Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica, Matematica e Scienze Naturali
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 131-136
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La lettura chimica del vivente. Un approccio sistemico

GIOVANNI VILLANI

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici, (UOS Pisa) – CNR
Orcid: 0000-0001-8030-0799 • E.mail: villani@pi.iccom.cnt.it

Abstract – Chemistry plays an important role in the study of the living. The achievements of biochemistry and molecular biology of the 20th century amply demonstrate this and they have changed our image of the living. From an epistemological point of view, however, the chemical approach to the living is often seen as an attempt to reduce the living organism to a device and framed in a reductionist perspective. What there is to add to the chemical approach remains, however, always hazy. This paper shows a systemic and non-reductionist chemical approach to the living. This approach allows us to explain why chemistry is so "efficient" in describing and interpreting the processes that occur in living organisms, avoiding reducing life to "just chemistry".

Keywords: life; organism; chemistry vs biology; reductionism; systemics; living's image

Riassunto – La Chimica svolge un ruolo importante nello studio del vivente. I successi della biochimica e della biologia molecolare del XX secolo lo stanno ampiamente a dimostrare ed essi hanno modificato la nostra immagine del vivente. Dal punto di vista epistemologico, tuttavia, l'approccio chimico al vivente viene spesso visto come un tentativo di ridurre l'organismo vivente a un dispositivo e inquadrato in un'ottica riduzionista. Cosa vi sia da aggiungere all'approccio chimico resta, tuttavia, sempre nebuloso. In questo lavoro si mostrerà un approccio chimico di tipo sistemico e non-riduzionista al vivente. Questo approccio consente di spiegare perché la chimica è così "efficiente" nel descrivere e interpretare i processi che avvengono negli organismi viventi, evitando di ridurre la vita a "solo chimica".

Parole chiave: vita; organismo; chimica vs biologia; riduzionismo; sistemica; immagine del vivente

Leggendo il titolo di questo lavoro, molti avranno pensato "ecco un altro riduzionista che ha l'intenzione di ridurre la vita alla chimica". Il sottotitolo, tuttavia, fa sorgere qualche dubbio. Che cosa si vuole intendere con "approccio sistemico"? È questa un'indicazione che la prima impressione del titolo non è corretta? In che modo questo sottotitolo potrebbe modificare l'idea corrente che "leggere" il vivente con un approccio chimico sia ridurre la vita "a chimica applicata"? Sono queste le risposte che cercherò di dare in questo lavoro.

Per dare queste risposte bisogna partire dal concetto di "sistema" [6-9]. Questo termine oggi ha molteplici definizioni, ma non è questo il luogo in cui ci

si pone il compito di specificarle e analizzarle. Qui si propone che il termine "sistema" (e in questo caso anche il termine "organismo", non operando in questo contesto una particolare distinzione tra i due) sia riservato esclusivamente a indicare *un insieme di elementi in interrelazione specifiche e non lineari tali da poter configurare un ente come "strutturato/organizzato"* e dove per "struttura/organizzazione" s'intende *la configurazione delle relazioni tra le parti del sistema, tra il sistema nel suo insieme e le parti e, infine, tra le parti e il tutto*. Definizione piuttosto articolata e complessa da richiedere ulteriori precisazioni.

Una prima precisazione riguarda il termine "insieme". In letteratura, esiste un'idea che per avere un sistema occorrono "molte" unità costitutive. Per esempio, uno stormo di uccelli, che volteggia nel cielo come un "tutto", non può essere costituito da 5-10 uccelli. Nell'idea chimica di sistema cui io accennerò, invece, tale limitazione non esiste. Una molecola è per me un sistema [7] sebbene costituita da pochi atomi. L'importante è che le interazioni tra i costituenti siano "non lineari"; è questo tipo d'interazione a creare un sistema, a creare un ente in cui emergono delle proprietà collettive non riducibili e neppure riproiettabili (assegnabili) in maniera univoca sui costituenti. Una seconda precisazione riguarda "interrelazioni specifiche". Questo significa che le relazioni (che sono sempre in ambedue le direzioni e, quindi, interrelazioni) tra tutte le parti non sono uguali tra i costituenti dell'insieme [2]. Il caso dei legami chimici, specifici per alcune coppie di atomi, ne è un esempio. Il termine chiave nella definizione di sistema è "struttura/organizzazione" che connette non solo gli elementi tra loro, ma anche gli elementi con la totalità e la totalità con gli elementi. Intesa come la configurazione delle relazioni, se stabile o regolare nel tempo, essa trasforma un aggregato non strutturato di enti in un sistema. È la struttura/organizzazione, infatti, che dà forma nello spazio e nel tempo a una realtà nuova: il sistema.

Il concetto di sistema, nel senso di un ente globale strutturato/organizzato, entra in tanti campi particolari del mondo materiale, di quello concettuale e di quello sociale, ed è difficile sopravvalutarne l'importanza. Solamente l'ottica riduzionista, imperante per secoli, ha, di fatto, occultato questa evidenza. La sottovalutazione nell'ambito delle scienze naturali del concetto di sistema ha contribuito in maniera non piccola alla separazione netta, al limite dell'antinomia, che si è creata nella scienza moderna tra le scienze naturali e quelle umane/sociali. Il concetto di struttura/organizzazione e il conseguente concetto di sistema possono e devono aiutarci a superare, o almeno a ridurre, questa barriera.

Il concetto di sistema, così come è stato appena definito, è relativamente nuovo in fisica. In meccanica e in termodinamica classica, il concetto di "sistema", largamente utilizzato "depurato" del concetto di struttura/organizzazione, è un'altra cosa. Solo con la meccanica quantistica e con la termodinamica di non-equilibrio tale termine assume in fisica il significato usato in questo contributo.

Il concetto di sistema è considerato poco importante dai chimici sebbene, come ci dice Luisi, in filosofia sia spesso usata propria la chimica per spiegare l'emergere di proprietà nuove tipiche del sistema [3]: «La possibile rilevanza della chimica per la nozione di emergenza è stata realizzata presto. Mill aveva usato le reazioni chimiche come esempi di emergenza già nel secolo precedente (Mill, 1843) – e nel 1925, come citato di McLaughlin, Broad (1923) aveva detto "la situazione che ci troviamo di fronte in chimica sembra offrire l'esempio più plausibile del comportamento emergente". Esempi derivati dalla chimica possono essere trovati nella letteratura moderna sull'emergenza […]. Comunque tutti questi lavori, sebbene molto interessanti nel contesto generale della filosofia dell'emergenza, non hanno avuto molto impatto sulla chimica contemporanea e sulle scienze molecolari in genere».

Nel caso delle molecole, la strutturazione/organizzazione è specificata dal concetto globale di *struttura molecolare* che non può in nessun caso, essere ridotto "alla disposizione spaziale degli atomi costituenti", come qualche volta è fatto nei manuali di chimica. In casi chimici più complessi, come nelle molecole "giganti" chiamate macromolecole, la sola struttura molecolare non è sufficiente per caratterizzare il sistema e occorre fare riferimento anche alla "forma" che assume la macromolecola. Per esempio, affinché una proteina sia attiva in una cellula, essa deve avere una forma specifica, deve essere in quella che è chiamata *forma nativa*. Nel caso delle macromolecole viene fuori la differenza tra i concetti di struttura e di organizzazione.

Il concetto di sistema come ente organizzato è stato, invece, sempre ben presente in biologia: il concetto di organismo ne è la chiara evidenza, sebbene nell'attuale biologia non sia certamente il solo ambito in cui i concetti di strutturazione e di organizzazione siano essenziali. Sono stati proprio questi due concetti a creare frequenti "frizioni" nelle scienze naturali. Per esempio, la problematica della riducibilità della chimica alla fisica nasce dal considerare la molecola come un "aggregato di atomi" e non un sistema; allo stesso modo, considerando un organismo un "aggregato di composti e processi chi-

mici", ne è seguita la pretesa di "ridurre" la biologia a chimica. A ben guardare, la generale pretesa di ridurre, passo dopo passo, tutto alla fisica, sia le scienze naturali sia quelle umano/sociali, è figlia del mancato riconoscimento del ruolo del concetto di sistema nelle varie discipline. La speranza di questi riduzionisti era che le scienze umane e sociali si potessero ridurre a puri epifenomeni biologici, la biologia si riducesse ai suoi costituenti/processi chimici e la chimica alla fisica. Per fare questo si è cercato di sminuire il concetto di organismo biologico, quello dove il concetto di sistema appare evidente, per riportare la biologia nell'alveo delle scienze naturali hard come la fisica e la chimica. Al contrario, la presunta mancanza di "organizzazione" in chimica e fisica e la sua presenza in biologia è stata anche utilizzata per creare una "separazione assoluta", una dicotomia, tra gli enti naturali e contrapporre in maniera assoluta il vivente al non-vivente. Io, invece, ho cercato di mostrare [6, 7, 9] che i concetti di struttura e di organizzazione sono presenti anche in chimica (e in parte anche in fisica) e che l'assolutezza di tale separazione vada superata, riconoscendo l'ampiezza del concetto di sistema.

Tre sono le asserzioni chiave intorno a cui si articola l'idea di sistema, asserzioni che possono sembrare contraddittorie, ma che sono necessarie e complementari nel concetto di sistema.

- *Il sistema è più della somma delle sue parti considerate in isolamento*. Il sistema possiede, infatti, molto di più delle sue componenti considerate isolatamente: la sua organizzazione, la sua unità globale e le nuove qualità e proprietà *emergenti* da queste, sono i fattori che lo differenziano dal mero aggregato di parti. Queste nuove caratteristiche del tutto non si manifestano, però, soltanto al livello della globalità, al livello del sistema inteso come un "tutto", ma anche al livello delle singole parti.
  Il fatto veramente notevole che si rivela dall'analisi sistemica è la presenza di una retroazione delle macroemergenze sugli elementi componenti il sistema, retroazione che produce delle microemergenze. Si tratta di un principio chiave sistemico: il legame tra formazione e trasformazione. *Tutto ciò che forma, si trasforma*.

- *Il sistema è meno della somma delle sue parti considerate in isolamento*. Se, da un lato, è stato spessissimo notato (da Aristotele in giù) che il sistema è più della somma delle parti, raramente è stata riconosciuta l'idea contraria. Eppure è deducibile dall'idea di organizzazione e si lascia comprendere in maniera più semplice di quanto non sia l'emergenza. La presenza di un'organizzazione equivale, infatti, all'esistenza di vincoli, di restrizioni sugli stati che possono assumere gli elementi che compongono il sistema.

- *Il sistema è un ente intrinsecamente dinamico*. Un'altra caratteristica fondamentale del concetto di sistema è la sua duplice natura di ente e di processo: il sistema è un ente dinamico. La classica divisione di "ente" e "processo" utilizzata in scienza va, quindi, rivista in un'ottica in cui ambedue questi aspetti confluiscono nel sistema. Nella chiusura identitaria del sistema, quella che lo separa concettualmente dall'ambiente, alcuni suoi processi dinamici entrano a costituire la dinamica interna del sistema, altri costituiscono l'interazione dinamica del sistema come un tutto con l'ambiente. I tempi caratteristici di questi due set di processi sono spesso differenti e questo semplifica la separazione e la modellizzazione tra "l'interno" e "l'esterno" del sistema. Vi sono dei casi, tuttavia, in cui questa separazione non è facilmente identificabile e l'accoppiamento tra i processi interni ed esterni negli esseri viventi può essere un buon esempio e le problematiche umane e sociali, degli esempi ancora migliori.

La teoria dei sistemi c'insegna che, quando si studiano i sistemi ai diversi gradi di complessità, non bisogna spingere l'analisi fino all'ultimo livello di complessità, all'elemento primo che, secondo i riduzionisti, racchiuderebbe in sé il "tutto" perché fonte iniziale della spiegazione, ma soltanto fino a un certo numero di livelli di complessità maggiormente interconnessi. Più le connessioni interne ed esterne di un sistema sono sviluppate e più complesse sono le interrelazioni che sono alla base di questa associazione, più la dinamica del sistema va esplicitata su più livelli di complessità.

Almeno tre sono i livelli di complessità che in un modo o nell'altro vanno considerati nello studio della dinamica di un sistema. I processi che avvengono nel nostro sistema, la sua dinamica, si esplica nel suo livello di complessità con interazioni "alla pari" tra sistemi. Nel caso molecolare, le molecole interagiscono tra di loro e *idem* tra le cellule nel livello cellulare di complessità. Anche le interazioni tra individui biologici o tra le specie biologiche avvengono nei loro livelli di complessità Per esempio, i rapporti familiari o quelli predatore/preda sono rapporti tra organismi viventi che restano e possono essere spiegati nel loro livello di complessità. È questo tipo d'interazione che consente quella che potremmo chiamare una "causalità in orizzontale" e che permette di studiare i sistemi nella loro totalità senza considerarli formati di parti.

La dinamica di un sistema dipende dalla dinamica dai suoi componenti. Abbiamo detto che un sistema è un ente dinamico, un ente con una sua dinamica interna. Per fare un esempio, la dinamica interna alla molecola (le vibrazioni o altri moti interni) influenza quello che il sistema fa o può fare. Allo stesso modo, lo stato cellulare influenza l'organismo nella sua totalità, come le malattie possono mettere in evidenza. È questa una dinamica tra due livelli di complessità e, essendo noi interessati a ciò che avviene al nostro sistema, è una causalità bottom-up (dal basso in alto) perché si utilizza quello che avviene nel livello dei componenti (livello inferiore) per capire quello che avviene al nostro sistema.

La dinamica di un sistema dipende dall'ecosistema, dall'ambiente in cui il sistema è posizionato. La dipendenza temporale dall'ambiente (livello di maggiore complessità) è ovvia in molti casi e più "occultata" in altri. Per esempio, spesso i chimici teorici studiano la singola molecola per capire come essa si comporterà in differenti ambienti. È, tuttavia evidente a tutti i chimici che quello che una molecola o una macromolecola fa e può fare dipende sia dalle sue caratteristiche sia dall'ambiente in cui è situata. Una molecola o una macromolecola in una cellula può svolgere un "ruolo" in virtù delle sue caratteristiche, ma anche di quelle dell'ambiente. Un animale in una nicchia ecologica, una pianta in una foresta o un pesce in una barriera corallina, oltre a dipendere dagli altri sistemi presenti (gli altri organismi viventi), dipende anche dall'ambiente generale in cui si trova, dalle condizioni fisiche a quelle globali biologiche presenti. Questo tipo d'interazioni permette una causalità top-down (o downward causation), spesso negata dai filosofi della scienza che, a volte, sono più riduzionisti degli stessi scienziati.

Infine, questi tre livelli di complessità possono essere attraversati da cicli di processi che li coinvolgono direttamente e in maniera così integrata da operare sul nostro sistema in maniera complessiva. Questo genera una "causalità circolare" che "chiude" le causalità dal basso, in orizzontale e dall'alto.

Questi sono i tre livelli minimi da tenere in conto, ma a volte i sistemi sono così integrati verso l'interno e verso l'esterno, che la profondità di analisi deve essere spinta anche in altri livelli di complessità. In pratica, più il nostro sistema d'interesse è integrato nel tutto, più alto è il numero di livelli di complessità che si devono considerare per studiarne la dinamica. È, ovviamente, sempre possibile ridurre la complessità della sua dinamica riducendo i piani di complessità implicati ma, in questo caso, si deve sempre tenere presente che si stanno semplificando le causalità e si ottiene una dinamica semplificata per il nostro sistema.

Per il riduzionista convinto, a ogni livello di complessità c'è un "perché", rivolto sempre nella stessa direzione, verso l'interno, verso dimensioni più piccole. Steven Weinberg, premio Nobel per la fisica nel 1979, espresse chiaramente questo punto di vista quando perorò stanziamenti per un futuro acceleratore di particelle, di fronte alle critiche provenienti da altri fisici [10]: «Iniziando da qualche parte nella scienza e, come un bambino sgradevole, continuando a chiedere "Perché?" Alla fine scenderai al livello del molto piccolo […] Ho notato che le frecce della spiegazione sembrano convergere verso una fonte comune, e nel nostro lavoro sulla fisica delle particelle elementari pensiamo di starci avvicinando a quella fonte. C'è un indizio nella fisica delle particelle elementari odierna che non solo siamo al livello più profondo a cui possiamo arrivare in questo momento, ma che siamo a un livello che in realtà è in termini assoluti abbastanza profondo, forse vicino alla fonte finale».

Notiamo, per fortuna, che non tutti i fisici importanti la pensano allo stesso modo. Al fisico Weinberg possiamo contrapporre il fisico Philip W. Anderson, anch'esso premio Nobel per la fisica, ma nel 1977. Partendo da quando aveva detto Paul Dirac (da lui indicato come "lo scopritore del positrone") che, dopo che le leggi della Meccanica Quantistica erano state stabilite,"il resto è chimica", cioè fisica applicata, Anderson dice [1]: «L'arroganza del fisico delle particelle e la sua ricerca intensiva possono essere alle nostre spalle (lo scopritore del positrone ha detto "il resto è chimica"), ma dobbiamo ancora riprenderci da quella di alcuni biologi molecolari, che sembrano determinati a cercare di ridurre tutto ciò che riguarda l'organismo umano alla "sola" chimica, dal comune raffreddore, a tutte le malattie mentali fino all'istinto religioso. Sicuramente ci sono più livelli di organizzazione tra l'etologia umana e il DNA di quanti ce ne siano tra il DNA e l'elettrodinamica, e ogni livello può richiedere una struttura concettuale completamente nuova».

L'approccio sistemico della chimica ha delle caratteristiche generali comuni a tutti gli approcci sistemici e alcune peculiarità. Sulle prime non credo sia il caso di aggiungere altro rispetto a quanto detto sul concetto generale di sistema e sulle sue interrelazioni. Sulla peculiarità dell'approccio chimico sistemico voglio, invece, qui sottolineare alcuni aspetti. Per prima cosa, un aspetto scientifico ricollegabile all'uso che tale disciplina fa dei termini concettuali di ente e processo. Come ho mostrato altrove [9], la Chimica è la disciplina scientifica che usa in maniera più "equilibrata e simmetrica" questi due

concetti, ambedue essenziali: tanto la preponderanza dell'aspetto sostanziale quanto di quello processuale, infatti, crea sempre delle distorsioni da evitare. È questo il punto essenziale che spiega l'efficacia della Chimica per studiare gli organismi viventi.

La spiegazione di tipo chimico, infatti, non ricerca, come quella fisica, delle leggi universali cui assoggettare processi ed enti naturali specifici, ma tramite le proprietà statiche e dinamiche dei costituenti (molecole e macromolecole nel mondo microscopico, sostanze chimiche in quello macroscopico) e quelle dell'ambiente determina le proprietà e il comportamento di un "pezzo strutturato/organizzato" di realtà studiato. Per la Chimica esiste un momento di "analisi" (bottom-up) in cui individuare i componenti e un momento di "sintesi" (in orizzontale e top-down) in cui i componenti sono messi insieme per creare un nuovo sistema in un ambiente. È questa la pratica chimica a tutti i livelli, dalla ricerca all'industria chimica.

Il mondo microscopico della chimica, il livello di complessità molecolare, composto di una miriade di "enti strutturati/organizzati", è una risorsa sia scientifica sia culturale per la Chimica, in particolare, e per la scienza, in generale. Sull'importanza scientifica del binomio molecola/composto e sue reazioni non mi soffermerò ulteriormente. Basterà dire che tramite questo binomio passa la quasi totalità della Chimica. Sull'importanza "culturale", invece, spenderò qualche parola perché è un aspetto sottovalutato, persino in ambito chimico e scientifico, in generale. Chiediamoci che cosa ha il mondo molecolare di tanto importante da meritare di trascendere il puro ambito scientifico e diventare, quindi, un aspetto culturale. Io credo, infatti, che il concetto di molecola, come ente strutturato/organizzato dinamico, sia una conquista culturale, oltre che scientifica. Un qualcosa da proporre alle altre discipline come esempio, come modello di spiegazione [6, 7].

Dal punto di vista strettamente scientifico, il livello di complessità delle molecole presenta delle peculiarità. In una possibile lista dei livelli di complessità della realtà, quella che dalle particelle elementari porta al macroscopico, il livello molecolare si situa immediatamente prima della biforcazione tra il mondo inanimato e quello animato. Rispetto al mondo vivente, le molecole sono il livello di studio immediatamente precedente (basti pensare al binomio cellula/costituenti cellulari) e le molecole sono, quindi, fondamentali nello studio del vivente, come la Biochimica sta a evidenziare. Il livello molecolare è, tuttavia, anche il livello immediatamente precedente agli oggetti inanimati macroscopici che ci circondano e anche per essi il mondo molecolare diventa il referente di spiegazione. In quest'ultimo caso, basti pensare ai minerali, alle rocce, ecc. e al ruolo che svolge la Geochimica nel loro studio.

Ecco una prima ed essenziale caratteristica culturale del mondo microscopico della Chimica: esso rappresenta un linguaggio unico e specifico con cui studiare tutto il mondo materiale. È questo un aspetto essenziale da evidenziare. La scienza moderna non ne può fare più a meno. Lo possiamo mettere in evidenza dicendo, parafrasando Galileo: "il mondo materiale scientifico odierno è scritto in linguaggio chimico e i suoi caratteri sono atomi, molecole e macromolecole nel mondo microscopico e sostanze chimiche in quello macroscopico. Senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto".

Non è, tuttavia, solo questa la peculiarità del mondo molecolare. Esso è un mondo ricco qualitativamente, cioè i suoi enti, milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri a tal punto da meritare ognuno un nome individuale. È questa sua caratteristica che lo rende particolarmente utile nello spiegare tanto il complesso mondo macroscopico quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente. Questa sua varietà è una diretta conseguenza della strutturazione/organizzazione a livello microscopico e su quest'aspetto scientifico, fondamentale per la Chimica e per tutta la scienza, va posta la giusta attenzione.

Per concludere riprendiamo i rapporti tra le varie discipline scientifiche considerate, la fisica, la chimica e la biologia, ripartendo da come spieghiamo che il mondo chimico molecolare si "adatta" così bene allo studio del vivente. Bisognerebbe chiarire, ovviamente, che cosa sia la "vita", che cosa caratterizza un sistema vivente. Su quali siano le proprietà/fenomeni definitorie del vivente non c'è accordo in letteratura [5], ma questo è, probabilmente, un problema minore. La vera difficoltà nell'ambito biologico risiede nel capire dove e come cercare/trovare una risposta scientifica alla domanda su che cosa sia la vita.

Alcuni credono che la risposta vada cercata in un approccio chimico, riducendola ai costituenti e ai loro processi, nella speranza che questi possano essere poi ridotti alla fisica. Io sono lontano dalla tesi fisicalista che un grande filosofo del XX secolo, Willard Van Orman Quine, ha così stringatamente caratterizzato [4]: «La fisica indaga sulla natura essenziale del mondo e la biologia descrive una protuberanza locale. La psicologia, la psicologia umana, descrive una protuberanza su una protuberanza».

Altri ritengono che la chimica non sia in grado di dare una risposta sul significato di vita, sebbene essa, tramite il "paradigma molecolare" che riduce tutto ai suoi costituenti, possa fornire una risposta a molti (forse, tutti) i

processi che avvengono nel vivente. Questo è ben chiaro in quello che dice Carl Richard Woese, uno dei maggiori microbiologi americani del XX secolo [11]: «La biologia oggi è a un bivio. Il paradigma molecolare, che ha guidato con tanto successo la disciplina per gran parte del XX secolo, non è più una guida affidabile. La sua visione della biologia ora realizzata, il paradigma molecolare, ha fatto il suo corso. La biologia, quindi, ha una scelta da fare, tra il percorso comodo di continuare a seguire l'esempio della biologia molecolare o quello più corroborante di cercare una visione nuova e stimolante del mondo vivente, che affronti i principali problemi della biologia che la biologia del XX secolo, la biologia molecolare, non poteva gestire e, quindi, ha evitato. Il primo corso, sebbene altamente produttivo, trasformerà sicuramente la biologia in una disciplina ingegneristica. Il secondo, sostiene la promessa di fare della biologia una scienza ancora più fondamentale, che, insieme alla fisica, sonda e definisce la natura della realtà».

Io credo che ambedue le alternative proposte siano sbagliate. L'ottica in cui è stato scritto questo lavoro è quella sistemica. A mio avviso, è superata, soprattutto filosoficamente, l'idea di un pensiero scientifico unico, un'unica disciplina scientifica cui tutto riportare. L'idea riduzionista, fisicalista in questo caso, non mi sembra riscuota più tutto quel successo che aveva in passato. In un mondo dove il "pensiero unico" è stato messo in discussione in filosofia e persino in religione, vuole la scienza cercare di diventare il nuovo "pensiero unico"? Non mi sembra proprio il caso. Io ritengo, tuttavia, che anche la tesi di fondo di molte posizioni anti-riduzionistiche in ambito biologico sia sbagliata e dannosa alla stessa "causa anti-riduzionista". La tesi di fondo di questi anti-riduzionisti è, infatti, l'antinomia tra vivente e non-vivente. Non è casuale che questi anti-riduzionisti pongono l'accento sull'insufficienza dell'approccio fisico e chimico nello studio del vivente. Io, a questi anti-riduzionisti, dico che la loro soluzione al riduzionismo è peggiore del problema che voglio risolvere. Se al riduzionismo opponiamo una separazione assoluta, un'antinomia filosofia, tra il vivente e il non-vivente, creiamo una duplice area di riduzione. Se poi vi aggiungiamo la dicotomia dell'animato con l'umano, introduciamo un'ulteriore dicotomia, ma non risolviamo il problema. Questo è evidente sul problema dell'origine della vita e dell'uomo. Avrebbero gioco facile i riduzionisti se chiedessero a questi anti-riduzionisti come spiegano, allora, i passaggi tra queste aree dicotomiche. Se queste aree sono assolutamente separate, come possiamo poi scientificamente spiegare il "passaggio" tra il non-vivente e il vivente e la nascita della vita? Se queste aree sono assolutamente separate, come possiamo poi scientificamente spiegare la nascita del genere *Homo*?

Quale possibilità allora ci resta? Io supporto quella sistemica. Una visione in cui tutte le discipline scientifiche sistemicamente sono parti di un tutto, con autonomia e reciproche interazioni. Posto in questi termini, in quest'ottica sistemica, ogni settore scientifico, ogni realtà disciplinare, ha una sua autonomia, con conseguente necessità di specificarla, ma ha anche una sua integrazione ad altre realtà o settori scientifici. Queste interazioni interdisciplinari sono parti fondamentali delle stesse discipline scientifiche, non vincoli filosofici esterni (come nelle opposte visioni filosofiche illustrate) e sono altrettanto importanti per ogni disciplina della propria autonomia. Il sistema scienza, come altri sistemi, è chiuso e aperto allo stesso tempo. Nello stesso momento, quindi, in cui io richiedo autonomia per la chimica dalla fisica e, conseguentemente, assegno un intrinseco valore culturale a questa disciplina, rigetto senza esitazione anche la richiesta di riduzione della biologia alla chimica o della psicologia alla biologia.

BIBLIOGRAFIA

[1] ANDERSON Philip Warren, *More is different*, in «Science», 177 (1972), pp. 393-396.

[2] GHIBAUDI Elena, Luigi CERRUTI, Giovanni VILLANI, *Structure, shape, topology: entangled concepts in molecular chemistry*, in «Foundations of Chemistry», 22 (2020), pp. 279-307.

[3] LUISI Pier Luigi, *Emergence in chemistry: chemistry as the embodiment of emergence*, in «Foundations of Chemistry», 4 (2002), pp. 183-200.

[4] QUINE Willard Van Orman, *Theories and Things*, Cambridge (Mass-USA), Cambridge University Press, 1981, p. 16.

[5] TIRARD Stephane, Michel MORANGE, Antonio LAZCANO, *The Definition of Life: A Brief History of an Elusive Scientific Endeavor*, in «Astrobiology», 10 (2010), pp. 1003-1009.

[6] VILLANI Giovanni, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Napoli, Cuen, 2001.

[7] VILLANI Giovanni, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Milano, FrancoAngeli, 2008.

[8] VILLANI Giovanni, *La chimica: una scienza della complessità sistemica ante litteram*, in *Strutture di mondo. Il pensiero sistemico come specchio di una realtà complessa,* a cura di L. Urbani Ulivi, Bologna, Il Mulino, 2010, pp. 71-89.

[9] VILLANI Giovanni, *Chemistry: A Systemic Complexity Science,* Pisa, Pisa University Press, 2017.

[10] WEINBERG Steven, *Newtonianism, reductionism and the art of congressional testimony*, in «Nature», 330 (1987), pp. 433-443.

[11] WOESE Carl Richard, *A new biology for a new century*, in «Microbiology and Molecular Biology Reviews», 68 (2004), pp. 173-186.