

IL CONCETTO DI SISTEMA IN FISICA, CHIMICA E BIOLOGIA¹

GIOVANNI VILLANI

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM - UOS Pisa) del CNR

1. Introduzione

Il concetto di sistema ha due significati diversi in ambito scientifico. In certi ambiti (per esempio in meccanica o in termodinamica), per sistema s'intende un pezzo di realtà in studio e non esiste alcun collegamento ai concetti d'organizzazione o di strutturazione. In altre realtà, si pensi ai sistemi viventi, nel concetto di sistema è implicito che si stia parlando di un pezzo di realtà strutturata e/o organizzata.

Il concetto di sistema è presente in tutte le discipline scientifiche. Tuttavia, possiamo affermare che tale concetto acquista maggiore importanza passando dalla fisica, alla chimica, alla biologia e procedendo con l'uomo e le scienze umane. Da questo punto di vista la chimica svolge un ruolo essenziale: è la prima vera scienza sistemica. Non è un caso che la biologia, che in quest'ipotetica scala dà ancora maggior risalto della chimica al concetto di sistema, utilizzi molto di più la chimica che la fisica nelle sue spiegazioni. Quest'ultima, infatti, con la sua "insistenza" sulle leggi naturali coglie della realtà materiale gli aspetti (come l'energia o il movimento) universali. La chimica, invece, e ancor più la biologia, è una scienza che dà un'importanza notevole, oltre che all'universale e al generale, alle entità individuali. Questo è evidente se si pensa al concetto di specie: esso è del tutto assente in fisica ed è simile (se non uguale) in chimica e in biologia.

2. Il sistema in ambito scientifico

Prima di passare ad analizzare il concetto di sistema nelle differenti discipline scientifiche, occorre accennare a una differenziazione essenziale usata da tutte le discipline scientifiche: quella tra sistema e ambiente.

2a. Sistema e ambiente

Una fondamentale caratteristica di definizione di ambiente è legata al fatto che non c'interessa descrivere quel pezzo di realtà come un mondo materiale obiettivo nella sua totalità, ma soltanto i suoi aspetti che hanno rilevanza per il nostro sistema. Per esempio, in biologia quello che noi definiamo "ambiente" sarà un'entità condizionata dai "bisogni", dagli "stimoli" o dagli "obiettivi" dell'organismo e dell'apparato percettivo di quest'ultimo. In questo caso, un sistema è perciò delimitato dall'ambiente disponibile per effetto della sua capacità di interagire con esso e tutta la sua azione è condizionata dall'ambiente disponibile.

¹ Lezione tenuta il 18 gennaio 2013 presso il Liceo Scientifico "Barsanti e Matteucci", Viareggio (LU).

Esistono due posizioni estreme per il rapporto tra sistema e ambiente: una posizione, che con Morin chiameremo ecologica, in cui il sistema è “immerso” nell’ambiente ed un’altra nella quale si considera l’ambiente come privo di struttura, immutabile o completamente casuale, una sorta di rumore di fondo, il che equivale a ipotizzare un’assenza di relazioni o interdipendenze specifiche fra le proprietà del sistema e quelle dell’ambiente, a tutto vantaggio di un’interazione media.

Accenniamo infine al caso umano. L’uomo, in quanto essere vivente, è un sistema naturale altamente organizzato. L’uomo, tuttavia, non nasce isolato, ma “naturalmente” implica una famiglia. Quest’unità biologica e sociologica è un sistema organizzato con proprie caratteristiche individuali da famiglia a famiglia. L’aver inserito l’uomo in una famiglia e averla definita un’unità sia biologica sia sociologia ci apre due strade che vanno entrambe percorse. L’uomo, in quanto essere vivente, è integrato in un *habitat* ambientale e come gli altri animali (e purtroppo anche di più) modifica il suo stesso ambiente naturale. L’uomo, in quanto essere sociale, è inserito in una famiglia, in un clan, in un’etnia, in uno stato, ecc. e tutti questi enti sono sistemi sociologici che sono determinati e determinano il singolo uomo. Dice Morin che l’uomo è un auto-eco-socio-organizzazione e con quest’apertura sia sociale sia naturale dell’uomo non posso che concordare.

Passiamo ora ad esaminare il concetto di sistema in fisica (e più in particolare in meccanica), in chimica e in biologia.

2b. Il concetto di “sistema meccanico”

Ogni sistema fisico in meccanica classica è costituito da un insieme di “punti materiali”, cioè punti dotati di massa, ciascuno dei quali possiede tre gradi di libertà, rappresentati dalle sue coordinate spaziali. In meccanica, quindi, ogni sistema fisico è costituito da un insieme di P particelle (atomi, molecole, ecc.) con $3P$ gradi di libertà ed il suo stato ad ogni istante è determinato da $6P$ valori (posizioni e velocità). In meccanica esistono leggi generali del moto, che si traducono in un insieme di equazioni differenziali, che, una volta risolte, permettono di ottenere le funzioni che descrivono l’evoluzione temporale di tutti i punti materiali. Tali funzioni ci danno una traiettoria in un opportuno spazio ideale (detto spazio delle fasi) per ogni singolo punto materiale e l’insieme delle traiettorie ci dà la trasformazione nel tempo di uno stato del sistema. Ogni traiettoria resta interamente fissata una volta noto un suo punto (determinato dalle condizioni iniziali). Tale traiettoria descrive, quindi, la storia completa (passata, presente e futura) del nostro punto materiale e l’insieme dei punti materiali quella del sistema, che è del tutto determinato e deterministico.

In sintesi possiamo riassumere lo schema meccanico: ogni corpo può essere decomposto in un insieme di particelle, ciascuna con la propria energia cinetica e con un’energia potenziale dovuta alla configurazione globale dell’insieme. Per ognuna di queste particelle esiste una traiettoria nello spazio delle fasi che determina in maniera univoca la sua evoluzione temporale e per la quale passato e futuro hanno lo stesso significato determinato.

2c. Sistemi chimici

Lo scopo di questo paragrafo è di ricercare il concetto di sistema, come da noi inteso (realtà strutturata), nell'ambito della chimica e di mostrare le differenze e le similitudini con il sistema meccanico già trattato. La chimica lavora su due piani: quello macroscopico delle sostanze pure (elementi e composti) e quello microscopico degli atomi e delle molecole. Qui, svilupperemo il concetto di sistema chimico solamente sul piano macroscopico. In particolare, ci concentreremo sul concetto di *composto chimico*. Per il *concetto di molecola*, equivalente sul piano microscopico, il discorso è simile (per una trattazione dettagliata, vedere il mio libro [1]).

A differenza della fisica, ambedue questi tipi di sistemi chimici svolgono un ruolo fondamentale in questa disciplina, configurando, quindi, la chimica come la prima vera scienza sistemica [2] e proponendola come uno snodo essenziale per guardare al mondo materiale (inanimato e animato) in un'ottica non riduzionista e pluralistica. Infatti, già prima di cercare il concetto di sistema in biologia, la visione del mondo materiale che viene fuori è articolata, con un approccio riduzionista ed uno sistemico, con un'ottica fisica incentrata sul "semplice" ed un'ottica chimica sulla "complessità". Da un punto di vista culturale e filosofico, la peculiarità del mondo chimico è quella di essere un mondo ricco qualitativamente: i suoi tipi di enti (molecole e composti), milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri al punto da meritare un nome individuale. È questa sua caratteristica che rende la chimica atta a spiegare tanto il complesso mondo macroscopico inanimato, fatto di oggetti diversi sotto tanti punti di vista qualitativi, quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente [3].

Un punto essenziale nella genesi del concetto di composto chimico, come è ora concepito, è stato quello di superare la visione che tali sostanze fossero strettamente legate alla "metodologia" di ottenimento e che, quindi, fossero di numero infinito. All'inizio dell'Ottocento si opposero due visioni dei composti chimici e di conseguenza anche del loro numero: quella di Claude Louis Berthollet [1748-1822] e quella di Joseph Louis Proust [1754-1826]. Nel 1799 con la *Recherches sur les lois de l'affinité* e nel 1803 con l'*Essai de statique chimique*, Berthollet costruì la sua teoria sulle affinità chimiche che si ricollegava al problema del numero dei composti chimici. Per Berthollet il numero dei composti chimici era infinito ed in particolare dalla mescolanza di due reagenti si otteneva una serie infinita di prodotti la cui proporzione nei reagenti era sempre compresa tra due valori limite, un minimo ed un massimo. L'esistenza di due punti limite in un composto di due elementi, e quindi l'impossibilità di infiniti altri composti accanto agli infiniti possibili, emancipava parzialmente i composti chimici dalle circostanze di reazione in quanto vi erano dei composti non ottenibili, in qualunque circostanza di reazione. Dall'altra parte, a seguito di ricerche sperimentali soprattutto sugli ossidi metallici del ferro, del rame e dello stagno, Proust enunciò la sua *legge delle proporzioni definite* secondo la quale ogni composto chimico era costituito da una proporzione fissa e costante dei componenti, indipendentemente dalle condizioni sperimentali nelle quali esso era formato. Le ricerche di Proust ebbero

un discreto successo e la legge delle proporzioni definite prevalse sull'ipotesi continuista di Berthollet.

La conseguenza principale nell'ambito epistemologico della legge delle proporzioni definite di Proust è che essa configura definitivamente i composti chimici come entità individuali da ricercare e determinare. Il problema della nomenclatura ne è una normale conseguenza. Se i composti chimici fossero stati infiniti avrebbe avuto poco senso ricercare per loro un nome che non fosse una pura etichetta, ma che fosse, per così dire, "naturale". Ora, invece, che ogni composto chimico è "a proporzioni definite" vale la pena di determinarne la formula e di legarla alle sue caratteristiche fisiche e chimiche. Ovviamente le circostanze di laboratorio, ora come allora, determinano la realizzazione o meno di un determinato composto, ma nessuna circostanza può generale le proporzioni non frazionarie (diverse cioè da $1/2$, $1/3$, $2/3$, ecc.) e condizioni differenti possono dare lo stesso composto che è identico, per esempio, sia che venga ottenuto per sintesi in laboratorio sia che venga estratto da un prodotto naturale. Questo è oggi ritenuto più che ovvio, quasi naturale e, di conseguenza, non si riflette, e non si fa apprezzare all'allievo in ambito didattico, sullo sforzo per giungere a questa conclusione, tutt'altro che ovvia e banale.

2d. Sistemi in biologia

Dopo aver trattato i sistemi materiali inanimati, ora spendiamo qualche parola sui sistemi viventi. Gli organismi viventi, più delle molecole, si differenziano dai sistemi fisici e, quindi, esiste tutto un ambito filosofico che li ha da sempre differenziati. Il rapporto parte-tutto è estremamente complesso nei sistemi viventi: le parti viventi sono dei "tutti" e i "tutti" viventi sono delle parti. Possiamo dire che nel campo della vita, non esistono né parti né totalità in senso assoluto e, anche all'occhio inesperto di questioni filosofiche, appare subito evidente che una caratteristica essenziale del vivente è quella di sottrarsi alla scomposizione. Un organismo è vivente solo fin quanto è "tutto intero"; qualunque divisione sostanziale "uccide" l'organismo.

Uno degli scopi di questa discussione è di evidenziare l'impossibilità concettuale, e non solo pratica, del riduzionismo e, quindi, della riduzione della biologia a chimica e della chimica alla fisica. Tuttavia, altrettanto importante è di evitare la dicotomia inanimato-animato che porta a due riduzionismi distinti per i due ambiti. Nella rimozione della dicotomia animato-inanimato, un ruolo chiave è svolto dalla chimica. La sua autonomia, la sua irriducibilità, moltiplica le differenze e le stempera. L'idea generale è che gli enti strutturati e/o organizzati, i sistemi, sono presenti in molti ambiti e, quindi, creano differenze epistemologiche e non dicotomie. La molecola è, da questo punto di vista, esemplare.

3. Conclusione

Da quanto detto, dovrebbe essere evidente l'importanza del concetto di sistema in scienza. Eppure esso è così ben nascosto in fisica e in chimica che sembra proprio tale concetto la base della dicotomia animato-inanimato: il sistema vivente contrapposto

alle entità fisiche e chimiche. L'indivisibilità del primo contrapposto all'analisi delle seconde. Se poi ci si sposta sul piano delle scienze umane, nelle discipline sociali e antropologiche, si vede crescere ancora l'importanza del concetto di sistema fino all'individualità di ogni singolo sistema vivente umano, la singola persona.

Qui si è cercato di far vedere che il concetto di sistema, pur nella differenza d'importanza, svolge un ruolo sia nelle scienze naturali dell'inanimato, sia in quelle dell'animato, oltre che in quelle umane. Esso può essere, quindi, un concetto unificante e la Teoria dei Sistemi, con tutti i suoi limiti, ne rappresenta una controprova. Un ruolo centrale per il concetto di sistema è svolto dalla chimica che, come detto, è la prima vera scienza sistemica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Villani, G., *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Franco Angeli, Milano 2008.
- [2] Villani, G., “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, Il Mulino, Bologna 2010.
- [3] Villani, G., *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli 2001.