

Prefazione

C'è un percorso curiosamente circolare nella storia recente dell'evoluzione del pensiero scientifico e della scienza in genere, del quale oggi cominciamo finalmente a comprendere il significato e il ruolo. La nascita della scienza moderna nel XVII secolo si identifica con una scelta drastica e vincente: quella di rinunciare a studiare la natura come un tutto organico e concentrarsi su fenomeni semplici e quantificabili, isolandoli da tutto il resto. Si tratta, altrimenti detto, di procedere smontando un meccanismo complesso e riducendolo a tante parti, sufficientemente piccole da poter essere ben capite nei loro processi evolutivi e descritte da leggi matematiche semplici. Questo atteggiamento metodologico, che va sotto il nome di *riduzionismo*, è all'origine dei più impressionanti progressi nella storia della conoscenza della natura: in poco più di due secoli si scoprirono le leggi della gravitazione che regolano il moto dei pianeti, le leggi della termodinamica che permisero la costruzione del motore a combustione interna, le equazioni dell'elettromagnetismo che stanno alla base dell'elettrotecnica, dell'ottica e delle moderne telecomunicazioni, per finire – all'inizio del secolo successivo – con la fisica quantistica che ci svelava il comportamento profondo della materia, ma anche la storia dell'universo dal *big-bang* a oggi.

Questi successi quasi incredibili portarono tuttavia a falsare non poco la prospettiva conoscitiva: si tendeva sempre più a considerare come importanti e fondamentali soltanto le semplici parti che risultavano dalla scomposizione, ignorando il sistema complesso da cui esse erano state isolate. Da metodologia vincente il riduzionismo si trasformava gradualmente in una visione impoverita della natura, in una sorta di non dichiarata filosofia della conoscenza che in alcuni casi estremi, come la teoria delle stringhe, addirittura si colorava di qualche sfumatura quasi mistica: se fondamentale è solo la parte elementare, tutto ciò che deriva dalla cooperazione di tante parti ha scarsa dignità scientifica. E, ovviamente, una volta che una parte ritenuta prima elementare venga a sua volta scomposta, anch'essa perderà «dignità» in favore dei suoi componenti...

Nell'Ottocento le parti semplici erano gli atomi e la chimica la scienza regina

della struttura intima della materia. Nel Novecento la fortuna girò: si scoprirono le particelle elementari e Dirac, il teorizzatore del positrone e uno dei padri fondatori della meccanica quantistica moderna, dichiarerà con qualche disprezzo «Tutto il resto è chimica...». E negli anni Ottanta il grande cosmologo Stephen Hawking arrivò a intitolare una sua famosa prolusione a Cambridge «È in vista la fine della fisica teorica»; solo una decina di anni più tardi si sarebbe ricreduto. La sua era di fatto la voce di un falso profeta: ormai sono passati quasi trent'anni e lo studio della natura è più vivace che mai. E sempre più si vanno scoprendo le nuove e sorprendenti proprietà dei sistemi complessi...

Peraltro, già negli anni del suo massimo splendore la visione riduzionista cominciava a mostrare pericolose/interessanti incrinature. Una volta smontato l'edificio, non era infatti così scontato ricostruirlo a partire dai mattoni fondamentali... Nell'Ottocento la nascita della meccanica statistica con il visionario pensiero di Boltzmann portava alla luce un paradosso apparentemente insanabile: l'irreversibilità dei fenomeni macroscopici non era né deducibile né compatibile con la reversibilità delle leggi dinamiche microscopiche. Nasceva quel problema a tutt'oggi irrisolto che va sotto il nome di *freccia del tempo*. Pur senza scomodare le 10^{23} particelle indicate dal principio di Avogadro, Poincaré mostrò come anche il moto di soli tre corpi con interazioni gravitazionali fosse così complesso da essere per certi aspetti addirittura imprevedibile, a dispetto delle semplici equazioni (di Newton) – naturalmente deterministiche – da cui derivava. La vera messa in crisi del paradigma riduzionistico doveva però arrivare nel Novecento, quando la nascita e lo sviluppo della fisica della materia portarono in primo piano con un ruolo concettuale fondamentale il carattere collettivo e irriducibile di molti importanti fenomeni naturali: magnetismo, superconducibilità, superfluidità... Gli stessi concetti di ordine e di disordine che stanno alla base della teoria delle transizioni di fase, quel fenomeno ubiquo per cui a seconda delle condizioni esterne un frammento macroscopico di materia può avere caratteristiche diverse – come l'acqua, che può essere liquida, ma anche, a temperature diverse, ghiaccio o vapore – sono propri solo di sistemi composti e non delle singole parti, che non ne presentano traccia. Quando poi lo studio approfondito delle transizioni di fase mostrò che sistemi così diversi come liquidi che evaporano e magneti vicino al punto di transizione sono regolati dalle stesse leggi, divenne evidente che in un contesto macroscopico le relazioni tra le parti sono più importanti della natura delle parti stesse. Per questo oggi la visione riduzionista si può considerare come sostanzialmente superata.

Gli anni Settanta del XX secolo segnarono l'inizio di una vera e propria rivoluzione culturale che si potrebbe chiamare antiriduzionista, che portò alla nascita della scienza della complessità. Negli Stati Uniti innanzi tutto – ma anche, naturalmente, in tutto il resto del mondo – la fisica era culturalmente dominata dagli studiosi delle particelle elementari, i quali ovviamente consideravano fondamentali solo i componenti ultimi della materia, quando nel 1972 P.W. Ander-

son, che cinque anni dopo avrebbe vinto il premio Nobel per la fisica per i suoi contributi fondamentali alla comprensione teorica della struttura elettronica dei sistemi magnetici e disordinati, pubblicò un articolo destinato a fare storia, intitolato *More Is Different*. In esso Anderson sosteneva tesi assolutamente innovative, che si possono tuttavia riassumere in poche frasi, tanto incisive quanto rivoluzionarie:

La capacità di ridurre ogni cosa a semplici leggi fondamentali non implica la capacità di ricostruire l'universo a partire da quelle leggi.

L'ipotesi costruzionista crolla quando si confronta con la duplice difficoltà della scala e della complessità. Il comportamento di aggregati grandi e complessi di particelle elementari non si spiega in termini di una semplice estrapolazione delle proprietà di poche particelle. Al contrario, ad ogni livello di complessità compaiono proprietà interamente nuove.

L'intero diventa non solo *di più*, ma anche molto *diverso* dalla somma delle sue parti.

I vari livelli della natura corrispondenti alle diverse scale di osservazione risultano dunque così solo parzialmente legati gli uni agli altri e tanto più sono lontani, tanto più possiamo considerarli come indipendenti. Su questa base, Anderson completa il manifesto dell'antiriduzionismo proponendo uno schema di organizzazione gerarchica delle scienze che è ancora oggi un riferimento fondamentale per la classificazione delle scienze della complessità: la chiave di lettura è «Le entità elementari della scienza X obbediscono alle leggi della scienza Y. Ma questa gerarchia non implica che X sia semplicemente un'applicazione di Y». Anzi, c'è di più: «Ci aspettiamo di incontrare questioni veramente fondamentali ogni volta che componiamo le parti per formare un sistema più complesso e cerchiamo di capire i comportamenti sostanzialmente nuovi che ne risultano».

Dunque la complessità come nuovo paradigma. Il concetto filosofico che le compete non è più riduzionismo ma *emergenza* (nel senso inglese di *emergence*, non di *emergency* – che è cosa ben diversa; l'italiano purtroppo ha una sola parola per due concetti così diversi; gli autori di questo libro adottano l'espressione, non standard, *emersione*). I fenomeni complessi certo non violano le leggi fondamentali, ma spesso non sembrano derivarne logicamente. Un sistema complesso è composto da un gran numero di elementi che interagiscono fra di loro in modo talora anche molto semplice, ma tale che la dinamica globale che ne deriva è profondamente diversa da quella delle parti costituenti. In questo solo fatto apparentemente tanto semplice sta una caratteristica nuova, intrigante ed elusiva: la complessità non è tipica di una sola cultura. Sistemi complessi appaiono ovunque e non c'è quasi limite ai problemi che la metodologia della complessità può mettere nel suo carnet: dai più fondamentali, della fisica e della biologia (quali l'origine della vita, la capacità della materia di codificare

informazione, la nascita dell'universo, l'emergere del sistema immunitario o di quello percettivo), ai più pratici, della vita quotidiana (gli ingorghi del traffico o l'andamento dei mercati azionari o dei prezzi delle merci).

Quando nella scienza la classificazione delle discipline cessa di valere, si ha un grande salto concettuale, appunto *more is different*, e la chimica – le molecole – emerge dalla fisica, la scienza della vita – le bio-molecole – dalla chimica, l'auto-coscienza (con la memoria associativa, l'apprendimento, la formazione di linguaggi e idee) dalla biologia, la coscienza collettiva sociale e la stessa società dalla coscienza individuale, l'economia della vita comunitaria organizzata dalla coscienza sociale... Scopo della scienza della complessità dunque è lo studio dell'emergere di tutte quelle nuove proprietà collettive, indotte dalle leggi elementari, che rompono i confini tradizionali fra le scienze: se gli oggetti elementari appartengono a una scienza «più semplice» e gli oggetti collettivi emergenti a un'altra «più complessa», i sistemi complessi «stanno in mezzo», nel nuovo spazio interdisciplinare che così si è creato. La sfida che la complessità prospetta alla scienza è di esplorare, colonizzare e sviluppare questo territorio dell'interdisciplinarità, questa geografia i cui oggetti elementari sono talora esseri umani, comprendendone, rappresentandone e prevedendone – e forse controllandone – la dinamica e l'evoluzione.

Come ben dicono gli autori, Alberto F. De Toni ed Erika Bernardi nel loro prologo a questo bel libro, la teoria degli agenti e la simulazione ad agenti costituiscono una parte importante di una nuova disciplina, che è un capitolo rilevante della teoria dei sistemi complessi, volta a studiare l'emergenza proprio in quei sistemi in cui gli agenti – che rappresentano le unità elementari – sono gli uomini, le organizzazioni, le imprese, i quali interagiscono, nella simulazione come nella realtà, creando strutture articolate senza alcuna pianificazione e dando vita a complesse dinamiche evolutive. La teoria degli agenti e la simulazione ad agenti rappresentano dunque un filone di studio fondamentale nell'ambito della pur più estesa teoria della complessità, perché al loro interno rientrano ambiti di studio universali quali la teoria del caos, la «system dynamics», la «social network analysis», l'auto-organizzazione. Un complesso di metodi e di saperi che, al di là della loro intrinseca rilevanza conoscitiva, contribuiranno a far comprendere al lettore la profonda unità e la inattesa e ampia portata (universalità) di questo nuovo paradigma della scienza moderna.

Mario Rasetti

Ordinario di Fisica Teorica e Direttore della Scuola
di Dottorato al Politecnico di Torino;
Segretario Generale della Fondazione ISI,
Institute for Scientific Interchange a Torino