

## Capitolo primo

### Il tempo e le sue frecce

L'universo è fatto di storie, non di atomi.

MURIEL RUKEYSER

Il tempo scorre in avanti. Tutti hanno questa sensazione. È piú di una semplice sensazione; ha un equivalente reale nei fenomeni osservabili. I processi vicini e lontani nello spazio e nel tempo si svolgono sempre nella stessa direzione. Tutti gli animali, noi compresi, invecchiano nella stessa direzione. Non incontriamo mai nessuno che ringiovanisce. Gli astronomi hanno osservato milioni di stelle e capiscono molto bene come invecchiano, tutte nella nostra stessa direzione. Sulle rive del mare di tutto il mondo, le onde si formano e si infrangono – non si ricompongono mai.

Ricordiamo il passato, non il futuro. Esistono frecce del tempo. Un filmato proiettato al contrario confonde causa ed effetto: invece di produrre schizzi quando entrano in acqua, i tuffatori ne emergono mentre gli schizzi scompaiono. La nostra esistenza è pervasa da miriadi di frecce. Sono la sostanza di nascita, vita e morte. Nella loro totalità, definiscono per noi la direzione del tempo.

Tre frecce sono particolarmente importanti perché si possono trattare con un buon grado di precisione matematica.

La prima, di cui ci occuperemo molto, è il comune processo di equilibratura. Per vederne un esempio e il risultato finale, mettete un bicchiere d'acqua su un tavolo e agitatene la superficie mescolando vigorosamente l'acqua con un dito. Togliendolo, ben presto la perturbazione si attenua e la superficie si appianna. Avete assistito a un processo irreversibile. Se osservate la superficie dell'acqua per ore e ore, non la vedrete mai agitarsi spontaneamente. Lo stato costante raggiunto attraverso l'equilibratura, corrisponde all'equilibrio. Questo è un esempio che potete osservare. Piú importante per l'argomento di questo libro è un esperimento che potete percepire: l'equalizzazione

della temperatura. Se passate da una stanza calda a una fredda, percepite subito la differenza perché il vostro corpo cede calore all'aria circostante. Si potrebbero fare molti esempi simili: il caffè caldo in una tazza, se non viene bevuto, si raffredda raggiungendo la temperatura della stanza.

La seconda freccia ha a che fare con le cosiddette onde ritardate. Non preoccupatevi del nome. Potete vederne un bell'esempio gettando un sasso in uno stagno dalla superficie immobile e osservando le onde circolari che si diffondono dal punto di entrata nell'acqua. Le onde sono dette ritardate perché si osservano dopo l'impatto del sasso – l'effetto segue la causa. Non vedete mai onde che partono misteriosamente tutte insieme vicino alle rive dello stagno, convergono al centro ed espellono un sasso che poi atterra nella vostra mano – benché le leggi dell'idrodinamica e della meccanica siano perfettamente compatibili con questa possibilità. Non sono soltanto le onde d'acqua a mostrare invariabilmente un ritardo; lo stesso vale per i segnali radiofonici e televisivi che arrivano alle nostre case dai trasmettitori.

Il terzo esempio si trova nella meccanica quantistica ed è il famoso problema del gatto di Schrödinger. Secondo il formalismo quantistico, una certa funzione d'onda può descrivere un gatto che è contemporaneamente morto e vivo. È solo quando viene fatta un'osservazione per stabilire lo stato del gatto che avviene il collasso della funzione d'onda e si realizza una sola delle due possibilità.

L'espressione «freccia del tempo» fu coniata negli anni Venti da Arthur Eddington, l'astrofisico britannico che nel 1919 fece diventare di colpo Einstein una celebrità mondiale con un famoso telegramma al «Times» di Londra che confermava una previsione della teoria generale della relatività. Quando la coniò, Eddington aveva in mente in particolare la freccia associata all'equilibratura, ma spesso le persone la usano come espressione buona per tutte le frecce, come farò io.

Le frecce del tempo sono davvero onnipresenti, perciò è facile darle per scontate, ma fin dai primi anni cinquanta dell'Ottocento i teorici vi hanno visto un grande problema. Enunciarlo

è facile: a parte una minuscola asimmetria temporale in una sola legge (uno dei fattori che subito dopo il Big Bang impedirono il completo annichilimento reciproco di materia e antimateria, ma che non può aver avuto un ruolo significativo nella creazione dell'enorme asimmetria che si osserva oggi tra passato e futuro), tutte le altre leggi della natura non fanno alcuna distinzione tra passato e futuro e funzionano altrettanto bene in entrambe le direzioni temporali. Consideriamo una legge molto semplice, quella che governa le palle da biliardo. A differenza del caso dei tuffatori, un filmato del loro impatto ha lo stesso aspetto proiettato in entrambe le direzioni. I fisici dicono che leggi come questa sono simmetriche rispetto all'inversione del tempo. Con ciò non intendono che il tempo si inverte, ma che se a un certo punto tutte le velocità rilevanti venissero esattamente invertite, le palle ripercorrerebbero in direzione contraria, alle stesse velocità, i percorsi fatti in precedenza. Più complicato è il caso di particelle cariche in un campo magnetico: affinché ripercorran le proprie traiettorie, oltre alle velocità deve essere invertita anche la direzione del campo. Un caso ancora più particolare riguarda le cariche elettriche, la riflessione speculare e l'unica e fortuita eccezione alla regola che ha permesso a una minuscola quantità di materia di sopravvivere dopo il Big Bang e a noi che ne siamo fatti di iniziare a esistere miliardi di anni più tardi. Il problema è identico in tutti i casi: se le leggi di natura che contano non distinguono una direzione del tempo, come è possibile che innumerevoli fenomeni lo facciano?

Questa domanda solleva problemi talmente basilari che non possiamo sperare di trovare la risposta se non individuiamo fondamenti sicuri per la nostra teorizzazione. Uno di questi fondamenti è che tutte le affermazioni scientifiche significative riguardano relazioni. Ciò vale per il concetto stesso di direzione del tempo. Ne riconosciamo una perché tutto intorno a noi abbiamo una moltitudine di frecce unidirezionali. Senza la loro costante presenza, un singolo tuffatore che emergesse dall'acqua turbolenta, lasciandone liscia e piana la superficie, non sembrerebbe violare il normale corso della natura. Importanti sono anche la natura e la precisione dell'osservazione. Indossando occhiali per la visione notturna sensibili agli infrarossi, la collisione di palle da biliardo non ci apparirebbe identica in avanti e all'in-

dietro: vedremmo comparire punti caldi su entrambe le palle dopo la collisione, mentre nel filmato proiettato al contrario vedremmo scomparire quei punti. Nel cricket, le telecamere a infrarossi sono utilizzate per aiutare nei casi incerti gli arbitri a stabilire se la palla ha colpito la mazza oppure il parastinchi, poiché il contatto genera attrito e fa aumentare la temperatura in un punto localizzato.

Questa sensibilità ai mezzi di osservazione solleva una domanda cruciale: le leggi della natura sono davvero simmetriche rispetto al tempo? La risposta che viene data quasi universalmente è che sí, sono tali al livello fondamentale delle particelle elementari – non esiste una freccia microscopica del tempo, ne esiste solamente una a livello macroscopico. Questa è la conclusione a cui giunsero gli scienziati nella seconda metà dell'Ottocento, in primo luogo grazie a uno studio davvero considerevole. Verso la fine del Settecento, si iniziarono a indagare seriamente le proprietà del calore. Lo stimolo fu soprattutto il desiderio di capire il funzionamento delle macchine a vapore e come renderle quanto piú possibile efficienti. Nel 1824 il giovane ingegnere francese Sadi Carnot pubblicò un libro su questo problema, notevole per la sua profondità e brevità; in un primo tempo il lavoro di Carnot passò inosservato, ma nel 1849 un articolo di William Thomson (futuro Lord Kelvin) lo portò all'attenzione di Rudolf Clausius, con effetti straordinari: insieme a Thomson, Clausius ebbe un ruolo chiave nella creazione di una scienza completamente nuova, per la quale Thomson conìò il nome di «termodinamica».

La sua prima legge afferma che l'energia non può essere creata né distrutta. Nell'ambito della fisica, la legge formalizza la convinzione di lunga data espressa nell'avvertimento di Lear a Cordelia: «Dal nulla non viene nulla». La seconda legge della termodinamica introduce il concetto fondamentale di entropia, una grande scoperta di Clausius, che ne ideò il nome. Si tratta di un concetto a dir poco difficile, che in seguito è stato formulato in molti modi diversi. In effetti, da una ricerca nella letteratura tecnica emerge una ventina di definizioni diverse della seconda legge. Alcune includono l'entropia, altre no. Ciò nonostante, l'entropia è uno di quei concetti scientifici che sono entrati nel linguaggio comune insieme all'energia, il Big Bang,

l'espansione dell'universo, i buchi neri, l'evoluzione, il DNA e altri ancora. Con una semplificazione non tecnica che può essere fuorviante, spesso l'entropia è descritta come una misura del disordine. Nella formulazione piú comune, la seconda legge afferma che, in condizioni controllate che permettono una corretta definizione, l'entropia non può diminuire e generalmente aumenta. In particolare, in qualsiasi processo di equilibratura in uno spazio limitato l'entropia aumenta sempre. Tra le varie frecce del tempo, la crescita dell'entropia è quella che la maggior parte degli scienziati considera piú fondamentale. La seconda legge, spesso indicata senza aggiungere «della termodinamica», ha praticamente acquisito un'aura di inviolabilità. Ciò è dovuto soprattutto a Clausius, che sapeva come fare per assicurarsi che, meritatamente, i suoi risultati restassero ben saldi nella mente. L'articolo del 1865 in cui conìò il termine si conclude con le parole «Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu» (l'entropia dell'universo tende a un massimo). Questa affermazione ebbe l'impatto voluto e fu interpretata nel senso che l'universo finirà per raggiungere l'equilibrio termodinamico e andrà incontro alla morte termica. Troviamo la previsione di qualcosa di simile, sul piano umano, nella penultima quartina del Sonetto 73 di Shakespeare:

In me tu vedi sfavillare un fuoco  
su ceneri di gioventú sdraiato  
come sul letto in cui dovrà spirare,  
consumato da ciò che lo nutriva.

Com'è ovvio, la seconda legge viene tirata in ballo da tutti i pessimisti. Per molti scienziati, la crescita dell'entropia, e insieme del disordine, è la freccia ineluttabile che dà la direzione al tempo. Il mistero è quindi come possa la freccia penetrare in modo così profondo nelle cose se le leggi non lo prescrivono in alcun modo.