funzione dei gas, in quanto tutti i gas della biosfera (N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2 , NH_3 , H_2S) sono creati e modificati da biogenesi; 2) la funzione dell'ossigeno, la cui presenza nell'atmosfera è risultato dell'attività fotosintetica; 3) la funzione ossidante, compiuta specialmente da batteri autotrofi; 4) la funzione calcificante, che perlopiù conduce a formazione di $CaCO_3$; 5) la funzione di restituzione, che conduce a creazione di H_2S , FeS_2 , ecc.; 6) la funzione di concentrazione, che si manifesta nell'accumulo di certi elementi chimici; 7) la funzione di decomposizione di composti organici, compiuta da batteri e funghi. Lo studio attento e particolareggiato di queste funzioni consente a Vernadskij di affermare che sulla superficie terrestre non vi è forza chimica più costantemente attiva, e quindi più possente nei suoi risultati finali, di quella che esercitano gli organismi viventi nella loro totalità. E, a suo giudizio, quanto più studiamo i fenomeni chimici della biosfera, tanto più dobbiamo convincerci che non ve n'è alcuno che non dipenda dalla vita.

“Gli organismi viventi presi nei loro insiemi (le materie viventi) si manifestano nella biosfera in primo luogo attraverso l'enorme lavoro chimico che producono. Questo lavoro corrisponde al movimento incessante degli elementi chimici della scorza terrestre (ai loro *cicli geochimici*), movimento prodotto dalla respirazione (scambi gassosi), la nutrizione, il metabolismo degli organismi in generale, dalla loro crescita e dalla loro moltiplicazione.

Questo lavoro deve essere considerato come una manifestazione dell'energia chimica generale della crosta terrestre, dell'energia che determina tutti i fenomeni chimici. Chiamerò d'ora in poi questa energia chimica *energia geochimica*. È essa che, nella chimica della scorza, regola i movimenti innumerevoli, incessanti e infinitamente vari degli elementi chimici, movimenti che costituiscono la base di tutti i processi chimici terrestri.

Considerato in rapporto alle materie viventi il *prodotto di questo lavoro* è eterogeneo: in primo luogo esso è rappresentato dalla *massa* – il peso – degli organismi formati, in secondo luogo dal “*va e vieni*” degli *elementi chimici*, dal tourbillon vitale di Cuvier – che attraverso la respirazione e il metabolismo sostiene la macchina vitale (sostiene la vita) – e in terzo luogo dal *movimento delle masse* viventi, movimento determinato dalla loro moltiplicazione.

L'esistenza di quest'ultimo movimento è forse la proprietà più caratteristica dell'energia geochimica delle materie viventi. Questo movimento si distingue nettamente e profondamente da tutti gli altri corpi (materia bruta), che costituiscono la biosfera.

Tutto questo lavoro è una manifestazione dell'energia chimica inerente alla materia vivente. Esso può aver luogo unicamente in seguito alla partecipazione incessante della materia vivente agli innumerevoli processi chimici della biosfera⁶.

Uno degli obiettivi primari che la scienza nel suo complesso deve perseguire diventa, allora, lo studio del flusso di materia e di energia che si stabilisce fra l'ambiente e i corpi viventi e che alimenta incessantemente i processi vitali. Com'è vero, ad esempio, che l'ossigeno dell'aria è passato più volte attraverso la materia vivente, è altrettanto vero che enormi quantità di carbonio, che la fotosintesi fissa nell'atmosfera, attraversano l'insieme degli organismi vegetali e animali della biosfera durante la loro esistenza. Si hanno così trasformazioni cicliche – *cicli biogeochimici* – operate nella maggior parte dei casi da moltissime specie di microrganismi rappresentanti numerosi tipi fisiologici e che esercitano specifiche attività biochimiche tra loro interdipendenti, cioè simultanee, sinergiche, o antagoniste, o semplicemente competitive.

Questa complessa interdipendenza richiede intanto lo studio della biosfera nella sua interezza e globalità, e poi dà fondamento all'ipotesi dell'esistenza di quel meccanismo che coordina le diverse parti del pianeta in un insieme indivisibile, di cui Vernadskij parla nella più volte citata "Prefazione" ai due saggi raccolti nel volume del 1926, pubblicato col titolo *Biosfera*. Ne scaturisce la costruzione di uno specifico e inedito "oggetto della conoscenza" di grande varietà e complessità, la cui introduzione dilata a dismisura l'orizzonte della ricerca. Si tratta infatti, a questo punto, di studiare la composizione interna, la struttura, l'organizzazione e l'articolazione della biosfera e di seguirne l'incessante divenire.

Questo sistema è ibrido, composto sia di materie viventi, sia di sostanze inerti che si compenetrano e diventano inseparabili, dando luogo a quelli che Vernadskij definisce i *corpi naturali bioinerti*:

"Ho già avuto occasione di fare più volte riferimento ai corpi naturali bioinerti. E' a questo punto necessario spendere due parole su di essi. Tra l'altro ho appena finito di dire che la stessa biosfera può essere considerata come un corpo di questo genere.

In sostanza ogni organismo si presenta come bioinerte. In esso, infatti, non tutto è vivente. Attraverso i processi di nutrizione e respirazione penetrano di continuo al suo interno sostanze inerti, che sono del tutto inseparabili da esso. Spesso vi penetrano come corpi estranei dal punto di vista meccanico, vale a dire come corpi non necessari alla sua vita, o il cui significato per essa non siamo in grado di comprendere. Nel computo complessivo del peso e della composizione chimica dell'organismo vivente nella biosfera non si può fare a meno di considerare questi corpi estranei, la cui presenza si riscontra in ogni momento all'interno dell'organismo. Non c'è infatti nella biosfera alcun organismo vivente che ne sia sprovvisto. Di questo tipo di materia bisogna dunque tener conto (nei suoi valori medi) quando ci si riferisce alle totalità degli organismi, poiché essa è un riflesso della particolare migrazione biogena di atomi, cioè del fenomeno fondamentale, studiato dalla biogeochimica. Non mi soffermerò in modo particolare su questo aspetto, né mi dilungherò in analisi o dimostrazioni: mi limito a fornire uno o due esempi. I lombrichi contengono sempre all'interno del loro corpo tracce di terreno o di fango in una percentuale che rappresenta una parte significativa di esso. Il materiale originario è sottoposto all'interno dell'organismo a *svariate reazioni biochimiche*. Nella biosfera di organismi di questo genere senza una simile presenza non ne esistono neppure per un secondo, il che sta a indicare concretamente che essa costituisce una condizione imprescindibile della loro stessa esistenza. Nella biogeochimica dobbiamo pertanto assumerli e studiarli nel modo in cui si danno concretamente, e non in una forma ideale, purificata e liberata da queste sostanze che sono sempre riscontrabili al loro interno.

⁶ V. Vernadskij, *Études Biogéochimiques. Sur la vitesse de la transmission de la vie dans la biosphère*. Presentato all'Accademie delle Scienze dell'Urss il 12 maggio 1926, «Izvestija Akademii Nauk CCCR» (Bollettino dell'Accademia delle scienze dell'URSS, 1926, N° 9, pp. 727-728).

Questo che ho fatto è l'esempio più appariscente, ma per ogni organismo vivente abbiamo sue parti, che nel processo vivente, nelle migrazioni di atomi che alimentano la vita (nell'equilibrio vitale continuamente variabile, nei fenomeni del metabolismo, della nutrizione e della respirazione) non possono essere considerate qualcosa di disgiunto dalla vita. L'organismo vivente è sempre, almeno in una certa misura, un corpo naturale bioinerte, ma in esso, nelle fasi della vita, la materia vivente, prevale sempre nettamente per quel che riguarda la massa, ma non necessariamente per ciò che concerne il volume. Preso nel suo insieme questo corpo bioinerte evidenzia con chiarezza le sue proprietà di sistema vivente, anche nel caso in cui esse non siano prevalenti dal punto di vista del volume. Ad esempio in vari organismi la gran parte dello spazio che essi riempiono è occupata da sacche e cavità di gas, che naturalmente non sono qualcosa di vivente e pur tuttavia, come vedremo oltre, sono differenti sotto il profilo geometrico dai corpi naturali inerti⁷.

Come tutti i sistemi naturali bioinerti la biosfera ha una natura essenzialmente dinamica, che si manifesta anzitutto nell'attività di scambi di materia fra organismi e ambiente: materia allo stato solido, liquido, gassoso. Si manifesta altresì nelle numerosissime relazioni trofiche e mutualistiche che si attuano fra i diversi organismi vegetali, animali e microorganici, con creazioni di catene alimentari, con successioni di processi chimici e ridistribuzioni di energia. Si vanno così costruendo progressivamente edifici complessi di comunità viventi, mentre profonde modificazioni sono esercitate sull'ambiente minerale. Poiché la vita è in tutte le sue manifestazioni fortemente dinamica, essa trasmette gli impulsi e le conseguenze di questo suo dinamismo prorompente all'ambiente, provocando o accelerando processi di trasformazione che tendono a comporsi in complesse vicende globali a livello dei piccoli e grandi ecosistemi, a livello anche della biosfera considerata e assunta nella sua globalità. Solo attraverso un processo molto integrato d'indagine si può dunque sperare di riuscire a dar conto, almeno in parte, della sempre crescente attività trasformatrice di cui la pellicola vivente compenetrata nella litosfera, nella idrosfera e nella troposfera diventa sede e del progressivo accumulo dei prodotti di questa attività.

Tra i processi che si attuano nella biosfera il più importante è la produzione continua di materia organica vivente. Proprio questo processo, esaminato a tutti i possibili livelli e in tutti i principali ambienti terrestri e acquatici, assume enorme interesse al fine di accertare l'ammontare delle risorse naturali del nostro pianeta, quelle risorse alle quali è legata la stessa esistenza e sopravvivenza dell'umanità.

Il risultato che si ottiene attraverso la costruzione di quello specifico "oggetto della conoscenza", che è la biosfera, non è però soltanto un'enorme estensione dell'orizzonte della ricerca. Si ha anche, e soprattutto, un'impressionante e febbrile lavoro di riconsiderazione e ristrutturazione delle basi della conoscenza. "Il grande processo di crollo del vecchio e di edificazione di nuove concezioni del mondo circostante continua a procedere intorno a noi, che ne siamo o meno consapevoli. Le basi di ciò che a noi è sempre parso del tutto saldo e stabilito senza incertezze sono lentamente erose, capisaldi centenari del pensiero scientifico si disgregano, sono abbattute le facciate, da noi erroneamente scambiate per edifici finiti, e al di là dei vecchi nomi sotto lo sguardo attonito dei contemporanei si scopre un contenuto del tutto nuovo e inatteso.

Sono radicalmente mutate le idee concernenti la materia e all'energia, termini come luce, calore, elettricità assumono un significato inedito, lontano da quello loro assegnato nel corso del XIX secolo, l'"elemento" chimico dà inizio a una nuova scienza, che non ha a che fare con il campo dei composti, bensì con quello delle particelle elementari, non ulteriormente scomponibili dal punto di vista chimico, e di elementi chimici che a volte non entrano neppure nelle reazioni chimiche. Le loro proprietà difficilmente potrebbero essere descritte e rappresentate anche dalla fantasia più fervida. [...]

I contributi offerti dalla scienza del XIX secolo alla soluzione degli enigmi della vita, a questo secolare rompicapo dell'umanità, necessitano di una profonda revisione. Vecchi

⁷ V.I. Vernadskij, *Pensieri filosofici di un naturalista*, cit., pp. 123-124.

limiti e argini crollano. Ciò che ieri sembrava impossibile dal punto di vista scientifico domani potrà risultare addirittura necessario sotto il medesimo aspetto. Emerge sempre più chiaramente che i vecchi schemi di carattere puramente meccanicistico devono essere sostituiti da nuove concezioni, dal momento che nella stessa materia si è scoperta la fonte di cambiamenti incompatibili con la struttura meccanicistica di un organismo che è pur sempre fatto di questa materia e che *da essa trae dunque origine*. [...]

Questo complesso rivolgimento storico deve essere affrontato da un pensiero libero e coraggioso. Occorre scacciare lontano da sé le vecchie "verità", che si sono rapidamente trasformate sotto i nostri occhi in vecchi pregiudizi. Bisogna sbarazzare il terreno dalle basi di sostegno e dalle strutture accumulate dal passato e non necessarie oggi"⁸.

Come si è visto un ruolo fondamentale nelle reazioni e negli spostamenti degli elementi chimici all'interno della crosta terrestre è svolto dagli organismi viventi.

La consapevolezza di questo ruolo, secondo Vernadskij, ha conseguenze di enorme rilievo teorico, in quanto comporta una radicale revisione delle usuali concezioni concernenti il rapporto tra organismo e ambiente, basate sull'idea di "adattamento" del primo al secondo. La nozione di "adattabilità" implica che la specie possa mutare al fine di adeguarsi a una situazione naturale preesistente, già strutturata e definita *prima* dell'esistenza dell'organismo medesimo. In realtà, osserva Vernadskij, se è vero che nessun organismo potrebbe esistere in assenza di un ambiente idoneo in cui muoversi e agire, altrettanto vero è che l'ambiente, inteso non come semplice "scenario fisico" esterno agli organismi, ma come mondo in cui essi sono calati e immersi, non ha alcun senso al di fuori del riferimento alla vita e alle sue concrete manifestazioni. Per comprenderlo e descriverlo è necessario osservare l'organismo in azione e concentrare, in particolare, l'attenzione sul complesso delle attività che gli consentono, partendo da una serie più o meno disordinata di condizioni esterne, di *costruire via via il proprio ambiente con le attività della sua stessa vita*.

Questa impostazione, che sostituisce la nozione di adattamento con quella di "costruzione", permette di evidenziare come gli organismi scelgano, sulla base della propria organizzazione interna, i pezzi e i frammenti del mondo esterno rilevanti per la loro esistenza, alterino il palcoscenico in cui vivono cambiandone la struttura fisica e rendendolo più e meglio abitabile per la loro progenie. Il terreno in cui crescono le piante è modificato da questa loro crescita e l'atmosfera in cui vivono gli organismi muta per la loro stessa presenza. Questi processi di modificazione dell'ambiente a opera degli organismi che vivono in esso non sono qualcosa di astratto: si tratta invece di fenomeni che possono essere analizzati in modo dettagliato e preciso attraverso lo studio della composizione e dell'attività degli organismi medesimi. In particolare essi possono venire resi concretamente "visibili" qualora si tenga conto che ciò che chiamiamo organismo non è in realtà costituito da sola materia vivente, ma è più propriamente una miscela di quest'ultima. L'analisi degli organismi in termini di corpi naturali bioinerti permette dunque di dedicare la giusta attenzione alle reazioni biochimiche mediante le quali i sistemi viventi scelgono, all'interno dell'ambiente, il materiale e i frammenti funzionali alla loro crescita e li sottopongono a un processo di trasformazione tale da renderli assimilabili, cioè compatibili con le loro strutture interne. In questo senso, pur trattandosi, di sistemi aperti, che, come si è visto, scambiano continuamente materia, energia e informazione con l'ambiente esterno, anzi vivono di questo scambio, essi esibiscono tuttavia una concreta *autonomia* rispetto all'ambiente medesimo: "Noi ammettiamo in primo luogo che il corso della trasmissione dell'energia geochimica sulla biosfera in seguito alla riproduzione degli organismi è *un corso sempre identico, perfettamente uniforme*. Ciò si comprende come conseguenza del fenomeno stesso della riproduzione, la cui caratteristica – Δ – resta immutabile e rappresenta *una proprietà dell'organismo*, che è un corpo sempre autonomo nel suo meccanismo in rapporto alla biosfera. Dal momento che Δ non può cambiare

⁸ V.I. Vernadskij, *Filosofskie mysli naturalista*, cit., pp. 414-15.

spontaneamente, questo corso deve necessariamente restare uniforme in un ambiente che non cambia e che non agisce su Δ . È evidente che l'uniformità di questa trasmissione dell'energia si manterrà lungo l'intero processo. Non si riscontra alcuna causa per l'accelerazione e per un cambiamento di velocità.

Si ha pertanto il diritto d'applicare la velocità determinata in rapporto al risultato finale a ogni stadio intermedio del processo. La velocità deve restare sempre la medesima⁹.

La caratteristica fondamentale degli organismi viventi è dunque l'*autonomia* rispetto all'ambiente, la loro capacità di mantenere inalterata e di perpetuare la loro organizzazione interna pur in presenza dei continui scambi di materia, energia e informazione con il contesto in cui sono immersi.

La possibilità di conciliare apertura all'ambiente e invarianza dell'organizzazione intrinseca si basa su un processo al quale Vernadskij attribuisce importanza fondamentale, e cioè la capacità degli organismi viventi di modificare di continuo la natura fisica dei segnali che giungono al loro interno, adattandoli alla loro peculiare organizzazione e ai meccanismi specifici che la regolano e la sorreggono. In conseguenza della fisiologia che li caratterizza, ad esempio, una variazione di temperatura all'esterno di un corpo vivente è percepita come un cambiamento della composizione chimica interna. Non siamo, di conseguenza, in presenza di qualcosa che possa essere descritto in termini di trasferimento d'informazione da un mittente (l'ambiente) a un destinatario (l'organismo che vive in esso) e concepito come il passaggio di un segnale che si mantiene inalterato in questo percorso. Siamo invece di fronte a continui processi di trasformazione, assimilabili a vere e proprie *operazioni di traduzione* da un codice (quello del mondo esterno) a un altro (quello di un particolare sistema vivente che opera nell'ambito di esso).

In questo senso il confine tra ciascun organismo vivente e l'ambiente in cui è inserito è, certamente, una linea di demarcazione che consente all'organismo di distinguersi rispetto all'ambiente medesimo e di mantenere inalterata la propria organizzazione interna. Nello stesso tempo, però, esso funge anche da "interfaccia", da luogo del contatto specifico fra interno ed esterno, ed è quindi anche un meccanismo cuscinetto a due facce, una rivolta verso l'organizzazione intrinseca del sistema, l'altra verso l'ambiente, che proprio perché si presenta così può mettere in comunicazione reciproca *ambiti che tuttavia restano separati nella loro specifica determinazione*. Esso è pertanto sia elemento di separazione (linea di demarcazione), sia tratto d'unione di sfere diverse: così il normale contatto di un organismo vivente con la "natura inerte" presuppone la presenza di un meccanismo cuscinetto che assicuri la preliminare traduzione degli elementi da incorporare di tale natura nel codice strutturale della biosfera. Nessun sistema vivente potrebbe esistere se non fosse provvisto di questo meccanismo cuscinetto. E' alla luce di questa duplice funzione della linea di confine che Vernadskij imposta allora, in modo originale, il problema del rapporto tra sistemi viventi e ambiente naturale. Questo rapporto non può essere letto in termini di rigida contrapposizione, né di azione a senso unico dell'uno sugli altri. "In ogni fenomeno si riflette la *biosfera come totalità*, poiché l'aspetto che caratterizza nel modo più proprio e specifico la biosfera è il fatto che i suoi corpi liquidi per quanto riguarda la loro massa assolutamente preponderante danno luogo a un *unico enorme equilibrio idrico*. Allo stesso modo sono legate tra di loro tutte le parti gassose della biosfera (non ci sono gas a sé stanti) e tutte le sostanze viventi.

Per ogni sostanza vivente, che possa essere concepita logicamente e presa in considerazione in tutte le nostre concezioni concernenti l'organismo, non vi è dunque un ambiente inerte, indifferente, che non si trovi in profonda connessione con essa. Ciò di cui noi ci dobbiamo occupare è, di conseguenza, il complesso organismo-ambiente, e non un ipotetico rapporto organismo-natura, nel quale ciò che succede nell'ambito della seconda può anche non riflettersi e non trovare concreta espressione nel primo. La relazione

⁹ V.I. Vernadskij, *Études Biogéochimiques. I. Sur la vitesse de la transmission de la vie dans la biosphère*, cit., p. 742.

corretta è invece la seguente: materia vivente↔biosfera, che evidenzia immediatamente come ci si trovi di fronte a una totalità inscindibile, nella quale l'insieme degli organismi è, a sua volta, una sostanza vivente.

Tra queste due formulazioni non vi è, ovviamente, una differenza puramente terminologica, tant'è vero che molte conclusioni, che possono essere tratte quando si parla del rapporto organismo-ambiente, non possono più rimanere in piedi una volta che ci si riferisca invece alla relazione materia vivente-biosfera.

Quali siano, appunto, le conseguenze che possono aver luogo e quali quelle che vengono a cadere una volta che si compia questo spostamento di prospettiva, è questione che deve essere chiarita dalla logica della scienza della natura¹⁰.

Le modificazioni strutturali che avvengono all'interno di ogni sistema vivente possono pertanto essere spiegate in modo adeguato e soddisfacente se non sono viste come semplici risposte *adattative* agli stimoli ambientali, ma sono altresì poste riguardo a una dinamica di stato interna che dia conto, unitamente alle sollecitazioni recepite dall'esterno, del cambiamento strutturale verificatosi all'interno. L'adattamento cessa dunque di essere la categoria centrale per la ricostruzione della dinamica dei sistemi viventi: esso è, più modestamente, il risultato dello sforzo dei sistemi medesimi di modificarsi, *in conformità alla loro struttura interna*, in maniera tale da mantenere *inalterata* la corrispondenza con l'ambiente anche in presenza di modificazioni di quest'ultimo. Il sistema vivente, tramite la sua determinazione strutturale interna, *seleziona* tra gli stimoli ambientali quelli significativi; *scarta* quelli non significativi; determina la direzione e la modalità dei cambiamenti di stato interni, *in funzione della conservazione dell'invarianza sia della propria organizzazione, sia della corrispondenza con l'ambiente*, cioè della stabilità degli scambi con quest'ultimo. Si capovolge così (e questo è il punto) l'immagine dei processi evolutivi: a quella tradizionale, che individua la direzione dei processi evolutivi in un'ipotetica *ottimizzazione* progressiva dell'adattamento dei sistemi rispetto all'ambiente, ne subentra un'altra, che interpreta invece tale direzione come il risultato di una *stretta interrelazione e interazione* fra sistemi diversi in funzione della conservazione sia della continuità dell'organizzazione dei sistemi, sia dell'equilibrio sistema/ambiente.

In tal modo il rapporto tra i sistemi viventi e l'ambiente in cui essi sono immersi cessa di essere considerato unilaterale: se è vero che i primi subiscono la pressione del secondo, altrettanto vero è che gli organismi scelgono a seconda della propria organizzazione interna i pezzi e i frammenti del mondo rilevanti per la loro esistenza, alterano l'ambiente modificandone la struttura fisica e rendendolo via via più abitabile per la loro progenie. E quest'opera di trasformazione diventa sempre più rilevante e incisiva man mano che si sale nella scala evolutiva, assumendo dimensioni e velocità impressionanti con lo sviluppo dell'evoluzione culturale e la sua sempre maggiore capacità di incidere sull'evoluzione naturale.

Del resto lo stesso "grande sistema", all'interno del quale la vita si manifesta e si sviluppa, e cioè la *biosfera*, è, nel suo insieme, un complesso "meccanismo di trasformazione e traduzione", come Vernadskij non si stanca di sottolineare. In quanto sistema specifico la biosfera si riferisce alla zona della crosta terrestre che si trova alla superficie del nostro pianeta e accoglie tutto l'insieme della materia vivente. Si tratta, come si è visto, di un *sistema* interconnesso con quello planetario e profondamente interrelato con l'ambiente che lo circonda, per cui non può essere studiato prescindendo da questo contesto globale nel quale si colloca. Nonostante rappresenti una pellicola sottile e una presenza minuscola, in confronto alle dimensioni complessive della Terra, esso assume un'importanza enorme, per le attività chimiche che svolge incessantemente e che condizionano la composizione stessa dell'atmosfera, delle rocce, e di vasti giacimenti minerali. Basterebbe ricordare che forse tutto l'ossigeno dell'atmosfera è prodotto dalla fotosintesi e che comunque tutto l'ossigeno dell'aria e delle acque ha più volte attraversato la biosfera compiendo una circolazione dall'atmosfera all'idrosfera dai tempi remoti cui

¹⁰ V.I. Vernadskij, *Pensieri filosofici di un naturalista*, cit., pp. 158-159.

risale l'apparizione delle prime piante verdi. Se si pensa che proprio la fotosintesi agisce ormai da alcuni miliardi di anni utilizzando l'enorme disponibilità dell'energia solare e le grandi riserve originarie di anidride carbonica dell'aria per formare composti organici essenziali a tutta la vita del mondo, ci si può fare un'idea dell'importanza fondamentale di questo fenomeno nel divenire della biosfera. La materia organica vegetale è dunque una forma di accumulo dell'energia solare di enormi dimensioni: e proprio per questo Vernadskij sottolinea che "la biosfera è una creazione del Sole nella stessa misura, se non di più, di quanto è una manifestazione dei processi terrestri [...] Essa, nella sua essenza, può essere considerata come una regione della crosta terrestre, occupata da *trasformatori che cambiano le radiazioni cosmiche in energia terrestre attiva, elettrica, chimica, termica*, ecc. Le radiazioni cosmiche provenienti da tutti i corpi celesti si estendono a tutta la biosfera, attraversano quest'ultima e tutto ciò che vi si trova. Noi captiamo e conosciamo solo una parte infinitesima di queste radiazioni, delle quali abbiamo studiato esclusivamente quelle del Sole. [...] Lo studio dell'influenza delle radiazioni solari sui processi terrestri ci permette di farci una prima idea precisa e profonda della biosfera dal punto di vista scientifico, come *meccanismo a un tempo terrestre e cosmico*. Il Sole ha trasformato radicalmente il volto della Terra, ha traversato e permeato la biosfera. Quest'ultima è dunque in misura notevole espressione della radiazione solare: essa è il meccanismo planetario che trasforma tale radiazione in forme nuove e diversificate di energia libera terrestre, energia che cambia radicalmente la storia e il destino del nostro pianeta"¹¹.

E' dunque in questa esile pellicola superficiale esterna del nostro pianeta che va cercato il riflesso non solo di fenomeni geologici isolati e casuali, ma anche e soprattutto l'espressione della struttura generale del cosmo, collegata alla struttura e alla storia degli atomi e degli elementi chimici in generale. Proprio per questo la biosfera non può essere compresa attraverso la sola analisi dei fenomeni e dei processi che avvengono nel suo ambito e che la compongono, senza tener conto del nesso profondo che la collega alla struttura di tutto il meccanismo cosmico. E quest'ultimo, a sua volta, non può essere analizzato e indagato senza fare riferimento a essa: e proprio per porre l'accento su questo legame profondo Vernadskij ritiene necessario tracciare, accanto alla geochimica e in stretta collaborazione con questa, le linee di una nuova scienza, la biogeochimica, che tratti della composizione chimica degli organismi e del ruolo che la materia vivente e i suoi resti assumono nella ripartizione, dispersione, traslocazione e concentrazione degli elementi nella crosta terrestre. Ponendosi in stretto rapporto di continuità con l'opera di uno dei suoi maestri, Dmitrij Ivanovič Mendeleev, il quale aveva predisposto in uno schema gli elementi chimici in un ordine spaziale, cronologico, energetico e genetico, egli persegue l'obiettivo di costruire una carta biogeochimica della materia, basata sull'analisi e sull'esplorazione comparativa della composizione chimica elementare della materia vivente e non vivente, per stabilire l'importanza di ciascun elemento chimico in senso biogeochimico.

Se però profondo è il nesso che lega tra loro gli organismi viventi all'interno della biosfera, altrettanto stretta e indissolubile è la relazione che sussiste tra la biosfera nel suo complesso e l'ambiente cosmico in cui è immersa, relazione che emerge dalla stessa *funzione cosmica* che la caratterizza e che consiste, come si è visto, nel trasformare l'energia irradiata dal sole in energia fisica e chimica.

La biosfera è un sistema di *confine*, caratterizzata, al suo interno, dalla stretta interconnessione di tutti gli organismi viventi, legati da uno scambio continuo che si attua attraverso la respirazione, la nutrizione, i processi che si sviluppano a livello subatomico. Se questo scambio s'interrompe, la vita non può continuare a sussistere e viene a mancare. Si può quindi affermare non tanto che la vita si nutra di questa interazione e di questo interscambio, quanto che s'identifichi sostanzialmente con essi.

¹¹ V.I. Vernadskij, *Biosfera*, cit., p. 19.

La biosfera è dunque il "grande sistema" che mette in comunicazione reciproca i fenomeni e i processi cosmici e quelli terrestri, filtra e seleziona i primi e li trasforma in forme nuove e diversificate di energia. Come i sistemi viventi, anch'essa è circoscritta rispetto al contesto in cui è immersa: solo che, anche in questo caso, la linea di confine non è qualcosa di assolutamente invalicabile, ma una somma di filtri attraverso i quali bisogna passare per penetrare all'interno di essa, e che provvedono all'adattamento alla biosfera medesima di tutto ciò che proviene dal di fuori.

Come si è visto, il corso della trasmissione dell'energia geochimica sulla biosfera in seguito alla riproduzione degli organismi è sempre identico e perfettamente uniforme, per cui la sua velocità costituisce una costante. Ben diversa è la situazione per quanto riguarda la relazione tra la biosfera e il terzo grande sistema, in cui all'uomo e al suo pensiero si aprono orizzonti tali da metterlo in condizioni di affrontare e risolvere, con l'aiuto della scienza e della tecnica, i più ardui problemi di modificazione della natura e di conquista del cosmo e cioè la *noosfera*. Con la transizione dalla biosfera a quest'ultimo sistema le creazioni del lavoro e del pensiero umano diventano forze capaci non solo di interagire con l'ambiente circostante, ma di plasmarlo:

"Nel 1922/23 in un ciclo di lezioni alla Sorbona a Parigi ho assunto come base della biosfera i *fenomeni biogeochimici*. Una parte di queste lezioni è stata pubblicata nel mio libro *Očerki geohimii* (Saggi di geochimica).

Prendendo la base biogeochimica della biosfera, da me stabilita, come punto di partenza, il matematico e filosofo francese di scuola bergsoniana E. Le Roy nelle sue lezioni al Collège de France di Parigi ha introdotto nel 1927 il concetto di "noosfera" come stadio attuale della biosfera. Egli riconobbe a questo proposito di essere giunto a questa concezione insieme all'amico, teologo e paleontologo di vaglia, P. Teilhard de Chardin, che attualmente lavora in Cina.

La noosfera è un nuovo fenomeno geologico nel nostro pianeta. In essa l'uomo è divenuto per la prima volta *la più importante forza geologica*. Egli può e deve ricostruire con il proprio lavoro e il proprio pensiero l'ambiente in cui vive, ristrutturarlo e riedificarlo in modo radicalmente diverso rispetto a ciò che era prima. Di fronte a lui si aprono possibilità creative sempre più estese. E può darsi che la generazione di mio nipote riesca ad avvicinarsi alla piena fioritura di queste possibilità. [...]

L'aspetto del pianeta – la biosfera – muta in modo assai marcato sotto il profilo chimico per opera dell'uomo che agisce in modo cosciente e più spesso ancora senza rendersi conto delle conseguenze delle proprie azioni. Cambia per intervento dell'uomo dal punto di vista sia fisico, sia chimico anche l'involucro liquido della terra, tutte le sue acque naturali. [...]

La *noosfera* è l'ultimo dei molti stadi di *evoluzione della biosfera* nella storia geologica, ed è lo stato in cui ci troviamo attualmente. Il corso di questo processo ha appena cominciato a manifestarsi con chiarezza grazie allo studio del suo passato geologico in alcuni suoi aspetti"¹².

La noosfera è quindi la fase in cui un particolare momento della storia dell'umanità diventa una tappa della storia dell'universo; all'interno della biosfera si sono progressivamente formati organismi viventi che, con gli strumenti che hanno saputo elaborare grazie alla loro forza creativa, risultano capaci di influire sull'ambiente geologico-cosmico. Cercando il suo posto nell'universo, l'uomo retroagisce su di esso, lo segna fortemente e lo caratterizza in modo indelebile con la propria presenza. Geosfera, biosfera, noosfera sono dunque tre sistemi inscindibili, percorsi da processi "continui" che li attraversano senza tregua, passando dall'uno all'altro di essi.

Vernadskij ci pone così di fronte a una sovrapposizione di tre grandi sistemi, le *geosfere*, la *biosfera* e la *noosfera*, determinata dalla promiscuità, parziale o totale, dei rispettivi processi, che ci obbliga ad affrontare e risolvere la questione dei loro mutui rapporti e della loro profonda interazione e incidenza reciproca, senza per questo compromettere la specifica autonomia di ciascuno di essi. *Si ha così l'esigenza di elaborare un quadro*

¹² V.I. Vernadskij, *Pensieri filosofici di un naturalista*, cit., p. 208.

sistemico generale che parta dal livello chimico e molecolare di base delle geosfere per salire a quello cellulare della biosfera fino alla natura della materia di cui è fatto il cervello, dalla quale scaturisce la noosfera, puntando l'attenzione sugli scambi paralleli e continui di segnali tra questi sistemi e sulla integrazione funzionale che ne consegue. Per impostare questa complessa prospettiva teorica egli pone al centro della propria riflessione il concetto di *confine* e l'idea della sua duplice funzione di *linea di demarcazione* e di *meccanismo di comunicazione e di interscambio*.

Attraverso quest'originale approccio il confine prende dunque corpo e forma, diventa la sede di processi di fondamentale importanza per la comprensione, ad esempio, della vita nel suo complesso, che, come si è visto, si sviluppa all'interno di un sistema fondamentalmente di confine, come la biosfera, che è, giova ripeterlo, "una creazione del Sole nella stessa misura, se non di più, di quanto è una manifestazione dei processi terrestri", la sede di continui processi di trasformazione (delle radiazioni cosmiche in energia terrestre attiva, elettrica, chimica, termica ecc.) e di traduzione dal codice dei fenomeni cosmici a quello dei fenomeni terrestri. Quest'opera di traduzione ha successo ed è efficace proprio perché il luogo dove avviene, e cioè la biosfera, è essa stessa un sistema di confine *a un tempo terrestre e cosmico*. La vita non avrebbe potuto svilupparsi senza questa frontiera, in assenza di questo territorio di confine, per cui si può dire che anch'essa sia un fenomeno fondamentalmente di confine.

Il confine, inteso in questa duplice accezione, ha dunque una fondamentale e insostituibile funzione *ontologica*. È un luogo, anzi *il* luogo nel quale fanno la loro comparsa gli organismi e appare la vita, la sede dell'interscambio incessante tra i sistemi viventi e l'ambiente.

La conseguenza che scaturisce da questo quadro generale è anche quella di stabilire una stretta interrelazione tra evoluzione naturale ed evoluzione culturale, ponendosi in particolare il problema dell'incidenza che la seconda può aver avuto sulla prima per quanto riguarda, ad esempio, la velocizzazione dei suoi ritmi di sviluppo. Vernadskij non si esime dall'affrontare questo tema, che una sorta di sfida per la conoscenza scientifica, in quanto, per un verso, l'idea di noosfera appare, a suo giudizio, un'ipotesi abbondantemente accreditata e corroborata dall'inegabile accelerazione che l'evoluzione naturale ha avuto dal momento in cui la storia dell'umanità è diventata una tappa della storia dell'universo, intrecciandosi profondamente con essa, e dall'altrettanto indubbia capacità degli organismi viventi, formati progressivamente all'interno della biosfera, di influire sull'ambiente geologico-cosmico con gli strumenti che hanno saputo elaborare grazie alla loro forza creativa. Per l'altro, però, non siamo in grado di spiegare come il pensiero possa diventare un agente capace di incidere su processi materiali e di mutarne il corso. Si tratta di una questione classica, che nasce dalla difficoltà di far convivere due tesi alle quali sembra problematico rinunciare. La prima è che il nostro pensiero e la forza ideativi e creativa che esso è in grado di esprimere servano a qualcosa e ci mettano in condizione non solo di abitare nel mondo, ma anche di retroagire su di esso e di cambiarlo, un'asserzione di senso comune che nessuno metterebbe seriamente in dubbio: i nostri stati mentali determinano il corso delle nostre azioni, contribuiscono a governare le nostre vite e quindi a modificare l'ambiente nel quale viviamo. La seconda tesi è che ogni evento fisico ha una causa fisica; in questo caso siamo in presenza di un caposaldo della scienza post-galileiana, qualunque accadimento si produca nel mondo naturale possiede una causa interna a tale mondo (tesi della "chiusura causale" della fisica). A questo punto, tuttavia, risulta inevitabile chiedersi, come appunto fa Vernadskij, in quale modo sia possibile che il pensiero e la catena degli eventi mentali che ha a fare con esso possano avere efficacia causale nel produrre un cambiamento nel mondo fisico, dove ogni evento ha già la sua causa (fisica).

Di fronte a un problema teorico così delicato Vernadskij non si affanna a cercare una soluzione a tutti i costi, la risposta a un *perché e per che cosa*. Si limita a prendere atto del fatto che, sulla base di riscontri empirici difficilmente contestabili e di argomentazioni teoriche che appaiono solide, siamo di fronte a una sovrapposizione di sistemi, geosfere, biosfera, noosfera determinata dalla promiscuità, parziale o totale, dei rispettivi processi, e

in virtù della quale essi sembrano essere parti, sottosistemi, difficilmente separabili, di un unico macrosistema *globale* che esige, per essere studiato, metodi altrettanto *globali*, che ne affrontino *globalmente* la complessità. Ne scaturisce una prospettiva teorica il cui perno, è costituito dall'approfondimento del concetto di *confine*. E' proprio grazie alla funzione imprescindibile di questa linea che la natura, come si è visto parlando dei corpi naturali bioinerti, può superare la rigida contrapposizione tra materia vivente e materia inerte dando luogo a forme e a tipi di realtà *intermedi* tra questi due estremi. Ciò è reso concretamente possibile, giova ribadirlo, dalla duplice funzione del confine e, in particolare, da quella per cui esso si presenta non come linea di demarcazione, bensì come "ponte sottile", fattore di contatto e di scambio tra domini differenti e di creazione, proprio in virtù di questo scambio, di un nuovo ambito trasversale, che li attraversa e li coinvolge entrambi, ponendosi "a cavallo" tra di essi.

3. Florenskij e il rapporto tra naturale e artificiale

Proprio questo aspetto della proposta teorica di Vernadskij, incardinato sull'idea di "realtà intermedie", viene considerato del massimo interesse da Pavel Florenskij, a sua volta pensatore geniale e poliedrico, filosofo della scienza, matematico, fisico, ingegnere elettronico, teorico dell'arte e di filosofia del linguaggio, studioso di estetica, di simbologia e di semiotica, filosofo della religione e teologo, condannato a morte dal regime staliniano e fucilato l'8 dicembre 1937 in un bosco non lontano da Leningrado. In una lettera del 21 novembre 1929, indirizzata proprio a Vernadskij, egli scrive: "Se al momento attuale l'industria è quella elettrica e in parte quella termica, ma certamente non la meccanica, così come la fisica è la fisica elettrica, a un'industria che tenga d'occhio l'andamento dello sviluppo non può non risultare evidente che l'industria del futuro, e magari di un futuro prossimo, sarà la bioindustria; che dopo l'elettronica, che ormai ha praticamente soppiantato il vapore, verrà la biotecnica e che, conseguentemente, la chimica e la fisica saranno rifondate quali biochimica e biofisica. Sono convinto che il suo motto biosferico debba portare a ricerche empiriche e di bioforme e biorelazioni nelle viscere della materia stessa, e in questo senso il desiderio di affrontare tale questione solo con i modelli a disposizione – cioè in modo passivo e non attivo quanto alla dottrina della materia- potrebbe frenare lo sviluppo del sapere"¹⁶.

Il mutamento di prospettiva che trae origine da questo innovativo approccio di Vernadskij ha conseguenze teoriche rilevanti per quanto riguarda, in primo luogo, la questione del rapporto tra naturale e artificiale e, in secondo luogo, per ciò che concerne il significato e la funzione della tecnica e la sua dislocazione nel panorama complessivo dello sviluppo della conoscenza.

Per approfondire quest'aspetto, che giudicava di particolare rilievo, Florenskij scrisse nel 1922 un saggio dal titolo *Organoproekcija* (La proiezione degli organi)⁴, pubblicato solo nel 1969, con alcuni tagli, nel numero 12 della rivista d'arte «Dekorativnoe Iskusstvo» e poi ripubblicato nel 1992 nel numero 23 della rivista russa «Simvol» (Il simbolo), che usciva a Meudon, vicino a Parigi. In questo suo scritto le considerazioni di Vernadskij sul ruolo del confine sia per quanto riguarda la nascita e lo sviluppo degli organismi viventi, sia sotto il profilo epistemologico vengono integrate e completate da stimolanti riflessioni sulla circolarità tra "macchine interne" e "macchine esterne", cioè tra organismi naturali e

¹⁶ Lettera pubblicata in AA. VV, *Russkij kosmizm. Antologia filosofskoj mysli* (Il cosmismo russo. Antologia del pensiero filosofico), Pedagogika Press, Moskva 1993, pp. 162-165.

⁴ P.A. Florenskij, "Organoproekcija" (La proiezione degli organi), *Dekorativnoe Iskusstvo SSSR* (Arte decorativa dell'URSS), 12, 1969, pp. 39-42. La traduzione italiana di questo saggio, col titolo *Organo-Proiezione. La tecnica come proiezione degli organi*, è reperibile in B. Antomarini e S. Tagliagambe (a cura di), *La tecnica e il corpo. Riflessioni su uno scritto di Pavel Florenskij*, Franco Angeli, Milano 2007, pp. 11-24.

artefatti, tra vita e tecnologia. Florenskij osserva infatti che: “gli oggetti si fabbricano a partire dalla vita organica profonda e non da quella superficiale, e in profondità ciascuno di noi ha potenzialmente nel suo corpo diversi organi non svelati, che può però svelare in proiezioni tecniche. Da questo deriva anche il contrario: la vita può realizzare tecnicamente la proiezione di alcuni organi prima che ci accorgiamo della loro esistenza anatomica e fisiologica in noi stessi o anche in altri organismi, in altre creazioni non umane della vita, o forse anche nell’uomo allo stato di embrione. Se lo studio degli organismi è la chiave delle invenzioni tecnologiche, allora anche, al contrario, le invenzioni tecniche possono essere considerate come il reagente per la conoscenza di se stessi. La tecnologia può e deve ispirare la biologia, così come la biologia deve ispirare la tecnica. Dentro di noi e anche nella vita scopriamo tecniche ancora non realizzate nella tecnologia – lati della vita ancora non studiati. La forma della tecnica e la forma della vita sono parallele; ma alcuni sviluppi di ciascuna possono andare avanti o rimanere indietro rispetto all’altra. E questo ci permette di giudicare ciascuna di queste linee per prevedere nei tempi lunghi, più di quanto abbiamo fatto finora, la forma della vita nella nostra mente, la forma della tecnologia nella realtà”⁵.

La tecnica, dunque, spiega la vita perché quest’ultima, a sua volta, spiega gli artefatti e le macchine. Per questo tra i due processi si genera una “ricorsività aggrovigliata”, del tipo di quella di cui parla Hofstadter nel suo libro *Gödel, Escher, Bach*, basandola sulla seguente congettura: “potrebbero esistere sistemi ricorsivi sufficientemente complessi da possedere la forza necessaria per sfuggire a ogni schema prefissato. E non è forse questa una delle proprietà che definiscono l’intelligenza? Invece di considerare semplicemente programmi composti da procedure ricorsive capaci di *chiamare* se stesse, perché non fare veramente uno sforzo e inventare programmi in grado di *modificare* se stessi: programmi in grado di agire sui programmi, estendendoli, migliorandoli, riparandoli e così via?”¹⁷.

Letta in questa chiave, quella tra la vita e la tecnica si configura come una relazione in virtù della quale la prima *si esprime, si conosce, si modifica* tramite la seconda, che a sua volta si sviluppa ripercorrendo alcuni degli itinerari già seguiti dal processo di evoluzione della vita medesima.

L’interesse di questa intuizione di Florenskij sta nel fatto che essa poneva la questione della relazione tra vita naturale e vita artificiale non semplicemente e non tanto in termini di *rappresentazione*, quanto in termini di un parallelismo e di una reciproca *proiezione*, in virtù dei quali l’una poteva essere considerata il reagente per la conoscenza dell’altra. Si tratta di una svolta espressiva, perché implica l’abbandono dell’idea che per studiare la realtà naturale in modo scientifico occorra necessariamente riferirsi a una logica esterna capace di regimentare il discorso su di essa, e s’impegna invece nell’enucleazione di concetti e articolazioni significative che dipendono dal campo in esame e dal livello di profondità dell’analisi. Detto in altro termini, Florenskij, sulla scia di Vernadskij, non ritiene essenziale tanto misurarsi con la *forma* degli argomenti e delle proposizioni, quanto piuttosto impegnarsi nello sfruttamento il più ricco possibile dell’informazione e dalla conoscenza che scaturisce dall’*interno* dei campi sottoposti a indagine, in particolare dell’evoluzione naturale e dello sviluppo della tecnica.

Che questa conclusione non possa essere considerata soltanto il frutto del pensiero astratto di un filosofo relativamente lontano da noi nel tempo e nello spazio ce lo dice con forza uno scienziato a noi vicino in entrambi i sensi, profondo conoscitore della biologia e della genetica, il quale scrive che: “via via che si comprendono meglio i meccanismi operanti nel corpo e nella mente, diviene sempre più evidente che la natura ha adottato da tempo alcuni accorgimenti tecnici che la nostra tecnologia più avanzata è andata scoprendo negli ultimi tempi. Concetti come quelli di codificazione digitale, di calcolo parallelo e distribuito, di schemi logici *fuzzy* e di nanotecnologia, che ci sono divenuti

⁵ P. A. Florenskij, *Organo-Proiezione. La tecnica come proiezione degli organi*, in B. Antomarini e S. Tagliagambe (a cura di), *La tecnica e il corpo. Riflessioni su uno scritto di Pavel Florenski*, cit., p. 24.

¹⁷ D. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: un’eterna ghirlanda brillante*, tr. it. Adelphi, Milano 1994, p. 165.

familiari da poco, appaiono giocare da sempre un ruolo fondamentale in moltissimi processi biologici. Anche in questa circostanza le conoscenze tecniche ci hanno aiutato a capire più a fondo i meccanismi biologici e questi hanno a loro volta messo in luce la convenienza e l'efficienza di certe scelte tecnologiche"¹⁸.

Qui, come si vede, vengono espressi, con parole diverse e riferendosi, ovviamente, ad aspetti assai più recenti i medesimi concetti di Florenskij. Su questa base anche Boncinelli non solo prospetta, ma considera già pienamente in atto "un incontro fra le macchine realizzate dall'uomo e le macchine naturali, quale si può osservare nella costruzione e nell'impianto di protesi bioingegneristiche, di sussidi sensoriali e più in generale di apparecchi e presidi clinici sempre più efficienti e raffinati che sono spesso quasi invisibili"¹⁹.

Da questo incontro sta progressivamente emergendo una nuova idea di macchina, modellata più sulle "macchine interne", naturali, che su quelle "esterne", artificiali. Si tratta di uno spostamento e di una variazione di significato non di poco conto, dato che "le macchine naturali non sono state costruite pezzo per pezzo, né tanto meno combinate successivamente fra di loro a formare organi e organismi. Ce le troviamo come già date, montate e combinate in un organismo complesso e per definizione indivisibile. Anche nel suo farsi durante lo sviluppo embrionale, l'organismo procede come un tutto unico con le diverse strutture che maturano di conserva, più o meno allo stesso tempo, una qui una là. Questo perché il piano di lavoro, portato dal genoma di ciascun organismo, non contiene capitoli separati per i suoi diversi meccanismi biologici, ma fornisce informazioni globali per la costruzione e il funzionamento dell'organismo stesso, nel quale solo il nostro occhio distingue parti separate e meccanismi specifici".

La differenza fra biologico e meccanico è dunque rilevante: "le macchine sono fisse, mentre le strutture biologiche sono di giorno in giorno in continua trasmutazione. Una struttura biologica può anzi essere definita come uno spaccato temporale di una funzione, essendo costituita di sottostrutture e di molecole che cambiano in continuazione per la sostituzione subdola e incessante degli atomi che le compongono. Resta ferma o quasi, in sostanza, la forma funzionale di una struttura biologica, ma non l'insieme degli atomi che la compongono"²⁰.

Oggi anche questa differenza rilevata da Boncinelli solo sette anni fa si sta ulteriormente attenuando, grazie alle applicazioni del *Digital manufacturing*, cioè ai sistemi integrati, basati su computer e sulle ICT, che comprendono strumenti di simulazione, visualizzazione tridimensionale (3D), analisi e collaborazione, con la finalità di creare simultaneamente le definizioni del prodotto e del processo produttivo, col risultato che la progettazione degli artefatti viene ormai realizzata non più per fasi e suddividendo in maniera analitica un pezzo complesso qualunque in componenti da realizzare separatamente e assemblare successivamente, bensì attraverso una strategia complessiva basata sullo scambio di informazioni relative al prodotto e la stretta collaborazione fra i gruppi di progettazione e di produzione. Si hanno così sistemi che consentono agli ingegneri di sviluppare la definizione completa di un processo produttivo in un ambiente virtuale e di effettuare la simulazione dei processi produttivi allo scopo di riutilizzare le conoscenze disponibili e ottimizzare i processi prima che i prodotti vengano fabbricati.

Per fare un esempio concreto, una casa automobilistica ormai prefigura e organizza l'intero processo produttivo a livello digitale (attrezzature, lavorazioni, sequenze di assemblaggio e layout della fabbrica) mentre i progettisti sviluppano in parallelo una nuova serie di veicoli. In questo modo gli ingegneri di produzione sono in grado di dare un riscontro immediato ai progettisti in presenza di vincoli per la producibilità della parte.

¹⁸ E. Boncinelli, *L'anima della tecnica*, Rizzoli, Milano 2006, p. 84.

¹⁹ *Ibidem*, p. 78.

²⁰ *Ibidem*, pp. 81-82.

Questo tipo di collaborazione fra ingegneri di produzione e progettisti crea una visione completa della progettazione di prodotti e processi che consente di associare, visualizzare e sottoporre a modifiche immediate le informazioni relative a prodotti, processi, impianti e risorse, con un approccio coerente e globale alla progettazione della produzione. Il confine tra naturale e artificiale, dunque, si assottiglia sempre più e il successo della comunicazione tra due domini spesso considerati contrapposti, se non addirittura mutuamente esclusivi, lo attesta in modo convincente. Anche in questo caso, come in quelli analizzati in profondità da Vernadskij e fatti oggetto della sua elaborazione teorica, da linea di demarcazione netta questo confine si sta trasformando via via in una zona di comunicazione e d'interscambio, per cui "diventa ogni giorno più sfumata la linea divisoria fra cervello e mente, tanto sul piano dell'ideazione cosciente quanto su quello del puro comportamento» e, di conseguenza, «molti di questi congegni avventizi verranno resi organici o quasi organici in un processo di naturalizzazione degli artefatti e di concomitante modificazione strisciante dell'organico, che non sappiamo proprio dove ci porterà»²¹. Questa circolarità tra vita, conoscenza e tecnologia e la sempre più marcata convergenza delle loro manifestazioni fanno della tecnologia non solo un *prodotto* della conoscenza, come pure troppo spesso capita ancora di sentir affermare, ma qualcosa che ormai è sempre più incorporato all'interno del processo di produzione e di sviluppo della conoscenza medesima, e che quindi non si può più considerare nettamente distinta da quest'ultima e separata da essa con una linea di demarcazione netta e invalicabile. Non solo, ma se è vero che la tecnologia, per i motivi appena esposti, costituisce una delle chiavi privilegiate di accesso alla comprensione dei meccanismi e degli sviluppi della vita e può essere per questo considerata, come scriveva Florenskij, un insostituibile "reagente per la conoscenza di noi stessi", la sua funzione, nel processo complessivo di sviluppo della conoscenza, non può essere quella marginale e "ancillare" che le viene spesso attribuita, relegando il significato e la valutazione dei suoi prodotti alla sfera della pratica e all'uso che ne può essere fatto.

Dagli sviluppi dell'epistemologia evoluzionistica e della teoria generale dei sistemi di Vernadskij scaturisce dunque, con il contributo di Florenskij di cui ci siamo occupati, un approccio profondamente interessato a evidenziare i fondamenti teorici e le implicazioni metodologiche dell'analogia che si andava prospettando, proprio grazie all'idea di biosfera, fra le nuove macchine che sarebbero scaturite dallo studio di bioforme e biorelazioni nelle viscere della materia stessa e gli organismi viventi, incluso l'uomo. Proprio in virtù di questa analogia sarebbe presto emersa, a giudizio di Florenskij, una definizione così ampia di macchina e di artefatto, come produzione artificiale di quanto, fino a un certo momento, era stato osservato solo in natura, da poter "assorbire" nel proprio dominio di competenza teorica sia la specifica organizzazione interna dei sistemi viventi, sia l'artefatto che riproduce autonomamente le operazioni di questi sistemi, facendo proprio perciò della tecnologia e dei suoi sviluppi il miglior "reagente per la conoscenza di noi stessi" E facendo, viceversa, dello studio degli organismi viventi un bacini insostituibile per l'ideazione di nuove soluzioni tecnologiche.

4. L'ampliamento e l'arricchimento del linguaggio della fisica

Da questo quadro storico, qui sommariamente ricostruito, appare dunque chiaro come l'epistemologia evoluzionistica, fin dal suo affacciarsi alla ribalta con le ricerche pionieristiche di Vernadskij nell'URSS, abbia fatto emergere e posto al centro dell'attenzione proprio i filoni di ricerca di cui Somenzi fu, per molto tempo, fautore e

²¹ *Ibidem*, pp. 162 e 165.

interprete piuttosto solitario in Italia, piuttosto lontani da quelli che scaturivano dall'approccio, allora imperante, dell'empirismo logico. In particolare le ricerche dello scienziato russo avevano evidenziato l'esigenza di una forte saldatura, nello studio dei fenomeni della vita, tra biologia, chimica, fisica e geologia e scienze della terra viste in chiave evoluzionistica, proprio come aveva insegnato il suo maestro Dokučaev. Inoltre da esse scaturiva l'esigenza di abbinare all'analisi degli *aspetti funzionali* dei processi adattativi l'approfondimento degli *aspetti evolutivi*, che rinviavano a un diverso quadro concettuale. Veniva inoltre dato particolare rilievo allo scambio di informazioni tra organismo e ambiente attraverso il reciproco processo selettivo, e alle variazioni che i rispettivi messaggi potevano subire, in seguito alle mutazioni e ricombinazioni cui andavano soggetti, sotto forma di specifiche modalità di "interpretazione" da parte del sistema destinatario. Proprio questo tema aveva dato origine alle applicazioni in campo semiotico delle teorie di Vernadskij, portate avanti da Lotman con la collaborazione di Kolmogorov, frutto delle quali fu, in particolare il "trasferimento analogico" di alcuni nuclei concettuali portanti della *Biosfera* e della *Noosfera* al campo degli studi filologici e letterari prima con l'opera *Struktura chudožestvennogo teksta*, del 1970, e poi con l'articolo "O semiosfere", pubblicato nel volume 17 del 1984 della rivista *Trudy po znakovym sistemam*²², che fin dal titolo si poneva esplicitamente in linea di continuità con la produzione scientifica di Vernadskij.

In questo articolo Lotman caratterizza il suo approccio nei termini di un sostanziale rovesciamento di prospettiva rispetto a entrambe le due principali tradizioni semiotiche occidentali, quella della linea Peirce-Morris e quella della linea Saussure. Malgrado le loro differenze teoriche importanti, esse sarebbero in realtà accomunate da un approccio di analisi molto simile, che privilegia la ricerca dell'elemento semplice, "atomico", nella ricostruzione del fatto complesso, come ad esempio risulta dalla centralità attribuita al concetto di segno. Un'impostazione che ha poi condotto a considerare in modo tendenzialmente "ontologico" l'insieme come somma delle sue parti, mentre la divisione in parti, sottolinea Lotman, è solo una necessità euristica. Quel che va piuttosto sottolineato è che nessuna parte presa separatamente è in grado di funzionare realmente: lo fa soltanto se è immersa in un continuum semiotico pieno di formazioni di tipo diverso collocato a vari livelli di organizzazione. Questo continuum che rende possibile la vita sociale, di relazione e comunicazione, viene appunto chiamato da Lotman "semiosfera", in analogia con il concetto di biosfera – l'ambito necessario all'essere vivente per la sua sopravvivenza biologica - introdotto da Vernadskij. Si tratta di un continuum che è organizzato in modo peculiare, e in questo si distingue da altre visioni macrosemiotiche, che pensano ad esempio la globalità del senso in termini di "nebulosa" o viceversa di rete di rimandi infiniti e indefiniti.

Certo Somenzi non si sarebbe mai avventurato in un "trasferimento analogico" di questo tipo dalla biosfera alla semiosfera. C'è tuttavia un aspetto della sua prospettiva teorica che segue, sia pure parzialmente e in modo circoscritto, questa linea di tendenza. Si tratta della convinzione che per potersi occupare in maniera efficace della descrizione della variabilità e dell'auto-riproducibilità degli organismi viventi e delle attività cognitive degli organismi viventi il linguaggio della fisica dovesse venire ampliato e arricchito attraverso l'introduzione, in esso, di "una nuova grandezza ben definita, l'informazione, accanto alle grandezze da tempo utilizzate in fisica e in matematica e ai vari derivati della loro reciproca combinazione"²³.

Questo auspicato ampliamento e arricchimento si è in effetti realizzato, portando a una significativa attenuazione, perlomeno, di quella radicale differenza tra "scienze umane" e

²² Jurij M. Lotman, "O semiosfere", *Trudy po znakovym sistemam*, 17, 1984, pp. 5-23.

²³ V. Somenzi, "La cibernetica tra scienza e filosofia", in *De Homine*, 1962, 4, pp. 29-38: 32.

“scienze della natura” teorizzata facendo riferimento al diverso genere di semantica che viene utilizzata nelle une e nelle altre.

A giudizio di chi si pone in questa prospettiva il tratto distintivo fondamentale dei linguaggi della *scientia* sta nella semantica alla quale si fa riferimento quando dal puro calcolo si passa a linguaggi, come quello della fisica, ad esempio, che “denotano”, cioè intendono riferirsi a un dominio extralinguistico. La tipologia di questa semantica, per i grandi della Fisica matematica fra '700 e '800, è contrassegnata, com'è ampiamente noto, dal presupposto che tutti i fenomeni osservabili siano riducibili alla ontologia elementare soggiacente della materia, del movimento e della forza e che, a quel livello, ogni analisi debba basarsi sulla possibilità di isolare, matematicamente, una sola particella elementare e descriverne il moto, ricostruendo poi, grazie a delle operazioni di integrazione matematica, l'espressione della legge di interazione a distanza in sistemi di particelle. I sistemi di equazioni differenziali devono poter descrivere tutti i fenomeni fisici rilevanti, a partire appunto dalla descrizione dei moti individuali e delle loro progressive interazioni. In particolare, le leggi fisiche, sotto la forma delle equazioni di Lagrange, prima, di Hamilton, poi, devono poter regolare (esprimere la determinazione di) ogni movimento, ogni traiettoria, quindi ogni evento fisico, proprio come le equazioni di Newton-Laplace determinano l'evoluzione dei corpi celesti nei loro campi gravitazionali. E questa determinazione equazionale consente la predizione, misura della validità della proposta teorica, nucleo centrale del rapporto fra esperienza e teoria: si osserva, si teorizza (ovvero si scrivono le equazioni che correlano azioni e forze osservate), si predice l'evoluzione del sistema grazie alle soluzioni di dette equazioni, si raffrontano infine le predizioni con nuove osservazioni. L'efficacia predittiva di una teoria è lo scopo stesso della formalizzazione matematica. La creatività matematica dei nuovi formalismi del '700-'800 permette gradualmente di capire l'Universo tutto espandendo la conoscenza in modo certo e progressivo: le equazioni mirano a ricoprire completamente il mondo, a renderlo intelligibile e predittibile.

La semantica che ne risulta è, pertanto, di tipo *a-contestuale*, in quanto si basa sull'esigenza di isolare l'oggetto di studio dall'ambiente di cui fa parte e di descriverlo e analizzarlo separatamente rispetto a esso, e *analitico* e *composizionale*, ricalcata cioè su quella che Donald Davidson ha definito la “building blocks theory”, ossia la dottrina semantica che esplica il senso di un enunciato, riconducendolo alla somma dei significati delle sue componenti elementari.

È evidente che una semantica di questo genere, che va dalle parti al tutto e presuppone che il significato di quest'ultimo si risolva interamente nella somma dei significati delle sue componenti, è quanto di più si lontano si possa immaginare dalla semantica dei linguaggi poetici e letterari, cioè dell'*humanitas*. Non a caso Carlo Bernardini, ad esempio, propone e sostiene una distinzione molto netta tra due tipi di linguaggio: “nel corso dei secoli, viene sviluppato un linguaggio (che chiamerò “di elaborazione”, LdE) diverso da quello di uso comune (che chiamerò “di comunicazione” LdC). I due linguaggi differiscono profondamente: il LdC serve, nell'impiego soggettivo, per la formulazione di registrazioni memorizzabili di informazioni (fatti, opinioni, idee, corredate di valutazioni: giudizi estetici, morali, di attendibilità, talvolta di utilità soggettiva, ecc...); e per lo scambio di quelle informazioni, nell'impiego intersoggettivo. Il LdE, invece, usa le informazioni, particolarmente quelle della realtà circostante, per elaborarle secondo procedure concepite e collaudate al fine di conseguire, secondo una successione di argomentazioni riproducibili e logicamente analizzabili, risultati non contenuti già nelle informazioni di partenza. Il LdC è essenzialmente un linguaggio proposizionale, cioè costruito con parole per ottenere regole minimali di senso che, usando come “atomi del discorso” gli elementi di un vocabolario più o meno esteso e condiviso, rendono la comunicazione comprensibile a più parlanti. Il LdE, invece è essenzialmente un linguaggio formale, simbolico, che,

usando regole di manipolazione logica autoconsistente di un repertorio di simboli condivisi (per significato e per uso) rende manifesta una conclusione verificabile degli assunti di partenza: non è difficile verificare che il contenuto dominante del LdE è soprattutto equivalente alla proposizione inespressa "se...allora", di cui riempie i puntini (possiamo chiamare forse "equazione primordiale" questa tacita proposizione eccezionale. Non è difficile riconoscere, in queste definizioni sommarie, al LdC lo status di strumento di base della cosiddetta "cultura umanistica" e al LdE quello di strumento di base della cosiddetta 'cultura scientifica'"²⁴.

Questa linea di demarcazione, tanto netta e radicale, tra le due tipologie di semantica non può in realtà essere assunta in modo così pacifico.

Come infatti sottolineavo, riferendomi alla meccanica quantistica, già in un'opera del 1991, *L'epistemologia contemporanea*, in questa teoria fisica ci troviamo di fronte a un tipo di semantica formale che è capace di descrivere situazioni *olistiche* e *contestuali*. Ciò è dovuto al fatto che, nell'ambito di essa, "la referenza non può essere localizzata in un punto particolare del discorso: è quest'ultimo nella sua *totalità* che attua il riferimento, per cui non più di referente si dovrà parlare, ma di *funzione referenziale* da intendersi come *una funzione globale ripartita su tutto l'enunciato*"²⁵. Si riscontra così una vaghezza e labilità dell'abituale e preliminare operazione di identificazione di un referente che «contribuisce non poco a mettere in forse la legittimità della distinzione, che abitualmente siamo portati a compiere all'interno di ogni enunciato, tra segmenti *referenziali* (destinati, appunto, a far riferimento agli oggetti di cui si parla e ad operare, da soli, questa referenza, indipendentemente dal resto della frase) e segmenti *descrittivi* (il cui ruolo, invece, dovrebbe essere quello di descrivere le proprietà o il comportamento degli oggetti ai quali i segmenti precedenti si riferiscono)"²⁶. L'impossibilità di ridurre la funzione referenziale alla designazione di oggetti e l'esigenza di presentarla come una funzione "spalmata" sull'intero discorso, conferiscono a questo una compattezza e un grado di integrazione tali da far sì che i sensi delle singole parole si fondano e si correlino strettamente, subendo "variazioni semantiche" determinate dalle reciproche integrazioni. Il discorso si trasforma, cioè, in un tutto semantico con un contenuto distribuito sul suo spazio globale"²⁷.

Si ha in tal modo una "catena di causalità circolare" che, proprio perché produce un'*interferenza* tra ciò che si descrive e il modo in cui lo si descrive, e dunque tra l'oggetto su cui verte il discorso e il soggetto che ne parla, assegna all'atto di "instaurare una funzione referenziale" il compito di concentrare l'attenzione su determinate proprietà e di selezionare associazioni con certi oggetti, piuttosto che con altri, e quindi di far rientrare l'oggetto medesimo, quando le sue dimensioni siano subnanometriche, all'interno di una prospettiva influenzata in misura tutt'altro che trascurabile dal contesto, in particolare dalle "condizioni di osservazione" e dagli strumenti" di misura, ma anche da quelli linguistici e concettuali, di cui l'osservatore dispone.

Questa "interferenza" tra l'oggetto da osservare e misurare, da un lato, e le condizioni nelle quali si sviluppa il processo di misurazione, dall'altro, in virtù della quale la misura è cocostitutiva dell'oggetto fisico, cioè la sua azione dà la specificazione di quest'ultimo, è una conseguenza dei fenomeni di "entanglement" (intreccio, ingarbugliamento o meglio "intricazione"). Questi ultimi, a loro volta, sono l'espressione di una proprietà fondamentale della meccanica quantistica, che scaturisce dal tipo di relazione tra teoria e misura che si riscontra in essa: *quel che si calcola*, con la funzione d'onda (l'equazione di Schrödinger),

²⁴ C. Bernardini, *Seminario di filologia francese, A cosa serve la letteratura*, http://www.filologiafrancese.it/index.php?menu_sez=a_cosa_serve_la_letteratura2

²⁵ S. Tagliagambe, *L'epistemologia contemporanea*, Editori Riuniti, Roma, 1991 p. 252

²⁶ *Ibidem*, p. 96.

²⁷ *Ibidem*, p. 97.

non è quel che si misura. In fisica classica e relativistica si fanno calcoli su numeri reali, che risultano da misure, calcoli che producono a loro volta numeri reali, da verificare con nuove misure. In MQ, si calcola su numeri complessi, in spazi di Hilbert molto astratti, anche di infinite dimensioni, fuori quindi dallo spazio-tempo usuale, per poi produrre dei numeri reali, come proiezioni (valori assoluti) dei numeri complessi ottenuti con il calcolo. Tali valori sono la probabilità di ottenere certi risultati nel processo di misura e, nel verificarli con la misura, da una parte risultano dipendere dall'ordine della stessa (non commutatività), dall'altra possono essere correlati se relativi a particelle intricate. Per capire perché si parli di «dipendenza dall'ordine» delle misurazioni, e in che cosa essa consista, occorre fare riferimento allo “scandaloso” (per le teorie classiche) “principio di sovrapposizione”, in virtù del quale *stati puri quantistici* (cioè gli stati che rappresentano un massimo d'informazione sul sistema studiato, un'informazione che non può essere estesa in modo coerente a una più ricca, per cui anche la mente onnisciente di Laplace non potrebbe saperne di più) possono essere *sommati*, determinando nuovi stati puri. Uno stato puro ψ non decide semanticamente tutte le proprietà di cui può godere l'oggetto da esso descritto. Alcune proprietà restano indeterminate. Questa è una conseguenza del principio di indeterminazione di Heisenberg.

Se prendiamo dunque due informazioni massimali ψ_1 e ψ_2 , è possibile sommarle ottenendo un nuovo stato puro ψ :

$$\psi = c_1\psi_1 + c_2\psi_2$$

dove c_1 e c_2 sono due opportuni coefficienti numerici (complessi).

Questo nuovo stato di informazione massimale, dato dalla somma di ψ_1 e ψ_2 determina una *nuvola di proprietà potenziali* di cui, in un certo senso, il sistema sembra godere nello stesso tempo.

Quando si fa una misura, quest'ultima provoca il collasso (o riduzione) del pacchetto d'onda, per cui lo stato ψ , rispetto a cui una data proprietà (ad esempio la posizione A) era indeterminata, si trasforma nello stato ψ_1 , che *decide* quella proprietà. A questo punto si può effettuare una seconda misurazione, che provoca una diversa riduzione del pacchetto d'onda, in seguito alla quale lo stato ψ , rispetto al quale era indeterminato anche il momento (B) della particella, si trasforma, per esempio, nello stato ψ_2 che decide questa seconda proprietà, lasciando ovviamente indeterminata la posizione. A e B non commutano, cioè $AB \neq BA$, e quindi la conoscenza precisa dell'una preclude questa stessa conoscenza per l'altra. La disuguaglianza $AB \neq BA$ andrebbe letta, per correttezza, come 'disuguaglianza condizionata', dal momento che l'esistenza del prodotto:

$A \cdot B$ e $B \cdot A$

non sempre è garantita. Non essendoci una particella che viaggia con le sue proprietà e stati *già dati* e che, al più, si disturba con la misura, ed essendo quest'ultima decisiva al fine di determinare la posizione o il momento, che non possono avere simultaneamente la specificazione e il grado di precisione voluti, i valori ottenuti *dipendono dall'ordine* in cui vengono fatte le misure. La teoria, di conseguenza, ci pone di fronte a stati che sono la sovrapposizione di due o più altri.

Quanto all'*intricazione*, essa è una conseguenza dell'equazione di Schrödinger, che determina come lo stato $|\psi(t_0)\rangle$ di un sistema quantistico al tempo iniziale t_0 evolve spontaneamente, in assenza di osservatori che misurano, verso un altro stato $|\psi(t_1)\rangle$ al tempo finale t_1 . Essa descrive un'evoluzione temporale *continua e lineare*: ciò significa che la forma delle sovrapposizioni viene conservata nel corso dell'evoluzione temporale. Se al

tempo iniziale lo stato di un oggetto era in una sovrapposizione di stati, questa sovrapposizione non verrà distrutta. Pertanto il sistema composto “sistema oggetto + apparato misuratore” evolve in una sovrapposizione di stati, quando lo stato del sistema oggetto è esso stesso una sovrapposizione. Il famoso “paradosso del gatto” di Schrödinger costituisce l'esemplificazione tipica di tale problema. Un gatto che venga chiuso in una scatola e collegato a un meccanismo che ne provochi o meno la morte per avvelenamento, a seconda del decadimento o meno (eventi che hanno, poniamo, identica probabilità di realizzarsi) di un atomo di una sostanza radioattiva, si troverà in uno stato intricato (*entangled*) con quello di un tale atomo, cosicché il sistema composto da gatto e sostanza radioattiva (trascurando gli altri elementi, quali scatola e marchingegno) risulterà essere in una sovrapposizione dello stato in cui l'atomo non è decaduto ed il gatto è vivo e di quello in cui l'atomo è decaduto ed il gatto è morto. Questo finché non venga sottoposto a “misurazione” da parte di un osservatore che apra la scatola e constati la situazione del gatto (e dell'atomo), determinando il *collasso* (o *riduzione*) della funzione d'onda.

Il principio del *collasso* è stato proposto per la prima volta da John von Neumann come uno degli assiomi-cardine della teoria quantistica. Esso rende conto di una tipologia di trasformazione di stato molto diversa rispetto a quella descritta dall'equazione di Schrödinger. Mentre quest'ultima prospetta, come si è visto, un'evoluzione temporale continua e lineare le trasformazioni per collasso sono discontinue, stocastiche e non prevedibili. È importante rendersi conto che questo principio di von Neumann non si limita, banalmente, ad asserire che quando si acquisisce un'informazione in seguito a una misura occorre tener conto dei risultati ottenuti, modificando, di conseguenza, il proprio stato epistemico. La situazione che si riscontra in meccanica quantistica è che, in questo caso, non si tratta di scoprire qualcosa preesistente all'operazione di misura. Infatti lo stato $|\psi\rangle$ non rappresenta la nostra ignoranza, ma piuttosto l'*indeterminazione oggettiva* relativamente, ad esempio, al luogo dove si trova l'elettrone che costituisce il nostro oggetto di osservazione. È la scelta dell'osservatore, il quale decide di misurare la posizione piuttosto che un'altra grandezza, a rendere determinato ciò che prima era indeterminato anche dal punto di vista di una ipotetica *mente onnisciente*, che non potrebbe saperne di più, depositaria del «*conoscere intensive*» del «sogno di Galileo»²⁸. È come se l'atto di osservare e misurare avesse il potere di rendere attuali proprietà che prima erano solo potenziali.

È proprio la compresenza nella stessa teoria dell'equazione di Schrödinger e del principio del collasso di von Neumann a determinare una situazione conflittuale che è all'origine di molte delle difficoltà concettuali della meccanica quantistica.

Il fenomeno dell'*intricazione* è stato verificato nel 1982 dal fisico francese Alain Aspect, il quale ha riscontrato che due o più particelle descritte da un'unica funzione d'onda ψ possono, in particolari condizioni, mostrare correlazioni istantanee senza scambio d'energia. Per capire il senso e l'importanza di questa verifica occorre risalire al 1935, anno in cui, in collaborazione con i fisici Nathan Rosen e Boris Podolsky, Einstein pubblicava un articolo in cui veniva esposto il paradosso che porta il nome dei tre autori (il

²⁸ G. GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Edizioni Studio Tesi, Pordenone, 1988 p. 130: “ma pigliando l'intendere *intensive*, in quanto cotal termine importa intensivamente, cioè perfettamente, alcuna proposizione, di che l'intelletto umano ne intende alcune così perfettamente, e ne ha così assoluta certezza, quanto se n'abbia l'istessa natura; e tali sono le scienze matematiche pure, cioè la geometria e l'aritmetica, delle quali l'intelletto divino ne sa bene infinite proposizioni di più, perché le sa tutte, ma di quelle poche intese dall'intelletto umano credo che la cognizione agguagli la divina nella certezza obiettiva, poiché arriva a comprenderne la necessità, sopra la quale non par che possa esser sicurezza maggiore”. Dunque se *extensive* la conoscenza umana è molto limitata, *intensive* pareggia, però, quella divina nella dimensione matematica.

paradosso EPR). In meccanica quantistica, argomentavano i tre fisici, secondo il principio di indeterminazione di Heisenberg, è impossibile, come si è visto, misurare con arbitraria precisione, a un dato istante, sia la posizione sia la velocità di una particella. Ma immaginiamo una particella che si disintegri in due particelle, che schizzino via in direzioni opposte a uguale velocità: semplificando molto ma cercando di rispettare la sostanza dell'argomento, possiamo dire che se misuriamo la posizione di una delle due particelle e la velocità dell'altra, riusciremo, unendo le informazioni raccolte, a conoscere sia la velocità sia la posizione di ogni singola particella. Insomma, due particelle opportunamente predisposte – particelle *intricate* come le abbiamo chiamate – rimangono soggette a una «correlazione» a distanza che agisce in maniera istantanea. L'esperimento mentale di Einstein-Podolsky-Rosen lasciava pertanto aperte solo due possibilità: o esistono proprietà fisiche nascoste che eludono la descrizione della realtà fornita dalla meccanica quantistica (e allora questa teoria è incompleta) o si verificano *effetti non locali* che ci obbligano a rivedere radicalmente la nostra concezione dello spazio e del tempo.

In effetti il paradosso EPR coglieva un tratto distintivo fondamentale della MQ. Dal formalismo di quest'ultima (l'equazione di Schrödinger, in particolare) si deduce che se due sistemi hanno interagito ad un istante $t = 0$ e risultano poi separati, senza più alcuna interazione fra loro all'istante $t = T > 0$, si può, misurando solo uno di essi, conoscere con certezza il valore di una stessa misura sull'altro, all'istante T . Due particelle "intricate", si dirà poi, permettono una conoscenza istantanea del valore di una misura fatta sull'una grazie alla misura fatta sull'altra. Se la prima ha lo spin "up", per dire, si è certi, che lo spin dell'altra è "down", se *misurato*. Iterando lo stesso identico processo, si può ottenere spin "down" per la prima: allora la seconda avrà spin "up".

Così, l'equazione di Schrödinger permette di calcolare l'evoluzione di un sistema di particelle intricate e fornisce dei valori "correlati" di probabilità, per eventuali misure. Questa situazione è ovviamente paradossale e del tutto inspiegabile dal punto di vista della fisica precedente a questa rivoluzione: infatti, se si lanciano due monete «classiche» in aria e queste interagiscono (si toccano, per dire) per poi separarsi definitivamente, le analisi probabilistiche dei valori testa-croce assunti dalle due monete sono del tutto indipendenti. Ecco perché Einstein-Podolsky-Rosen ritenevano che il loro esperimento mentale lasciasse aperte solo due possibilità: o esistono proprietà fisiche nascoste che eludono la descrizione della realtà fornita dalla meccanica quantistica (e allora questa teoria è incompleta) o si verificano *effetti non locali* che ci obbligano a rivedere radicalmente la nostra concezione dello spazio e del tempo. Tra le due alternative essi optavano, in modo netto ed esplicito, per la prima, considerando presso che inammissibile, dal punto di vista della concezione della «realtà fisica» alla quale aderivano, la seconda.

Dovevano passare trent'anni perché le intuizioni puramente speculative di Einstein-Podolsky-Rosen fossero espresse in una forma suscettibile di verifica sperimentale. Il fisico irlandese John S. Bell in un articolo magistrale del 1964 dimostrò in maniera matematicamente rigorosa, sulla base di certe disuguaglianze, che la meccanica quantistica è incompatibile con l'ipotesi dell'esistenza di «variabili nascoste». Nel 1972 John F. Clauser e Stuart Freedman dell'Università della California a Berkeley, effettuarono un primo esperimento ispirato alle idee innovative di Bell, seguiti l'anno successivo da Ed S. Frey e Randal C. Thomson della Texas A&M University. La serie di esperimenti effettuati nei primi anni '80 da Alain Aspect nel suo laboratorio dell'Università di Orsay, a Parigi, utilizzando atomi di calcio eccitati come sorgente di fotoni *intricati*, ebbe come risultato quello di mostrare che la disuguaglianza di Bell viene violata, fornendo così una inconfutabile prova sperimentale a sostegno del carattere non locale della meccanica quantistica. Nel 1997 Nicolas Gisin e la sua équipe dell'Università di Ginevra eseguirono con un successo una versione dell'esperimento di Aspect in cui i rivelatori si trovavano a

un distanza di 11 chilometri l'uno dall'altro. È dunque ormai stato verificato empiricamente che le misure (valori di probabilità) di due quanta intricati (che abbiano cioè interagito) sono correlate, non indipendenti. Conoscendo una misura si conosce l'altra, anche effettuata a enormi distanze. Non passa "informazione" fra i due eventi distanti: bisogna comunicarsi (con qualsiasi mezzo) il risultato per controllare che le due misure sono in effetti intricate. Ma lo sono sempre.

La più spettacolare applicazione del fenomeno dell'*intricazione* è il teletrasporto quantistico, una procedura che permette di trasferire lo stato fisico di una particella a un'altra particella, anche molto lontana dalla prima. Questa idea, che appare così bizzarra, ha avuto una prima conferma sperimentale nel 1997, quando due gruppi di ricerca – uno diretto da Anton Zeilinger a Vienna, l'altro da Francesco De Martini a Roma – riuscirono a teletrasportare un singolo fotone. Nessuno sa con certezza se il teletrasporto si potrà realizzare anche per atomi e molecole, o addirittura per oggetti macroscopici. Quello che appare certo però che esso sembra fornire una prova difficilmente confutabile di quanto diversa sia la realtà di fronte alla quale ci pone la meccanica quantistica rispetto a quella che ci viene suggerita dalla nostra usuale esperienza percettiva.

È interessante riprendere le implicazioni per quanto riguarda la semantica di questi risultati della meccanica quantistica e fare almeno fuggacemente riferimento alle loro conseguenze sul piano della logica²⁹. Con il fenomeno dell'*intricazione*, come si è visto, si ha a che fare con un oggetto composto: lo stato di questo oggetto composto è puro (una informazione massimale) e determina gli stati delle parti, che non possono essere puri. L'attribuzione del significato va quindi dal tutto (stato puro dell'oggetto composto) agli stati delle sue parti, ed è per questo che la semantica alla quale riferirsi è una semantica olistica, basata sulle caratteristiche olistiche del formalismo quantistico. Questa situazione ha determinato la proposta di adottare un nuovo tipo di logica, la *logica quantistica*, nella quale la verità di una disgiunzione in generale (*quantum or*) non implica, come nella logica classica, la verità di almeno un membro. Per quanto "strampalata" possa sembrare questa soluzione, va ricordato che essa trova applicazione concreta nei computer quantistici, che possono seguire diversi percorsi nello stesso tempo. Il "quantum computing" potrebbe rivoluzionare tutto il calcolo automatico: quanto meno, problemi intrattabili per complessità, diverrebbero trattabilissimi, poiché l'intricazione è una (originalissima) forma di "calcolo parallelo". Ma calcolo di che cosa? Questa è una domanda di particolare interesse ai fini del nostro discorso. Non certo di informazione digitale come comunemente intesa, bensì evoluzione di un sistema che è *globale*: le due particelle sono non-separabili, dalla misura, e una variabile associata all'oggetto sarebbe non-locale (non dipenderebbe dall'evoluzione di «un solo punto»). Situazione, questa, che Einstein, Podolsky e Rosen hanno derivato dalla teoria e che, dal punto di vista della fisica classica e relativistica, che essi assumevano, consideravano paradossale, ma che poi, come si è visto, è stata empiricamente verificata.

Nella semantica, suggerita dalla computazione quantistica, sono pertanto soddisfatte le condizioni seguenti:

- I *significati globali* (che possono corrispondere a una *Gestalt*) sono intrinsecamente *vaghi*, in quanto lasciano semanticamente indecise molte proprietà rilevanti degli oggetti studiati;

²⁹ Le opere alle quali fare riferimento per quanto riguarda questo aspetto sono, tra le altre: E. G. Beltrametti e G. Cassinelli, *The Logic of Quantum Mechanics*, Addison-Wesley (Reading, Mass.) 1981; M. Dalla Chiara e R. Giuntini, *La logica quantistica*, in G. BONIOLO, a cura di, *Filosofia della fisica*, Bruno Mondadori, Milano, 1997, pp. 609-643; M. Dalla Chiara, R. Giuntini, A. R. Luciani, E. Negri, *Dall'informazione quantistica alla musica*, Aracne, Roma, 2013.

- ogni significato determina alcuni *significati parziali*, che sono di solito più vaghi del significato globale;
- i significati (Gestalten) possono essere rappresentati come *sovrapposizioni* di altri significati, eventualmente associati a valori di probabilità.

Concretamente ciò significa che se abbiamo una congiunzione qualunque che abbia la forma *B* e *C* e nella quale i significati di entrambe le parti (*B,C*) sono intricate, per cui non possono essere rappresentati da stati puri bensì da due miscele, il significato preciso della congiunzione determina due significati ambigui per le parti componenti. L'ambiguità fa dunque la sua irruzione anche nell'ambito di questa specifica teoria scientifica e del suo linguaggio come elemento costitutivo essenziale, che non può essere considerato un aspetto indesiderato da rimuovere. Inoltre è il significato globale dell'intera congiunzione a determinare i significati delle due parti, e non viceversa: lo stato miscela che costituisce il significato ambiguo di *B* o di *C* può essere visto come il *significato contestuale* di ciascuna di queste due componenti, significato che resta determinato dal *contesto globale* (il significato della congiunzione *B* e *C*).

Dunque "Oggi si comincia a capire come il misterioso *entanglement* quantistico, che rappresenta la caratteristica più intrigante delle situazioni EPR, possa avere anche delle applicazioni logiche interessanti per descrivere fenomeni di *olismo* e di *contestualità semantica*. Le teorie semantiche tradizionali, fondate sulla logica classica, sono *anti-olistiche* e *analitiche*. Infatti, in queste teorie, vale un principio generale di *composizionalità* secondo cui il significato di una *espressione composta* deve essere determinato dai significati delle sue *parti*. E i significati vengono descritti sempre come *precisi* e *non ambigui*. Tutto questo fa sì che la semantica classica sia difficilmente applicabile a un'analisi adeguata delle lingue naturali o dei linguaggi dell'arte, dove aspetti olistici, contestuali e ambigui hanno un ruolo fondamentale. Nell'ambito del formalismo quantistico, invece, si possono creare *stati di conoscenza entangled*, dove l'informazione intorno al *tutto* determina le informazioni contestuali intorno alle *parti*. E, in generale, risulta impossibile invertire il procedimento, ricostruendo l'informazione globale come *combinazione* di informazioni parziali sugli elementi componenti. E come se, una volta rotto nei suoi pezzi, il *puzzle* non potesse più ricomporsi ricreando l'immagine originaria"³⁰.

5. Conclusione

Come ricordano Corbellini e Cordeschi nel contributo dal quale siamo partiti, nel 1958 Somenzi aveva scritto che mentre il fisicalismo del Circolo di Vienna "si limitava a propugnare l'estensione dei metodi caratteristici della fisica ai campi della biologia e della psicologia, mantenendo un notevole rispetto per le peculiarità che differenziano i relativi fenomeni da quelli tipici della materia inanimata, il nuovo atteggiamento che sembra emergere dall'insieme delle ricerche effettuate con le tecniche sopra indicate tende a una decisa riduzione dei fenomeni biologici e mentali a un particolare stato della materia, che si può denominare rispettivamente lo stato di 'materia vivente' e lo stato di 'materia pensante'"³¹.

Questa citazione ci autorizza a parlare di "sogno leopardiano" di Somenzi, riferendoci a un notevole passo dello *Zibaldone*, che giova riportare per intero: "La materia pensante si considera come un paradosso. Si parte dalla persuasione della sua impossibilità, e per questo molti grandi spiriti, come Bayle, nella considerazione di questo problema, non hanno saputo determinar la loro mente a quello che si chiama, e che per lo innanzi era lor

³⁰ M. Dalla Chiara, R. Giuntini, A. R. Luciani, E. Negri, *Dall'informazione quantistica alla musica*, cit., p.

....

³¹ V. Somenzi, "La cibernetica tra scienza e filosofia", cit., p. 35.

sempre paruto, un'assurdità enorme. Diversamente andrebbe la cosa, se il filosofo considerasse come un paradosso, che la materia non pensi; se partisse dal principio, che il negare alla materia la facoltà di pensare, è una sottigliezza della filosofia. Or così appunto dovrebbe esser disposto l'animo degli uomini verso questo problema. Che la materia pensi, è un fatto. Un fatto, perché noi pensiamo; e noi non sappiamo, non conosciamo di essere, non possiamo conoscere, concepire, altro che materia. Un fatto perché noi vediamo che le modificazioni del pensiero dipendono totalmente dalle sensazioni, dallo stato del nostro fisico; che l'animo nostro corrisponde in tutto alle varietà ed alle variazioni del nostro corpo. Un fatto, perché noi *sentiamo corporalmente il pensiero*: ciascun di noi sente che il pensiero non è nel suo braccio, nella sua gamba; sente che egli pensa con una parte materiale di sé, cioè col suo cervello, come egli sente di vedere co' suoi occhi, di toccare colle sue mani. Se la questione dunque si riguardasse, come si dovrebbe, da questo lato; cioè che chi nega il pensiero alla materia nega un fatto, contrasta all'evidenza, sostiene per lo meno uno stravagante paradosso; che chi crede la materia pensante, non solo non avanza nulla di strano, di ricercato, di recondito, ma avanza una cosa ovvia, avanza quello che è dettato dalla natura, la proposizione più naturale e più ovvia che possa esservi in questa materia; forse le conclusioni degli uomini su tal punto sarebbero diverse da quel che sono, e i profondi filosofi spiritualisti di questo e de' passati tempi, avrebbero ritrovato e ritroverebbero assai minor difficoltà ed assurdità nel materialismo³² (Firenze 18 Sett. 1827).

Alla luce di questo suo sogno penso che Somenzi sia stato ben felice di poter constatare, negli ultimi anni della sua vita, gli esiti ai quali stava approdando la ricerca nel campo delle neuroscienze con la scoperta, in particolare, dei "neuroni specchio" – così chiamati perché permettono una forma di rispecchiamento tra percezione e azione – nell'area F5 della corteccia premotoria ventrale dei macachi, considerata omologa all'area di Broca negli umani, il che significa che essa può essere interpretata come un'evoluzione dell'area F5 delle scimmie. Nel 1995 Luciano Fadiga, Leonardo Fogassi, Giovanni Pavesi e Giacomo Rizzolatti hanno poi mostrato per la prima volta l'esistenza nell'uomo di un sistema simile a quello trovato nella scimmia. Utilizzando la stimolazione magnetica transcranica essi hanno infatti potuto riscontrare che la corteccia motoria dell'uomo viene facilitata dall'osservazione di azioni e movimenti altrui. Più recentemente, altre prove ottenute tramite fMRI, TMS, EEG e test comportamentali hanno confermato che nel cervello umano esistono sistemi simili e molto sviluppati. Sono state identificate con precisione le regioni che rispondono all'azione/osservazione. Data l'analogia genetica fra primati (compreso l'uomo), non è affatto sorprendente che queste regioni cerebrali siano strettamente analoghe in essi

Questa scoperta rafforza l'idea che il riconoscimento degli oggetti sia affidato a una rappresentazione "pragmatica" (il fatto che un oggetto sia afferrabile in un certo modo), piuttosto che a una rappresentazione semantica della realtà. Da questo punto di vista, dunque, come sottolineano Rizzolatti, a capo dell'équipe dell'università di Parma alla quale si deve questa scoperta, e Sinigaglia si ha un vedere che non è fine a se stesso, ma è orientato a guidare la mano, e che si presenta, dunque, "anche, se non soprattutto, un vedere *con* la mano, rispetto al quale l'oggetto percepito appare immediatamente codificato come un insieme determinato di *ipotesi d'azione*"³³. La percezione, dunque, si presenta come un'implicita preparazione dell'organismo a rispondere e ad agire e dalla quale scaturisce, di conseguenza, un tipo di comprensione che ha una natura, appunto, eminentemente *pragmatica*, che non determina di per sé alcuna rappresentazione "semantica" dell'oggetto, in base alla quale esso verrebbe, per esempio, identificato e

³² G. Leopardi, *Zibaldone di pensieri*, in *Pensieri di varia filosofia e di bella letteratura*, Le Monnier, Firenze, 1921, p. 4288.

³³ G. Rizzolatti, C. Sinigaglia, *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Raffaello Cortina, Milano 2006, p. 49.

riconosciuto in base alla sua forma, al suo significato, alla sua funzione, insomma alla sua appartenenza a un insieme già classificato e codificato, e non semplicemente come *qualcosa di afferrabile con la mano*.

“I neuroni di F5 e di AIP rispondono solo a certi tratti degli oggetti (forma, taglia, orientamento, ecc.), e la loro selettività è in tanto significativa in quanto quei tratti sono interpretati come altrettanti sistemi di *affordances* visive e di atti motori potenziali. Di contro, i neuroni che popolano le aree della corteccia cerebrale inferiore codificano profili, colori e trame degli oggetti, elaborando l’informazione selezionata in immagini che, una volta memorizzate, consentirebbero di riconoscerli nelle loro fattezze visive. Ma basta questo per risolvere la distinzione anatomica tra la via *ventrale* e le vie *dorsali* nella contrapposizione funzionale tra una *visione-per-la-percezione* e una *visione-per-l’azione*? Crediamo di no – a meno di non ridurre la *percezione* a una rappresentazione iconica degli oggetti, alla raffigurazione di una *cosa*, indipendente da qualsiasi *dove* e da qualunque *come*, e l’azione a un’intenzione che discrimina tra un *come* e forse un *dove*, ma nulla ha a che fare con il *cosa*. A meno cioè di non relegare il processo percettivo a mera identificazione di figure (*idee*, nel senso letterale della parola), emendate da qualunque pregnanza motoria ed elevate al rango di unici possibili veicoli di significato, e di frantumare il senso dell’azione in una semplice successione di movimenti di per sé privi di correlato oggettuale”³⁴.

Questa ipotesi, in base alla quale un oggetto qualsiasi risulta conoscibile, e dunque concettualizzabile, per le opportunità pratiche che consente, da una parte evidenzia il nesso inscindibile tra percezione e azione, e dunque tra mente e corpo, tra materia e psiche, dall’altra sottolinea come l’atto del percepire non sia il risultato di un atteggiamento meramente contemplativo nei confronti della realtà, ma sia invece l’espressione di un’attività in cui il soggetto si radica all’ambiente nel trasformarlo costantemente.

Le recenti scoperte nel campo della paleoantropologia e dell’archeologia corroborano inoltre la tesi che il pensiero simbolico non sia emerso all’improvviso, attraverso un processo di sola acquisizione culturale, ma si sia invece evoluto gradualmente, in relazione diretta all’evoluzione anatomica di *Homo sapiens*, nel corso di un lungo arco temporale in cui è risultata determinante anche l’evoluzione biologica.

“L’esistenza di forme primitive di comportamenti simbolici nei *sapiens* africani mostra che è possibile retrodatare a un periodo precedente a 50.000 anni fa l’avvento del simbolo e della modernità comportamentale e che, dunque, il presunto scarto temporale tra evoluzione anatomica ed evoluzione comportamentale non ha più ragione d’essere sostenuto. Nella filogenesi della nostra specie evoluzione biologica ed evoluzione comportamentale-culturale sono tratti convergenti e strettamente interconnessi: l’avvento del pensiero simbolico dipende (anche) dai processi dell’evoluzione biologica e non (esclusivamente) da quelli dell’evoluzione culturale”³⁵.

Questa “unidualità”, come ho avuto modo di chiamarla altrove³⁶, tra evoluzione naturale ed evoluzione culturale, tra materia e pensiero, tra “*res extensa*” e “*res cogitans*”, tra gesti manuali e suoni vocali, tra pianificazione gerarchica delle azioni e produzione linguistica, tra costruzione di strumenti ed elaborazione del linguaggio umano, tra attuazione di piani gerarchici di comportamenti e sintassi del linguaggio è la chiave per la comprensione dell’epistemologia evoluzionistica di Somenzi e gli sviluppi ai quali ho fatto qui rapidamente riferimento testimoniano il significato e il valore, tuttora attuali, della sua eredità.

³⁴ *Ibidem*, pp. 49-50.

³⁵ F. Ferretti, I. Adornetti, *Dalla comunicazione al linguaggio. Scimmie, ominidi e umani in una prospettiva darwiniana*, Mondadori, Milano 2012, pp. 97-98.

³⁶ S. Tagliagambe, “L’«unidualità» dell’ambiente, il tempo e l’ontologia delle relazioni”, in M. Alfano e R. Buccheri (a cura di), *Tempo della fisica e tempo dell’uomo: Relatività e relazionalità*, I.I.S. «Leonardo da Vinci»- Akousmata, Trapani-Ferrara, 2009, pp. 135-173.

