DOPPIOZERO

Giorgio Parisi e la complessità dell’ordine

Emilia Margoni

7 Ottobre 2021

Nello studio della fisica classica il ricorso ad esempi conta su uno spettro limitato: la caduta di un grave, lo scontro tra palle sulla tavola da biliardo, la pallina da tennis che colpisce il muro. Al netto di una fantasia ridotta, che risponde in primo luogo al bisogno immediato di una scena di vita minima cui possano associarsi informazioni complicate, questi esempi raffigurano con efficacia le caratteristiche di un *sistema semplice*: date certe condizioni iniziali, il sistema composto da quell’unica entità evolve secondo una data traiettoria. La fisica è lo strumento che consente di predire quella traiettoria mediante equazioni differenziali. A tal fine, gli elementi richiesti sono la posizione e la velocità iniziali del sistema d’interesse, oltre alla risultante delle forze che su di esso si esercitano. Ma proprio nella vita minima insorgono problemi che la tentazione esemplificativa si concede il lusso di tralasciare: con quali altri elementi interagisce il grave durante la sua caduta? Come si modifica la traiettoria della palla da biliardo quando ne incontra un’altra e poi un’altra ancora? Come il materiale che compone il muro incide sulla dinamica della pallina da tennis che vi rimbalza contro?

Detto altrimenti, gli esempi della meccanica classica “ritagliano” la scena come se quei pezzi di vita si animassero solo a partire dalla forza che su di essi si imprime e proseguissero poi la loro traiettoria in un quadro che può astrarre dall’ambiente circostante e dalle sue molte variabili – come se la partita della fisica classica, in fondo, potesse chiudersi per intero in un calcolo della traiettoria di un oggetto collocato in un ambiente “in vitro”.

In effetti, nella meccanica classica del Settecento e del primo Ottocento, la predizione si riduceva proprio al calcolo esatto delle traiettorie di sistemi semplici, modellizzati quali punti materiali privi di componenti, mentre le equazioni del moto fornivano proposizioni corrette a riguardo della loro evoluzione. Ma allorché il sistema d’interesse venne via via allargato in modo tale da non comprendere solo punti materiali inestesi, bensì un novero più ampio di corpi fisici nella loro

complessa struttura materiale, la capacità predittiva della fisica classica si rivelò piuttosto fragile. Nella seconda metà dell'Ottocento, il crescente interesse circa la relazione tra un numero più ampio di entità favorì quindi un'estensione dell'idea di sistema tale da mutare radicalmente il significato del termine "predizione". È come se la fisica di fine Ottocento avesse riconosciuto che quei sistemi semplici ritagliati entro sistemi più ampi fanno pur sempre parte di questi ultimi in un modo che non consente ai calcoli di prescindere da tale rapporto di appartenenza – il che complica senza dubbio lo scenario e mette in mora le possibilità di predizioni deterministiche esatte.

Così, se in luogo dell'astratto grave che, proprio in ossequio alla sua definizione nominale, obbedisce alla legge di gravità si volesse studiare la dinamica di un qualunque sistema termodinamico, ad esempio un cubetto di ghiaccio esposto ai raggi del sole, seguire le rotte della meccanica classica chiamerebbe a un lavoro ingrato: bisognerebbe individuare tutti i sistemi semplici composti dalle singole molecole di acqua, studiarne il comportamento isolato e mapparne quindi le dinamiche attraverso cui le une influenzano le altre. La *meccanica statistica*, che nasce nella seconda metà dell'Ottocento per impulso del fisico viennese Ludwig Boltzmann, dimostra come un tale approccio sia, oltre che estremamente dispendioso, fondamentalmente inutile: il cubetto di ghiaccio si comporta sempre nello stesso modo a prescindere dal comportamento isolato delle singole molecole che lo compongono. Questo perché *un medesimo comportamento a livello macroscopico corrisponde a molteplici configurazioni dello stato microscopico*: il progressivo liquefarsi del cubetto di ghiaccio non dipende dal comportamento specifico delle singole molecole d'acqua, bensì dal loro *comportamento medio*.

In altre parole, la meccanica statistica introduce l'aspetto della probabilità a riguardo di un largo numero di particelle, nel senso che *stima il grado di probabilità di trovare il sistema d'interesse in una certa configurazione macroscopica*.

Tra le molte motivazioni sottese al recentissimo conferimento del premio Nobel al fisico romano Giorgio Parisi c'è la formulazione di una concezione di sistema che complica la vita alla meccanica statistica: per molti sistemi, se rimane valida l'intuizione circa la superfluità del tracciamento isolante di ogni singolo elemento del sistema, troppo frettolosa è la liquidazione delle possibili variazioni che questi

elementi sono in grado di produrre. Sicché, un’attitudine meramente probabilistica a riguardo del comportamento medio non è sufficiente.



Molti sistemi fisici, infatti, constano di elementi eterogenei che interagiscono in modi apparentemente resistenti alle nostre capacità di predizione perché il loro comportamento *dipende in modo cruciale dalle micro-variazioni degli elementi interni*. Questi sono i sistemi detti *complessi*. A differenza dei sistemi termodinamici studiati dalla meccanica statistica, in cui una configurazione macroscopica corrisponde a molteplici configurazioni microscopiche e dunque i dettagli relativi a queste ultime possono essere ragionevolmente approssimati, il sistema complesso risulta estremamente sensibile al comportamento dei singoli elementi. In termini matematici, due configurazioni che a un dato istante differiscono di un sia pur minimo dettaglio possono evolvere lungo traiettorie che nel tempo confluiscono in stati significativamente divergenti.

Il problema diviene allora come fornire una predizione del comportamento di sistemi che non possono essere trattati né secondo il metodo della meccanica classica né con le tecniche proprie della meccanica statistica. Si tratta infatti di sistemi a molte componenti, in cui ciascuna di esse offre un apporto significativo alla dinamica complessiva. Il merito di Parisi è quello di aver offerto un contributo decisivo alla formulazione di un modello predittivo per i sistemi complessi. E non sorprende quindi che siffatti progressi siano stati immediatamente connessi alle difficoltà di individuare strumenti capaci di offrire modelli predittivi da applicare al cambiamento climatico. Il clima, infatti, è uno degli esempi più rimarchevoli di sistemi non-lineari, composto da elementi dalla natura radicalmente eterogenea, in cui minimi cambiamenti locali possono esercitare effetti su larga scala. Molti dei modelli pionieristici che nel tempo hanno tentato di decifrare il cambiamento climatico presentavano proprio il difetto della fisica classica: si sforzavano di risolvere un sistema di equazioni che rispettassero i principi di conservazione della massa, del momento angolare e dell'energia per ciascun punto su una griglia tridimensionale che rappresentava l'atmosfera della Terra. Nella misura in cui tali equazioni aspiravano a identificare la traiettoria di ciascun elemento individuale, ne derivavano problemi analoghi a quelli che condussero al superamento della meccanica classica, ovvero il costo irragionevole di una mappatura al dettaglio a fronte di un numero troppo elevato di dettagli.

Se a lungo esperti di diversa estrazione avevano tentato di isolare sistematicamente le componenti che sono in grado di determinare i cambiamenti climatici, l'intuizione che di questi restituisce un'immagine radicalmente innovativa è proprio quella del *clima come sistema complesso*, che, come tale, può essere studiato secondo un modello fisico-matematico in grado di identificare una *dinamica nascosta*, alla cui luce si può predire il modo in cui il sistema evolve. Un modello capace di prevedere, pur senza l'ingeneroso tracciamento di ogni singola componente presente nel sistema terrestre, l'evoluzione del riscaldamento globale o le manifestazioni di eventi naturali di ampia portata. Di più: un sistema che sia in grado di determinare con maggiore accuratezza quali variabili, tra quelle umane e quelle non umane, esercitano un peso e in che direzione. In sintesi, e al di là di campi applicativi particolari, gli studi di Parisi mostrano come un sistema complesso non-lineare vada studiato nella sua intelaiatura matematica, entro la quale le dinamiche evolutive si rendono leggibili in un apprezzabile "livellamento metafisico" del tutto e delle parti: mentre la dinamica di un singolo evento va sempre compresa alla luce del sistema in cui si inscrive, il sistema non è un'entità ipostatica, bensì l'insieme delle variazioni di

entità singole in interazione.

È in ragione di questo assunto teorico di fondo che gli studi di Parisi vantano una straordinaria capacità di valicare i confini della fisica e di infiltrare molti ambiti del sapere, in cui la teoria della complessità promette risultati sorprendenti a fronte dello stallo di altri metodi d'indagine: la vita biologica, le reti neurali, la genetica, l'informatica, il comportamento sociale collettivo. Si tratta di territori in cui si corre sempre il rischio di sacrificare il particolare a vantaggio del generale o di isolare il particolare come se se ne potessero leggere le dinamiche al di là del contesto che lo embrica – questione che d'altro canto ha attraversato il sapere del secolo scorso e che, come dimostra la celebrata attualità degli studi di Parisi, è ancor oggi oggetto di controversia. L'esito degli studi del Nostro è che la stima del comportamento di un dato sistema complesso è estremamente complicata perché sensibile al minimo dettaglio, tale da condurre a un calcolo della distribuzione di probabilità di proprietà che mutano con il mutare del sistema.

Ciò implica una fondamentale, forse epocale, rinuncia all'obiettivo di indurre le proprietà di un dato sistema dall'analisi dei suoi componenti, per studiare piuttosto il comportamento differenziale dei sistemi complessi: ciò che varia da sistema a sistema, gli elementi di differenza che fanno di un dato sistema quel sistema. In questa chiave, il pregio del contributo di Parisi, che queste poche righe possono evocare, lodare, esaltare, ma non certo sintetizzare, sta proprio nell'intuizione secondo cui l'apparente disordine di un sistema e le sue fluttuazioni, che sembrano sabotare ogni tentativo di catturarne le dinamiche, possano invece essere le tracce rivelatorie di un ordine soggiacente, un ordine in fondo non ostile a punti di osservazione da cui penetrare la coltre della complessità. E questo rinfocola le speranze di chi crede che per individuare l'ordine occorra innanzitutto seguire le differenze, ciò che eccede, ciò che non si conforma; di chi crede che il disordine non si opponga all'ordine, ma sia piuttosto il richiamo della singolarità a un costante supplemento d'indagine.

Leggi anche

Mario Porro, Parisi: la fisica per salvare il pianeta

Se continuiamo a tenere vivo questo spazio è grazie a te. Anche un solo euro per noi significa molto.

Torna presto a leggerci e SOSTIENI DOPPIOZERO

