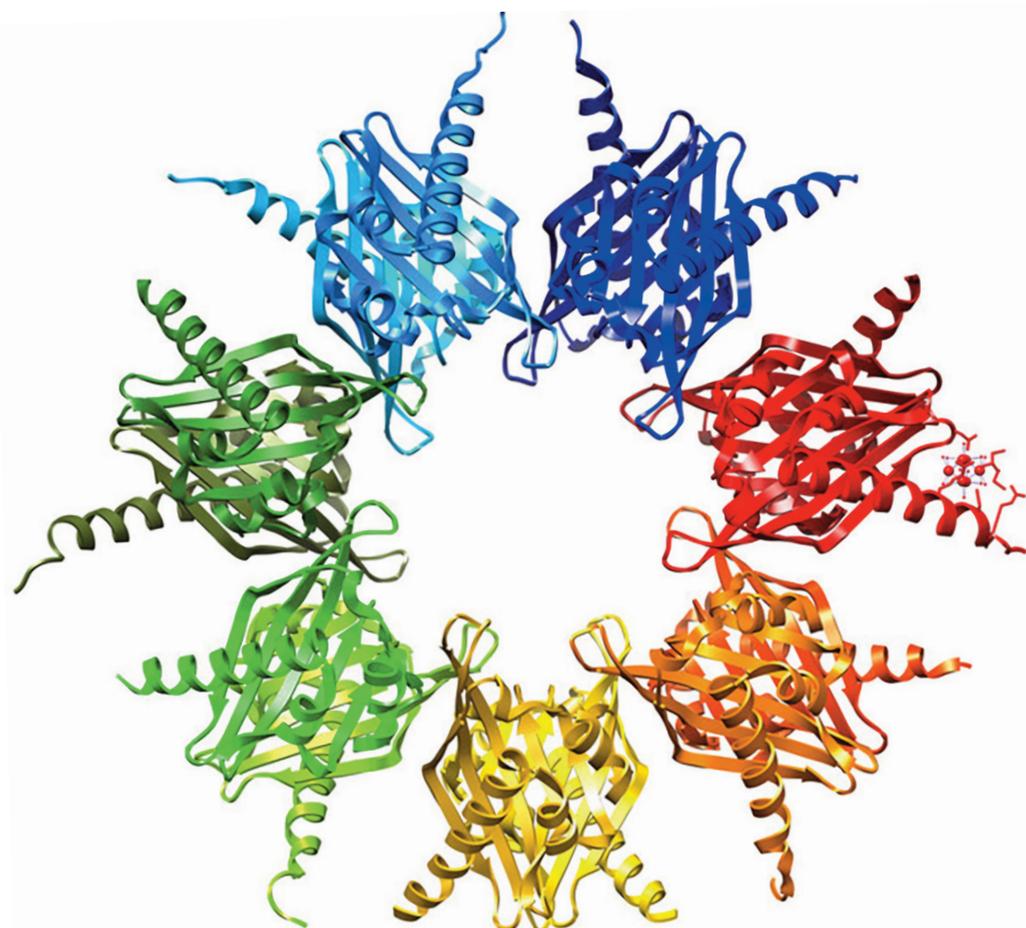


Giovanni Villani

L'INTERPRETAZIONE CHIMICA DEL VIVENTE

Fondamenti sistemici
delle scienze della vita



Saggi



Saggi

Giovanni Villani

L'interpretazione chimica del vivente
Fondamenti sistemici delle scienze della vita



Copyright © 2023, Biblioteca Clueb
ISBN 978-88-31365-61-1

Biblioteca Clueb
via Marsala, 31 – 40126 Bologna
www.clueb.it – www.bibliotecaclueb.it

Per informazioni sul copyright e il catalogo è possibile consultare il sito della casa editrice www.clueb.it.



Indice

| | |
|--|----|
| Prefazione | 7 |
| Introduzione – Il sistema come ente dinamico | 9 |
| 1. I concetti di ente e di trasformazione nella scienza | 11 |
| 2. Il sistema e l'organismo: le parti strutturate/organizzate che formano un tutto | 18 |
| 3. Causalità nei sistemi e riduzionismo | 21 |
| 4. La spiegazione chimica sistemica del vivente | 27 |
| Capitolo I – La chimica vs la biologia nel XIX secolo | 33 |
| 1. La materia del vivente: dal vitalismo alla chimica | 34 |
| 2. L'energia e il calore negli esseri viventi | 41 |
| 3. L'aumento della complessità nel vivente | 44 |
| 4. Due teorie biologiche di ampio respiro | 50 |
| Capitolo II – La nascita del concetto di macromolecola | 55 |
| 1. La teoria protoplasmatica | 55 |
| 2. Lo stato colloidale | 56 |
| 3. Verso le macromolecole | 58 |
| 4. Il folding delle proteine in vitro e in vivo e la loro denaturazione | 60 |
| 5. Considerazioni filosofiche sul folding delle proteine | 64 |
| 6. Determinazione delle differenti strutture delle proteine | 69 |
| 7. Struttura e forma nelle molecole e nelle macromolecole | 70 |
| Capitolo III – Da Mendel alla biologia molecolare | 75 |
| 1. Mendel, un innovatore del XIX secolo riscoperto nel XX secolo | 76 |
| 2. Il concetto di gene | 77 |
| 3. La materializzazione del gene: il DNA | 80 |
| 4. La complessificazione del DNA | 83 |
| 5. Il DNA come fattore d'identità di una specie vivente | 86 |
| Capitolo IV – La biologia molecolare oltre le macromolecole | 89 |
| 1. La cromatina: una struttura dinamica per compattare e utilizzare il DNA | 90 |
| 2. Nanoscienze, nanotecnologie e nanomateriali | 91 |
| 3. La chimica supramolecolare e le macchine molecolari artificiali | 97 |

| | |
|--|-----|
| Capitolo V – La cellula e il chimismo cellulare..... | 103 |
| 1. Modelli macroscopici di una cellula | 105 |
| 2. La cellula: l'unità fondamentale degli esseri viventi? | 109 |
| 3. Lo stato interno della cellula: i costituenti e i processi che lo caratterizzano..... | 111 |
| 4. La cellula in un ambiente: la sua capacità di «conoscerlo» e di interagire con esso | 116 |
| 5. Un codice nella cellula e tutti i processi ad esso collegato | 118 |
| 6. Due classi di reazioni chimiche nelle cellule: quelle molecolari e quelle macromolecolari..... | 120 |
| 7. Due modelli di azione enzimatica: modello chiave-serratura e modello guanto-mano..... | 122 |
| 8. Il metabolismo energetico..... | 124 |
| Capitolo VI – Gli organismi pluricellulari e il loro chimismo..... | 127 |
| 1. Problematiche filosofiche degli organismi pluricellulari | 129 |
| 2. Aspetti generali del rapporto tra sistema inglobato e sistema inglobante e relative identità..... | 129 |
| 3. Due tipi di organismi pluricellulari: quelli semplici e quelli complessi | 132 |
| 4. Il chimismo degli organismi pluricellulari e la sua integrazione con il chimismo cellulare..... | 135 |
| Capitolo VII – Oltre la genetica classica: epigenetica e metagenomica | 141 |
| 1. L'epigenetica | 141 |
| 2. La metagenomica | 149 |
| 3. Motivi biologici e culturali contro la simbiosi..... | 153 |
| Capitolo VIII – <i>What is life?</i> La prospettiva chimica | 155 |
| 1. L'efficacia dell'approccio chimico allo studio della vita | 155 |
| 2. Sistemi chiusi e sistemi aperti..... | 158 |
| 3. Prigogine e la termodinamica di non-equilibrio | 161 |
| 4. Il binomio sistema-ambiente..... | 166 |
| 5. Una considerazione filosofica su «what is life»..... | 168 |
| Capitolo IX – Ai confini della vita..... | 173 |
| 1. Sono i virus degli esseri viventi? | 173 |
| 2. I confini spatio-temporali della vita: la sua origine e la sua diffusione fuori della Terra | 178 |
| 3. Una vita «artificiale» creata in laboratorio..... | 183 |
| 4. Ai confini della vita: lo stato del vivente. Salute, malattia e morte | 187 |
| Conclusione – La spiegazione chimica sistemica come modello da estendere | 191 |
| 1. Riepilogo dell'ottica chimica sistemica | 192 |
| 2. La strutturazione del mondo materiale..... | 194 |
| 3. La spiegazione chimica come modello per altre discipline | 198 |
| Indice dei nomi | 201 |

Prefazione

Questo libro è difficile da catalogare perché inquadra una problematica generale, quella del vivente e di un possibile approccio per interpretarlo, in tre prospettive: quella filosofica, quella storica e quella scientifica. Non si risolve in nessuna delle tre, ma solamente nella loro interazione. Non è, quindi, un libro di filosofia della biologia perché altrimenti sarebbe mancante di tante parti essenziali. In ogni caso, è questa la prospettiva che, proprio per la sua natura generale, è quella più vicina. Non è sicuramente un libro di storia della biologia, anche se cerca di individuare alcuni momenti storici «critici» per capire l'ottica odierna al vivente. Non è, infine, un libro di biochimica, sebbene qualche paragrafo possa rientrare in quest'ottica. Questo libro è una riflessione storica-epistemologica su una problematica scientifica.

Un altro aspetto essenziale da mettere in evidenza è di tipo metodologico: esso persegue con impegno un approccio sistemico allo studio chimico del vivente perché l'autore è convinto che un tale approccio consenta una «rilettura» differente di problematiche studiate e codificate da tempo. Sia l'approccio riduzionista sia quello olistico sono figli di una visione «semplificante» dei problemi scientifici. L'approccio sistemico, invece, è strettamente legato alle scienze delle complessità ed è sicuramente caratterizzante e specifico di questa riflessione. Come è evidenziato nel sottotitolo, sebbene non completamente sviluppati, i «fondamenti» sistemici dell'approccio al vivente sono parte integrante del libro.

Classificato il libro, evidenziamo il suo «percorso» in questo territorio immenso dell'analisi del vivente. A un'ampia introduzione filosofica e metodologica sull'argomento, nel libro seguiranno tre capitoli principalmente storico-epistemologici che individuano dei punti nodali dell'approccio chimico al vivente e, in particolare, dell'approccio chimico *sistemico* al vivente. Il periodo storico è ampio, un secolo e mezzo, e ci porterà dal vitalismo della prima metà del XIX secolo alla biologia molecolare della seconda metà del XX secolo. Seguiranno, poi, quattro capitoli principalmente scientifici: sulla chimica nelle cellule e il nostro tentativo di imitarla con «macchine molecolari», su quella negli organismi pluricellulari e su alcuni aspetti «moderni» dello studio del vivente che sembrano andare oltre il nostro approccio chimico, ma mostreremo che non è così: l'epigenetica e la metagenomica. I due capitoli finali, quello su cosa è la vita e sui suoi confini, sono meno classificabili in una delle tre ottiche (quella filosofica, quella storica e quella scientifica): essi sono effettivamente una sintesi di almeno due di esse: l'ottica filosofica su aspetti scientifici specifici. La proposta per le scienze umane e sociali

di considerare «alla pari» enti e processi, come fa la chimica, sarà l'aspetto caratterizzante della conclusione del libro.

Introduzione

Il sistema come ente dinamico

Leggendo il titolo del libro, molti avranno pensato «ecco un altro riduzionista che vuole ridurre la vita alla chimica». Questa idea è oggi considerata «sorpasata», non tanto in ambito scientifico dove ancora «muove» la maggior parte dei ricercatori nello studio di specifici aspetti del vivente, quanto in ambito filosofico. Sgombriamo il campo da questa interpretazione. Il libro non è inquadrabile nell'ottica riduzionista, anzi si oppone fermamente a tale visione filosofica. Come possa un libro che vuole «leggere» il vivente in ottica chimica non essere riduzionista, non mirare a ridurre la vita a chimica, dovrà essere spiegato e lo sarà in parte in questa introduzione, ma soprattutto lungo tutto il libro. Questo argomento poi lo riprenderò nella conclusione per vedere se l'approccio chimico non-riduzionista al vivente possa essere esteso «per similitudine» ad altri ambiti.

Il libro, tuttavia, si oppone anche a tante ottiche anti-riduzioniste alla «moda». Si oppone soprattutto all'idea filosofica che la biologia non è riducibile alla chimica in virtù di una differenza «sostanziale» tra vivente e non-vivente. Anche questo punto sarà sviluppato a breve e si dipanerà lungo tutto il libro. Senza continuare oltre a dire che cosa non è, cerchiamo di caratterizzare allora che cosa è questo libro.

Per caratterizzarlo seguirò due strade e poi cercherò di farle incrociare. Da un lato seguirò la strada sistemica, chiarendone i concetti e facendo ampio riferimento all'idea sistemica di Edgar Morin. Dall'altro andrò a caratterizzare due fondamentali concetti filosofico/scientifici che sono quelli di ente e processo e come questi sono stati coniugati in differenti discipline scientifiche. All'incrocio di queste due strade mostrerò che l'ottica chimica al vivente può essere letta in maniera differente dalla lettura riduzionista usuale.

Se vogliamo inquadrare questo libro in un ambito meta-scientifico più generale, esso si posiziona sicuramente in quell'ambito culturale, minoritario ma in rapida espansione, che si propone di superare una visione scientifica strettamente riduzionista e sostituirla con una posizione sistemica. Spesso nelle analisi epistemologiche sulla scienza si considerano solo due posizioni filosofiche opposte: quella riduzionista e quella olistica. La posizione sistemica è, invece, molto importante e rappresenta una sorta di posizione intermedia tra quella riduzionista e quella olistica, una sorta di sintesi. Nel concetto di sistema, infatti, possono essere fatti confluire sia aspetti riduzionistici sia olistici, tanto le parti quanto il tutto. Edgar Morin, filosofo e sociologo francese, ci dice che il concetto di sistema/

La chimica vs la biologia nel XIX secolo

La biologia, come noi la intendiamo oggi, nasce sostanzialmente nel XIX secolo e il suo rapporto con la chimica di quel secolo è molto complesso. Senza nessuna pretesa di esaustività, noi lo svilupperemo secondo tre direttrici: quella materiale, quella energetica e quella entropica. Queste problematiche si intrecceranno con alcune teorie biologiche che avranno come data di nascita il XIX secolo, ma come sviluppo importante il XX secolo ed oltre. Si sta parlando della Teoria cellulare che si riferisce all'ente biologico individuale (cellula e organismo pluricellulare) e della teoria di Claude Bernard e di Darwin per le trasformazioni degli individui biologici e per le specie. Manca nel XIX secolo una teoria specifica sul concetto di specie biologica e anche nel XX secolo, tale teoria è sviluppata in molti ambiti biologici al punto che qualcuno ha contato decine di definizioni di specie. Il concetto di specie biologica, tuttavia, è un po' collaterale al nostro progetto di leggere i problemi biologici in ambito chimico. Esiste un importante collegamento tra il concetto di specie biologica e la macromolecola del DNA e in quel caso svilupperemo un po' l'argomento.

Con la direttrice materiale intendiamo quella che si occupa, in senso lato, della «materia del vivente» contestualizzata in qualche processo del vivente (in questo caso la fermentazione) in cui essa è coinvolta. Rientra in questa direttrice il problema filosofico, prima che scientifico, del vitalismo e, in quest'ambito, ci occuperemo principalmente di tre momenti storici: (a) la sintesi artificiale dell'urea da parte di Wöhler; (b) la disputa tra Berthelot e Pasteur sulla fermentazione; (c) la scoperta di Buchner della fermentazione senza esseri viventi (*cell-free*). Alla fine di questo percorso troveremo che la biologia è passata da un'idea vitalistica, che richiedeva una materia del vivente differente da quella dell'inanimato, a quella chimica che richiede una stessa materia per il vivente e per l'inanimato.

Nella direttrice energetica esamineremo due scienziati tedeschi: (a) Justus von Liebig, con la sua idea del vivente animato da combustioni interne e (b) Hermann von Helmholtz, con la sua formulazione della legge della conservazione dell'energia. Anche la direttrice energetica restringerà il campo del vitalismo.

Nella direttrice entropica analizzeremo la nascita nel XIX secolo della termodinamica e la sua influenza sul rapporto tra chimica e biologia. Il XIX secolo è, infatti, anche il secolo della termodinamica, dello studio del calore nelle sue forme tecnologiche, ma anche in quelle biologiche. È questo il secolo della nascita del concetto di entropia (in senso lato, una misura del disordine) e della necessità di conciliare l'aumento dell'entropia e del «disordine» dell'Universo legato alla

La nascita del concetto di macromolecola

La nascita del concetto di macromolecola biologica è avvenuta nella prima metà del xx secolo. Le macromolecole sono molecole giganti del peso molecolare di decine o centinaia di migliaia di dalton (un dalton è circa la massa atomica dell'atomo di idrogeno), nel caso del DNA anche molto di più. A tale concetto si è pervenuti superando due ostacoli scientifici generali. Il primo è quello di capire come sia possibile avere molecole così grandi, tenute insieme dai normali legami chimici. A lungo, infatti, all'ipotesi dell'esistenza di sostanze con particelle elementari formate da molecole giganti è stata contrapposta l'idea che le sostanze biologiche, che sembravano essere formate da queste macromolecole, fossero degli «aggregati» di piccole molecole. Questo è il caso della natura colloidale delle sostanze degli esseri viventi che sarà a breve esaminato. Un secondo ostacolo scientifico da superare per pervenire al concetto di macromolecola è stato quello che Erwin Schrödinger definì il problema del «polimero aperiodico». Schrödinger fu uno dei padri della meccanica quantistica e negli anni Quaranta del xx secolo scrisse il libro *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cos'è la vita? L'aspetto fisico della cellula vivente) che ebbe una notevole influenza sulla nascita della biologia molecolare, libro di cui ci occuperemo più avanti. Egli osservò che, quand'anche si fosse ritenuta possibile l'esistenza di un'enorme molecola, essa poteva essere solo formata da una singola unità ripetuta un numero virtualmente infinito di volte, come le macromolecole che oggi chiamiamo polimeri. La possibilità per un organismo di sintetizzare un polimero aperiodico, una macromolecola formata da differenti unità ripetitive in uno specifico ordine, poneva uno scoglio scientifico/filosofico da superare. Fu il superamento di questa difficoltà a gettare le basi dell'attuale concetto di macromolecola biologica, basi valide sia per le proteine sia per gli acidi nucleici.

Prima di analizzare questi due problemi generali, consideriamo un caso un po' particolare: una «macromolecola» con le caratteristiche della vita.

1. *La teoria protoplasmatica*

Il termine «protoplasma» era sinonimo di «materia vivente». Nella teoria protoplasmatica, infatti, si riteneva che i tessuti degli esseri viventi fossero formati da un aggregato di piccole masse gelatinose, senza membrana e senza nucleo e, quindi, non configurabili come cellule. Il protoplasma era, quindi, una forma

Da Mendel alla biologia molecolare

Con il termine di biologia molecolare nello studio del vivente si intende qualcosa di ben preciso e spesso legato all'insieme dei geni a livello molecolare, il DNA. In senso letterale, tuttavia, biologia molecolare è qualcosa di molto più ampio ed è strettamente legata all'idea generale che sostiene questo libro: l'uso dell'interpretazione chimica molecolare nello studio degli esseri viventi. In questo senso ampio, rientrerebbe, quindi, nella biologia molecolare tutto il percorso storico/epistemologico che possiamo far risalire indietro nel tempo, almeno fino all'analisi della respirazione operata da Lavoisier.

Questo percorso storico/epistemologico è, tuttavia, fuori dallo scopo di questo libro e in questo capitolo tratteremo il senso ristretto della biologia molecolare. In particolare, in questo capitolo partiremo dalla nascita dell'unità (simile all'atomo) di ereditarietà dei viventi, intesa come proprietà caratteristica degli esseri viventi di trasmettere alla progenie le informazioni relative ai propri specifici caratteri morfologici e fisiologici, iniziando dalle ricerche di Gregor Mendel. È questo uno snodo concettuale fondamentale della biologia in quanto Mendel per primo formulò le leggi della trasmissione dei caratteri da una generazione alle successive, partendo dai suoi risultati sperimentali ottenuti da incroci ripetuti di piante di piselli. Le idee di Mendel sono state fondamentali per iniziare il percorso che ha portato alla molecularizzazione della biologia. Nel XX secolo, infatti, dopo la riscoperta del lavoro di Mendel, i biologi hanno chiarito quale era il vettore molecolare dell'eredità biologica, hanno cioè identificato la molecola, e determinato la sua struttura, responsabile della gestione dell'informazione che verrà chiamata genetica, dopo che sarà stato sviluppato il concetto di gene. Tale informazione è inscritta nel DNA ed è strettamente legata alla sua struttura. Seguiremo, quindi, il processo storico e filosofico che dall'atomo di ereditarietà ha portato al concetto di gene e alla sua molecularizzazione nel DNA.

Questo capitolo sarà il solo di questo libro dedicato a una molecola (o meglio a una classe di molecole): il DNA. È questa senza ombra di dubbio una molecola importante per gli esseri viventi, forse la più importante molecola insieme a quella dell'acqua. Mentre quest'ultima è, tuttavia, una piccola molecola formata da tre atomi, la molecola che sarà trattata in questo capitolo è una macromolecola, una molecola gigante con miliardi di atomi. Il DNA (questa è una sigla non una formula chimica) è la sostanza chimica nota come acido desossiribosio. La sua importanza, tuttavia, non risiede nella sua enorme quantità di atomi, ma nel suo ruolo che ha permesso a tale molecola di diventare da un lato un'icona e dall'al-

La biologia molecolare oltre le macromolecole

L'odierno studio chimico del vivente, sia quello di biologia molecolare sia quello di biochimica, ha ormai ampiamente superato la nozione di macromolecole identificando una serie di «strutture molecolari» naturali. Esse svolgono un ruolo nell'organizzazione interna della cellula o sono delle «macchine molecolari» che compiono specifiche azioni. Alberto Credi e Vincenzo Balzani dicono che:

Tutto quello che siamo e che facciamo, insomma, è dovuto all'azione di un numero sterminato di molecole, organizzate in congegni e macchine molecolari che non riusciamo a vedere singolarmente in azione, ma che lavorano con grande efficienza, alta velocità e incredibile precisione¹.

Si stima che nel corpo umano «lavorino» circa diecimila diversi tipi di macchine molecolari².

Anche la chimica sintetica ha seguito lo stesso percorso oltre le macromolecole provando, per esempio, a «ricostruire» strutture e/o a «riparare» alcune di queste macchine molecolari presenti nelle cellule, diventando quasi «ingegneria molecolare».

Da quando il concetto di struttura molecolare ha marcato indelebilmente la chimica, la chimica sintetica ha fatto passi da gigante. La chimica odierna è, infatti, in grado di sintetizzare migliaia di molecole differenti, ognuna secondo uno schema di sintesi prefissato e ognuna che possa attuare/incrementare una sua specifica proprietà di interesse. La capacità della chimica di fornire molecole con proprietà «su ordinazione» ha aperto nuove prospettive in molti campi della scienza e della tecnologia.

La chimica odierna, inoltre, sta andando sempre di più «oltre» le specifiche molecole e le macromolecole. Il campo della chimica supramolecolare, dove lo scopo è la «macchina» molecolare artificiale e il campo delle nanotecnologie, dove si costruiscono «oggetti» un po' più grandi con materiali (i nanomateriali) che hanno proprietà variabili in funzione della loro dimensione, sono in piena espansione.

Vediamo adesso brevemente un esempio di un insieme strutturato di macromolecole, la cromatina, che rende «usufruibila» il DNA, nonostante la sua enorme

¹ A. Credi, V. Balzani, *Le macchine molecolari*, Bologna, 1088 Press, 2018, p. 16.

² D.S. Goodsell, *The machinery of life*, New York, Springer, 2009.

La cellula e il chimismo cellulare

In questo capitolo mi occuperò della cellula e del chimismo cellulare partendo dall'idea che la cellula sia l'unità fondamentale degli esseri viventi. Occupandomi quindi della cellula e dei processi che avvengono al suo interno in ottica chimica (quello che viene appunto chiamato chimismo), mi occupo anche degli esseri viventi in generale e della loro lettura in ambito chimico. In tutto questo libro vedremo che l'identificazione della cellula con l'unità fondamentale del vivente richiede più di una precisazione, sia filosofica sia scientifica. Lo stesso dicasi della «lettura chimica» del vivente. Per questo motivo, questo capitolo è centrale, in senso fisico e concettuale, a tutto il progetto del libro.

Partiamo dalla seconda parte, quella del «chimismo». Il termine *chimismo* non è nuovo, sebbene non sia molto usato in letteratura. Esso, in generale, può essere ricollegato alla spiegazione con enti/processi chimici di un materiale o di un fenomeno. In ambito filosofico, Hegel ha usato questo termine in contrapposizione a *meccanicismo*, intendendo che nel meccanicismo la relazione tra due oggetti è una determinazione relativa spazio-temporale, mentre in chimica due sostanze sono in relazione «più intima», tramite la loro «natura». Ricordiamo che all'inizio del XIX secolo il concetto chimico di affinità aveva acquisito una valenza generale, come il libro *Le affinità elettive* di Johann W. Goethe sta a dimostrare. In biochimica, il termine chimismo sta a designare la serie di fenomeni determinati dall'azione chimica ed è in tale accezione che lo utilizzo in questo capitolo che si occupa dei processi (chimici) intracellulari. Il termine più usuale per indicare l'insieme di tali processi è *metabolismo*. Io, tuttavia, ho preferito intitolare questo capitolo con il termine *chimismo* per mettere in evidenza, già a livello del titolo, che la descrizione di quello che avviene nella cellula sarà una descrizione chimica.

Uno degli scopi di questo libro è sicuramente mostrare le ragioni per cui il termine *chimismo* debba essere valorizzato in ambito biologico. Tale termine, infatti, mostra immediatamente e chiaramente l'approccio principale, ma non unico, in cui si «spiega» il vivente: l'approccio chimico. È nel linguaggio chimico che viene «compresa» la materia che forma gli organismi viventi e i processi che in essa avvengono. Detto questo, è bene fare una precisazione. Ho detto che questo è l'approccio principale, ma non unico in cui leggere il mondo materiale. Esistono, infatti, ottiche differenti da cui si possono guardare gli organismi viventi (e l'inanimato). Esiste, per esempio, una visione «fisica» dei processi cellulari o almeno di una parte di essi. Tale ottica non utilizza entità

Gli organismi pluricellulari e il loro chimismo

Uno degli eventi più importanti nella storia dell'evoluzione è stato l'emergenza e la radiazione di organismi pluricellulari eucariotici, ma notevole è anche il fatto che questo «evento» si è verificato indipendentemente in cladi diversi. Oggi, organismi pluricellulari complessi dominano lo spazio in cui viviamo. Tali organismi, tuttavia, sorsero relativamente tardi nella storia della vita, stando a quanto ci dice la documentazione fossile. Passarono più di tre miliardi di anni da quando la vita microbica iniziò a diversificarsi prima che arrivassero questi organismi pluricellulari complessi.

Infatti, solo alcune centinaia di milioni di anni fa, la vita superò questa barriera (fig. 12). Le singole cellule iniziarono a unirsi e, accanto a un mondo di vita unicellulare che continuò e continua a prosperare, iniziò il percorso che ha portato all'esplosione di forme e diversificazioni della vita pluricellulare odierna, generando da un lato, il mondo che va dall'erba alle sequoie e, dall'altro, quello che va dalle balene agli uomini. Fu una delle transizioni più importanti nella storia della vita e solo oggi si sta iniziando a capire come possa essere avvenuta questa trasformazione.

Il divario tra vita unicellulare e quella pluricellulare è, infatti, enorme e sembra quasi incolmabile. La vita di una singola cellula è facilmente schematizzabile, pur nella sua immensa complessità concettuale che abbiamo visto. I microorganismi devono solo preoccuparsi di nutrirsi e di tenersi in vita; né il coordinamento né la cooperazione con gli altri sono necessari, sebbene alcuni di essi occasionalmente si mettano assieme. Al contrario, le cellule di un organismo pluricellulare devono rinunciare alla loro indipendenza e restare tenacemente unite. A questo punto, esse assumono funzioni specializzate e riducono la propria riproduzione per un «bene superiore», moltiplicandosi solo il necessario per adempiere alle loro funzioni.

I vantaggi sono evidenti. La pluricellularità porta nuove capacità. Gli animali, ad esempio, ottengono la mobilità necessaria per cercare un habitat migliore, eludere i predatori e inseguire le prede. Le piante possono sondare in profondità il terreno alla ricerca di acqua e sostanze nutritive e possono anche crescere in luoghi soleggiati e utilizzare maggiormente la fotosintesi. I funghi costruiscono enormi strutture riproduttive per diffondere le loro spore. Nonostante tutti i vantaggi della pluricellularità, tuttavia, la transizione dalla cellula singola implica una ristrutturazione notevole, a partire dal codice genetico, che va capita e spiegata. Oggi, il confronto genetico tra semplici organismi pluricellulari e i loro parenti unicellulari ha rivelato che gran parte «dell'attrezzatura molecolare» necessaria

Oltre la genetica classica: epigenetica e metagenomica

La genetica classica, quella incentrata sul concetto di gene e sulla sua molecolarizzazione nel DNA è attualmente in una «crisi di crescita». Il suo ambito, da un lato si è concretizzato nel Progetto Genoma, dall'altro è diventato più complesso e diversificato. In un libro che vuole parlare dell'approccio molecolare al vivente, non si può non considerare questi recenti sviluppi che sembrano andare «oltre» il mio approccio. Senza volere svelare la conclusione prima di aver mostrato il film, posso senz'altro dire che io non sono d'accordo sul fatto che questi recenti sviluppi debbano essere per forza di cose in opposizione alla biologia molecolare. Ma andiamo per grado.

1. *L'epigenetica*

Il termine *epigenesi* è antico e nella scienza moderna può essere collegato alla teoria embriologica del XVIII secolo secondo la quale l'embrione si sviluppa gradualmente a partire da un germe indifferenziato. Il termine «epigenetica» è, invece, moderno e fu introdotto dal biologo inglese Conrad Hal Waddington negli anni Quaranta del XX secolo. Secondo Waddington, l'epigenetica doveva fare riferimento alla teoria aristotelica dell'epigenesi, che intende lo sviluppo come costituito da cambiamenti sia graduali che qualitativi, ma doveva anche evidenziare la necessità di indagare i processi che andavano «oltre» il gene, come implicava il prefisso «epi». Per Waddington, l'epigenetica doveva, quindi, da un lato, occuparsi dello sviluppo dell'embrione e dall'altro occuparsi delle cause dello sviluppo, specialmente quelle dovute a insiemi interagenti di geni e come queste cause portassero alle caratteristiche fenomeniche.

La visione di Waddington era sistemica e non in linea con l'approccio semplice e lineare allora prevalente nella biologia molecolare: una causa implica → un effetto. Lo scetticismo dei biologi rispetto all'idea epigenetica si basava sull'idea che, in generale, i problemi della genetica e quelli dell'embriologia fossero fondamentalmente diversi. Come sostenuto da Thomas Morgan, i genetisti si occupavano dell'ereditarietà dei tratti, mentre gli embriologi si dovevano occupare dell'espressione dei tratti.

Oggi sappiamo che le dipendenze molti-uno tra i geni e il loro output, ma anche il concetto opposto di plasticità fenotipica che sostiene che un tratto di un organismo può reagire a un input ambientale in vari modi, necessitano di un approccio

What is life? La prospettiva chimica

1. *L'efficacia dell'approccio chimico allo studio della vita*

Il titolo di questo capitolo si richiama a un celebre libro del 1944 di Erwin Schrödinger, uno dei maggiori fisici del xx secolo e autore di fondamentali contributi alla meccanica quantistica: *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Il libro ebbe un influsso notevole sugli sviluppi della biochimica della seconda parte del xx secolo e sulla nascente biologia molecolare. Perché a distanza di tanto tempo richiamarsi a questo volume, per quanto importate possa essere stato? I motivi sono diversi e tutti in stretta relazione con questo nostro libro.

Due in particolare caratterizzano il capitolo fin dal titolo. L'attualità della domanda *What Is Life?* di Schrödinger è uno di questi; l'altro è la prospettiva in cui cercare la risposta: *prospettiva chimica*, come abbiamo intitolato noi il capitolo, da confrontare con il *physical aspect* del titolo di Schrödinger. In pratica, dopo avere mostrato l'applicazione della spiegazione chimica al vivente, in questo capitolo proviamo sia a rimarcare che cosa si debba intendere per tale prospettiva (e perché sia così efficace) sia a vedere la risposta alla domanda su cosa sia la vita nel nostro approccio sistemico.

L'attualità della domanda di Schrödinger è così evidente da non meritare ulteriori considerazioni. Sono, infatti, innumerevoli i biologi e i filosofi che direttamente o indirettamente si chiedono che cosa sia la vita. La prospettiva in cui cercare una risposta merita, invece, qualche considerazione. Il rapporto tra chimica e fisica da un lato, e tra queste due discipline e la biologia dall'altro, è uno dei temi centrali di questo libro.

Dopo aver caratterizzato la spiegazione fisica con il concetto di legge di natura e la spiegazione chimica con la nozione di «ente dinamico» (o sistema), chiediamoci adesso l'efficacia di questi due tipi di spiegazione sugli esseri viventi e le loro caratteristiche.

Perché la biochimica è più diffusa e più efficiente della biofisica nel descrivere il mondo degli organismi viventi? A supporto della prima parte della domanda, quella della maggiore diffusione della biochimica rispetto alla biofisica, riporto questa constatazione. Se si cercano i termini «biochimica» e «biofisica» con Google si trova un rapporto di risultati di circa 10 a 1. Questo non è, ovviamente, un approccio scientifico per misurare la diffusione della biochimica e della biofisica, ma sicuramente è un indizio della preponderanza della biochimica sulla biofisica. Questo indizio porta alla seconda parte della domanda, quella dell'efficacia della

Ai confini della vita

In questo capitolo finale del libro intendo tracciare i confini del concetto di vita da tre punti di vista. Da un punto di vista che potremmo definire quasi «convenzionale» e cioè che cosa viene definito come vivente e cosa viene posto appena oltre tale confine. Ad esso è collegata la problematica se i virus sono esseri viventi e se esiste o meno una «vita latente». Tale confine ci può aiutare a capire meglio quello che è «necessario» al concetto di vita. Gli altri due confini che analizzeremo sono quelli «classici»: spaziali e temporali. Al primo afferisce il problema se la vita è una caratteristica del pianeta Terra o se, e in quale misura, è una caratteristica universale. Il confine temporale è, infine, duplice. Da un lato ci si chiede che cosa è successo in generale quando dai sistemi non viventi si è generato il primo sistema vivente, la problematica quindi dell'origine della vita. Dall'altro, ci si chiede che cosa succede ad un sistema quando passa da vivente a non vivente, quando il sistema vivente muore e si riallaccia ai concetti di salute e malattia. Daremo anche uno sguardo alla vita «artificiale», quella creata in laboratorio. Andiamo per gradi e sviluppiamo l'idea di questi confini della vita.

1. *Sono i virus degli esseri viventi?*

I virus (fig. 18) sono organismi non cellulari di dimensioni submicroscopiche costituiti da un acido nucleico rivestito da un involucro proteico, chiamato *capside*, e la particella virale completa è chiamata *virione*.

Essi sono incapaci di un'autonoma sintesi proteica (mancano dei ribosomi) e si riproducono traducendo le informazioni genetiche solo quando il loro genoma viene introdotto in una cellula; sono perciò caratterizzati come un tipo di essere parassitario endocellulare obbligato. Questi organismi semplici sono, infatti, dei parassiti che si sono evoluti per sopravvivere «ibernati» nell'ambiente extracellulare e per «riattivarsi», iniziando a riprodursi, non appena entrano all'interno delle cellule che infettano. Essi possono provocare numerose malattie in animali, piante e batteri.

Il capsidone ha la doppia funzione di proteggere l'acido nucleico nell'ambiente extracellulare e di consentire l'adesione del virione su specifici recettori della membrana della cellula ospite. Oltre a questo rivestimento molti virus ne possiedono un secondo più esterno costituito da proteine virali e lipidi cellulari; tale rivestimento più esterno viene chiamato *pericapside* e si definiscono *rivestiti* i

La spiegazione chimica sistemica come modello da estendere

In questa conclusione riassumerò i punti trattati, mettendone in evidenza i principali. Lungo i nove capitoli del libro, ho, infatti, già sviluppato in dettaglio la tesi proposta nell'introduzione e, spero, chiarita l'ottica chimica sistemica con cui io credo vada letto il vivente. In questa conclusione, tuttavia, sempre nell'ottica di dettagliare la spiegazione chimica sistemica, ritengo opportuno interloquire criticamente con due posizioni filosofiche differenti, che sono considerate antitetiche nella lettura del vivente e non solo, e che possono essere considerate diverse dalla mia.

A lungo, sia nello stretto ambito scientifico sia nel più ampio ambito di riflessione sulla scienza, è prevalsa una posizione «sostanzialistica» della scienza. La chimica, con l'infinita gamma di sostanze chimiche, potrebbe esserne un buon esempio. Di recente, anche per reazione a questa posizione predominante, si è sviluppata, sia in ambito scientifico sia in quello epistemologico, una posizione che si può chiamare «processuale». In pratica, una posizione che ha accentuato l'importanza dei processi in scienza. La posizione sistemica sviluppata in questo libro è, o cerca di essere, una sintesi delle due. Non credo che l'ottica sostanzialistica, quella imperniata sugli enti, e l'ottica processuale, quella incentrata sulle trasformazioni, siano contrapposte. Nella mia ottica sistemica, quella che ha inserito nel concetto di sistema ambedue gli aspetti, quella che ha definito il sistema come ente dinamico, esse non possono che essere complementari.

Finita questa parte di sintesi e di sottolineature, in questa conclusione del libro mi vorrei proporre un ulteriore scopo: un possibile allargamento del tipo di spiegazione sistemica della chimica, proprio partendo dall'esempio della sua applicazione allo studio degli organismi viventi e di come tale applicazione si sia rivelata efficace. L'ho detto lungo tutto il libro che ritengo «estendibile» l'ottica sistemica di tipo chimico alle scienze umane e sociali. Qui, voglio lanciare un «ponte» in quella direzione e proporre l'ottica sistemica chimica come esempio per trattare degli ambiti differenziati qualitativamente. Io vedo, infatti, un grande sforzo in questi ambiti per individuare i «fenomeni in gioco», ma scarsa attenzione per individuare e caratterizzare le proprietà degli enti in gioco. A mio avviso, la chimica, la chimica sistemica che abbiamo visto, può essere un ottimo esempio di come muoversi in questi ambiti.

Dove sono e quanti sono gli enti fondanti in sociologia o in economia? Io credo che in queste discipline sia arrivato il momento di andare oltre l'ottica esclusiva processuale che, nell'ambito delle scienze naturali ho identificato come un'ottica

«La chimica è un *libro* non soltanto da *leggere* (esplorazione di molecole e processi naturali), ma anche da *scrivere* (sviluppo di molecole e processi artificiali) e se la parte non ancora letta è molto vasta e complicata, quella ancora da scrivere è praticamente infinita».

• Vincenzo Balzani e Margherita Venturi, 2012 •



CB 5754

www.clueb.it