FILOSOFIA

Tertium non datur

Io esisto, penso, provo dolore: tutto ciò è altrettanto certo quanto una verità geometrica? Sì. E perché? Perché queste verità sono provate in virtù del principio che una cosa non può essere e non essere nello stesso tempo. Io non posso nello stesso tempo esistere e non esistere, sentire e non sentire. La certezza fisica della mia esistenza, di pensare e di sentire, e la certezza matematica, hanno dunque lo stesso valore, benché siano di ordine differente.

(Voltaire, *Dizionario filosofico*, 1764)

Francois-Marie Arouet, più noto con il nome di Voltaire (1694-1778).

Nell'Illuminismo domina un'estrema fiducia nel determinismo e nel fatto che la ragione umana possa appropriarsi completamente della conoscenza della natura, attraverso una matematica che non lascia nulla al caso. Che non si possa esistere e non esistere allo stesso tempo è una certezza matematica e non c'è spazio per altre eventualità. Nel XVIII secolo, il «secolo dei Lumi», trionfa la fisica newtoniana, capace di prevedere, almeno in linea di principio, presente, passato e futuro di qualsiasi sistema meccanico del quale si conoscano posizione, velocità, accelerazione.

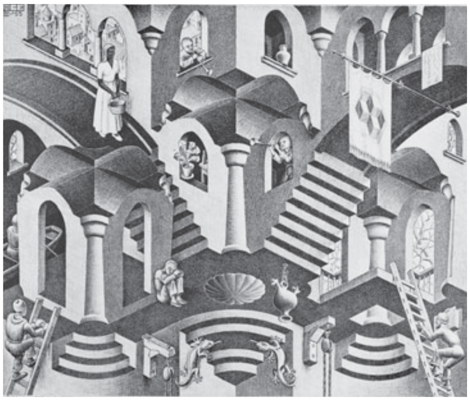
Ricordiamo che lo stesso Voltaire (1694-1778) curò la pubblicazione postuma della traduzione in francese dei *Principia* di Newton, eseguita dalla colta e brillante nobildonna Émilie du Châtelet con la quale aveva una relazione. Da illuminista, Voltaire era a favore della diffusione del sapere scientifico, come ingrediente fondamentale per il bene dell'uomo e della società, che l'ostico latino newtoniano rendeva difficoltosa.

A Madame du Châtelet (1706-1749) è dovuta la prima e unica traduzione in francese dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton.

Una nuova geometria e una nuova logica

Nemmeno due secoli dopo, tali certezze erano destinate a crollare sotto i colpi della casualità, e la celebrata «verità geometrica» cambiava radicalmente significato. La fisica quantistica, infatti, demolisce il determinismo classico introducendo il concetto di probabilità nelle stesse fondamenta della fisica, e la teoria della relatività ci proietta in uno spazio a 4 dimensioni che facciamo fatica a immaginare, così come facevano fatica gli abitanti della bidimensionale Flatlandia (vedi la scheda «Flatlandia» nel capitolo «I vettori») a immaginare la terza dimensione.

Nel 1764, anno della pubblicazione del *Dizionario filosofico*, Voltaire ignorava che potesse essere concepito un «gatto quantistico», capace di contravvenire alle regole della logica classica e quindi di esistere e non esistere contemporaneamente all'interno di una scatola. Ignorava che le rassicuranti leggi della meccanica newtoniana non fossero valide per i più piccoli granuli di materia: gli elettroni, per esempio, non ci consentono di definire una loro traiettoria, con posizione e velocità determinate istante per istante, ma solo un'ampiezza di probabilità, cioè una funzione che fornisce la probabilità di trovare la particella in un punto piuttosto che in un altro.



Maurits Cornelis Escher si prende gioco delle nostre certezze incrollabili, proponendo una nuova geometria e una nuova logica. Mescola spesso tra loro concetti opposti, come esterno e interno, positivo e negativo, alto e basso, bianco e nero e, in questo caso, *Concavo e convesso* (1955).

DOMANDA Il nostro senso comune è molto vicino a quello di Voltaire, perché in effetti le nostre esperienze si svolgono in uno spazio per il quale possiamo usare, con buona approssimazione, le regole della geometria euclidea e le leggi della meccanica di Newton. Quali sono le condizioni per poter usare tali approssimazioni?

LETTERATURA

Così è (se vi pare)

Luigi Pirandello nacque ad Agrigento nel 1867 e morì a Roma nel 1936. Nel 1934 ricevette il premio Nobel per la letteratura.

Il prefetto: «Ah no, per sé, lei, signora: sarà l'una o l'altra!».
Signora Ponza: «Nossignori. Per me, io sono colei che mi si crede.»
(Luigi Pirandello, *Così è (se vi pare)*, 1919)

Così la misteriosa signora Ponza, dopo essere stata nascosta per tutta la durata della commedia, si presenta a quanti si interrogavano sulla sua vera identità. Il marito, il signor Ponza, sostiene che sia la sua seconda moglie, sposata dopo la morte della prima. Questa morte aveva provocato così tanto dolore alla signora Frola, suocera del signor Ponza, che è impazzita, non riuscendo a farsene una ragione: per questo i due coniugi hanno preferito non infrangere la sua illusione nascondendo la vera identità della donna nascosta in casa. La signora Frola, di contro, è assolutamente convinta che quella donna, la signora Ponza, sia sua figlia, tenuta segregata in casa dal marito possessivo. Il signor Ponza, secondo la suocera, è impazzito e si è convinto che la moglie (sua figlia) sia morta: inscenando un secondo matrimonio la donna è tornata accanto al marito, ma questi non l'ha riconosciuta come prima e unica moglie.
I tre personaggi si sono trasferiti in paese dopo essere scampati a un terremoto e nessuno li conosce: un valido motivo di curiosità per i paesani, che si interrogano sulla verità: una verità che Pirandello nega di poter conoscere.
Interrogata, la signora Ponza rivela di essere sia la figlia della signora Frola sia la seconda moglie del signor Ponza e, al tempo stesso, di non essere nessuna, ma semplicemente quella che ciascuno è disposto a credere che sia.

Una commedia «quantistica»

Alcuni studiosi hanno visto nella pirandelliana coesistenza di più individui diversi nello stesso personaggio una somiglianza con la fisica quantistica, in cui la stessa particella-onda può trovarsi contemporaneamente in più stati diversi in virtù del principio di sovrapposizione. La signora Ponza nega di essere l'una *o* l'altra donna, secondo quanto sostenuto dal signor Ponza o dalla signora Frola, ma l'una *e* l'altra e contemporaneamente *né* l'una *né* l'altra, creando una sorta di bisticcio logico che fa emergere il concetto di *verità* secondo Pirandello, il quale rifugge da ogni rigido inquadramento *classico*. Del resto, possiamo univocamente stabilire se l'opera sia una commedia o una tragedia?
Le somiglianze a volte confondono, soprattutto quando avvicinano ambiti tanto diversi, ma possono servire a collocare la fisica quantistica nel più ampio panorama culturale dell'epoca in cui si definì e si affermò. La fisica del XX secolo sembra andare in una direzione diversa rispetto al «senso comune» e, se guardiamo le lettere e le arti in generale, possiamo renderci conto che si tratta di una tendenza diffusa. L'arte contemporanea, per esempio, tende a destrutturare le certezze del passato. Tuttavia va ricordato che, nonostante la rivoluzione nell'arte sia avvenuta contemporaneamente a quella che ha investito il mondo della fisica, fra scienziati e artisti non vi furono molti contatti e molte somiglianze che oggi riconosciamo sono il frutto di una riflessione a posteriori.

Thomas Barrat / Shutterstock

Nel 1967 Pablo Picasso ha donato alla città di Chicago una scultura che potrebbe essere un cavallo o una chitarra o una donna o un oritteropo o un babbuino, o forse tutte queste cose insieme.

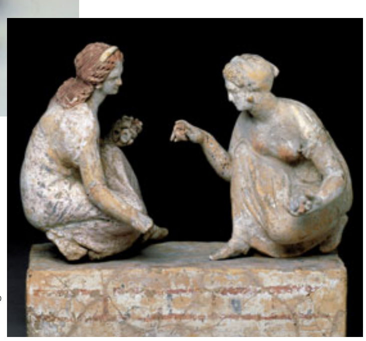
DOMANDA Quando avviciniamo ambiti tanto diversi come la fisica e la letteratura, dobbiamo saper fare le dovute distinzioni. Quali somiglianze e differenze trovi tra la signora Ponza e il gatto di Schrödinger?

CON GLI OCCHI DI UN FISICO

Il gioco dei dadi

Antichi passatempi

Il gioco dei dadi mescola la sua storia con il gioco d'azzardo, per il quale si scommettono soldi su un evento di realizzazione non certa. *Az-zahr*, da cui «azzardo», in arabo è il dado, un piccolo oggetto a forma di poliedro, che si lancia e si lascia rotolare fino a quando non si ferma su una faccia che ne determina il punteggio. I dadi più diffusi hanno forma cubica, con sei facce uguali parallele a due a due, ciascuna con un punteggio diverso, dall'1 al 6. Con tre di questi dadi gli antichi romani giocavano alla *zara*, scommettendo prima del lancio sul punteggio complessivo dato dalla somma dei tre valori ottenuti. Il gioco d'azzardo era diffuso soprattutto nella Roma imperiale, ma non era ben visto e poteva essere praticato ufficialmente solo durante i *Saturnali*, feste in onore del dio Saturno.
Ancora più antico dei dadi, e ad esso affine, è il gioco degli *astràgali*, o *aliossi*, piccole ossa delle zampe di capre e montoni che fungono praticamente da dadi a quattro facce: ciascuna di esse veniva segnata e le era attribuito un certo valore. Probabilmente il gioco degli astragali arrivò dall'Oriente e fu molto diffuso in Grecia e a Roma, come testimoniano numerosi ritrovamenti archeologici. Si tratta di un gioco semplice e longevo: dalle sue lontane e non ben definite origini ha attraversato i millenni ed è giunto a noi. In Italia è sopravvissuto tra i bambini della prima metà del secolo scorso, ma in altre parti del mondo, come in Afghanistan, è ancora in uso.



Astragali e scultura in terracotta del IV secolo a.C. che rappresenta due giovani impegnate nel gioco degli astragali.

Lessing Photo Archive

PAROLA CHIAVE **Probabilità**

DOMANDA Il modello di Planck per il corpo nero, che egli stesso definisce un «atto di disperazione», è basato sull'ipotesi di quantizzazione dell'energia e sull'uso della probabilità. Spiega in 10 righe il ruolo della probabilità nel modello di Planck.

Attraverso il Medioevo

Il gioco dei dadi non era ben visto nemmeno nel Medioevo. Anzi, era addirittura condannato dalla Chiesa, che vedeva in esso un'errata modalità di affrontare la vita, affidandosi alla fortuna piuttosto che ad azioni consapevoli e mirate a conseguenze ben definite. Nonostante ciò i dadi, e con essi il gioco d'azzardo, prosperarono durante l'epoca medievale: moltissime testimonianze scritte dimostrano che si trattava di pratiche diffusissime in tutte le classi sociali. Una su tutte la testimonianza di Dante, che nel *Purgatorio* descrive una scena di vita comune: terminato il gioco della zara, il perdente rimane solo nel suo dolore e, ripetendo nuovi lanci dei dadi, cerca di imparare a ottenere risultati migliori:

Quando si parte il gioco de la zara,
colui che perde si riman dolente,
repetendo le volte, e tristo impara

(Dante Alighieri, *La Divina Commedia*, *Purgatorio*, canto VI, versi 1-3)

Il povero giocatore descritto da Dante pensava forse di riuscire a determinare il risultato dei dadi con un particolare modalità di lancio o, magari, attraverso un rituale scaramantico: quando il futuro diventa meno prevedibile, è comune affidarsi ad azioni che non hanno alcun legame logico con esso.

The Art Archive / Alamy

Il gioco dei dadi in un'illustrazione dal *Trattato di aritmetica* di Filippo Calandri, Firenze, secolo XV.

PAROLA CHIAVE **Indeterminazione**

DOMANDA Secondo la fisica classica, il giocatore descritto da Dante potrebbe, in linea di principio, imparare a lanciare i dadi in modo da far loro compiere delle opportune traiettorie, che gli facciano ottenere il risultato voluto. Perché per un eventuale «dado quantistico» ciò non è possibile, nemmeno in linea di principio?

Verso la probabilità

Il 24 settembre 1501 nacque a Pavia Girolamo Cardano, uno straordinario personaggio del quale ci è pervenuta un'immensa quantità di scritti sui più disparati argomenti, dalla medicina all'alchimia, dall'ingegneria meccanica alla matematica. Tra essi vi è il primo studio conosciuto su questioni di probabilità, intitolato *De ludo aleae* (il gioco dei dadi). Cardano, non a caso, era un appassionato giocatore e nel gioco dei dadi sperperò diverse fortune: quando si dedicò al suo studio dal punto di vista matematico probabilmente sperava di aumentare le possibilità di vincere. Di fatto, comunque, gettò le basi della moderna teoria della probabilità, fornendo la prima definizione di probabilità di un evento come rapporto tra il numero dei casi in cui si verifica e il numero di tutti i casi possibili. In questo modo la probabilità che da un lancio di un dado non truccato esca il valore 1 (o qualunque altro valore) è 1/6, cioè una faccia (corrispondente all'evento favorevole) su sei facce (il numero totale di facce).
Più tardi, intorno al 1612, anche Galileo Galilei si occupò del gioco dei dadi e di probabilità, nelle sue *Considerazioni sopra il gioco dei dadi*. Egli si interrogò sul motivo per cui nel gioco della zara certe somme si ottenevano con maggiore frequenza rispetto ad altre, analizzando l'insieme delle combinazioni possibili con tre dadi. In particolare, avendo notato che il 10 e l'11 erano «più vantaggiosi», cioè uscivano più spesso, del 9 e del 12, calcolò che i primi due si possono ottenere in 27 modi, mentre gli ultimi due in 25.

Per ogni dado la probabilità di un singolo valore è pari a 1/6, cioè corrisponde a un caso favorevole su 6 possibili.

PAROLA CHIAVE **Stato quantistico**

DOMANDA Dopo il lancio un ipotetico dado quantistico si trova nell'autostato corrispondente al valore 6. Quanti autostati ha il sistema? Definisci in 5 righe lo stato del dado quantistico durante il lancio, prima della lettura del risultato.

La matematica dei dadi

Il Cavalier de Méré, grande giocatore d'azzardo, era convinto che non vi fosse alcuna differenza di vantaggio tra scommettere sull'uscita di almeno un 6 su 4 tiri consecutivi di un dado alla volta, oppure sull'uscita di almeno due 6 su 24 tiri di due dadi alla volta. Si era cioè convinto che i due eventi avessero la stessa probabilità, in base a un ragionamento che si dimostrò – almeno nei fatti – errato: il cavaliere perse ingenti ricchezze e nel 1654 si decise a chiedere aiuto all'amico matematico Blaise Pascal (1623-1662). Questi affrontò il problema discutendone con il collega Pierre de Fermat (1601-1665). I due matematici giunsero a una conclusione diversa da quella del giocatore: infatti calcolarono il numero di risultati favorevoli nell'uno e nell'altro caso, rispetto a tutte le combinazioni realizzabili, e conclusero che il doppio 6 su 24 lanci è meno probabile del singolo 6 su 4 lanci. Ispirato da questa analisi, anche lo scienziato olandese Hans Christian Huygens (1629-1695) pubblicò un trattato sull'argomento, *De ratiociniis in ludo aleae* (1657).
La teoria della probabilità iniziò dunque a delinearsi in un ambito «ricreativo», come applicazione a questioni di gioco, ma si rivelò presto adottabile in altri contesti. Per esempio, in ambito sociale, John Graunt (1620-1674) la utilizzò per l'analisi di dati demografici. Successivamente si sviluppò come una branca della matematica e più tardi ancora entrò nella fisica, con grande difficoltà, per la trattazione dei modelli microscopici della teoria cinetica dei gas. Si affiancò all'inizio alla concezione deterministica del mondo, senza tuttavia modificarla, fino alla rivoluzione della fisica quantistica, per la quale la realtà stessa è una sorta di gioco dei dadi, per cui possiamo affermare con certezza solo la probabilità di un evento e non il suo verificarsi.

Georges de La Tour, *I giocatori di dadi* (1650-1651).
Il gioco dei dadi è stato, nel corso della storia, un passatempo diffuso in tutte le classi sociali.