

Lezione 6: La caduta dei corpi - da Aristotele a Galileo

6.1. Antiche domande

Tutto si muove, ma due tipi di moto incuriosirono in particolare i primi uomini che indagarono con spirito scientifico i fenomeni naturali. Su in alto nel cielo gli oggetti celesti si muovono (o almeno così pare) lungo orbite circolari, qui sulla Terra gli oggetti della nostra esperienza quotidiana cadono verso il basso se qualcosa non li trattiene. Le domande che ci possiamo porre sono tante:

- perché un sasso lanciato verso l'alto prima sale e poi ricade verso la Terra?
- perché la Luna resta alta nel cielo e non cade?
- perché una freccia lanciata da un arco non si mette ad orbitare intorno alla Terra?
- perché un pallone da calcio cade verso il basso, mentre una mongolfiera sale verso l'alto?
- perché un pallone da calcio cade verso il basso quando è circondato dall'aria, mentre schizza verso l'alto se lo immergiamo sott'acqua?

Cercare risposte a queste domande richiede in primo luogo di capire come sono fatte le cose che vediamo muoversi. Roccia, legno, gomma, aria calda, aria fredda, acqua, metallo, vapore: sono solo alcuni tra i termini che possiamo usare per descrivere la materia che forma gli oggetti intorno a noi. L'elenco potrebbe continuare fino a comprendere centinaia, forse migliaia di voci. Ma davvero le risposte che cerchiamo sono così complicate, oppure c'è un ordine più semplice dietro all'apparente varietà di forme che la materia assume?

6.2. Le risposte di Empedocle

La prima risposta scientifica che ci sia nota per le domande che ci siamo poste, sulla natura degli oggetti e sul loro movimento, venne da Empedocle, un filosofo che visse ad Agrigento nel quinto secolo avanti Cristo. L'estrema varietà della materia, disse Empedocle, non è che un'apparenza. In realtà tutto è composto da solo quattro sostanze fondamentali: la terra, l'acqua, l'aria e il fuoco. Le quattro sostanze fondamentali possono mescolarsi secondo proporzioni diverse: a ciascuna di esse corrisponde un diverso aspetto che la materia può assumere.

La teoria di Empedocle sembra una risposta rozza ed ingenua, viceversa è interessante sotto diversi punti di vista. In primo luogo non è poi così lontana dalla spiegazione che diamo oggi: la differenza essenziale è che dal nostro punto di vista le sostanze fondamentali (oggi le chiamiamo elementi) sono novantadue invece di quattro.

In secondo luogo l'ipotesi di Empedocle permise ad Aristotele di fornire una spiegazione molto ingegnosa del moto di caduta.

6.3. Le risposte di Aristotele

Aristotele, un filosofo che insegnò ad Atene nel quarto secolo avanti Cristo, ipotizzò che le quattro sostanze fondamentali di Empedocle si differenzino per il loro peso: la terra è la più pesante, poi l'acqua, poi ancora l'aria, infine il fuoco, che delle quattro è la più leggera. Ciascuna di esse, di conseguenza, occupa un suo luogo naturale: più in basso la terra, poi l'acqua, poi l'aria, infine, più in alto di tutte, il fuoco. Tutti gli oggetti sono fatti da una miscela delle quattro sostanze: ciascun oggetto quindi, lasciato libero a sé stesso, si dirige verso il luogo naturale della sostanza che prevale. Proviamo a immaginare come Aristotele avrebbe risposto alle domande del paragrafo 6.1:

- un sasso lanciato verso l'alto ricade verso il basso perché è fatto in massima parte della sostanza terra;
- la Luna resta alta nel cielo e non cade perché non è fatta di nessuna delle quattro sostanze, ma di una sostanza speciale (la chiamò quintessenza) di cui sono fatti tutti i corpi che stanno nel cielo;
- una freccia lanciata da un arco non si mette ad orbitare intorno alla Terra perché è fatta in massima parte di terra, quindi prima o poi cade verso il basso;
- una mongolfiera sale verso l'alto perché nella sua composizione prevale il fuoco;
- un pallone da calcio è fatto di terra e di aria, in proporzioni tali da renderlo più leggero dell'acqua e più pesante dell'aria: il suo luogo naturale, quando la terra è coperta da uno strato d'acqua, è al confine tra acqua e aria.

6.4. Ancora Aristotele: dal perché al come

Avendo spiegato *perché* i corpi cadono, Aristotele cercò di stabilire *come* avvenga il moto di caduta. La sua risposta fu chiara: un corpo lasciato cadere, dopo un breve tratto raggiunge una velocità di caduta che è costante. Questa velocità di caduta è tanto più grande quanto più il corpo è pesante, tanto più piccola quanto più è grande la resistenza del mezzo in cui il corpo cade.

Secondo Aristotele, insomma, se due sassi cadono nell'aria, e uno pesa il doppio dell'altro, quello più pesante cade con una velocità doppia.

Inoltre, supponendo che l'acqua opponga una resistenza due volte più grande di quella opposta dall'aria, lo stesso sasso cade nell'acqua con una velocità due volte più piccola di quella con cui cade nell'aria.

La teoria formulata da Aristotele è notevole sotto almeno tre diversi punti di vista:

- ha avuto una vita lunghissima, essendo stata accettata come vera per quasi duemila anni;
- ancora oggi è accettata dal senso comune. Fate un'indagine tra i vostri amici, e chiedete: "cade più in fretta un oggetto pesante oppure uno leggero?" Prendete nota delle risposte...;
- è una teoria sbagliata, per giunta in modo grossolano!

6.5. Galileo e la forza del pensiero

Si dovette aspettare il 1638 perché lo scienziato italiano Galileo Galilei, nel dialogo "Discorsi e dimostrazioni matematiche", mettesse in crisi la spiegazione del moto di caduta data da Aristotele. Galileo utilizza due argomenti distinti, e cioè:

1. la spiegazione di Aristotele è in contraddizione con i comportamenti che si osservano;
2. la spiegazione di Aristotele genera contraddizioni al suo interno, cioè prevede una cosa e il contrario di essa.

Consideriamo in primo luogo l'evidenza dei fatti. Se una pietra è dieci volte più pesante di un'altra, lasciatele cadere entrambe da un'altezza di cento metri: la prima dovrebbe giungere a terra, secondo Aristotele, quando l'altra non avrebbe percorso che dieci metri soltanto. Si è mai osservato un fatto del genere? Vi sembra ragionevole?

Vediamo poi le contraddizioni interne: per dimostrarle, Galileo concepì un esperimento *ideale*, cioè un esperimento che non richiede attrezzature e strumenti, ma solo l'immaginazione e la logica. Immaginiamo di prendere due oggetti, uno leggero e uno pesante. Secondo Aristotele il primo cade più lento, il secondo più veloce. Adesso uniamo insieme i due oggetti: quello pesante dovrebbe accelerare un po' quello leggero, viceversa quello leggero dovrebbe rallentare un po' quello pesante. Insomma: unendo i due oggetti ne dovremmo ottenere un terzo che cade con una velocità *intermedia* tra la maggiore e la minore. Ma questo terzo oggetto è più pesante di entrambi, dunque, sempre secondo Aristotele, dovrebbe cadere con una velocità *più grande* della maggiore.

Ecco la contraddizione interna: la teoria di Aristotele prevede due velocità diverse per lo stesso oggetto, e non c'è bisogno di fare alcun esperimento per sapere che questo è impossibile.

6.6. Galileo e la forza degli esperimenti

La conclusione cui giunge Galileo è lampante:

se possiamo trascurare la resistenza dell'aria, tutti gli oggetti debbono cadere allo stesso modo, indipendentemente dal fatto che siano leggeri o pesanti.

Non è facile fare in modo che gli oggetti cadano senza incontrare alcuna resistenza da parte dell'aria. La prova più spettacolare fu condotta da Dave Scott, astronauta della missione Apollo 15, nell'agosto del 1971. Trovandosi sulla superficie della Luna, dove non esiste atmosfera, fece cadere un martello e una penna di falco: i due oggetti, come previsto da Galileo, raggiunsero il suolo contemporaneamente! La ►fig.6.1 è un fotogramma tratto dal filmato che fu girato in quell'occasione. Il documento intero lo trovate scrivendo "Galileo on the Moon" sul vostro motore di ricerca.



fig.6.1 Dave Scott con un martello nella destra e una penna di falco nella sinistra

Ma qual è il modo comune in cui cadono tutti gli oggetti? Cadono a velocità costante, uguale per tutti, oppure la velocità varia durante la caduta? Non c'è esperimento ideale che possa rispondere a questa domanda: occorre un esperimento vero, e Galileo lo fece.

Poiché il moto di caduta libera era troppo veloce per consentire misurazioni con le tecnologie del 17° secolo, Galileo ebbe l'idea di far cadere i corpi lungo un piano inclinato. Confidava, per fortuna a ragione, che questo espediente avrebbe rallentato il moto senza cambiarne le caratteristiche. Levigò accuratamente la superficie del piano e quella dell'oggetto, una sfera, che scendeva lungo di esso: voleva che l'oggetto interagisse il meno possibile sia con la superficie del piano, sia con l'aria circostante. Insomma: il solo peso doveva determinare le caratteristiche del moto.

Fissato un tratto di lunghezza assegnata, occorreva misurare il tempo impiegato dalla sfera a percorrerlo: per questo Galileo usò un orologio ad acqua, raccogliendo e pesando l'acqua che durante la caduta usciva da un piccolo foro praticato in un recipiente. Più lungo il tempo di caduta, più grande la quantità d'acqua che avrebbe raccolto.

Galileo scoprì così che esiste una semplice relazione matematica tra la lunghezza del tratto percorso e il tempo impiegato a percorrerlo:

per una sfera che parte da ferma, la distanza (S) percorsa su un piano inclinato è direttamente proporzionale al quadrato del tempo (t) impiegato a percorrerla. In formula: $S=k \cdot t^2$.

La legge ha un significato semplice: se il tempo di caduta viene moltiplicato per 2, la distanza percorsa viene moltiplicata per 4, cioè 2^2 . Se il tempo viene moltiplicato per 3, la distanza percorsa viene moltiplicata per 9, cioè 3^2 , e così via...

Attenzione alle unità di misura! S l'abbiamo misurato in metri e t in secondi: perché i conti tornino bisogna che k si misuri in m/s^2 . Insomma: la costante k è in realtà un'accelerazione.

Supponiamo che il tratto percorso in un secondo sia, per esempio, di 20 cm. Possiamo allora costruire una tabella fatta così :

t (s)	0	1	2	3
S (m)	0	0,20	0,80	1,80

Da cui possiamo ricavare che il valore di k in questo esperimento è:

$$k = 0,2 \text{ m/s}^2$$

Il grafico corrispondente è mostrato in figura (► fig.6.2) :

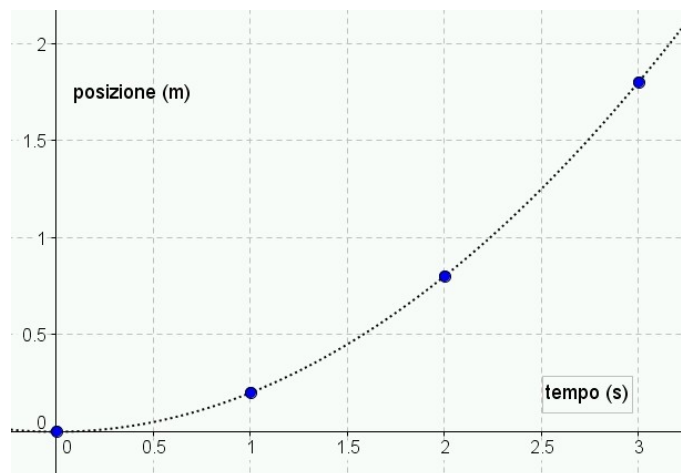


Fig.6.2 I risultati dell'esperimento di Galileo. I punti che corrispondono alle misure si dispongono lungo una parabola.