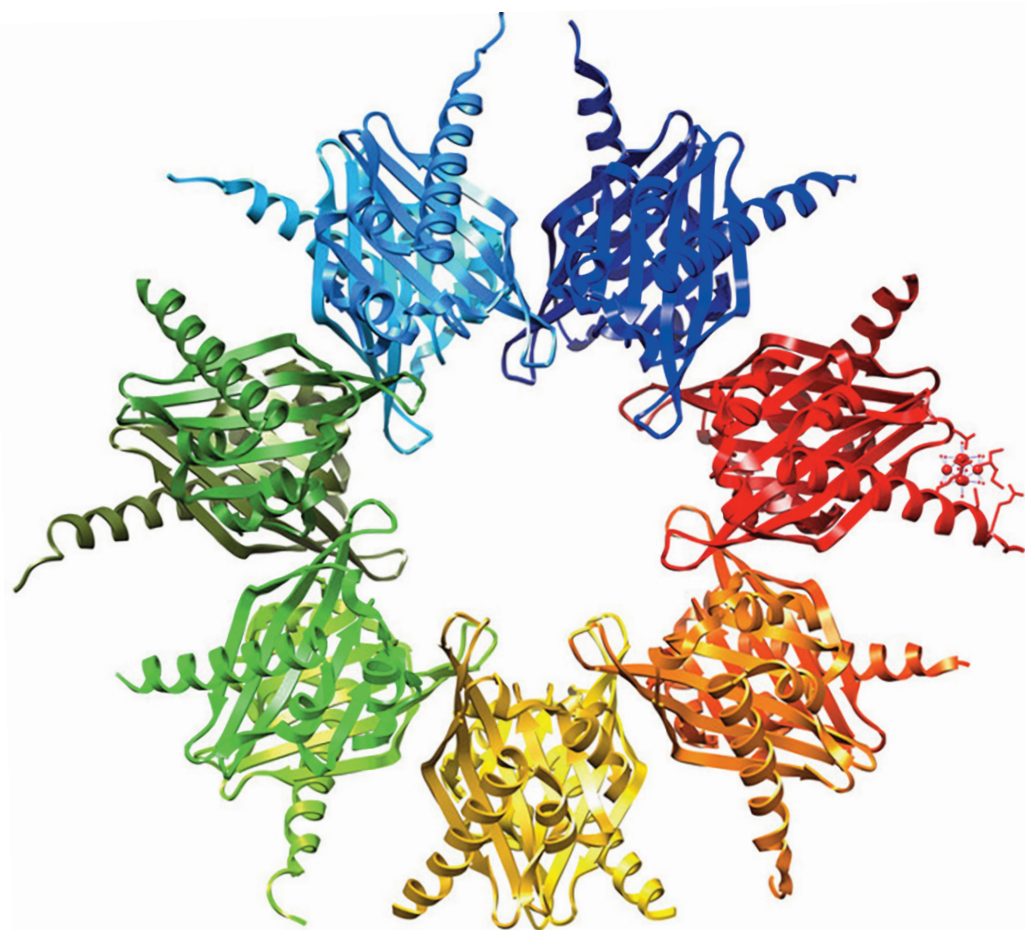


Giovanni Villani

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 spazio-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/

organismo non può risolversi nella relazione parti-tutto¹. La spiegazione riduzionista incentrata sulle parti, infatti, non può più ritenersi sufficiente nello studio dei sistemi/organismi, come vedremo ampiamente anche in questo libro. Essa elimina alla radice l'organizzazione, l'unità complessa che sostiene il sistema. D'altro canto, neppure la posizione contraria al riduzionismo, l'approccio olistico, può essere considerata totalmente efficace nel mettere in luce la complessità sistemica. Essa, infatti, cerca la riduzione di tutti gli aspetti complessi del sistema a quello di totalità. Riduzionista oppure olistica che sia, la spiegazione in entrambi i casi è troppo semplificante: entrambe queste ottiche sono figlie del paradigma scientifico/filosofico della *semplicità* che implica sempre l'esistenza di una razionalizzazione semplice sottesa al complesso dei processi naturali.

Qui non si vuol negare l'importanza di una descrizione olistica di un sistema. Molte proprietà di un sistema sono, infatti, spiegabili nel suo piano di complessità, con quella che possiamo chiamare una «spiegazione in orizzontale» che richiede un solo piano di complessità. Questo sarà evidente in molti degli esempi che porteremo. A questa tesi si riallaccia per esempio la *General system theory* di Ludwig von Bertalanffy, «La teoria generale dei sistemi, quindi, è una scienza generale della “interessezza” che fino ad ora era considerata un concetto vago, confuso e semimetafisico»².

Non si vuole negare neppure l'importanza di un approccio riduzionista che, partendo dalla decomposizione di un ente/processo nei suoi costituenti e studiando le loro interazioni, cerca di ricostruire la spiegazione delle proprietà globali dell'ente/processo nel piano di complessità sottostante. In questo caso serve una spiegazione *bottom-up* perché si scende di un piano di complessità e in questo si fornisce la spiegazione di un ente/processo del piano superiore. Questo tipo di spiegazione, ampiamente usata dall'uomo in tutti i campi, ci permette di cogliere molti aspetti importanti della realtà e la storia della scienza moderna, ampiamente riduzionista, lo sta a dimostrare.

Nessuno nega, quindi, i meriti dell'analisi di un problema complesso sia nel suo piano di complessità sia nei termini dei suoi costituenti, ma queste due opposte visioni del mondo, prese singolarmente, non riescono a dare una descrizione completa ed equilibrata della realtà. È questa la tesi che implica una visione sistemica.

Quello che si vuole contrastare, invece, è l'idea, filosofica prima che scientifica, che ogni sistema, per quanto complesso esso sia, è sempre completamente riducibile o all'analisi nel suo piano di complessità o all'analisi delle sue parti e delle loro relazioni. Da questo secondo caso, quello preponderante in ambito scientifico, da questa visione riduzionista della scienza, nasce una duplice problematicità.

¹ E. Morin, *Il metodo*, vol. 1, *La natura della natura*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2001.

² L. von Bertalanffy, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York, George Braziller, 1968, p. 37.

- a) In ambito scientifico, l'idea che sia sufficiente una «Teoria fisica del tutto» (TOE, *Theory of Everything*³) per spiegare qualsiasi cosa, dalle particelle elementari alla vita, e magari anche le scienze umane e sociali.
- b) L'idea meta-scientifica di ridurre la fisica a matematica applicata, la chimica a fisica applicata, la biologia a chimica applicata, la psicologia a biologia applicata e via di seguito.

Nel contrastare quest'ultima idea filosofica, un ruolo molto importante può essere svolto dalla chimica, centrale (in tutti i sensi) rispetto alla fisica e alla biologia. La chimica è stata, ed è ancora oggi, considerata da molti, di fatto o di principio, ridotta o riducibile alla fisica. Essa è, invece, da ritenersi completamente irriducibile alla fisica. Altrettanto irriducibile sono la biologia alla chimica, ma non in base alla dicotomia inanimato-animato, o la psicologia alla biologia, sulla base della dicotomia animato-umano. Accanto alle specificità disciplinari, infatti, è mio scopo mostrare anche «quello che unisce», quello che permette alla scienza di «fare sistema». Questo vale sicuramente per le scienze naturali, ma, con le dovute particolarità, *mutatis mutandis*, vale anche per le scienze umane e sociali. Nella conclusione, cercherò di lanciare uno sguardo su quest'area immensa, e dal punto di vista scientifico ritenuta sempre in via di legittimazione, per creare un ponte tra essa e le scienze naturali, utilizzando proprio l'esempio della chimica e del suo approccio sistemico.

Ci sono un paio di concetti scientifico/filosofici generali che ricorrono in tutto il libro. Uno è quello della coppia di concetti *ente* e *trasformazione* (o *processo*). Essi sono due concetti ubiquitari in scienza e non solo, ma qui confronteremo il loro uso in fisica, chimica e biologia. Un secondo esempio è proprio il concetto di *sistema* e/o di *organismo*. Qui si affronterà, infatti, uno dei nuclei concettuali più importanti della riflessione scientifica ed epistemologica odierna: la differenza tra un insieme d'oggetti (o *aggregato*) e un *sistema*. Definirli e chiarirli in questa introduzione diventa, quindi, essenziale.

1. I concetti di ente e di trasformazione nella scienza

Da sempre il concetto di ente e quello di trasformazione sono il binomio con cui spiegare la persistenza e la variabilità del mondo che ci circonda, da quello inanimato a quello animato, all'uomo e ai suoi prodotti. In filosofia di solito questo binomio è rappresentato dai concetti di *essere* e di *divenire* e, a guardare bene, tale problematica è sempre stata al centro di tutte le filosofie.

La prima cosa da evidenziare è che, sia da un punto di vista filosofico sia da quello più propriamente scientifico, non esiste una distinzione assoluta tra ente e trasformazione. Vediamo la problematica in entrambi gli ambiti.

Il punto essenziale da cui partire è che tutti gli enti, e le loro proprietà, sono per loro natura dinamici. Alcune filosofie, per esempio quella di Eraclito, hanno portato questo punto di vista alle estreme conseguenze arrivando alla scomparsa

³ S.W. Hawking, *The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe*, Beverly Hills, CA, Phoenix Books (Special Anniversary Edition), 2006.

degli enti. Anche alcune teorie scientifiche moderne hanno seguito questa strada. Tale posizione estrema è stata avanzata, per esempio, in meccanica quantistica dal fisico David Bohm⁴ e anche in epistemologia da Karl Popper e John Carew Eccles⁵ «L'universo ora sembra non essere un insieme di cose, ma un insieme di eventi o processi interagenti». In tutta la fisica moderna, in ogni caso, la tendenza all'annullamento del concetto di ente per concentrarsi sulle leggi delle trasformazioni è stata ed è operante, come mostrerò.

Esistono due strade per mostrare che ambedue i concetti, quello di ente e quello di trasformazione, devono essere compresenti in ambito scientifico. Per prima seguirò la strada «classica», sviluppata in un precedente lavoro⁶. A seguire, svilupperemo anche la seconda strada, quella sistemica.

Un insieme di proprietà che si presenta come statico ai nostri strumenti (che possono essere anche i nostri sensi) definisce un ente. In realtà queste proprietà, e quindi tutto l'ente, si stanno trasformando, e non lo percepiamo perché le trasformazioni sono «lente» per lo strumento di misura con cui le osserviamo. Di realmente statico nell'universo non c'è nulla e lo stesso universo globalmente è in trasformazione, come ci insegnano le moderne teorie cosmologiche.

Il punto essenziale filosofico/scientifico è che non tutto si trasforma alla stessa velocità. È proprio la differente velocità di trasformazione delle diverse proprietà degli enti che ci permette di «creare» il concetto di ente, come oggetto statico e indipendente dal tempo. Le differenti velocità di trasformazione determinano la scala dei tempi che, con quella della dimensione e quella dell'energia, ci consentono di separare il «complesso» che si modifica in un «semplice» fatto di una parte statica e una sua dinamica di trasformazione.

È, infatti, questa scala dei tempi che ci permette di differenziare concettualmente i tanti e vari processi in gioco, «annullare» i processi che operano lentamente nell'intervallo dei tempi in esame, e ottenere proprietà statiche rispetto ai processi che in quell'intervallo di tempo sono in «reale» trasformazione. Sono queste proprietà statiche che poi definiscono l'*ente*, mentre le proprietà dinamiche vengono a confluire nel concetto di *stato dinamico* dell'ente, vanno a definire «in che condizione» si trova l'ente e come questa «condizione» si modifica secondo delle «regolarità» (leggi).

Questo è vero per gli esseri viventi, come per la materia inanimata e persino per gli enti concettuali. Se tutti i tempi in gioco fossero dello stesso ordine di grandezza non sarebbe possibile astrarre da questo involuppo complesso spazio/temporale la maggior parte delle «caratteristiche», e considerarle statiche, e considerare poi in dettaglio solo uno o poche «caratteristiche» come dinamiche e delle cui modifiche ci vogliamo occupare. Se tutti i tempi fossero dello stesso ordine di grandezza sarebbe vera la visione di Eraclito di un eterno fluire e la stessa

⁴ D. Bohm, B.J. Hiley, *The undivided universe. An ontological interpretation of quantum mechanics*, London-New York, Routledge, 1993.

⁵ K.R. Popper, J.C. Eccles, *The Self and Its Brain, an Argument for Interactionism*, Berlino, Springer International, 1977.

⁶ G. Villani, *Ruolo degli enti e dei processi in chimica ed in fisica*, in «Epistemologia», xxviii (2005), pp. 199-218.

comprensione della realtà non potrebbe essere quella di cui noi oggi abbiamo esperienza, e nella quale gli enti statici e le loro trasformazioni svolgono un ruolo fondamentale.

Venendo all'ambito strettamente scientifico, vediamo adesso come è trattato un ente fisico che muta nel tempo. In fisica, in questo caso in meccanica, tale ente è descritto da un'ennupla N di valori di grandezze osservabili. Tale ennupla può essere divisa in due gruppi principali: le M grandezze che sono costanti (o approssimativamente costanti) nell'intervallo temporale che ci interessa e le $N-M$ restanti grandezze fisiche che si modificano maggiormente. Le prime, chiamate «variabili del sistema», formano e descrivono il sistema in esame; le seconde sono le «variabili di stato» (o di *configurazione*) del sistema e istantaneamente descrivono il suo stato. Questa divisione in sistema e suo stato è legata all'intervallo di tempo in esame (a priori tutte le variabili si modificano) e alla precisione della misura, cioè alla strumentazione usata per misurare le variabili. Il numero delle variabili di stato (nel nostro caso $N-M$) ci dà il numero di «gradi di libertà» del sistema, numero che è in fisica una caratteristica univocamente fissata all'interno di una opportuna teoria, per un dato sistema e date condizioni. Non sono, invece, determinate le grandezze fisiche rappresentate da tali gradi di libertà. Tali grandezze sono, in generale, chiamate «coordinate generalizzate» di un opportuno spazio, detto delle «configurazioni». Tale spazio è essenzialmente statico e, quindi, può essere usato solo per descrivere gli stati di equilibrio del sistema. Se definiamo anche le «velocità generalizzate», cioè le derivate rispetto al tempo delle coordinate generalizzate (saranno anch'esse $N-M$), possiamo definire uno «spazio delle fasi» (di dimensione $2(N-M)$), dove un punto in tale spazio individua lo stato dinamico del sistema.

In *meccanica* esistono solo due forme d'energia: quella cinetica e quella potenziale. L'energia cinetica è legata alle velocità generalizzate, ed è sempre esprimibile in una forma quadratica. L'energia potenziale, invece, è legata alle coordinate generalizzate, e può assumere diverse forme matematiche in differenti sistemi. La somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale è l'energia totale del sistema e si deve conservare. Nel caso della meccanica classica, ogni sistema fisico 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 decomposto in N «pezzi» (atomi, molecole, ecc.), considerati in questa approssimazione adimensionali (e, quindi, assunti come semplici) con $3N$ gradi di libertà ed il suo stato dinamico ad ogni istante è determinato da $6N$ valori. Per alcuni sistemi modello meccanici, esistono poi delle 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 tutte le coordinate e le velocità generalizzate del sistema. Nello spazio delle fasi questo significa che i punti (stati del sistema) hanno dei «movimenti» fissati, descrivono delle traiettorie, che individuano in ogni momento la trasformazione dello stato del sistema. Tale traiettoria resta interamente determinata una volta noto un suo punto (fissato dalle condizioni iniziali) e descrive la storia completa (passata, presente e futura) del nostro sistema che è, quindi, del tutto determinato e con comportamento deterministico.