

Gli esperimenti che Galileo non fece

A Galilei invece è stato rimproverato addirittura di non aver fatto alcuni degli esperimenti da lui descritti e che sono oggi considerati le pietre miliari della scienza moderna. Quegli esperimenti fondamentali con i quali Galileo chiuse la bocca agli scienziati aristotelici, e che a scuola ci hanno indicato come le più perfette esemplificazioni del metodo sperimentale, non sono mai stati fatti. Come se non bastasse, con un'arroganza paragonabile a quella di chi lo voleva tacitare a suon di processi, Galileo sosteneva che non era neppure importante farli veramente. Uno degli esperimenti che lo stesso Galilei ammette esplicitamente di non aver fatto è quello della nave, che sta a fondamento del cosiddetto principio di relatività galileiana secondo il quale i fenomeni fisici avvengono nello stesso modo sia che si svolgano sulla terra-ferma che su una nave in movimento, a condizione che la nave si muova di moto rettilineo uniforme. Galileo dovette affrontare questo argomento per controbattere le critiche di quanti non volevano credere alla teoria copernicana, ed in particolare al moto della Terra sul proprio asse. Questi critici sostenevano che se realmente la Terra si muoveva intorno al proprio asse allora, ad esempio, dovremmo sentire costantemente un vento impetuoso proveniente da oriente, la forza centrifuga prodotta dalla rotazione terrestre dovrebbe sradicare case ed alberi, le palle di cannone sparate verso occidente dovrebbero avere una gittata maggiore di quelle indirizzate verso oriente e infine una pietra lasciata cadere dall'alto di una torre non toccherebbe il suolo al piede della perpendicolare ma in un punto lievemente spostato verso occidente. Ma - concludevano gli scettici - tutti sanno che le pietre cadono esattamente ai piedi della torre e non più avanti. Dunque la terra è immobile.

Galileo ribatteva che il fatto che il sasso cada sempre ai piedi della torre lungo una traiettoria esattamente perpendicolare non può essere interpretato come una confutazione del moto della Terra intorno al proprio asse proprio in virtù del principio di relatività in base al quale, se il sistema si muove di moto uniforme, è impossibile all'interno di esso stabilire se si è in moto o se si è fermi. Per convincersene, sosteneva Galileo, basta fare un semplice esperimento: salire sull'albero di una nave e lasciar cadere una palla di cannone. Si vedrà che questa cade lungo la perpendicolare ed esattamente ai piedi dell'albero come se la nave fosse ferma. Il comportamento della palla da cannone lasciata cadere dalla cima dell'albero di una nave insomma non può aiutarci a capire se la nave sia in movimento o stia ferma, e analogamente i sassi lasciati cadere dall'alto di una torre non possono dirci se la Terra stia ruotando o sia ferma.

Ma Galileo ha mai fatto realmente l'esperimento della nave? Pare proprio di no. Nella seconda giornata del *Dialogo sui massimi sistemi* Salviati, che impersona Galileo, chiede infatti al suo interlocutore Simplicio: «Or ditemi: se la pietra lasciata dalla cima dell'albero quando la nave cammina con gran velocità cadesse precisamente nel medesimo luogo della nave nel quale casca quando la nave sta ferma, qual servizio vi presterebber queste cadute circa l'assicurarvi se il vassello sta fermo o pur se cammina?», e l'altro risponde: «Assolutamente nessuno: in quel modo che per esempio, dal batter del polso non si può conoscer se altri dorme o è desto, poiché il polso batte nell'istesso modo, ne' dormienti che ne' vegghianti». A questo punto era ovviamente importante stabilire che cosa accade esattamente sulla nave. Simplicio sostiene che la pietra cadrebbe ad una distanza dal piede dell'albero uguale allo spostamento subito dalla nave durante il percorso di caduta. Ma Salviati-Galilei lo mette a tacere dicendo che chiunque avesse fatto realmente

l'esperimento «troverà tutto il contrario: cioè mostrerà che la pietra casca sempre nel medesimo luogo della nave, stia ella ferma o muovasi con qualsivoglia velocità».

Ora Galilei di fatto non aveva mai realizzato quell'esperimento, ma quel che è peggio ribatte con arroganza al suo interlocutore che non se ne mostrava convinto: «Io senza esperienza son sicuro che l'effetto seguirà come vi dico perché così è necessario che segua». Come dire: «È inutile fare l'esperimento, se ve lo dico io dovete credermi». È evidente che questo modo di procedere non corrisponde affatto all'idea di metodo sperimentale che ci è stata insegnata fin dal liceo né tanto meno all'ideale di correttezza etica e metodologica dello scienziato. Solo sette anni dopo la pubblicazione del *Dialogo* Galilei ricevette una lettera di G.B. Baliani, il quale lo informava che aveva invitato un marinaio a lasciar cadere una palla di archibugio diverse volte dall'albero di una nave in movimento verificando ogni volta che cadeva al piede dell'albero.

Ma questo della nave non è né l'unico né il più importante degli esperimenti che Galilei non fece. Il più noto è quello del lancio delle sfere dall'alto della torre di Pisa e il più importante è quello del piano inclinato. Il primo, quello della torre, doveva confutare la teoria di Aristotele secondo la quale gli oggetti cadono con una velocità che è proporzionale al loro peso: Aristotele pensava insomma che due mattoni legati insieme cadono con una velocità doppia di un solo mattone. Secondo il racconto del suo allievo Vincenzo Viviani, Galileo, volendo dimostrare che non era affatto così, salì sulla torre di Pisa «con l'intervento degli altri lettori e filosofi e di tutta la scolaresca» e «con replicate esperienze» dimostrò che «la velocità dei mobili dell'istessa materia, disegualmente gravi, movendosi per un istesso mezzo, non conservano altrimenti la proporzione della gravità loro, assegnatagli da Aristotele, anzi che si muovon tutti con pari velocità». I due mattoni legati insieme insomma arrivano a terra esattamente nello stesso istante in cui ci arriva il mattone solo.

Nel 1935 L. Cooper scrisse un libro intitolato *Aristotle, Galileo, and the tower of Pisa* nel quale sosteneva che non esiste alcun'altra traccia o documento che testimoni che questa esperienza sia stata effettivamente fatta e gli studiosi di storia della scienza sono inclini a ritenere che in realtà sia solo un'invenzione. Ciò nonostante essa è entrata a far parte, insieme allo «Eppur si muove», della mitologia galileiana. In un fortunato libro del 1893 intitolato *The pioneers of science* un noto fisico inglese, sir Oliver Lodge, scrisse ad esempio: «Galileo non si rassegnò al fatto di essere deriso e umiliato. Sapeva di essere nel vero e voleva che tutti vedessero i fatti com' egli li vedeva. Così una mattina, davanti a tutti i membri dell'università, salì sulla famosa torre pendente portando con sé una sfera metallica di cento libbre ed una di una libbra. Le pose in equilibrio sull'orlo della torre e le fece cadere tutte e due insieme. Insieme caddero e insieme toccarono il terreno. Il tonfo simultaneo di questi pesi suonò come una campana a morto per il vecchio sistema e annunciò la nascita del nuovo». Quel tonfo decisivo in realtà non si è mai verificato perché, indipendentemente dal fatto che, magari in altre circostanze, Galilei abbia compiuto esperienze simili, se l'esperimento viene realmente effettuato si vede che i corpi di peso diverso non acquistano affatto la stessa velocità, ma i più pesanti raggiungono il suolo un attimo prima dei più leggeri.

Nonostante ciò ancora negli anni Sessanta George Gamow, uno dei padri della fisica contemporanea, continuava a sostenere che «per provare la veridicità delle sue conclusioni, Galileo fece cadere dalla torre pendente di Pisa due sfere, una di legno e una di ferro, e gli increduli spettatori presenti si poterono convincere che esse toccavano il suolo nello stesso istante. Le ricerche storiche tendono ad escludere che questa dimostrazione pubblica abbia mai avuto luogo e affermano che essa rappresenta solo una fantasiosa leggenda; e non è nemmeno certo che Galileo abbia scoperto la legge del

pendolo mentre assisteva alla messa nel Duomo di Pisa. Ma, in un modo o nell'altro, egli certamente eseguì queste esperienze o facendo cadere oggetti di peso diverso dal tetto di casa sua o facendo oscillare, magari nel suo cortile, una pietra appesa ad una corda». Gamow insomma sosteneva che prima o dopo, in un modo o nell'altro, Galileo deve aver fatto per forza quell'esperimento. Egli però non tiene minimamente conto del fatto che, anche se così fosse, il risultato sarebbe stato diverso da quello riferito dalla leggenda. Nel 1978 infatti due studiosi, C.G. Adler e B. Coulter, si sono presi la briga di rifare l'esperimento e hanno scoperto che le due palle arrivano a terra con uno scarto di tempo non tanto ampio da soddisfare la teoria aristotelica ma abbastanza per confutare l'idea di Galileo della contemporaneità. Essi sostenevano anche che, in quelle condizioni sperimentali, sarebbe stato possibile per gli aristotelici modificare la teoria in modo da includere la spiegazione di quel risultato.

Ben più compromettente è invece la vicenda del famoso esperimento con il piano inclinato, sulla base del quale Galileo formulò la legge del moto uniformemente accelerato $s = 1/2 a t^2$, la quale afferma che nel moto uniformemente accelerato gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.

L'esperimento con il quale Galileo pretende di aver dimostrato questa legge consisteva nel far rotolare una palla di bronzo «ben rotondata e pulita» in un lungo canaletto inclinato «drittissim... ben pulito e liscio» tappezzato, per renderlo ancora più liscio, con una «carta pecora lustrata al possibile». La palla di bronzo veniva fatta scorrere un certo numero di volte per tutta la lunghezza del canaletto, poi per la sola metà, quindi per un terzo, i due terzi, i tre quarti e così via, annotando sempre il tempo che impiegava nel percorrere queste diverse distanze. La conclusione era che «per esperienze ben cento volte replicate sempre si incontrava, gli spazi passati esser tra di loro come i quadrati dei tempi e questo in tutte le inclinazioni del piano».

Questo passo viene spesso riportato dai testi di fisica quale esempio e modello di come deve procedere la ricerca scientifica e a tale scopo viene corredato da opportuni commenti. In un recente manuale italiano si legge ad esempio: «Vi sono alcune cose che è bene mettere in rilievo: innanzitutto Galileo si rende perfettamente conto che ogni esperienza deve essere eseguita in modo opportuno, eliminando cioè tutti quei fenomeni collaterali che potrebbero recare disturbo: nel caso particolare si cerca, con la massima cura, di eliminare ogni forma di attrito (ben pulito e liscio, bronzo durissimo, ben rotondata e pulita). In secondo luogo proprio per il fatto che l'esperienza viene condotta in maniera particolare, eliminando cioè per quanto possibile ogni disturbo accidentale, essa è ripetibile, replicabile cioè quante volte si voglia con le medesime modalità. Più volte Galileo parla infatti di prove ben cento volte ripetute, unica garanzia di validità dei risultati raggiunti. In terzo luogo ogni esperienza è priva di significato scientifico se tutte le grandezze che entrano in gioco non sono accuratamente misurabili; è proprio attraverso la misura, infatti, che si getta un ponte tra l'osservazione pura e semplice e la traduzione di un fenomeno in termini quantitativi, ossia in linguaggio matematico. La cura e la genialità che Galileo dimostra nelle misurazioni rappresentano certamente una delle più notevoli tra le sue pur eccezionali qualità».

Peccato che l'esperimento che Galileo sostiene di aver fatto «ben cento volte» non sia stato fatto nemmeno una volta e che le precise misurazioni fossero frutto della sua immaginazione. In ogni caso erano sbagliate. Un contemporaneo e corrispondente di Galilei, il padre Marino Mersenne, tentò infatti di ripetere l'esperimento e scoprì che in quelle condizioni era impossibile ottenere i risultati numerici riferiti da Galileo. I casi erano dunque due: o Galileo non aveva mai compiuto l'esperimento oppure non aveva riferito con esattezza i risultati trovati.

Alexandre Koyré, uno dei più grandi storici della scienza, ha sostenuto la prima ipotesi, vale a dire che Galilei non ha mai fatto l'esperimento del piano inclinato. La cosa sembrò a molti incredibile sicché nel 1961 Thomas S. Settle decise di provare a farlo nelle stesse identiche condizioni indicate da Galileo. Egli constatò che Galileo avrebbe potuto ottenere risultati empirici «soddisfacenti», cioè vicini anche se non proprio identici a quelli da lui riferiti, nel modo da lui sostenuto. Le cose sembravano così tornare finalmente a posto e Stillman Drake, il più noto studioso americano di Galileo, poté affermare con soddisfazione che «le ben note asserzioni di Galileo circa i suoi esperimenti su piani inclinati erano state completamente convalidate».

Purtroppo nel 1973 Ronald Naylor, nel ripetere ancora una volta l'esperimento di Galileo, individuò delle discrepanze tra ciò che aveva fatto Settle e la descrizione di Galileo. Settle aveva innanzitutto fatto rotolare una palla non già dentro la scanalatura del piano inclinato ma sospesa sui bordi di essa. In questo modo riduceva notevolmente l'effetto della rotazione, che priva la palla di gran parte della sua accelerazione, fornendo così dati più strettamente concordanti con la legge. Ma Galileo non aveva fatto l'esperimento in questo modo. Il suo piano inclinato aveva una scanalatura abbastanza ampia da contenere la palla.

Alcuni studiosi hanno supposto che il segreto del successo dell'esperimento galileiano stesse proprio nell'uso della pergamena che, essendo liscia, riduceva al minimo l'attrito. Secondo Naylor in realtà l'effetto fu contrario. Dal momento che la pergamena, essendo fatta con pelle di vitello o di pecora, non può superare la lunghezza di tre piedi, per quanto accuratamente si possano congiungere le estremità queste non possono essere abbastanza lisce da assicurare un passaggio senza ostacoli. Insomma l'accelerazione della palla sarebbe stata periodicamente ridotta dalla necessità di superare i punti di giuntura tra i vari pezzi di pergamena e, se Galileo avesse eseguito veramente l'esperimento, si sarebbe subito accorto che l'uso della pergamena non solo non era di alcun aiuto ma era controproducente.

Naylor ha scoperto che anche un altro importante esperimento di Galilei, quello in base al quale fu scoperta la legge dell'isocronismo del pendolo, non può essere stato fatto così come è stato descritto perché in quel modo non si ottengono i risultati da lui riferiti. La legge stabilisce che in un pendolo il periodo (cioè il tempo impiegato a percorrere una intera oscillazione) è indipendente dall'ampiezza dell'oscillazione stessa. Questa legge fu scoperta da Galilei, stando alle sue dichiarazioni, sulla base di una serie di esperimenti uno dei quali consisteva nel far oscillare una palla di piombo ed una di sughero che erano legate a fili di uguale lunghezza. Stando sempre a quanto Galileo riferisce queste due palle «conservavano una assai costante uguaglianza de' lor passaggi per tutti gl'archi», oscillavano cioè allo stesso ritmo. Naylor ha rifatto l'esperimento usando una palla di ottone ed una di sughero e ha constatato che, contrariamente alla descrizione di Galileo, il peso d'ottone guadagnava un quarto di oscillazione su quello di sughero dopo appena venticinque oscillazioni complete.

Naylor ha concluso che, come già suggeriva Koyré, Galileo nella maggior parte dei casi non seguiva affatto il metodo sperimentale del quale venne ritenuto il padre e che in particolare usava gli esperimenti non tanto per arrivare a individuare le leggi fisiche, quanto piuttosto per confermarle a posteriori; al che aggiungeva talora anche una ulteriore trasgressione allo sperimentalismo quando costringeva i dati numerici ottenuti in esperimenti veri o supposti ad adattarsi per forza alla legge che aveva in mente. Come ha sostenuto William R. Shea: «Questa è un'accusa molto seria perché presuppone che Galileo era non solo poco sincero nel proporre un metodo che poteva non conseguire i risultati aspettati, ma decisamente fraudolento nel sostenere di essere riuscito a produrre delle prove che erano al di fuori della sua portata».

Se ci si chiede da che cosa nascessero queste mistificazioni di Galilei si scopre che esse non erano dovute soltanto a quella disinvoltura morale che gli ha rimproverato Paul Feyerabend ma anche alla necessità di sopperire in qualche modo alla mancanza di strumenti di misurazione e apparati sperimentali affidabili. Strumenti ed apparati indispensabili per passare, secondo una felice espressione di Koyré, «dal mondo del pressappoco all'universo della precisione».

Gli antichi, ha spiegato Koyré, ritenevano «ridicolo voler misurare con esattezza le dimensioni di un essere naturale: il cavallo è senza dubbio più grande del cane e più piccolo dell'elefante, ma né il cane né il cavallo né l'elefante hanno dimensioni strettamente e rigidamente determinate. C'è dovunque un margine di imprecisione, di "gioco", di "più o meno", di "pressappoco"». Ai loro occhi solo la meccanica dei movimenti celesti seguiva leggi matematiche ben precise, mentre il mondo nel quale viviamo e lavoriamo non era matematizzabile: in esso, si pensava, le cose accadono sicuramente secondo leggi ma non con rigorosa precisione. Per questo gli antichi non erano stati in grado di sviluppare una fisica matematica, e per questo non erano riusciti a farsi un'idea precisa neppure di fenomeni molto semplici come la velocità di caduta di un sasso o la traiettoria di una freccia. Il segno più evidente di tale disinteresse per la precisione fu la mancanza quasi assoluta di strumenti scientifici.

Poi venne Galileo con la sua idea che anche la fisica del nostro mondo quotidiano è fatta di cerchi, triangoli, ellissi e che anche il comportamento degli oggetti di questo mondo poteva essere calcolato con gli stessi metodi e la stessa precisione già applicati alle stelle e ai pianeti. Ma il compito era difficile e gli strumenti di misura ancora pochi ed artigianali. Inoltre, come vedremo nell'ultimo capitolo, l'idea stessa che i fenomeni del mondo fisico obbediscono a leggi matematiche rigorose era vera solo in parte e precisamente solo nella misura in cui si trascuravano piccole perturbazioni e variazioni ritenute (oggi sappiamo a torto) ininfluenti. Per questo molto spesso anche i padri della fisica moderna si videro costretti a barare: quando un fenomeno si ostinava a uniformarsi alla logica del pressappoco loro lo facevano diventare preciso per forza. In che modo? Facendo ricorso al "fudge factor", un fattore che, aggiunto ai calcoli, consente di farli quadrare sempre e comunque.