

## **1. Prima di Copernico: eliocentrismo e geocentrismo nelle antiche rappresentazioni dell'Universo**

L'astronomia è la più antica di tutte le scienze: sappiamo che già gli Egizi e i Babilonesi, osservando il cielo, cercarono di riconoscere moti e regolarità degli astri, riuscendoci con una certa precisione.

Con i Greci l'astronomia si liberò dal legame che inizialmente aveva con la religione e la mitologia, e i filosofi divennero protagonisti di discussioni finalizzate a descrivere razionalmente gli eventi celesti: da Talete, che sosteneva che la Terra galleggiasse nell'acqua, ad Anassimandro che pensava che la Terra fosse al centro dell'universo e senza un sostegno, alla scuola pitagorica (o forse a Parmenide), secondo cui la Terra e l'Universo sarebbero stati sferici, fino ad Aristarco di Samo (310-230 a.C.), il primo vero teorico dell'eliocentrismo.

Il modello di Aristarco, però, non ebbe molta fortuna, mentre l'assioma platonico – che immagina che i corpi celesti si muovano in modo uniforme seguendo orbite circolari – condizionò l'astronomia teorica per circa venti secoli.

Eudosso fu invece il primo a sostenere che il ciclo solare durasse quattro anni (3 anni di 365 giorni più un anno di 366 giorni), così come era scandito il calendario di Giulio Cesare. Eudosso elaborò anche un modello geometrico del moto dei pianeti, della Luna e del Sole basato sulla descrizione di sfere omocentriche che si sviluppavano intorno alla Terra immobile.

Questo complesso sistema venne condiviso da Aristotele, che affermava che l'universo è sferico (la sfera è la forma perfetta) e finito (perché ha un centro, costituito dalla Terra, e dunque non può essere infinito).

Aristotele descriveva la Terra come una sfera immobile e, oltre ai quattro elementi (acqua, aria, terra e fuoco), egli immaginava l'esistenza dell'etere, il quinto elemento divino, invisibile, privo di peso, incorruttibile e immutabile, ma che si decompone nelle regioni al di qua della Luna.

Un nome che dev'essere assolutamente ricordato è quello di Ipparco, che, sebbene abbia contribuito a far accantonare la teoria di Aristarco, è considerato il più grande astronomo dell'antichità; infatti elaborò un catalogo delle

stelle fisse, inventò strumenti per l'osservazione astronomica, e gettò le basi della trigonometria.

Tra i suoi ammiratori possiamo annoverare Claudio Tolomeo (II sec d.C.), che visse tre secoli più tardi, ma grazie al quale sono state tramandate le sue opere. Tolomeo, autore dell'*Almagesto*, che fu il testo di riferimento per tutto il Medioevo, è famoso per la sua teoria geocentrica, anch'essa basata su un complesso sistema di sfere, in cui i pianeti descrivono un'orbita circolare (epiciclo), il cui centro descrive a sua volta un'altra orbita circolare (deferente) intorno alla Terra.

Nel IV secolo dell'era volgare, con l'editto di Costantino e la diffusione della religione cristiana (che divenne religione ufficiale dell'Impero con l'editto di Tessalonica del 380 d.C.), le osservazioni degli astronomi greci cominciarono a essere criticate, in quanto frutto delle speculazioni di studiosi pagani. Questo portò un ritorno all'idea della Terra piatta, e nel tempo le opere degli astronomi classici vennero quasi dimenticate.

Tale situazione mutò solo all'inizio del X secolo, quando gli Arabi giunti in Spagna riscoprirono, tradussero e arricchirono di nuovi contributi le opere degli antichi.

Il modello di Aristotele - opportunamente modificato per adattarsi alla cultura e alla mentalità cristiane - ebbe un successo straordinario, come pure quello di Tolomeo che aveva immaginato la Terra al centro dell'Universo circondata da nove cieli: gli stessi descritti nel *Paradiso* di Dante, la cui opera costituisce un vero e proprio compendio delle nozioni astronomiche del Basso Medioevo europeo.

Per tornare a parlare di eliocentrismo bisognerà attendere il principio del XVI secolo e gli studi di Niccolò Copernico; il quale - giova ricordarlo - per evitare la condanna delle istituzioni ecclesiastiche (che nel secolo successivo colpirà Galileo Galilei) fu attentissimo a presentare il proprio modello non come una teoria rivoluzionaria, ma come un nuovo, astratto sistema di calcolo delle orbite dei corpi celesti.

## 2. La medicina in epoca premoderna

Nell'antichità si credeva che le malattie avessero un'origine soprannaturale; per questo motivo la "terapia" era appannaggio di sacerdoti o stregoni.

Il passaggio dal soprannaturale alla scienza avvenne attraverso un processo graduale, che durò secoli.

Fu nell'antica Grecia, con Ippocrate (nato - si dice - nel 460 a.C. e considerato il padre della Medicina), che ebbe origine l'idea della malattia come evento dovuto a cause naturali. I medici iniziarono allora a osservare il malato, a ragionare in modo logico e a cercare le cause fisiche della malattia.

Dal 161, a Roma, operò invece il greco Galeno, il più importante dei medici di epoca classica, che diede un impulso straordinario allo sviluppo della propria disciplina: ad esempio, capì che nelle arterie scorreva il sangue e non l'aria.

Si colloca nel Medioevo la fondazione della prima scuola di Medicina in Europa, quella di Salerno, che tra i suoi studenti accettava anche le donne. A questa seguì l'istituzione di altre scuole importanti, come quelle di Padova, Bologna, Parigi e Montpellier.

A partire dal periodo rinascimentale iniziarono le osservazioni analitiche del corpo umano e la pratica delle autopsie, dando il via alla Medicina patologica. Andrea Vesalio pubblicò nel 1543 *De humani corporis fabrica*, utilizzato come manuale anatomico nei successivi quattro secoli.

Dell'avanzamento nella conoscenza dell'anatomia si avvale anche la chirurgia, e tra i nomi dei chirurghi del XVI secolo senz'altro spicca quello di Ambroise Paré, considerato il padre della chirurgia moderna.

Una pietra miliare del progresso medico fu la scoperta della circolazione del sangue da parte di William Harvey, resa nota nel 1628; ma nello stesso periodo importanti progressi vennero compiuti anche grazie ai microscopisti come Marcello Malpighi, che scoprì i capillari, o Antoine van Leeuwenhoek, che fu il primo a osservare e descrivere i batteri.

Tre le conquiste del XVIII secolo, bisogna certamente annoverare l'introduzione della vaccinazione ad opera di Edward Jenner per combattere il vaiolo.

In Italia, invece, con Giovanni Battista Morgagni si diede il via all'anatomia patologica moderna, correlando i risultati ottenuti dalle osservazioni *post mortem* con il quadro clinico in vita. Inoltre, cominciò a farsi strada il concetto di salute pubblica, e nacque la figura del medico condotto, che si prendeva cura dei pazienti poveri.

Con il XIX secolo si entra a pieno titolo nell'età moderna della medicina: è il periodo degli studi dedicati alla fisiologia e ai microrganismi (ricordiamo i nomi di Louis Pasteur e Robert Koch). Grazie alle scoperte di Pasteur, il chirurgo Joseph Lister capì l'importanza dell'asepsi durante le operazioni, riducendo così le infezioni e le morti postchirurgiche; anche nell'ambito dell'ostetricia, l'introduzione della disinfezione delle mani e dei vestiti delle ostetriche e degli studenti che assistevano ai parti consentì di ridurre drasticamente il numero di morti per febbre puerperale.

Il più importante contributo proveniente dagli Stati Uniti in questo periodo fu l'introduzione dell'anestesia generale.

Il secolo si concluse con fondamentali scoperte nell'ambito della parasitologia e della trasmissione delle malattie. Nacque il concetto di Medicina preventiva, e vennero compiuti importanti passi avanti in campo diagnostico grazie alla scoperta dei raggi X da parte di Wilhelm Conrad Röntgen, e del radio da parte dei coniugi Pierre e Marie Curie.

Insomma, nel XIX secolo le conoscenze scientifiche fecero passi tali da rivoluzionare la pratica della medicina e da proiettarla in tutto e per tutto nella contemporaneità.

### 3. Calendari ed effemeridi: cielo e Terra dall'antichità alle soglie della modernità

Il termine calendario deriva dal latino *calendarium*, il libro in cui erano riportati i debiti, pagati dai Romani il primo giorno del mese (*calendae*).

Ma fin dall'antichità l'uomo ha sentito l'esigenza di misurare il tempo, e ha iniziato a farlo osservando il moto degli astri e dei pianeti, tra cui il Sole e la Luna.

Gli Egizi utilizzavano un calendario solare, mentre quello dei Sumeri e degli Ebrei si basava sui cicli lunari.

I Romani, fino all'epoca di Giulio Cesare, dividevano l'anno in 12 mesi lunari e in 355 giorni, e ogni due anni aggiungevano un *mese intercalare* di 22 giorni; successivamente, con il calendario giuliano, l'anno solare divenne di 365 giorni e 6 ore, mentre l'anno civile contava 365 giorni con aggiunta di un giorno ogni 4 anni nell'anno bisestile.

Nel tempo, però, il divario tra l'anno solare e quello civile comportò uno sfasamento tra le date e il ciclo delle stagioni; per questo motivo il calendario venne riformato, e il 15 ottobre 1582 entrò in vigore il calendario gregoriano (da papa Gregorio XIII, che lo introdusse), che eliminò da subito i 10 giorni di differenza che si erano venuti a creare tra l'anno civile e quello solare; esso è diviso in mesi e in settimane, e conta gli anni a partire dalla nascita di Cristo. Questo calendario, che inizialmente suscitò diverse obiezioni e critiche, è adottato universalmente, fatta eccezione per i calendari utilizzati dai musulmani e dagli ebrei.

Il termine effemeridi deriva invece dal greco *ephemeris* che significa *giornaliero*; infatti, originariamente, si trattava di tabelle in cui venivano riportati quotidianamente gli atti del re.

Oggi le effemeridi sono una raccolta di tavole contenenti dati astronomici variabili, calcolati per le diverse giornate o per le diverse ore, tra cui la levata e il tramonto del sole, le fasi lunari e dei principali corpi celesti; esse sono pubblicate annualmente e coprono tutto l'anno di pubblicazione.

Le effemeridi hanno un'origine molto antica, essendo state utilizzate persino dai popoli della Mesopotamia e dalle popolazioni precolombiane. Per

produrle era necessaria una costante osservazione del cielo e una buona conoscenza dei moti dei pianeti nel tempo; grazie al progresso delle conoscenze astronomiche, esse sono diventate sempre più precise, tanto che oggi possono fornire informazioni sui cieli del passato e del futuro.

Nel I millennio a.C. gli astronomi babilonesi riuscirono a produrre delle effemeridi piuttosto accurate, che costituirono la base per quelle elaborate successivamente in età ellenistica, ad esempio da Ipparco di Nicea e Claudio Tolomeo.

Nel Medioevo gli astronomi musulmani diedero un importante contributo, compilando numerose tavole. Nella Spagna musulmana, a Toledo, Arzachel fu l'autore delle Tavole toledane, sostituite nel 1252 dalle Tavole alfonsine (così dette in onore del re Alfonso X di Castiglia); redatte da una squadra di astronomi e astrologi della "Scuola dei traduttori di Toledo" furono utilizzate in Europa fino all'epoca di Keplero.

Altre tabelle risalenti al tardo Medioevo furono le effemeridi di Regiomontano, redatte a Norimberga nel 1474, utilizzate da Cristoforo Colombo e Amerigo Vespucci, e le Tavole prussiane, basate sulle teorie di Copernico, che erano però imprecise poiché consideravano circolari le orbite dei pianeti.

Johannes Kepler fu invece l'autore delle Tavole rudolfine (in onore dell'imperatore Rodolfo II d'Asburgo) che furono redatte nel 1627; egli le elaborò a partire da orbite ellittiche e dalle sue tre celebri leggi sul moto planetario. Le sue effemeridi divennero il riferimento delle successive tavole astronomiche.

Ulteriori modifiche apportate alle tavole astronomiche derivarono dalle leggi della dinamica di Newton e dalla teoria della gravitazione universale, nonché dagli studi di Lagrange sui moti dei pianeti e dai sistemi di equazioni da lui elaborati.

Nel Settecento e nell'Ottocento, gli osservatori astronomici elaboravano effemeridi specifiche per le città in cui avevano sede.

Oltre che nel campo delle osservazioni astronomiche, le effemeridi venivano abitualmente utilizzate anche in quello della navigazione.

## 4. La storia e l'importanza della divulgazione scientifica

La divulgazione scientifica nasce con l'obiettivo di far conoscere anche a un pubblico di non specialisti i risultati raggiunti dalla ricerca e le nozioni che ne derivano.

I primi tentativi in epoca moderna di comunicare la scienza ai non scienziati, formalizzandone nel contempo le conquiste, si possono far risalire al 1600, quando la Royal Society inglese propone una serie di pubblicazioni di carattere non prettamente professionale, destinate a “tutti i cittadini colti” sugli ultimi progressi della matematica, dell'astronomia e della fisica.

Nel corso del secolo successivo si avranno iniziative simili in molti altri Paesi europei e, soprattutto, la celebre impresa dell'Encyclopedie di Diderot e D'Alembert, che riprende, sistematizza e raffina questo schema comunicativo, introducendo in esso anche alcune novità significative, come l'utilizzo delle illustrazioni per spiegare didatticamente teorie e concetti.

Nel XIX secolo - uno dei momenti nella storia dell'umanità in cui la fiducia nella scienza raggiunge i livelli più alti -, anche i giornali quotidiani prendono a occuparsi abitualmente di scienza. Solo con l'inizio del XX secolo e l'avvento, in varie branche della scienza, di paradigmi nuovi, particolarmente complessi, capaci di sfidare l'intuitività del senso comune, però, comincia a sentirsi la necessità di una figura come quella del giornalista scientifico: un professionista dotato di particolari competenze sia in campo comunicativo sia in campo scientifico, capace di porsi come mediatore fra lo scienziato e il pubblico.

Si è molto discusso, negli ultimi 100 anni, sul ruolo e l'utilità del giornalismo scientifico, esposto contemporaneamente al rischio della scarsa chiarezza da una parte - qualora si attenga con rigore alle sottigliezze degli scienziati - e della banalizzazione della scienza dall'altra, qualora si lasci attrarre dalla tentazione del sensazionalismo.

Di certo, la comunicazione effettuata dai divulgatori deve avvenire in forma facilmente comprensibile e senza eccessivi tecnicismi, ma sempre tenendo presente lo scopo di rendere ciascuno ben consapevole del modo di procedere della scienza, dei suoi metodi, dell'affidabilità delle “verità” da essa professate ed, eventualmente, dei loro limiti.

Idealmente, l'obiettivo più alto che può porsi la divulgazione è quello di coinvolgere ogni cittadino in scelte, riguardanti l'operato del mondo scientifico, che potrebbero avere ricadute sociali: questioni come le azioni di contrasto al riscaldamento globale o la lotta alle pandemie richiedono il più ampio consenso possibile, ottenibile solo con una più profonda e diffusa consapevolezza dell'operato degli scienziati.

Purtroppo, visto il tasso di analfabetismo scientifico ancora oggi riscontrabile in ampi strati della popolazione, anche nei Paesi più progrediti, occorre prendere atto che l'obiettivo è ancora molto lontano.



## **5. L'esperimento di Chladni: quando i fenomeni fisici sono spettacolari**

**E**rnst Chladni fu un fisico e un musicista tedesco, vissuto tra il 1756 e il 1827; è noto per il suo studio sulle lastre vibranti, in particolare per il suo esperimento in cui una lastra metallica, fissata al centro e su cui aveva versato della farina, veniva fatta vibrare strofinandone i margini con l'archetto di un violino. La vibrazione faceva sì che la farina si allontanasse dalle zone di maggior vibrazione (dette ventri) per accumularsi in quelle a vibrazione nulla (dette nodali).

La disposizione della farina si modificava al variare della frequenza della vibrazione, e andava formare delle suggestive figure geometriche, che diventavano via via più complesse all'aumentare della frequenza della vibrazione.

Questo esperimento è ritenuto un classico della fisica e dà luogo a immagini incredibili. Ma la fisica può essere protagonista anche di altri spettacoli, ricreati artificialmente o perfettamente naturali: pensiamo alle aurore boreali, che si originano grazie all'attraversamento del campo magnetico terrestre da parte delle particelle cariche provenienti dal Sole; le particelle, scendendo a spirale verso i poli, generano delle bande colorate di luce, appunto le aurore boreali (o astrali).

La luce è protagonista anche nel fenomeno della luna rossa, o luna di sangue, che si verifica durante le eclissi lunari, quando i raggi del sole vengono rifratti; ma mentre, ad esempio, la luce blu si disperde, quella rossa viene riflessa dal nostro satellite assumendo un colore cremisi.

Riducendo la scala delle osservazioni, immaginiamo di aggiungere alcune gocce di inchiostro a temperatura ambiente in un bicchiere d'acqua calda; queste – essendo più fredde e quindi più dense dell'acqua – inizialmente vengono attratte verso il fondo del bicchiere per via della forza di gravità. Ma, nel portarsi verso il fondo, l'inchiostro si scalda, diminuendo quindi la sua densità; diventato più leggero, per il principio di Archimede l'inchiostro inizierà a questo punto a risalire verso l'alto, mescolandosi con l'acqua attraverso i moti convettivi che permettono al liquido di raggiungere una temperatura omogenea in tutti i suoi punti.

I moti convettivi si verificano in natura nel *mantello* al di sotto della crosta terrestre (e sono alla base dei terremoti e delle eruzioni vulcaniche), ma anche negli oceani e nell'atmosfera.

È dovuto invece all'effetto Doppler il fatto che, quando un'ambulanza si avvicina, ci sembra la sirena abbia dei toni via via più alti, mentre quando sia allontana ci sembrano più bassi. Questo accade perché, quando la sirena si accosta all'osservatore, le onde sonore diventano più frequenti, mentre quando si allontana esse diminuiscono di frequenza.

Naturalmente, la lista di fenomeni spettacolari o curiosi che la fisica è in grado di spiegare è lunghissima, e il fatto che sia nota la loro origine non toglie nulla alla loro capacità di sorprenderci.

## 6. L'Intelligenza artificiale

L'intelligenza artificiale è un ramo dell'informatica che si occupa di elaborare hardware e software in modo che le macchine svolgano dei compiti simulando capacità, comportamenti e ragionamenti tipici dell'uomo, con il vantaggio di poter gestire rapidamente grandi volumi di dati.

Il concetto di intelligenza artificiale nacque nel 1956, in America, e da allora i programmi di sviluppo dell'intelligenza artificiale si sono evoluti fornendo supporto alle decisioni che un operatore umano è chiamato a prendere in vari settori, ad esempio dalla Sanità alla tecnologia automobilistica.

Ma come può un sistema di intelligenza artificiale imitare il ragionamento umano? Innanzitutto, la sua capacità di prendere decisioni non può basarsi solo su una logica lineare, ma dev'essere in grado di risolvere i problemi complessi in maniera diversa, in base alle condizioni di partenza.

Questo presupposto ha portato a elaborare numerosi programmi, tali da indurre la macchina ad agire in modo diverso a seconda delle situazioni; con questo obiettivo è nata la "rappresentazione della conoscenza", un settore che si occupa di studiare tutte le possibilità di ragionamento dell'uomo, e di trasferirle alle macchine.

L'uomo, inoltre, impara dai propri errori; è stato quindi necessario sviluppare algoritmi in grado di fornire al sistema intelligente la capacità di fare lo stesso. Questa capacità di apprendimento automatico della macchina si chiama *machine learning*.

Quando facciamo uso dell'intelligenza artificiale nel nostro quotidiano? Per esempio, con alcune funzionalità del nostro smartphone, quando esso "capisce" se ci stiamo muovendo a piedi o in auto, o quando ci giochiamo a scacchi, quando ci rivolgiamo a Siri o a Cortana, oppure quando ci facciamo trasportare da veicoli che si muovono senza un pilota.

L'uso così ampio delle macchine solleva però delicate questioni etiche, e per questo motivo sono state messe a punto delle linee guida a livello europeo, in modo da assicurarsi che l'intelligenza artificiale sia antropocentrica; sia cioè sempre al servizio delle esigenze dell'uomo.

È importante perciò che l'intelligenza artificiale rispetti una serie di

principi, tra cui innanzitutto la privacy (pensiamo a quanti dati sono a disposizione delle macchine...) e la trasparenza: tutto il meccanismo su cui si basa la macchina per prendere le proprie decisioni dovrebbe essere osservabile e analizzabile. Il problema è che, nei modelli di *machine learning*, il livello di complessità è tale che la ricostruzione del processo decisionale è quasi impossibile.

E poi, se si verifica un incidente, di chi è la responsabilità? A quesiti di questo tipo è difficile rispondere; è però fondamentale prenderli in esame affinché l'intelligenza artificiale, un domani, possa esprimere tutto il suo potenziale senza pericoli.

## 7. L'istituzione dei premi Nobel

Quando, nel marzo del 1888, Ludvig Nobel, fratello del chimico Alfred, morì dilaniato da un'esplosione durante un esperimento, alcuni giornali francesi riportarono erroneamente la notizia della morte dello stesso Alfred, definendolo “mercante di morte”: Alfred Nobel aveva infatti accumulato un'enorme quantità di denaro grazie a 355 brevetti sull'utilizzo militare e civile di sostanze esplosive - fra di essi, quello sulla dinamite, messa a punto impiegando le proprietà stabilizzanti della farina fossile sulla nitroglicerina.

Alfred fu profondamente scosso dalle accuse che gli venivano mosse nel necrologio; per essere ricordato non come un “mercante di morte”, ma come una persona generosa e un filantropo, decise che, dopo la sua scomparsa, il 94 % dei suoi averi venisse destinato all'istituzione di un premio annuale a coloro che rendono “i maggiori servizi all'umanità” nei campi della Chimica, della Fisica, della Medicina, della Letteratura, o che si impegnano “nel favorire relazioni pacifiche fra i popoli della terra”.

Fra le discipline oggetto del premio non venne inclusa la matematica. Da qui nacque la leggenda secondo cui l'esclusione sarebbe dovuta ad antichi dissapori tra Alfred Nobel e Gösta Mittag-Leffler (che avrebbe potuto essere candidato a un premio riservato ai matematici) dovuti a una donna.

Nobel morì nella sua villa di Sanremo nel 1896. Sulla base delle volontà espresse nel suo lascito testamentario venne istituita una Fondazione che, con un patrimonio iniziale di 31 milioni di corone svedesi, a partire dal 1901 si occupò dell'assegnazione dei premi.

Le decisioni in merito ai premi di disciplina sono tuttora prese dall'Accademia Reale Svedese delle Scienze. Il premio Nobel per la Pace viene invece gestito da una commissione costituita da 5 membri eletti dal parlamento norvegese.

Il premio Nobel per l'Economia fu introdotto solo nel 1969, in seguito a una donazione della Banca nazionale di Svezia.

La cerimonia di assegnazione dei premi si svolge ogni anno a Stoccolma il 10 dicembre, anniversario della morte di Nobel. Solo il premio Nobel per la Pace, come è noto, viene assegnato a Oslo.

## **8. “Digerire” la scienza: le scoperte scientifiche e il senso comune, da Anassimandro di Mileto ad Einstein**

Nella prima scena della *Vita di Galileo* di Bertolt Brecht, l'undicenne Andrea Sarti, figlio della governante di Galileo - che con i suoi calcoli ha accertato che, come sosteneva Copernico, il sole sta fermo e la terra si muove - rivolgendosi al suo dotto inquilino con l'improntitudine dei ragazzi, afferma: “Ma io lo vedo che il sole, la sera, sta in un punto diverso che al mattino. Dunque non sta fermo. Mai e poi mai!”.

Ribatte Galileo: “Tu lo vedi! Ma che vedi tu? Un bel niente. Guardi come un allocco: è molto diverso che vedere.”

La storia delle scoperte scientifiche è costellata di episodi che dimostrano come “guardare” sia molto diverso che “vedere”: tutto naturalmente dipende dalla prospettiva dalla quale si guarda, dai pregiudizi sulla scorta dei quali guardiamo e che ci condizionano in ciò che, in realtà, vediamo.

Quando una scoperta scientifica introduce nell'interpretazione della realtà nuovi paradigmi - dimostrati per via matematica in modo inoppugnabile -, è necessario che tali paradigmi siano prima razionalmente compresi, e poi “digeriti”; in sostanza, occorre abituarsi a guardare la realtà con occhi nuovi.

Cosa tutt'altro che facile.

Sebbene Einstein, all'inizio del XX secolo, ci abbia insegnato che il tempo, nel nostro Universo, non procede con inesorabile e inscalfibile costanza, ma è una grandezza che può contrarsi, dilatarsi e distorcersi in relazione allo stato in cui si trova l'osservatore, il concetto di relatività, ancora oggi, è ben lungi dall'essere patrimonio comune: per molti la sincronicità universale continua ad essere un caposaldo indiscutibile di un mondo privo di incrinature interpretative.

E le cose non cambiano se guardiamo a un'epoca che precede la nostra di millenni: in un suo famoso libro, il fisico Carlo Rovelli fa notare come, quando Anassimandro di Mileto, 2600 anni fa, per primo immaginò la Terra come un sasso che galleggia nello Spazio, all'umanità dell'epoca toccò riparametrare tutto quello che riteneva di sapere con certezza sui concetti di “alto” e di “basso”: se la Terra resta sospesa nello Spazio senza cadere, vuol dire che non

esiste più un “basso assoluto” verso il quale gli oggetti devono necessariamente precipitare.

Quanti secoli ci vollero affinché questo concetto controintuitivo fosse assimilato da tutti?

Il problema è che nel mondo moderno, come in quello antico, mancano una mentalità e una cultura scientifica diffuse: un atteggiamento conoscitivo che porti a mettere tutto in discussione e a ragionare su base matematica.

Forse aiuterebbe cercare di promuovere un processo che, come sognava Emmy Noether, porti la scienza a diventare quotidiano argomento di discussione anche per i non specialisti: come la politica o l'economia.

Quanto ci vorrà affinché questo sogno si avveri?

## 9. Le formule che racchiudono il mondo intero

Vi sono formule matematiche capaci, nella loro essenzialità, di ridurre quasi magicamente la complessità del mondo, descrivendo in maniera sintetica, ordinata, disciplinata fenomeni che altrimenti sfuggirebbero alla nostra comprensione.

Il fascino che esse sprigionano è patente anche agli occhi di chi - non perfettamente padrone del linguaggio matematico - non ne domina fino in fondo i meccanismi e la logica: possiamo dire che la loro concezione si avvicina molto a un'immagine ideale e astratta della bellezza.

Fra queste formule, la più celebre presso il grande pubblico, per via della sua concisa semplicità e per la dirompente carica di novità che portò con sé al momento della sua "scoperta", è senza dubbio quella espressa da Albert Einstein nel 1905, che descrive la quantità di energia contenuta in un atomo, e che preconizzò gli impieghi militari e civili del nucleare che caratterizzarono il XX secolo:

$$E = mc^2$$

Vi sono però altre formule, altrettanto lineari, altrettanto sorprendenti, altrettanto importanti nella storia della matematica e delle scienze. Senza dimenticare l'equazione del celeberrimo e antichissimo Teorema di Pitagora, che tutti abbiamo studiato a scuola

$$a^2 + b^2 = c^2$$

e quella, meno nota ma altrettanto semplice della Formula di Eulero per un poliedro regolare

$$F - E + V = 2$$

laddove  $F$  indica il numero delle facce,  $E$  quello degli spigoli e  $V$  quello dei vertici del poliedro, possiamo citare la Legge di Gravitazione universale di Isaac Newton, secondo la quale ogni corpo dotato di una massa attrae ogni altro corpo con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa:

$$F = G \frac{m^1 m^1}{r^2}$$



laddove  $F$  è la forza,  $G$  la costante di gravitazione universale,  $m$  la massa e  $r$  la distanza.

Leggermente più complessa è la formula della distribuzione normale o gaussiana, base della statistica moderna, splendidamente rappresentata sul piano cartesiano dalla famosa curva a campana:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2\sigma}}$$

laddove  $f(x)$  è la funzione di densità probabilistica,  $e$  è una costante,  $\sigma$  è la deviazione standard, e  $\mu$  la media matematica.

Di una semplicità addirittura disarmante è invece la più famosa delle formulazioni del Secondo principio della Termodinamica, base del concetto di *entropia*, secondo il quale è impossibile trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo senza l'apporto di un lavoro esterno al sistema:

$$\Delta S \geq 0$$

Chiudiamo questa piccola carrellata con la suggestione della vertigine che è capace di donare, nella sua relativa linearità, l'equazione di Schrödinger, che costituisce uno dei principali capisaldi della meccanica quantistica, e che descrive un fenomeno di complessità appena immaginabile, quale l'evoluzione di una particella, di un atomo o di una molecola nel tempo, secondo le leggi che governano l'infinitamente piccolo:

$$ih \frac{\partial}{\partial t} \psi = H\psi$$

In questo caso  $i$  è un'unità immaginaria,  $h$  la costante di Planck,  $\psi$  la funzione d'onda, e  $H$  il cosiddetto operatore hamiltoniano.

## 10. Gli scienziati e la bomba atomica

Il cammino attraverso il quale, dalle prime ricerche sulla fisica dell'infinitamente piccolo, sulle caratteristiche dell'atomo e sul comportamento delle particelle subatomiche, si arrivò all'idea di sfruttare l'energia nucleare e poi alla creazione materiale della bomba atomica fu, visto con occhi odierni, sorprendentemente rapido.

Le premesse teoriche per la realizzazione di un ordigno capace di sprigionare la potenza distruttrice contenuta nel nucleo dell'atomo furono gettate negli anni Dieci e Venti del Novecento dalle scoperte di fisici del calibro di Rutherford, Einstein, Heisenberg, Bohr e Schrödinger, riguardanti la struttura della materia, la Relatività e la meccanica quantistica.

È però solo a partire dal principio degli anni Trenta che si cominciano a rilevare nella morfologia dell'atomo in generale e di taluni elementi in particolare, caratteristiche notevoli che possono far pensare a manipolazioni in grado di liberare l'energia in essa racchiusa.

Dalla scoperta del neutrone, componente del nucleo atomico privo di carica elettrica, da parte di James Chadwick nel 1932, si arriva velocemente alle ricerche sulla possibilità di ottenere isotopi attraverso il bombardamento di taluni elementi con neutroni lenti effettuate a Roma da Enrico Fermi e dagli altri ragazzi di via Panisperna.

Di lì a poco, sulla scorta dei risultati ottenuti da Fermi, gli esperimenti condotti da Otto Hahn e le osservazioni di Lise Meitner conducono alla scoperta del processo della fissione nucleare grazie all'intuizione che l'uranio è un elemento con un nucleo particolarmente instabile.

Contemporaneamente, il fuoriuscito ungherese Leo Szilárd negli Stati Uniti elabora l'idea della reazione nucleare a catena, rendendosi subito conto allarmato delle pericolose implicazioni che una simile scoperta può avere.

È sulla base di questi dati che, dopo l'inizio della Seconda guerra mondiale e prima ancora dell'intervento degli Stati Uniti nel conflitto - grazie alle pressioni di Einstein, di Eugene Wigner e di Edward Teller -, il presidente Roosevelt viene interessato alla questione della necessità che alla Germania nazista sia impedito di importare grandi quantità di uranio dal Congo belga.

Roosevelt, oltre a disporre che sia il suo Paese a fare incetta dell'uranio che potrebbe altrimenti arrivare in Germania, affida fin dal 1940 le ricerche sui possibili impieghi militari e civili del minerale a un comitato presieduto dall'ingegner Lyman James Briggs; inizialmente, però, il comitato può contare solo su finanziamenti molto modesti.

Le discussioni che coinvolgono fisici, ingegneri e militari all'interno del comitato vertono sulla reale possibilità di costruire una bomba dalla potenza esplosiva enorme, pari a quella di 20mila tonnellate di tritolo.

In un primo momento, nei membri del comitato domina lo scetticismo: sembra infatti che la quantità di uranio necessaria per innescare una reazione a catena indispensabile per liberare quel potenziale dirompente sia pari ad almeno 44 tonnellate di minerale; tale, insomma da rendere impossibile trasportare e utilizzare qualsiasi ordigno basato sull'uranio. Già nel febbraio del 1940, tuttavia, Otto Robert Frisch (nipote di Lise Meitner) e Rudolf Peierls dimostrano che, con il metodo della termodiffusione gassosa, si può innescare una reazione a catena esplosiva anche solo con mezzo chilogrammo di Uranio 235.

È solo dopo l'attacco giapponese alla flotta americana a Pearl Harbor nel dicembre 1941, e la conseguente entrata in guerra degli Stati Uniti che vengono accelerati gli sforzi per costruire una bomba all'uranio. Così, nel 1942, viene istituito il *progetto Manhattan*, con il generale Leslie Groves come comandante militare e Robert Oppenheimer come direttore scientifico. Il progetto Manhattan, che godrà anche del sostegno del Regno Unito e del Canada, arriverà progressivamente a impiegare fino a 130.000 uomini supportati da un budget di oltre 2 miliardi di dollari dell'epoca.

Nel dicembre del 1942, sotto le gradinate dello stadio nel campus dell'Università di Chicago, un gruppo di ricercatori guidato da Enrico Fermi, messo a punto un prototipo di reattore nucleare basato sull'impiego di grafite e uranio, inizia la prima reazione nucleare a catena auto-alimentata: è il vero e proprio atto di nascita dell'era dell'energia nucleare.

In tempi addirittura prodigiosi, nei laboratori allestiti a Los Alamos, in New Mexico, si arriva a fabbricare 4 bombe atomiche, giunte al termine del processo di produzione nella primavera del 1945.

La prima, soprannominata *The Gadget*, è il primo ordigno mai sperimentato, e viene fatta esplodere nel deserto del New Mexico il 16 luglio 1945.

Il riscontro positivo di quella prima prova porta al via libera per cui, 3 settimane dopo, il secondo ordigno, soprannominato *Little Boy*, viene sganciato e fatto esplodere sulla città giapponese di Hiroshima il 6 agosto 1945.

La terza bomba, soprannominata *Fat Man*, è quella sganciata e fatta esplodere su Nagasaki il 9 agosto 1945.

La quarta bomba, soprannominata *Thin Man*, aveva un nocciolo in plutonio e sarebbe stata disponibile per un eventuale impiego su un altro obiettivo il 12 agosto 1945; il via libera al suo utilizzo, però, non venne mai, e il 2 settembre il Giappone accettò la resa incondizionata ponendo termine alla Seconda guerra mondiale.

Alcuni storici si sono chiesti se le immani carneficine di Hiroshima e Nagasaki si sarebbero potute evitare. Di certo vi furono scienziati coinvolti in diverse fasi del progetto Manhattan che, rendendosi conto che si stava creando la prima vera arma di distruzione di massa, cercarono di porre un freno alla costruzione di armi nucleari.

Lo stesso Leo Szilárd, lo scopritore della reazione a catena, nella tarda primavera del 1945 si fece promotore di una petizione che raccolse le firme di 68 dipendenti del progetto Manhattan in cui si chiedeva di non sganciare le bombe sul Giappone.

Albert Einstein non volle partecipare in prima persona al progetto Manhattan, e si oppose sempre all'uso militare dell'energia nucleare: nel 1955, prima di morire, firmò un Manifesto per il disarmo nucleare.

Già all'inizio del 1945, del resto, Philips Frank e Niels Bohr si erano dati da fare per fermare il progetto Manhattan, ritenuto ormai inutile, vista l'imminente, inevitabile sconfitta della Germania. Ma il potere negoziale degli scienziati - comunque divisi al loro interno - nei confronti dei politici e dei militari era troppo debole per fermare davvero il processo di proliferazione nucleare, una volta messo in moto.

## 11. **Mentalità diffusa e fiducia nella scienza**

In Europa, a metà dell'Ottocento, si diffuse un movimento filosofico noto come Positivismo, che era nato sull'onda delle rivoluzioni industriali e che considerava la scienza l'unica fonte legittima della conoscenza; fu forse quella, nella storia dell'umanità, l'epoca di maggiore fiducia nel progresso tecnico-scientifico.

È accaduto spesso, infatti, che il rapporto fra le verità professate dalla scienza e la mentalità dominante fosse tutt'altro che pacifico; in alcuni frangenti, anzi, tale rapporto è risultato decisamente conflittuale.

La storia recente, con l'avvento della pandemia causata dal virus SARS-CoV-2, ha rappresentato una interessante cartina di tornasole per stabilire quale sia la fiducia della popolazione nei confronti della scienza oggi.

Nonostante il fatto che la diffusione del virus sia stata di fatto arginata grazie alla scienza, e che la maggior parte delle persone se ne sia accorta, rimangono certamente ampie sacche di diffidenza e di resistenza nei confronti della scienza stessa. Parte di questa diffidenza è imputabile a una generale mancanza di cultura scientifica di fondo, che nel nostro Paese si riscontra spesso anche in soggetti laureati, e che impedisce di comprendere e di metabolizzare alcuni concetti e presupposti fondamentali del modo di procedere della ricerca scientifica.

Uno di tali presupposti è quello per cui, per poter avanzare, la conoscenza scientifica prevede che le nozioni acquisite siano continuamente rimesse in discussione: le verità scientifiche, insomma, sono problematiche e non dogmatiche. E se l'abitudine di rimettere in discussione un risultato acquisito può essere percepita come una debolezza, in realtà essa costituisce una garanzia di affidabilità di un sapere che viene sempre vagliato criticamente.

Tutti conoscono il metodo scientifico introdotto da Galileo Galilei, che prevede l'attenta osservazione di un fenomeno, l'elaborazione di un'ipotesi (la possibile risposta alla domanda che lo studioso si pone), la sua verifica sperimentale al fine di arrivare a una tesi conclusiva. Ma il procedimento non finisce qui, perché la tesi, prima di essere accettata e divulgata, dev'essere confrontata con le conoscenze già acquisite e deve essere sottoposta all'esame

della comunità scientifica, che la potrà riconoscere come valida oppure no. L'esistenza di questa seconda fase, spesso ignorata, è fondamentale per sancire la correttezza di una nuova scoperta.

A questo si aggiunge il fatto che, a livello divulgativo o scolastico, di solito ci si limita a riportare solo la conclusione a cui è approdata una ricerca (conclusione efficacemente compendiata da una formula, una definizione, una legge, dalla descrizione di un meccanismo, ecc), ma non si accenna mai alle vicissitudini, alle difficoltà, ai ripensamenti, alle controversie che hanno preceduto il traguardo finale.

Pensiamo a quanto è successo a Ludwig Boltzmann, uno dei più grandi fisici teorici della storia, morto suicida nel 1906; i motivi che lo portarono al gesto non sono certi, ma tra questi non si esclude la sofferenza dovuta alle difficoltà che ebbe a far accettare le proprie ipotesi scientifiche.

Per avere fiducia nella scienza, insomma, bisogna ammettere che la conoscenza si crei progressivamente, anche passando attraverso parziali fallimenti e successive approssimazioni, e non sorga già perfetta per via di un miracoloso gesto creativo, come una Atena dalla testa di Zeus.

Un altro errore che spesso viene compiuto è quello di pensare che le scoperte siano conquiste di singoli scienziati geniali; nella realtà la scienza procede attraverso piccoli passi, ricerche che coinvolgono un gran numero di studiosi, tanto che molte delle più grandi scoperte recenti sono di fatto frutto di un lavoro di gruppo, anche quando le si attribuisce a un solo grande nome.

Il premio Nobel 2021 per la Fisica Giorgio Parisi ha dichiarato che “per affermare la scienza come cultura, bisogna rendere la popolazione (almeno quella colta) consapevole di cos'è la scienza, di come la scienza e la cultura si intreccino l'una con l'altra, sia nel loro sviluppo storico sia nella pratica dei nostri giorni”.

Prima di lui, il filosofo Karl Popper diceva che “la storia della scienza, come quella di tutte le idee umane, è storia di sogni irresponsabili, di ostinazioni e di errori. Ma la scienza è una delle pochissime attività umane – se non l'unica – in cui gli errori vengono sistematicamente sottoposti a critica e, sovente, corretti con l'andare del tempo. Per questo possiamo dire che, nella scienza, spesso impariamo dagli errori, e possiamo quindi, in questo ambito, parlare chiaramente e razionalmente di progresso”.

## 12. Le conseguenze della scoperta del DNA

Correva l'anno 1938 quando Federick Griffith scoprì che nei batteri era presente una sostanza estraibile in grado di indurre cambiamenti ereditabili quando veniva iniettata in altri batteri; egli chiamò questa sostanza “principio trasformante”.

Oswald Avery, Collins MacLeod e Maclyn McCarty, nel 1944, identificarono il *principio trasformante* con il DNA (acido desossiribonucleico), che venne individuato quindi come la molecola in cui risiede l'informazione genetica.

Il 1953 è l'anno della pubblicazione dei dati sulla struttura del DNA sulla rivista *Nature*. In tre articoli diversi e consecutivi, si esprimono tutti i protagonisti della vicenda ormai nota: James Watson e Francis Crick (premiati con il Nobel nel 1962 insieme a Maurice Wilkins), a seguire lo stesso Wilkins, e infine Rosalind Franklin e Raymond Gosling, che per primi avevano immortalato i filamenti del DNA, nella celebre foto 51 che i vincitori del Nobel avevano potuto visionare all'insaputa dei suoi autori prima di pubblicare i loro risultati.

Successivamente, attraverso gli studi di Marshall Nirenberg e Heinrich Matthaei, si comprese che porzioni diverse di DNA codificano per proteine diverse: un concetto fondamentale per l'interpretazione del codice genetico.

La comprensione della struttura e della funzione della doppia elica, insieme alla messa a punto di tecniche per il sequenziamento del DNA e per la PCR (polimerase chain reaction, che amplifica il DNA in esame, usata ad esempio durante la pandemia di COVID-19 nei tamponi molecolari) ha aperto la strada ad applicazioni importanti in campo medico.

Pensiamo alla possibilità di effettuare:

1) test genetici (in cui si analizzano delle sequenze geniche per verificare se ci sono alterazioni in alcuni geni a scopo diagnostico o pronostico/prescrittivo; in questa categoria rientrano i test pre-natali)

2) vaccini (i vaccini ad acidi nucleici, che utilizzano direttamente porzioni di DNA o mRNA – come nel caso di alcuni vaccini contro il covid-19 – o le inseriscono prima in virus o batteri innocui; oppure i vaccini proteici ricombinanti, come per esempio quelli contro l'epatite B o il meningococco B,

in cui il materiale genetico viene inserito in microrganismi che produrranno l'antigene - una proteina o parte di essa - che sarà poi raccolto e purificato per creare il siero immunizzante)

3) terapie geniche (che hanno l'obiettivo di trattare una patologia mirando direttamente alle sue basi genetiche, con l'idea di fornire al paziente una copia corretta del gene difettoso, o di un gene che compensi l'alterazione presente nelle cellule malate)

4) l'editing genomico attraverso il sistema CRISPR-CAS 9, la cui scoperta è stata premiata con il Nobel a Jennifer Doudna e Emmanuelle Charpenier nel 2020, che permette di correggere il DNA.

Oltre a queste applicazioni importantissime in campo sanitario, non dimentichiamo la possibilità di produrre organismi geneticamente modificati (ad esempio, in campo agricolo, sementi particolarmente resistenti o dalla resa superiore alla norma, per aumentare l'efficienza della produzione) o il progresso delle tecniche utilizzate in ambito forense allo scopo di identificare resti e tracce umane.



### 13. La ripresa della corsa allo Spazio: una finestra sul futuro

**N**egli ultimi anni, pare che lo Spazio abbia ripreso ad essere attrattivo per i governi e per l'opinione pubblica, come non lo era più da decenni; almeno dall'incidente che il 28 gennaio 1986 distrusse la navetta spaziale Shuttle *Challenger* appena 73 secondi dopo il lancio dalla base di Cape Canaveral, uccidendo i sette membri dell'equipaggio (sei astronauti professionisti e un'insegnante che avrebbe dovuto impartire ai suoi studenti la prima lezione dallo Spazio) e ridimensionando in maniera significativa programmi e investimenti a favore delle missioni spaziali.

Da allora e per molto tempo, complice anche il superamento della contrapposizione tra Usa e Urss e il venire meno di motivazioni geopolitiche a spingere la competizione, le missioni extra-orbitali (solitamente promosse dalla collaborazione tra più Paesi) sono state per anni assai meno spettacolari, hanno potuto contare su budget ridotti, si sono poste obiettivi circoscritti e hanno avuto carattere prettamente scientifico.

Due sono le direttrici lungo le quali la nuova corsa allo Spazio ha recentemente preso a svilupparsi: una è quella del turismo spaziale per multimiliardari che si concretizza in iniziative come quelle di Richard Branson, patron di Virgin, di Jeff Bezos, CEO di Amazon, o di Elon Musk, fondatore di Tesla. Il progetto di quest'ultimo pare più ambizioso e visionario di quelli dei colleghi titolari di ricchissime multinazionali, perché si pone come obiettivi la colonizzazione della Luna e di Marte (con l'idea di arrivare sul pianeta rosso entro il 2026).

L'altra è quella di una rinnovata competizione tra Stati, che vede attivi, oltre agli Stati Uniti, la Cina, l'India, la Russia, l'Unione Europea e anche gli Emirati Arabi.

Tra enti pubblici e soggetti privati si possono talvolta stabilire delle sinergie in nome della convergenza di interessi scientifici e interessi economici (questi ultimi a fungere da stimolo preponderante, come un tempo lo è stata la geopolitica).

Si è addirittura cominciato a parlare di *New Space Economy*: un settore che si regge, da un lato, sulla sperimentazione di nuove tecnologie durante

i viaggi spaziali e sulla costruzione dei satelliti per le telecomunicazioni che occupano uno spazio importante dell'orbita intorno alla Terra; dall'altro sulla prospettiva piena di suggestioni di sviluppare una nuova branca dell'industria mineraria nello Spazio.

Tale sviluppo vedrebbe, ad esempio, la possibilità di sfruttare il suolo lunare e quello di altri pianeti e asteroidi del Sistema Solare per l'estrazione di nichel, cobalto e terre rare (materiali impiegati per la realizzazione dei microcircuiti elettronici e per le batterie delle auto elettriche).

Peraltro, nella nuova corsa allo Spazio, non mancano risvolti più inquietanti, come quelli che lasciano intravedere l'utilizzo delle tecnologie spaziali per metter a punto nuovi armamenti, nuove strategie militari e nuovi strumenti per il controllo dei cittadini.