

La “caduta” dei corpi

1) Il fenomeno

Solleghiamo da terra due oggetti diversi, uno con una mano, uno con l'altra, e teniamoli fermi. Facciamo un certo sforzo muscolare, diverso per ciascun braccio. Ad un certo punto siamo stanchi, apriamo le dita e nello stesso istante lasciamo cadere i due oggetti. Che cosa succede?

Sono state date molte interessanti spiegazioni di questo fenomeno che è sotto gli occhi di tutti, e ne racconteremo qui alcune delle più importanti, di quelle cioè che hanno influenzato maggiormente la cultura occidentale.

2) L'interpretazione di Aristotele

Aristotele affermò che i corpi più pesanti, quelli per i quali il nostro sforzo muscolare è maggiore, si muovono più velocemente. Lo spazio non è vuoto, né omogeneo né isotropo e tutti i corpi tendono ad andare verso i loro «luoghi naturali» con moti, per l'appunto, «naturali» ed a rimanervi in quiete (in uno spazio vuoto non ci sarebbero luoghi naturali e quindi i moti sarebbero impossibili). I corpi non si muovono («cadono») solo verso il basso ma anche verso l'alto, se ivi è il loro luogo naturale. I corpi si muovono dunque verso un fine. Uno spostamento dalla posizione naturale costituisce un «moto violento», questo deve avere una causa ed il moto dura finché la causa è applicata al corpo: la causa agisce per contatto. Una freccia prosegue il suo moto perché l'azione dell'arco è trasmessa all'aria che continua a spingere la freccia; quando quest'azione si esaurisce la freccia tende ad andare in basso, verso il suo luogo naturale. I due moti non avvengono contemporaneamente.

Questa concezione ebbe un'enorme diffusione ed ancora oggi la maggior parte dell'umanità crede che i corpi più «pesanti» cadano più velocemente, che lo stato naturale sia la quiete, che senza una causa applicata per contatto cessa l'effetto (provate a spingere una macchina rimasta senza benzina!), che lo spazio sia sempre pieno di qualcosa.

3) I contributi medievali

Interessanti modifiche al pensiero di Aristotele furono proposte nel Medioevo: qui ne ricorderemo brevemente due.

Da una parte la teoria dell'impeto cominciò ad affermare che i corpi si possono muovere anche per cause interne e non solo per cause esterne: l'impeto, infatti, è una causa del movimento accumulata all'interno del corpo; essa fa proseguire il moto del corpo anche in assenza di cause «applicate». Da un'altra parte «il teorema della media» affermava che in un moto uniformemente accelerato lo spazio percorso è proporzionale al quadrato del tempo. Questo teorema non fu un risultato empirico, ma teorico e per parecchio tempo non fu applicato alla «caduta» dei gravi.

4) L'interpretazione di Galileo

Una concezione della «caduta» dei corpi profondamente diversa da quella di Aristotele fu quella di Galileo, uno dei fondatori della scienza occidentale moderna. Galileo è il primo scienziato moderno: descrive "come" avviene il moto dei corpi senza spiegarne il "perché", utilizza la matematica e non solo la logica, gli esperimenti e non solo le osservazioni, assume principi fondamentali da cui deduce le leggi, sostiene una nuova concezione astronomica che considera il Sole fermo e la Terra in moto, afferma l'importanza delle verità scientifiche accanto a quelle religiose. Le novità introdotte da Galileo furono ritenute pericolose dalla Chiesa, che in un drammatico processo lo condannò.

Fin da giovane Galileo cercò di capire **il moto dei corpi**, in particolare si appassionò al moto dei **pendoli**. La capacità dei pendoli di risalire quasi alla stessa altezza dalla quale erano caduti era straordinaria. La velocità acquisita dal peso durante la caduta ne permetteva la risalita. Questa grandezza sembrava più importante della traiettoria percorsa. Ma qual era la relazione tra altezza e velocità di caduta, tra corpi in quiete ed in moto?

Per risolvere il problema Galileo pensò di far scivolare dei pesi su dei **piani inclinati**: anche qui formulò l'ipotesi che l'altezza di caduta e non l'inclinazione del piano determinasse la velocità con cui il peso arriva a terra. Con studi ed esperimenti accurati, inventando un orologio ad acqua per misurare i tempi, Galileo pervenne ad una scoperta fondamentale: **la legge di caduta** dei corpi. Contro la fisica di Aristotele egli affermò qualcosa che ancora oggi non è intuitivo: se nello stesso istante lasciamo cadere dalla stessa altezza due corpi di peso diverso, questi toccheranno terra contemporaneamente.

Via via altri elementi della fisica tradizionale erano messi in discussione. Per mantenere dei corpi in movimento è sempre necessaria una forza applicata come sosteneva Aristotele? Galileo propose una nuova interpretazione e presentò una prima formulazione del **principio d'inerzia**: le forze non mantengono i corpi in moto ma modificano lo stato di quiete o di moto dei corpi; i corpi possono essere in moto (rettilineo uniforme) anche senza che ci siano forze in azione. Oramai lo "stato naturale" dei corpi non è più la quiete ma il moto: s'introduce così una visione della natura tipica del mondo moderno.

Un ulteriore risultato fu forse stimolato da un'applicazione militare: qual era la **traiettoria dei proiettili** sparati da un cannone? Componendo il moto orizzontale (legge d'inerzia) con quello verticale (legge di caduta), Galileo ottenne una parabola e risolse il problema.

Infine nei libri della maturità, i *Dialoghi* ed i *Discorsi*, i risultati precedenti sono utilizzati per un nuovo e ancor più straordinario sviluppo. Le osservazioni e gli esperimenti eseguiti all'interno di una cabina di un'imbarcazione in moto rettilineo uniforme danno gli stessi risultati di quelli eseguiti sulla terra. Se la cabina non ha oblò come faccio a sapere se sono in mare o a terra? Nasce così " il **principio di relatività**, un contributo fondamentale anche alla fisica contemporanea.

5) L'interpretazione di Newton

Nel 1642, nello stesso anno in cui muore Galileo, nasce in Inghilterra Isaac **Newton**, uno scienziato la cui fama sarà almeno uguale a quella del grande italiano. Newton dà un gran contributo sia alla **Meccanica** sia all'**Ottica** e dà origine a due diverse tradizioni scientifiche: una maggiormente matematizzata (meccanica razionale, astronomia, idrodinamica) ed una prevalentemente sperimentale (ottica, elettricità, magnetismo, termologia).

In meccanica Newton riprende i problemi studiati da Galileo, e li affronta in una nuova prospettiva: non vuole solo descrivere i moti ma vuole studiare le cause di questi stessi moti. Particolare attenzione è quindi dedicata allo studio delle forze che modificano lo stato di quiete o di moto dei corpi. Per Newton tutte le traiettorie sono il risultato di due forze contrapposte: la *vis insita* che tende a conservare lo stato di moto di un corpo e la *vis impressa* che tende invece a modificarlo.

Newton accetta da Galileo il principio d'inerzia (primo assioma) e quindi l'idea che lo stato naturale dei corpi sia il moto (e non la quiete come sosteneva Aristotele): i corpi possono essere in moto anche senza che su di essi agiscano delle forze. Entra a far parte della meccanica newtoniana anche un altro contributo di Galileo, strettamente legato al principio d'inerzia: il principio di relatività.

La concezione dello spazio e del tempo è invece nuova. Da un'approfondita analisi del principio di inerzia deriva infatti, paradossalmente, un'esigenza che contrasta con il principio di relatività: quella di avere un riferimento privilegiato. Newton assume che lo spazio ed il tempo siano assoluti, immutabili, eterni, infiniti, indipendenti da ogni oggetto materiale.

Il secondo assioma di Newton ci fornisce una definizione del concetto di forza: in questa nuova concezione le forze non sono più legate alla velocità dei corpi (come in Aristotele) ma alla variazione della velocità, cioè all'accelerazione.

Proseguendo nella sua geniale costruzione Newton propone un modello fisico per le forze, in particolare per quelle gravitazionali: elaborando le leggi di Keplero perviene alla legge della gravitazione universale, che unifica la spiegazione del moto dei corpi celesti e della caduta dei gravi sulla Terra.

Ora la legge di caduta di Galileo è inquadrata in un contesto più ampio: tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione perché subiscono due effetti contrapposti che si compensano. Da una parte c'è la forza di gravità, che è proporzionale alla massa (gravitazionale) del corpo, dall'altra la forza di inerzia che pure è proporzionale alla massa (inerziale) del corpo. La massa inerziale e quella gravitazionale sono uguali e quindi i corpi pesanti se da una parte sono attirati maggiormente dalla Terra, dall'altra resistono anche maggiormente a modificare il proprio stato.

E' interessante notare che la teoria di Newton consente di costruire nuovi apparecchi per la verifica della legge di caduta: al piano inclinato si affianca la bilancia di Atwood, basata appunto sulla distinzione tra massa inerziale e massa gravitazionale.

Il moto dei satelliti offre un'illustrazione delle idee di Newton: la traiettoria della luna è vista come una perenne caduta verso la Terra, associata ad una forza

inerziale tangenziale. Nell'ambito delle proprie concezioni Newton riuscì anche ad ipotizzare la messa in orbita di satelliti artificiali.

Un terzo assioma fondamentale della teoria di Newton il principio di azione e reazione, un ulteriore pilastro della concezione meccanica. La teoria di Newton è molto sofisticata e piena di ipotesi. Come dobbiamo allora interpretare la sua famosa affermazione: "Hypotheses non fingo" (non formulo ipotesi)?

6) Le critiche di Mach

La soluzione Newtoniana dei problemi della meccanica è universalmente ritenuta una delle sintesi più geniali prodotte dal pensiero umano: per due secoli essa ha dominato incontrastata in fisica ed ha fornito un modello di scientificità a molte altre scienze, nonché uno spunto a nuove concezioni filosofiche. Le prime profonde critiche sono venute alla fine dell'Ottocento e riguardavano l'idea di spazio assoluto. Mach nella sua discussione dell'esperienza del secchio proposta da Newton sottolinea la priorità dei moti relativi e propone che l'inerzia, come la gravitazione, deve essere messa in relazione con le masse distanti. Queste critiche ebbero una profonda influenza sul pensiero di Einstein.

7) Il principio di equivalenza di Einstein

Con la teoria della relatività speciale di Einstein del 1905 l'elettromagnetismo di Maxwell è messo alla base della fisica e la meccanica di Newton è modificata. Numerose sono state negli anni le predizioni della teoria che si sono rivelate esatte. In particolare la relazione che stabilisce l'equivalenza tra massa ed energia è diventata un simbolo della nostra epoca. Ma questa legge pone un serio problema allo stesso Einstein: se l'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia, per dei corpi in moto viene a cadere l'uguaglianza tra massa inerziale e gravitazionale e questo è in contrasto con la legge della caduta dei gravi. Una soluzione s'impone ed Einstein sulla base delle esperienze di Eotvos decide di riaffermare l'identità di massa inerziale e gravitazionale a livello di principio. Un brillante esperimento mentale lo porta ad affermare nel 1907 il principio di equivalenza: le esperienze fatte in una cabina chiusa non ci possono far capire se siamo in un sistema inerziale sottoposto a un campo gravitazionale oppure in un sistema non inerziale. Il principio di equivalenza ci porta a riconsiderare il concetto di tempo e di spazio: oramai lo scorrere dei tempi e la misura delle lunghezze dipende non solo dal moto come nella relatività speciale, ma anche dalla posizione relativa dei corpi.

Nel 1916 Einstein pubblica la Teoria Generale della relatività ove si afferma questa nuova concezione dello spazio e del tempo: non più assoluti come nella meccanica newtoniana, ma relazionali, cioè legati alla presenza dei corpi. Anche la geometria che descrive il mondo fisico è cambiata: Einstein adotta una geometria non euclidea, più adatta a descrivere uno spazio-tempo che si "incurva" in presenza di grandi masse. Non ci sono più forze che fanno deviare i corpi dalle loro traiettorie rettilinee inerziali, ma curvature dello spazio tempo che dipendono dalle masse. La «caduta» dei corpi assume un nuovo significato.

Le teoria di Einstein ebbe subito gran successo per la sua grande bellezza ed eleganza formale, anche se le corroborazioni sperimentali all'inizio non furono particolarmente numerose: tra queste ricordiamo l'incurvamento dei raggi di luce nelle vicinanze del sole.

8) Oramai possiamo considerare la comune traiettoria di una freccia, proiettile, satellite, raggio di luce da quattro punti di vista diversi.