

LE FORZE DI LEGAME TRA GLI ATOMI: UNA FANTASIA SENILE DI GALILEO

ANDREA FROVA

Dipartimento di Fisica, Università di Roma 'La Sapienza'

1. Atomismo ed eresia

Nel 1623 Galileo pubblica *Il Saggiatore*, un arguto saggio di metodologia scientifica in cui si fa beffe di Orazio Grassi, studioso gesuita. Il Cardinale Maffeo Barberini, futuro Papa Urbano VIII, lo apprezza tanto che se ne fa leggere brani mentre pasteggia. Nel *Saggiatore*, Galileo si dichiara atomista alla maniera di Democrito: è quanto meno un'imprudenza, dato che dopo il Concilio di Trento molti considerano atomismo ed eresia eucaristica strettamente collegati (per eresia eucaristica si intende la negazione del miracolo della transustanziazione nell'Eucarestia). E infatti Padre Grassi prende la palla al balzo e attacca Galileo con un libello, *Ratio ponderum Librae et Simbellae*, inoltrando nel contempo al Sant'Uffizio una denuncia anonima di eresia eucaristica a suo carico (l'attribuzione di questa denuncia non è però sicura).

2. Matematizzazione della natura

Dieci anni più tardi Galileo viene condannato nel celebre processo riguardante – sotto il piano formale – la sua adesione al sistema eliocentrico copernicano, viene costretto all'abiura e posto agli arresti domiciliari nella sua villa di Arcetri. Nel suo ultimo libro, i *Discorsi intorno due nuove scienze*, torna sull'argomento della costituzione della materia, tuttavia cambiando la versione data nel *Saggiatore*. Forse per sbarazzarsi del rischio che l'antica denuncia per eresia rispunti fuori, più probabilmente perché aspira a stabilire una corrispondenza stretta tra natura e matematica (ricordiamo il suo motto: «il libro della natura è scritto in caratteri matematici...»). Sta di fatto che l'atomismo di stampo democriteo scompare per far posto al concetto di particelle indivisibili, ossia infinitesime, senza dimensioni, concetto del tutto equivalente a quello geometrico che un segmento finito è costituito da punti adimensionali, da prendere naturalmente in numero infinito. La materia aggregata, conclude, deve essere costituita da infiniti corpuscoli infinitamente piccoli, tenuti assieme da un qualche genere di forza coesiva. Si tratta di indagare su quale sia la natura di questa forza.

3. La 'forza del vuoto'

Un pregiudizio caro agli aristotelici era che il vuoto eserciti una forza. Ciò perché la natura aborre il vuoto (*horror vacui*) e quindi oppone resistenza ogniqualvolta si cerchi di instaurarlo. Benché Galileo abbia vari motivi per rendersi conto che questo

è scientificamente inaccettabile (ad esempio, come possono esercitarsi forze tra entità inesistenti, come si ha nello spazio vuoto?), egli si lascia andare a questa curiosa credenza perché fa al caso nel suo obiettivo di matematizzazione della natura. Esegue persino un esperimento per misurare tale misteriosa forza: allo scopo, utilizza un cilindro con un pistone a tenuta e misura la forza minima che è necessario applicare per estrarre il pistone. L'esperimento può essere facilmente ripetuto tramite una siringa farmaceutica il cui sbocco sia stato sigillato, come mostrato nella figura 1. Naturalmente, come capirà poco tempo dopo il suo allievo Torricelli (l'inventore del barometro), Galileo aveva fatto, senza volerlo, una misura della pressione atmosferica: la forza da vincere non è infatti l'inesistente 'forza del vuoto', bensì quella esercitata dalla colonna d'aria atmosferica sulla base esterna del pistone, forza che non è presente invece sopra di esso per via del sigillo.



Figura 1. Per estrarre uno stantuffo da una siringa sigillata alla cima occorre applicare una forza almeno eguale alla pressione atmosferica moltiplicata per l'area della sezione del cilindro (nelle condizioni della fotografia, circa 6 kg).

Sia come sia, Galileo si convince che questa presunta forza abbia a che fare con il legame tra gli atomi. Tra ciascuna coppia di atomi si troverebbe insinuato uno spazio vuoto che ha l'effetto di tenerli saldamente insieme. Essendo gli atomi infinitesimi in dimensione e infiniti in numero, lo stesso deve valere per le zone di vuoto. Galileo esegue un secondo esperimento, sul quale non mi soffermo, per trarre la conclusione che la forza agente tra atomo e atomo è quattro volte superiore a quella del 'vuoto esterno', ossia quella determinata con cilindro e pistone. L'ipotesi galileiana è interessante se non altro perché oggi sappiamo che in effetti la materia aggregata contiene ampie regioni di vuoto, tuttavia interne agli atomi, essendo questi costituiti da un nucleo positivo e da carica negativa distribuita attorno ad esso con assenza di materia nello spazio interposto. Il legame però non ha a che fare con il vuoto, bensì con forze coulombiane, ovvero di natura elettrostatica, forze che al tempo di Galileo erano ignote. Si potrebbe dire, con un'immagine ingenua ma suggestiva, che se si potesse rimuovere lo spazio vuoto interno agli atomi, il Colosseo si ridurrebbe alle dimensioni di una perlina di vetro.

Questa concezione di materia 'continua' alla maniera di un segmento geometrico

rappresenta l'estremo limite del tentativo di Galileo di 'matematizzare' la materia: esso sancisce il principio che *l'indissolubilità tra fisica e matematica diviene inscindibilità tra materia e matematica*. Vedremo che seguendo queste fantasiose linee di ragionamento Galileo giungerà persino ad avanzare futuristiche congetture sulla natura della luce e del calore e sul loro intimo legame con la materia.

4. Gli 'ignicoli' o particelle di fuoco

Galileo si pone il problema di come allora una sostanza, portata ad alta temperatura, possa fondere. La natura del fuoco, secondo lui, è quella di un insieme di particelle calde, gli *ignicoli*, che si trovano in continuo movimento. E la sensazione di calore che proviamo nel toccare un oggetto riscaldato è dovuta alla penetrazione degli ignicoli nella nostra pelle: più veloci sono gli ignicoli, più marcata l'impressione di calore. La fusione di un solido è dovuta al fatto che gli ignicoli, penetrando all'interno dei microvuoti che si trovano tra particella e particella, vanificano gli effetti della forza di legame.

Gli ignicoli possono avere varie dimensioni: se grossi si manifestano come calore, se piccoli come luce. Questo insieme di intuizioni trova oggi sorprendenti analogie/conferme. La luce e il calore hanno infatti eguale natura, quella di onde elettromagnetiche che si presentano sotto forma di *quanti di energia*, ovvero pacchetti di energia indivisibile. La luce è caratterizzata da energia elevata e lunghezza d'onda piccola, come mostra la figura 2, il calore viceversa. La teoria cinetica dei gas afferma che in ogni sostanza il calore è associato all'agitazione termica delle particelle costituenti: più alta è la loro energia cinetica, cioè più rapidamente esse si muovono, più alta è la temperatura che avvertiamo nel contatto con quella sostanza. Quando l'energia cinetica delle particelle – energia di natura disgregante – vince l'energia di legame che le tiene unite fra di loro, la sostanza fonde. Naturalmente, come già all'interno dei singoli atomi tra nucleo ed elettroni, l'energia di legame interatomica non è dovuta all'azione del vuoto, ma a forze di natura elettromagnetica.



Figura 2. La lunghezza d'onda di un'onda elettromagnetica diviene sempre più breve man mano che ci sposta dal calore alla radiazione ultravioletta. Questa proprietà è reminiscente di quella attribuita da Galileo alla dimensione degli ignicoli.

5. Luce e materia

Sulla strada delle congetture, Galileo propone con notevole lungimiranza che luce e materia abbiano un denominatore comune. Ma sentiamo le parole stesse di Galileo, come ci vengono riferite da Orazio Ricasoli Rucellai:

[Galileo riteneva] che la luce per avventura potesse essere il cominciamento universale della natura, e ciò imperciocché credeva che la luce fosse l'estrema espansione, cioè l'ultima rarefazione che dar si potesse, dal quale primo principio tutte le cose, condensandosi essa, dove più e dove meno si componessero sino alla più spessa e fitta condensazione anco delle pietre più dure e impenetrabili.

Galileo evitò di mettere quest'ipotesi per iscritto e sappiamo che in vecchiaia ne dubitò egli stesso per primo, tanto da affermare:

...io mi ero sempre tenuto tanto inhabile a poter penetrare che cosa sia il lume, che mi sarei esibito a stare in carcere in pane e acqua tutta la mia vita, purché io fossi stato assicurato di conseguire una da me tanto insperata cognizione.

Tuttavia il suo interesse per i fenomeni luminosi rimane vivissimo, così che lascia anche scritto:

[...] direi, parermi che nella natura si ritrovi una sostanza spiritosissima, tenuissima e velocissima, la quale, diffondendosi per l'universo, penetra per tutto senza contrasto, riscalda, vivifica e rende feconde tutte le viventi creature; e di questo spirito par che 'l senso stesso ci dimostri il corpo del Sole esserne ricetta principalissimo, dal quale espandendosi un'immensa luce per l'universo, accompagnata da tale spirito calorifico e penetrante per tutti i corpi vegetabili, gli rende vividi e fecondi.

6. La velocità della luce

Galileo dice «*substanza velocissima*», e altrove «*Io non saprei intendere che l'azione della luce, benché purissima, potesse esser senza moto*». Senza moto significa con spostamento istantaneo, tale cioè da potersi vedere nell'istante stesso in cui viene emessa, non importa quanto lontano. Ora, la propagazione istantanea della luce era un fatto generalmente accettato dagli studiosi del tempo, a cominciare da Cartesio e Keplero. L'idea di Galileo è dunque rivoluzionaria e questa volta perfettamente centrata. Egli arriva persino a suggerire il modo di misurare la velocità di propagazione della luce con un esperimento da fare tra due colli, secondo lo schema mostrato in figura 3.

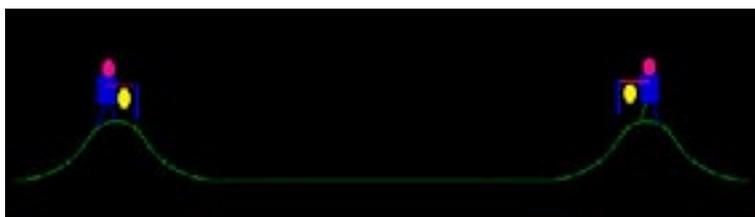


Figura 3. Esperienza suggerita da Galileo per la misura della velocità della luce.

La descrizione di Galileo, riportata nei *Discorsi intorno a due nuove scienze*, è suggestiva:

Voglio che due pigliano un lume per uno, il quale, tenendolo dentro lanterna o altro ricetto possono andar coprendo e scoprendo, con l'interposizione della mano, alla vista del compagno, e che, ponendosi l'uno incontro all'altro in distanza di poche braccia, vadano addestrandosi nello scoprire ed occultare il lor lume alla vista del compagno, sì che quando l'uno vede il lume dell'altro, immediatamente scuopra il suo; la qual corrispondenza, dopo alcune risposte fattesi scambievolmente, verrà loro talmente aggiustata, che, senza sensibile svatio, alla scoperta dell'uno risponderà immediatamente la scoperta dell'altro, sì che quando l'uno scuopre il suo lume, vedrà nell'istesso tempo comparire alla sua vista il lume dell'altro. Aggiustata cotal pratica in questa piccolissima distanza, pongansi i due medesimi compagni con due simili lumi in lontananza di due o tre miglia, e tornando di notte a far l'istessa esperienza, vadano osservando attentamente se le risposte delle loro scoperte ed occultazioni seguono secondo l'istesso tenore che facevano da vicino; che seguendo, si potrà assai sicuramente concludere, l'espansion del lume essere instantanea: che quando ella ricercasse tempo, in una lontananza di tre miglia, che importano sei per l'andata d'un lume e venuta dell'altro, la dimora dovrebbe esser assai osservabile. E quando si volesse far tal osservazione in distanze maggiori, cioè di otto o dieci miglia, potremmo servirci del telescopio...

L'esperimento, se mai Galileo lo tentò realmente, non poté ovviamente riuscirci. Era del tutto inadeguato, se non altro per i tempi di reazione degli sperimentatori. E dimostra che Galileo non aveva alcuna idea di quanto elevata sia la velocità della luce, che egli reputava sì maggiore di quella del suono (a causa del ritardo interposto tra fulmine e tuono), ma pur sempre in qualche modo a essa comparabile. E tuttavia il grande scienziato fu il precursore dei moderni metodi di determinazione della velocità della luce. Già verso la metà dell'Ottocento, sulla base dell'idea galileiana, il francese Fizeau mise a punto il suo famoso esperimento basato sull'impiego di una ruota dentata in rotazione. Un fascio luminoso collimato, proveniente da una sorgente situata alla periferia di Parigi, andava a colpire uno specchio posto sulla collina di Montmartre, distante 8,6 Km, e veniva riflesso all'indietro sul suo cammino di arrivo. Vicino alla sorgente c'è una ruota munita di 720 denti. Se la ruota gira piano, la luce che nell'andata passa attraverso un foro della ruota dentata, compiuto il doppio tragitto tra le due colline, viene intercettata nel ritorno da un dente e non giunge all'osservatore (il quale la guarda attraverso uno specchio semiargentato inclinato a 45°). Aumentando la velocità di rotazione della ruota, a un dato punto la luce viene invece vista, perché nel ritorno incontra il prossimo foro invece del dente. Poiché in tal caso il tempo impiegato dalla luce a percorrere $8,6 \times 2$ km è eguale a quello che la ruota impiega a sostituire un foro con quello contiguo, dalla velocità di rotazione necessaria per osservare il primo massimo di luce trasmessa si risale alla

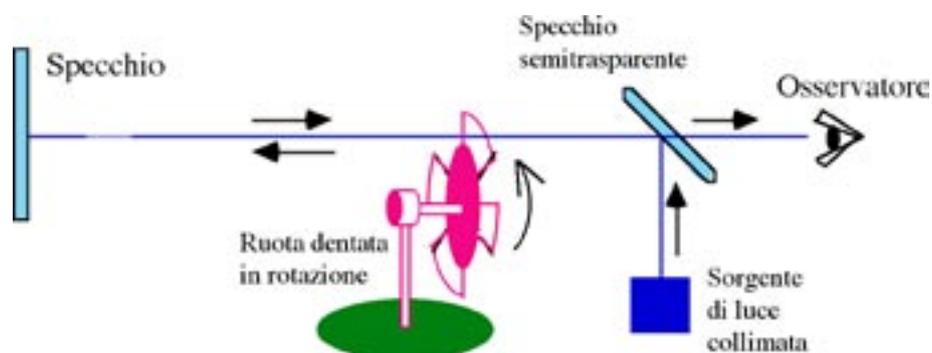


Figura 4. Misura della velocità della luce secondo il metodo di Fizeau, ispirato da Galileo.

velocità della luce. Fizeau determinò per la velocità di propagazione della luce in aria un valore di circa 313.000 km/s, un po' maggiore del giusto. Oggi, grazie alla disponibilità dei laser, il valore è noto fino alla nona cifra significativa (nel vuoto, 299.792,457 km/s).

7. Le considerazioni di Galileo

Galileo non aveva dunque prove sperimentali per dire con certezza che la luce ha una velocità di propagazione finita. Usò un argomento assai curioso, che egli stesso definì alquanto azzardato, e precisamente quello dell'intervallo di tempo che intercorre tra l'osservazione del fulmine e del baleno. Quando si vede cadere un fulmine, si ha l'impressione che il suo bagliore riflesso dalle nubi lontane si presenti con un piccolo ma apprezzabile ritardo (oggi questo effetto si può far risalire a un fattore psicologico scoperto da Kenkel nel 1913, il 'movimento γ ', ossia l'impressione di moto che si associa alla presentazione improvvisa di figure luminose nel buio). Il vero ritardo dovuto al moto della luce da una parte all'altra della calotta atmosferica si può calcolare in qualcosa dell'ordine di 50 microsecondi, quindi del tutto inavvertibile. Il che mostra una volta ancora come Galileo fosse lontanissimo dall'immaginare a quale vertiginosa velocità si propaga la luce.

BIBLIOGRAFIA

- Frova A. e Marenzana M., *Parola di Galileo*, SuperBUR Saggi, RCS-Libri, Milano 1998, Capitoli 12, 14, 17-19.
- Geymonat L., *Galileo Galilei*, Einaudi, Torino 1969.
- Redondi P., *Galileo eretico*, Einaudi, Torino 1983.