

## Galileo Galilei

Galileo Galilei nacque a Pisa il 15 febbraio 1564 da antica famiglia fiorentina, appartenente alla buona borghesia, ma alquanto decaduta da un punto di vista finanziario. Immatricolato nel 1581 all'università di Pisa come studente in medicina, si dimostrò assai poco interessato a questa scienza e cominciò ben presto a coltivare la matematica studiandola (presso un maestro fiorentino) con molto impegno, sia nella sua parte teorica che in quella applicata, la tecnica ed in genere l'osservazione dei fatti empirici. Presso l'università di Pisa seguì anche i corsi di fisica tenuti da un dotto professore di formazione aristotelica, Francesco Bonamico dal quale apprese la cosmologia generale di Aristotele e la centralità del problema del moto per tutta la scienza fisica.

Tornato a Firenze nel 1585, nel 1586 inventò una bilancetta idrostatica per determinare il peso specifico dei corpi, scrivendo sull'argomento in breve ma interessante opuscolo che porta appunto il nome di *La bilancetta*. Nel 1587-88 si occupò del baricentro dei corpi, dimostrando su di essi alcuni teoremi.

Finalmente nel 1589 riuscì a ottenere un posto di lettore di matematica presso l'università di Pisa, era un insegnamento di carattere complementare molto mal retribuito. Due anni dopo le ristrettezze finanziarie si fecero ancora più gravi per la prematura morte del padre e la conseguente necessità di aiutare la famiglia. Continuava intanto ad interessarsi di problemi letterari e, sempre al periodo pisano, risale anche un "capitolo" *Contro il portar la toga* in cui il giovane professore irride i costumi accademici tradizionali e la mentalità retrograda che si cela sotto di essi.

Nel 1592 riuscì a migliorare di molto la sua situazione, ottenendo la nomina a professore di matematica presso l'università di Padova. Ben presto però anche la nuova retribuzione si rivelò insufficiente, soprattutto a causa delle continue richieste di aiuto da parte della madre, delle sorelle e del fratello. Dovette varie volte rivolgersi al governo veneziano, dal quale dipendeva l'università, per avere anticipi di stipendio e anche veri e propri aumenti; e pur avendoli ottenuti non riuscì a far quadrare il proprio bilancio che facendo ricorso al provento di lezioni extrauniversitarie, frequentate da numerosi ed illustri discepoli, attratti a Padova dalla sua fama crescente.

Malgrado queste difficoltà, i diciotto anni trascorsi da Galileo a Padova (1592-1610) furono senza dubbio i migliori della sua vita, sia a causa della grande libertà di pensiero di cui poté godere, sia a causa del pieno vigore delle sue energie fisiche e mentali che gli permisero di dedicarsi con tenacia ed entusiasmo alle più difficili ricerche scientifiche, senza rinunciare perciò alle gioie della vita. In questo periodo Galileo convisse, pur senza giungere a regolari nozze, con Marina Gamba da cui ebbe due figlie e un figlio, verso i quali nutrì sempre il più grande affetto.

A questi anni risalgono pure le prime dichiarazioni di Galileo a favore del sistema copernicano; esse sono contenute in due lettere private del 1597, una diretta a Jacopo Mazzoni, professore di filosofia all'università di Pisa, l'altra a Keplero. Anche le famose ricerche sulla caduta dei gravi, e la formulazione delle leggi ad essa relative, vennero in gran parte compiute in questo periodo, come è testimoniato da parecchie lettere private di Galileo datate appunto dai primi anni del Seicento.

Al 1609 risale infine la scoperta del cannocchiale, indubbiamente suggerita a Galileo dalla notizia che strumenti del genere stavano diffondendosi nei Paesi Bassi e in Francia. Questa circostanza non diminuisce affatto i meriti del nostro autore, che vanno riferiti non tanto alla priorità dell'invenzione (è certo che il telescopio di Galileo riuscì assai più potente degli altri), quanto al fatto che egli fu indubbiamente il primo ad attribuire al cannocchiale un effettivo valore scientifico. Ricordiamo che vetri a forma di lenti erano noti da molto tempo agli artigiani occhialai e da essi usati per la correzione dei difetti della vista, ma fino a Galileo, tutti i rappresentanti della scienza ufficiale li avevano sempre guardati con sdegnoso disprezzo. Galileo ebbe il coraggio e l'intelligenza di servirsene per le proprie ricerche astronomiche, combinandoli con perizia in modo da ottenere una potenza di ingrandimento per quei tempi veramente notevole.

Puntato il telescopio al cielo, Galileo ebbe la fortuna e la gioia di scoprirvi nuovi e meravigliosi fenomeni, dei quali capì subito l'eccezionale importanza: i quattro satelliti di Giove (da lui chiamati "medicei" in onore del granduca di Toscana), le macchie della Luna, le fasi di Venere. Era tutto un mondo nuovo, che per la prima volta giungeva a conoscenza degli uomini; Galileo diede la grande notizia sul *Sidereus nuncius* (*Avviso astronomico*) pubblicato a Venezia nel 1610.

Il carattere delle scoperte galileiane doveva evidentemente suscitare ostilità e diffidenza tra i pensatori più ligi alla tradizione. In breve volgere di tempo ne sorse infatti un'aspra polemica, nella quale gli avversari di Galileo fecero ricorso contro di lui ad ogni sorta di armi: dall'accusa di aver semplicemente riprodotto un apparecchio già costruito da altri, a quella di aver cercato in cielo le cause di luci e macchie che erano semplicemente dovute alla struttura difettosa delle lenti (è vero che queste erano allora assai difettose, e producevano immagini ben lontane dalla chiarezza di quelle prodotte dagli telescopi moderni) . In breve però Galileo riuscì a sbaragliare gli avversari e ad ottenere il riconoscimento delle proprie scoperte da parte dei più autorevoli scienziati dell'epoca, prima di tutti di Keplero, e in seguito anche dai potentissimi astronomi e filosofi della compagnia di Gesù.

Le grandi scoperte comunicate nel *Sidereus nuncius* accrebbero enormemente la sua fama e gli procurarono l'offerta di un magnifico posto da parte di Cosimo II de' Medici: il posto cioè di "matematico straordinario dello studio di Pisa" senza obbligo di lezioni, e di "filosofo del serenissimo granduca". Era finalmente la risoluzione del problema pratico di Galileo, da lui invano cercata per tanti anni; il posto gli avrebbe consentito una notevole larghezza di mezzi finanziari, senza la necessità di disperdere le proprie energie in lezioni private o pubbliche in un momento in cui la salute cominciava ad essere malferma. Galileo accettò pur dispiacendosi di dover lasciare la libera Venezia ed andare in una città dove la potenza dell'inquisizione era enormemente maggiore.

I primi anni del periodo fiorentino furono molto intensi per l'attività scientifica di Galileo. In poco tempo si rafforzò la sua convinzione circa la verità del sistema copernicano, e sulla rivoluzione che questo comporta in tutta la vecchia concezione del mondo. Proprio in quegli anni però incominciano a diffondersi le prime accuse di eresia contro il copernicanesimo galileiano, l'accusa è pubblicamente lanciata nel 1612 da un padre domenicano, Nicolò Lorini, e verrà ripetuta due anni più tardi da un altro domenicano, Tommaso Caccini. Galileo decide subito di intervenire contro queste voci minacciose, e scrive in proposito le famose *lettere copernicane*, che pur essendo inviate a privati vengono fatte appositamente circolare tra numerosi amici e conoscenti.

Alcuni potenti amici di Galileo, assai vicini al sommo pontefice, lo avevano avvertito che le massime gerarchie ecclesiastiche si stavano orientando contro il copernicanesimo. Malgrado i loro consigli a trattare l'argomento con la dovuta cautela, egli volle affrontarlo con la massima decisione. Donde derivava questa sua imprudenza?

Per comprenderne l'effettivo significato, dobbiamo tenere conto di tre circostanze: 1) Galileo era assolutamente certo della verità fisica del sistema eliocentrico e non era quindi disposto a considerarlo quale pura ipotesi matematica (come veniva suggerito dal potente cardinale Bellarmino); 2) non era filosoficamente disposto ad ammettere, come gli aristotelici padovani, la coesistenza di verità antitetiche; 3) ancor meno disposto a considerare (come i libertini) la religione quale puro e semplice complesso di regole pratiche, inventate per dominare i popoli e ingannare gli ingenui. Al contrario, egli era convinto della possibilità di dimostrare che i testi sacri non contengono alcuna affermazione in reale antitesi con la verità copernicana. Ma altri fattori concorrono a spiegare perché non abbia tenuto per sé la sua convinzione. Certamente il riconoscimento ottenuto in campo scientifico doveva avergli fatto sentire l'imprescindibile dovere di esporre le ragioni della scienza nella grande controversia.

Nel 1615 si recò a Roma per difendere personalmente la propria tesi. Era pieno di fiducia, sia perché sicuro del valore scientifico della teoria copernicana, sia per gli autorevoli appoggi che era riuscito a procurarsi. Le cose si svolsero però in modo ben diverso da quello sperato. La sua appassionata difesa non fece che accelerare la decisione contraria dell'autorità ecclesiastica. La teoria copernicana fu dichiarata incompatibile con la fede cattolica e i libri che ne sostenevano la compatibilità vennero condannati; l'opera di Galileo "sospesa" fino a correzione ed egli fu ammonito a non interessarsi ulteriormente della questione.

Questa sconfitta non era però tale da far desistere Galileo dalla prosecuzione, sia pure più cauta, del programma di "politica culturale" poco sopra delineato.

Nel 1619 comparvero in cielo tre comete, e questo fatto straordinario riaccese le discussioni sulla loro natura. Nel 1619 il padre Orazio Grassi pubblicò sull'argomento un'opera in cui riprendeva e sosteneva l'interpretazione di Tycho Brahe. Galileo entrò in polemica con lui e nacque il *Saggiatore*, pubblicato nel 1623. L'interpretazione del fenomeno delle comete qui proposta da Galileo era sbagliata (riprendeva una vecchia

tesi della fisica aristotelica), ma lo spirito innovatore che pervade tutto lo scritto, la chiarezza della visione metodologica, l'acume delle argomentazioni ne fanno ciò malgrado un vero capolavoro.

Nel medesimo anno l'elezione a papa del cardinale Barberini fece sorgere nello scienziato pisano nuove speranze, essendo il Barberini un uomo di mente aperta a cui Galileo era legato da una certa dimestichezza. Sperava che appoggiasse il suo sforzo di far uscire la chiesa dalla posizione reazionaria che i gesuiti le avevano fatto assumere.

Ripreso quindi l'antico programma, Galileo si decise pertanto a condurre a termine una grande opera, diretta a porre a confronto gli argomenti scientifici a sostegno delle due tesi contrastanti, geocentrica ed eliocentrica. Per dare alla trattazione un'apparenza di neutralità, scelse la forma dialogica, immaginando che un aristotelico (Simplicio) e un copernicano (Salviati) fossero stati invitati ad esporre ciascuno la propria concezione, da un terzo interlocutore (Sagredo) non desideroso di altro che di conoscere a fondo i termini esatti della grande controversia. Ottenuta con questo stratagemma l'autorizzazione ecclesiastica, il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* poté uscire nel 1632.

Ma i gesuiti attendevano al varco il loro avversario e subito scatenarono contro di lui la più dura battaglia. Allo scienziato vecchio e malaticcio venne ingiunto di recarsi a Roma per comparire dinanzi al tribunale del sant'uffizio. Invano egli cercò di difendere la propria posizione, invano cercò di evitare che la chiesa pronunciasse una sentenza, che avrebbe pesato per secoli e secoli contro di lei. I suoi avversari sostenevano con accanimento che il libro era "esecrando e più pernicioso per la chiesa delle scritture di Lutero e di Calvino". Galileo fu processato, riconosciuto colpevole e costretto ad abiurare. Fu inoltre condannato alla prigione a vita, immediatamente tramutata in isolamento dal mondo, prima a Siena (nell'abitazione dell'arcivescovo della città, suo amico), e poi nella propria villa di Arcetri.

Il fallimento del proprio programma gettò nell'animo di Galileo una profonda amarezza, che non lo abbandonò più fino alla morte. Una consolazione rimase, per lui, l'affetto dei familiari, soprattutto della figlia Virginia (suor Maria Celeste). Essa tuttavia morì nel 1634 ed un nuovo grandissimo dolore si aggiunse all'animo, già affranto, del grande scienziato.

Col trascorrere del tempo i divieti dell'inquisizione vennero a poco a poco attenuati e Galileo ottenne il permesso di scendere qualche volta da Arcetri a Firenze, e poté ricevere la visita di qualche straniero. Ma la sua salute peggiorava irrimediabilmente; soprattutto grave fu la perdita pressoché completa della vista. Malgrado tante disgrazie, egli tuttavia trovò la forza d'animo di proseguire con immutato acume scientifico le proprie ricerche pubblicando nel 1638 quella che è, dal punto di vista scientifico, la maggiore delle sue opere: *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*.

Anche quest'opera si presenta sotto forma dialogica tra i medesimi interlocutori (Simplicio, Salviati, Sagredo); e reca un'appendice sui baricentri. Le due nuove scienze di cui parla il titolo sono: la resistenza dei materiali e la dinamica. Da un punto di vista formale i *Discorsi* non discutono più il sistema copernicano; in realtà però ne costituiscono un'ulteriore difesa, in quanto eliminano definitivamente le obiezioni di carattere meccanico che gli avversari elevavano contro di esso. I *Discorsi* non sono meno copernicani del *Dialogo* ma i teologi non li condannarono perché non li avevano capiti.

Anche dopo il 1638 Galileo continuò ad occuparsi attivamente di problemi scientifici, nei limiti concessigli dalla sua salute; coadiuvato, a partire dal 1639, da Vincenzo Viviani e negli ultimi mesi da Evangelista Torricelli. Si spense l'8 gennaio 1642.

## COMPITI E CARATTERI DELLA SCIENZA FISICA

Compito essenziale della scienza fisica è, secondo Galileo, la conoscenza della natura. Questa non dovrà consistere, come pensavano gli aristotelici, nella conoscenza delle essenze dei fenomeni, bensì nella determinazione delle leggi che regolano il loro corso. La conoscenza delle essenze era ritenuta necessaria perché si pensava che esse costituissero le cause (nel senso metafisico di questo termine) degli eventi naturali; e la scienza doveva proprio distinguersi dalle conoscenze volgari, in quanto non rivolta unicamente, come accade in queste ultime, alla descrizione di ciò che accade nel mondo, ma rivolta a cogliere i motivi profondi del perché i singoli accadimenti avvengono in un certo modo anziché in un altro. La scienza insomma poteva meritare il nome di scienza in quanto era una conoscenza *per causas*.

Viene quindi fuori una nuova concezione, scientifica e non più metafisica, del rapporto causale, inteso come successione necessaria tra due fenomeni: il fenomeno-causa e il fenomeno-effetto (tale cioè che, tolto il primo, debba venire meno anche il secondo). Tra i meriti della definizione galileiana c'è quello di aver liberato il concetto fisico di causalità da ogni riferimento antropomorfo e quindi da ogni indagine sui "fini della natura", sul "significato", dei singoli fenomeni nell'ordine complessivo dell'universo, ecc. La scienza deve spiegare i fenomeni in un nuovo senso: costruire una teoria di tipo matematico (costituita cioè di definizioni generali, assiomi e teoremi) dalla quale possa venir dedotto il comportamento dei fenomeni. Ciò appunto è riuscito a fare per i fenomeni del moto locale.

Galileo sa bene che gli assiomi e le definizioni generali non saranno, salvo casi eccezionali, ricavati dall'esperienza, anzi il più delle volte non potranno neanche venire in essa controllati. Questo controllo risulterà impossibile, ad esempio, per la definizione generale del moto uniformemente accelerato, la quale usa concetti infinitesimali come quelli di velocità istantanea e di accelerazione; anzi l'assioma o la definizione generale potranno, ad un primo esame, apparire addirittura contrari all'esperienza. Ma se la teoria fondata su assiomi, anche lontani dall'esperienza, soddisfa alla condizione che le conseguenze rigorosamente dedotte dai principi anzidetti trovano conferma nell'esperienza, allora questa è un'autentica teoria scientifica. In altri termini non è necessario che tutte le proposizioni della teoria risultino aderenti ai fatti; è necessario invece che tutti i fatti del campo di fenomeni studiati risultino inquadrabili nella teoria.

Quanto detto ci fornisce l'occasione di fissare le differenze esistenti, secondo Galileo, tra teoria fisica e teoria matematica pura. Quest'ultima non richiede alcun controllo dell'esperienza, continuando a valere indipendentemente dal fatto che esistano o meno nella realtà le figure studiate, quella invece si propone in modo essenziale, di giungere ai fenomeni, e se le sue conseguenze non trovano in esse conferma, cessa di avere valore scientifico. Il ruolo della matematica nell'elaborazione della scienza fisica, è quello di formulare con estrema chiarezza i principi delle teorie, e di determinare con assoluto rigore le conseguenze deducibili. In tal modo ci pone in grado di non ripudiare una concezione solo per il fatto che a prima vista essa ci appare contraria all'esperienza; prima di decidere se essa corrisponda o no ai fatti, occorrerà precisare il significato delle conseguenze particolari ricavabili dalla teoria stessa: più a fondo sarà condotto questo lavoro di precisazione, più sicura sarà la risposta all'ultima, decisiva, domanda: se esse risultino o no confermate dall'esperienza. Potrebbe accadere che l'esperienza sembri smentire una teoria solo perché non siamo stati capaci di registrare con esattezza i dati empirici. Di qui l'importanza di perfezionare la nostra osservazione, vuoi con l'uso di precisi strumenti (per esempio il telescopio e il microscopio) vuoi ancora introducendo opportuni accorgimenti i quali ci permettano di ripetere l'esperienza in condizioni di più agevole controllo (per esempio facendo rotolare un grave lungo un piano inclinato, ove assumerà un'accelerazione minore, anziché lasciarlo cadere a terra verticalmente).

La grande eredità del rinascimento è qui presente in Galileo: essa gli insegna che la scienza non può rinchiudersi in sé, non può isolarsi da mondo. Il vero scienziato deve saper utilizzare, nelle proprie indagini, le più vaste esperienze umane: deve saper razionalizzare i risultati dei più umili lavoratori, e deve trovare conferma alle proprie verità in applicazioni che possano venire apprezzate anche da non-scienziati.

Teoria e pratica non risultano più separate da un abisso: esiste invece un continuo interscambio tra esse. Tanto più la scienza è radicata nella pratica, tanto maggiore è la sua forza di conquista del mondo, l'applicazione non è più considerata come un sottoprodotto della ricerca scientifica, ma inserita nella stessa scienza.

Possiamo riassumere i caratteri della scienza galileiana in due punti fondamentali: rigore dell'indagine scientifica e sua apertura verso il mondo della tecnica. L'esigenza del rigore viene soddisfatta dall'uso sistematico della matematica nello sviluppo teorico della fisica, e dall'uso sistematico di apparecchi sperimentali sempre più potenti e precisi nel campo dell'osservazione. L'esigenza di apertura verso la tecnica viene soddisfatta dal doppio sforzo dello scienziato per un lato di utilizzare tutte le scoperte dei tecnici (vedi i suggerimenti degli artigiani occhialai), e per l'altro di utilizzare le proprie scoperte per la risoluzione di problemi tecnici.

## CRITICA DEL PRINCIPIO D'AUTORITA'

Dalla concezione della scienza ora delineata si ricava che essa non può sottostare ad alcuna autorità diversa da quella della ragione. E' ben comprensibile che tutta la battaglia di Galileo per il trionfo della scienza implicasse una battaglia contro il principio d'autorità. Tale principio era soprattutto operante, nell'epoca di Galileo, lungo due direttrici: quella della tradizione religiosa e quella della tradizione filosofica. Due sono dunque gli aspetti della lotta tenacemente combattuta contro di esso da Galileo. Per quanto riguarda la lotta contro le intrusioni dell'autorità religiosa nella ricerca scientifica, Galileo non nega che l'autorità religiosa sia in possesso di un prezioso patrimonio di verità: quelle rivelate direttamente da dio. Ciò che egli nega, è che questo patrimonio esaurisca tutta la verità, e che pertanto i testi sacri ci offrano l'unica via per giungere al vero. Secondo lui, oltre a questa via, e ben distinta da essa, vi è anche la via della ricerca scientifica.

Ma chi può escludere *a priori* un conflitto tra le due? Galileo ritiene che esso sia oggettivamente impossibile proprio perché entrambe le vie possono condurci solo alla verità e non all'errore. In altre parole, egli sembra ammettere, con Tommaso, che le verità raggiunte dall'una o dall'altra via, là dove riguardino gli stessi argomenti, debbono in ultima istanza coincidere necessariamente tra loro. Egli rovescia però la posizione del pensatore medievale: ritiene cioè che se sorgesse tra le verità religiose e quelle scientifiche un apparente contrasto, l'uomo dovrebbe partire, per risolverlo, non già dalla presunzione che tomistica che sia errata la scienza e vera la religione, ma dalla franca e completa accettazione dei risultati della scienza, con la riserva di rivedere l'interpretazione dei testi sacri sui quali si appoggiano i dogmi, potendo, proprio essa, risultare la causa del loro contrasto con la scienza. Natura e Bibbia derivano dallo stesso verbo divino: la natura come esecutrice degli ordini di dio, la Bibbia come libro ispirato dalla spirito santo. Nella Bibbia la parola di dio ha dovuto adattarsi all'intelletto degli uomini cui era diretta, nella natura, invece, la volontà di dio si attua con inesorabile necessità. E' inutile quindi conoscere la natura attraverso la sacra scrittura; più giusto, se necessario, servirsi delle leggi naturali per comprendere il vero significato di talune espressioni, necessariamente velate, della Bibbia.

Questa posizione esprimeva il più franco e assoluto riconoscimento del valore della scienza e della sua piena autonomia di fronte al dogma. I teologi si rifiutavano di accoglierla perché temevano che, una volta resa autonoma, la scienza avrebbe finito per invadere anche il campo della morale e della religione.

Per quanto riguarda il secondo aspetto della battaglia di Galileo contro il principio di autorità, basterà dire che egli rivendica alla ricerca scientifica una piena e completa autonomia, non solo rispetto al dogma, ma pure rispetto al patrimonio tradizionale della filosofia e in genere della cultura. Autonomia significa per lui "indipendenza" e non "opposizione"; egli infatti non prova alcun senso d'insofferenza verso i grandi pensatori dell'antichità. Li studia anzi con il massimo scrupolo, e non solo Euclide ed Archimede, ma anche Platone ed Aristotele; riserva invece tutto il disprezzo per i seguaci pedissequi di tali pensatori, cioè verso coloro che considerano gli antichi depositari di verità assoluta.

In altri termini: per autorevole che sia il libro di un filosofo o di un poeta, più autorevole di esso è il libro della natura, che può fornirci delle verità realmente sicure quando sappiamo interpretarlo con rigoroso metodo scientifico.

## CONTRIBUTI SCIENTIFICI

Le sue principali scoperte scientifiche riguardano la meccanica e l'astronomia.

Per quanto concerne la prima di queste due scienze, spetta a Galileo l'incomparabile merito di aver dato inizio alla dinamica nella sua struttura moderna. Fra quelli che oggi portano il nome di "principi fondamentali della dinamica" i primi due vennero sostanzialmente scoperti da Galileo. Anche se egli non si preoccupò mai di dare l'enunciato generale del primo (principio d'inerzia) è certo che ne afferrò la validità e l'importanza, vuoi parlando ripetutamente della costanza della velocità iniziale di un qualsiasi mobile (qualora non intervengano forze esterne a modificare il suo moto), vuoi determinando come si compone questa velocità iniziale costante con le velocità variabili prodotte da forze acceleratrici estranee, sopraggiunte durante il corso del movimento. Galileo comprese la possibilità di applicare questa composizione anche ai casi in cui le forze sopraggiunte non hanno la stessa direzione del moto iniziale; ne ricavò, in particolare, la spiegazione del moto dei proiettili.

Va tuttavia osservato che Galileo non si rese ancora perfettamente conto che il moto circolare non è inerziale, richiedendo la presenza di una forza centripeta. Questo errore fu però, almeno in un primo tempo, tutt'altro che dannoso; esso eliminò infatti la tentazione di ricorrere, come facevano gli aristotelici, a cause non fisiche per spiegare il moto dei pianeti (di ricorrere, per esempio al primo motore). Toccherà a Huygens il merito di studiare con esattezza le forze centripete per spiegare il moto non rettilineo dei pianeti.

Altro fondamentale contributo di Galileo alla costituzione della meccanica moderna, è la scoperta del cosiddetto secondo principio della termodinamica, cioè la scoperta che le forze applicate ai corpi non imprimono loro delle velocità, bensì delle accelerazioni, e che queste accelerazioni risultano direttamente proporzionali alle forze che le hanno causate. A secondo principio della dinamica sono connesse: 1) la determinazione del concetto di accelerazione come variazione della velocità; 2) la determinazione del concetto di massa di un corpo, come rapporto di proporzionalità tra le forze di esso applicate e le accelerazioni prodotte da tali forze.

La forza presa in esame da Galileo è quella di gravità; essa, che nello stesso luogo risulta proporzionale alle masse, gli permise di provare sperimentalmente le conseguenze del principio ora riferito. Va considerato che già il fatto di considerare la gravità come forza costitutiva era di massima importanza. Le leggi ricavabili dal secondo principio della dinamica nel caso che la forza applicata ai corpi sia quella di gravità, suscitavano una particolare meraviglia tra i contemporanei di Galileo: sono le leggi del moto uniformemente accelerato e dei corpi composti che ne derivano.

Per quanto riguarda l'astronomia, già ricordammo alcune delle fondamentali scoperte compiute da Galileo puntando al cielo il suo famoso cannocchiale: ad esse va ancora aggiunta la correzione degli errori (in eccesso) commessi da Tycho Brahe nella valutazione del diametro apparente delle stelle fisse.

Tra le molte conseguenze, ricavabili dalle osservazioni celesti di Galileo, basti sottolinearne tre: 1) la dimostrazione dell'esistenza dei moti celesti aventi un centro diverso dalla Terra; 2) la confutazione della teoria aristotelica delle incorruttibilità dei cieli, ovviamente incompatibile con l'esistenza di macchie sul Sole e sulla Luna; 3) l'eliminazione delle obiezioni sollevate da Tycho Brahe alla teoria copernicana. L'eliminazione delle obiezioni mosse da Tolomeo alla mobilità della Terra è una conseguenza diretta della meccanica galileiana; tale meccanica spiega infatti con matematica chiarezza, la perfetta compatibilità del moto della Terra con i fenomeni da noi osservati sulla caduta dei gravi. Essa è dovuto al famoso principio, oggi universalmente noto come principio della relatività galileiana, il quale afferma che è impossibile decidere, sulla base di esperienze meccaniche compiute all'interno di un sistema, se esso sia in quiete o in moto rettilineo uniforme.

Va invece detto che Galileo non prese mai in considerazione le scoperte fatte da Keplero circa la forma ellittica delle orbite dei pianeti; da questo punto di vista egli rimase condizionato dall'astronomia tradizionale che tra tutte le forme di moto privilegiava in modo inequivocabile il moto circolare.

Oltreché di meccanica e di astronomia egli si occupò con grande interesse anche degli altri rami allora noti della fisica, accentuando ovunque l'orientamento sperimentale della ricerca. Già abbiamo parlato delle indagini di ottica, che lo condussero alla costruzione del cannocchiale e del microscopio che ebbero un'eccezionale forza innovatrice non solo per l'astronomia ma per tutta la scienza. Altre importanti ricerche Galileo compì nel campo dell'acustica, collegando lo studio delle vibrazioni sonore a quello delle vibrazioni del pendolo; nel campo del magnetismo, in quello della termologia, ove ebbe il merito di ideare e costruire il primo termometro (o per essere esatti, termoscopio) che verrà poi notevolmente perfezionato dai suoi più immediati discepoli. Si occupò anche di problemi di ingegneria fornendo alle autorità, prima di Venezia e poi di Firenze, utili consigli per la soluzione di importanti problemi pratici.

Non rivelò invece un autentico interesse per le ricerche di matematica pura, pur avendo il titolo di professore di questa disciplina. La matematica lo interessava nella sua funzione di interpretazione dei dati osservativi e di elaborazione della teoria. Ma la sua genialità ebbe modo, comunque, di riversarsi anche in problemi di matematica pura, come per esempio nell'esame dei paradossi dell'infinito. Galileo si soffermò in particolare sulla serie di numeri naturali, sottolineando lo strano fatto che esso risultava altrettanto numerosa quanto la serie dei quadrati perfetti, mentre quella risultava ovviamente solo una parte di quella. Egli meditò a lungo sulla scomposizione di un segmento finito in infiniti elementi indivisibili (punti), dando, anche in riferimento a questo problema, notevoli contributi al sorgere dell'analisi informale.

## METODO SPERIMENTALE

Sofferamoci ora sul significato e sul fondamento del metodo sperimentale. Gli interpreti del pensiero galileiano sono soliti oscillare tra due tesi opposte: gli uni insistono sul carattere prevalentemente empirico del suo metodo di ricerca, gli altri invece sul carattere prevalentemente matematico-razionalistico di esso. Queste oscillazioni dipendono dal fatto che Galileo non scrisse alcuna opera direttamente rivolta allo studio del metodo. La teoria metodologica di Galileo deve essere ricavata dalle descrizioni che egli compie del proprio modo di procedere in questa o in quella indagine e dalle critiche che muove al modo di procedere altrui.

In realtà sia l'istanza empirica sia l'istanza matematica sono presenti in Galileo; nessuna di esse però esaurisce il suo metodo di indagine. Non esaurisce l'istanza empirica, già affermata da Aristotele in antitesi con Platone, che risulta soltanto in grado di produrre una generica fisica qualitativa; e neanche l'esaurisce l'istanza matematica che da sola non è in grado di farci discernere dal campo dei concetti astratti ed inserirci nella realtà effettuale. Per comprendere il metodo di Galileo bisogna dunque comprendere il modo in cui egli combina le due istanze predette, trasformandole in un processo unico che è, nel contempo, razionale ed empirico.

Per parlare di proporzioni matematiche tra fenomeni occorre ovviamente trovare il modo di far corrispondere ad ogni fenomeno un particolare numero. Le correnti neoplatoniche e neopitagoriche avevano tentato di giungere a questa corrispondenza tra fenomeni e numeri, facendo appello al valore magico-simbolico posseduto dalla matematica. In base a questo valore, certi numeri o figure avrebbero la virtù di rappresentare simbolicamente certi fenomeni; e tale virtù permetterebbe di ricavare senz'altro le proprietà dei fenomeni dallo studio dei numeri che li rappresentano. Galileo risolve il problema in modo completamente diverso: per far corrispondere i numeri ai fenomeni, occorre, secondo lui, procedere alla misura dei fenomeni stessi. Soltanto la misura è in grado di creare la compenetrazione di esperienza e matematica, indispensabile al procedere scientifico.

Ma l'intervento della matematica nella scienza fisica non si esaurisce per intero nella misura; la matematica esercita una funzione essenziale nella costruzione delle teorie, cioè nell'esatta enunciazione dei loro principi e nella rigorosa deduzione, da questi principi, delle conseguenze particolari da controllarsi empiricamente. L'esperienza, intelligentemente interrogata e scrupolosamente osservata, non ci inganna.

## SCIENZA E FILOSOFIA

Ma ha senso per Galileo parlare di una realtà non identificata in modo completo con quella da noi percepita? La sua tesi, che verrà ripresa e svolta da molti pensatori del Seicento, costituisce la base di una vera e propria concezione del mondo, la cosiddetta concezione meccanicistica. Nell'antichità essa era già stata sostenuta dagli atomisti, e non è escluso che una certa influenza dell'indirizzo atomistico fosse presente in Galileo.

Il meccanicismo come concezione filosofica del mondo, o perlomeno del mondo materiale, fisico e biologico, troverà ampi sviluppi e seri tentativi di giustificazione in altri autori del Seicento, resta nelle opere di Galileo una semplice indicazione, un canone di ricerca rivolto più allo scienziato che al filosofo.

Né la cosa è difficile a spiegarsi, se Galileo non ha sentito la necessità di analizzare i presupposti del meccanicismo, ciò dipende dal fatto che la filosofia, nel senso comune del termine, era sostanzialmente al di fuori dei suoi interessi. Galileo non si è mai proposto di creare una nuova filosofia, il compito che aveva in animo era un altro, egli mirava a costruire una nuova scienza, a farne capire a tutti l'importanza per la concezione generale della natura e, nel contempo a fornirla di metodi efficienti, capaci di fornire soluzioni valide a problemi concreti e particolari. Ma allora che peso ha avuto Galileo nella storia del pensiero filosofico? Una prima ovvia risposta si ricava dalla semplice riflessione sull'enorme peso che ha avuto ad ha la scienza per la cultura moderna, e quindi anche per il pensiero filosofico che dibatte i problemi di fondo di questa cultura. Poiché la nascita della scienza moderna è inscindibilmente legata al nome di Galileo, va da sé che questo occupi una posizione importantissima sia nella storia del pensiero filosofico sia in quello del pensiero scientifico.

Vi è però un altro motivo, per cui a Galileo va riconosciuto un peso determinante nello sviluppo del pensiero filosofico. Esso va cercato in quell'altissima fiducia nella ragione, che prorompe da tutte le sue opere, dalle sue polemiche, dal suo stesso programma culturale. Egli ritiene che questa fiducia vada predicata a tutti, che debba pervadere ogni strato sociale, perché essa sarà una delle colonne fondamentali della futura società. E' quella nuova impostazione della cultura che portava Galileo a concepire la scienza inscindibilmente legata alla tecnica e gli permetteva di sostenere il valore pienamente scientifico di uno strumento non ancora spiegato scientificamente, quale il cannocchiale. Per questi caratteri delineati della fiducia di Galileo nella ragione, egli è stato giustamente considerato come uno dei validi precursori dell'illuminismo. E ciò basta a fare di lui, uno dei punti nodali della storia del pensiero filosofico.