

## La “forza” e il sorgere delle meccanica classica

da M. Jammer, *Storia del concetto di forza nella fisica classica e moderna* (1960), tr. Milano Feltrinelli 1980, pp. 116-128

Benché Descartes [cioè Cartesio] facesse riferimento, soprattutto nei suoi primi scritti, a forze di attrazione esercitate dalla Terra su oggetti cadenti, e spiegasse il moto accelerato di tali oggetti mediante l'azione cumulativa della forza, piú tardi concepì la “forza” semplicemente in termini di apparenza fittizia. L'assoluta dicotomia dell'esistente in pura materia e puro spirito, da lui sostenuta, gli pareva incompatibile con l'assunzione di forze nella materia o esercitate dalla materia stessa, in quanto le forze, ai suoi occhi, erano ancora nozioni di tipo pressoché psichico. La materia doveva essere spogliata di ogni costituente spirituale, di tutte le forme o le tendenze innate. Solo l'estensione e l'eterno movimento erano sue caratteristiche. Per conseguenza, nella lettera a Mersenne del 13 novembre 1629 egli discute la caduta libera senza alcun riferimento a forze di tipo attrattivo. Nel tentativo di eliminare il concetto di forza dal suo sistema, egli utilizza in quest'occasione il concetto medievale di *impetus*, ma piú tardi ricorrerà alla teoria dei vortici: vortici che, per lui, avevano un carattere puramente cinematico. L'accumularsi di esperienze con forze diverse dalla gravità e la sempre crescente massa d'informazioni concernenti la pneumatica e l'idrostatica, in cui comparivano forze che contrastavano l'inerzia mentre la gravità era del tutto irrilevante, spinsero il concetto d'inerzia in primo piano nelle considerazioni teoriche di Cartesio, di Pierre Gassendi e di Giovanni Battista Baliani. Sul terreno del principio d'inerzia Cartesio pensava che fosse possibile eliminare la forza in quanto concetto fisico isolato. Egli sosteneva che tutti i fenomeni fisici dovevano essere dedotti da due sole assunzioni fondamentali di tipo cinematico: la legge della conservazione della quantità di moto - che per lui non era un corollario del principio d'inerzia, ma il suo reale contenuto fisico - e la sua teoria dei vortici d'etere ruotanti. In effetti, rifiutando ogni possibilità d'azione a distanza, Descartes costruì la teoria dei vortici per render ragione dei lontani moti celesti. Egli sosteneva che assumere una qualche azione a distanza per spiegare questi moti equivaleva ad attribuire a particelle materiali una forma di conoscenza e a renderle effettivamente divine "quasi che esse potessero esser coscienti, senza intermediazione, di quanto accade in luoghi molto lontani da esse".

Il concetto di forza non trovava posto nella fisica di Descartes, che doveva servirsi unicamente di concezioni matematiche. «Io non accetto - scriveva nei *Principia philosophiae* - né desidero che si abbiano in fisica principi diversi da quelli che si hanno in geometria o nella matematica astratta, in quanto tutti i fenomeni della natura possono essere spiegati per loro mezzo, e di essi si può dare una dimostrazione certa".

La geometrizzazione della fisica: questo era il programma di Descartes ancor prima che nascesse la meccanica classica. Si trattava di un programma troppo audace e troppo difficile, anche per un gigante intellettuale come Descartes. Già all'inizio egli dovette aggiungere al proprio vocabolario matematico il concetto di estensione impenetrabile (della materia solida), la cui natura, come concetto matematico, è tra le piú discutibili. Inoltre la teoria dei vortici, che per Descartes era un sistema di proposizioni essenzialmente cinematiche, implicava concetti quali quello di pressione e altre nozioni simili che erano concetti dinamici camuffati.

Come spiegava, allora, Descartes il fenomeno della gravità?

Ma ora desidero che tu prenda in considerazione che cosa sia la gravità di questa Terra, vale a dire la forza che unisce tutte le sue parti e che le fa tendere verso il suo centro, ciascuna di esse in modo maggiore o minore a seconda che siano piú o meno grandi e solide; il che non è altro, e non consiste in altro, se non che le parti del piccolo cielo che la circonda, ruotando molto piú rapidamente di quanto non facciano, attorno al suo centro, quelle che le appartengono, tendono ad allontanarsi da essa con molto maggior forza, e di conseguenza le spingono in basso.

Descartes tenta di dimostrare che le particelle di maggior volume, costituenti il vortice nel cui centro è situata la terra, si muovono costantemente verso la circonferenza del vortice stesso grazie alla loro maggiore corposità; la materia terrestre, aggrumata in grandi masse informi, non può cedere alla pressione esterna con la stessa facilità di questa sostanza eterea; quest'ultima, tuttavia, non può raggiungere le regioni esterne del vortice a meno che altre particelle non vengano spostate verso il basso ' scambiando così il loro posto con quelle. In altre parole, la gravità non è altro che il moto verso il basso della materia terrestre, nient'altro, cioè, che una turbolenza antiperistatica nel pieno. I corpi terrestri sono compressi verso il centro del vortice, e cioè verso la terra, dagli elementi eterei e galleggianti del vortice. Pertanto la gravità non è una tendenza insita nella materia ma una repulsione, una reazione esercitata dalle particelle d'etere che si allontanano dal centro del vortice. Una pietra cade sulla Terra perché deve lasciar spazio alle particelle eteree che, grazie al loro moto circolare, si allontanano dalla superficie della Terra. Se questa materia eterea dotata di un veloce movimento rotatorio non circondasse la Terra, oppure se si supponesse che la Terra si trova nel vuoto, allora tutti i corpi che non sono saldamente legati al suolo verrebbero scagliati lontano in conseguenza del moto circolare cui sono costantemente soggetti. In tal caso i corpi terrestri apparirebbero leggeri e non certo pesanti. Ciò che costringe i corpi terrestri a rimanere sulla superficie della Terra è il gran numero di particelle d'etere, in modo molto simile a quanto accade in un esperimento che Descartes cita in una lettera a Mersenne e nel quale dei pezzetti di piombo sospingono frammenti di legno verso il centro di un recipiente sferico che venga fatto ruotare rapidamente.

Molto piú noto è l'esperimento seguente, cui si ricorre molto spesso nelle lezioni per dimostrare la forza centrifuga.

Due cilindri di vetro, ciascuno dei quali contiene dell'acqua e una pallina di legno B, vengono collegati a un comune asse di rotazione A in modo da formare un piccolo angolo rispetto all'orizzontale. Quando il sistema è in quiete le palline di legno

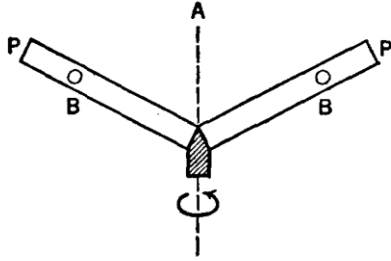


Fig. 2. Un esperimento che dimostra la teoria dei vortici di Cartesio concernente la gravità.

occupano nei cilindri le posizioni più alte possibili, P; ma quando il sistema ruota con una certa velocità angolare, le palline vengono spinte verso il centro (e cioè verso l'asse di rotazione). All'interno dei cilindri di vetro ruotanti l'acqua corrisponde al mezzo vorticoso, costituito da particelle d'etere, di Cartesio, e le palline di legno corrispondono agli oggetti terrestri. (Naturalmente l'impulso centripeto che ne risulta, se

viene espresso nei termini moderni della meccanica classica, è un effetto di spinta statica in un mezzo soggetto a un campo di forze inerziali radiali, vale a dire la cosiddetta forza centrifuga).

Benché la teoria cartesiana della gravitazione costituisse forse il primo schema concettuale che unisse la gravitazione terrestre al moto cosmico dei pianeti mobili nel loro vortice solare, essa non godette, per lo meno al di fuori della Francia, di un'accoglienza molto favorevole. Anche se la fisica cartesiana veniva salutata come una geniale costruzione del pensiero, la teoria della gravitazione era considerata il suo punto più debole dagli stessi seguaci di Cartesio ancor prima dell'avvento della teoria di Newton. Eppure la teoria newtoniana della gravità intesa in termini di azione a distanza non riuscì a sostituire facilmente le concezioni cartesiane. Ancora nel 1730, quando l'Accademia francese delle scienze propose un problema sulla causa dell'ellitticità delle orbite planetarie, Giovanni Bernoulli inviò una soluzione che si basava interamente sulla concezione cartesiana dei vortici. In essa non si discuteva delle forze perché, secondo Bernoulli, l'approccio cartesiano spiegava la natura del peso assai meglio di quanto non facesse la virtù attrattiva di Newton. *"Les tourbillons se présentent si naturellement à l'esprit - affermava Bernoulli - qu'on ne sauroit presque se dispenser de les admettre"*. Benché si facessero molti tentativi per eliminare talune insufficienze della teoria dei vortici, come ad esempio quelli di Pierre Varignon o di Joseph Saurin, il quale aveva tentato di invalidare le obiezioni sollevate da Huygens (secondo cui, sul terreno della teoria dei vortici, il moto gravitazionale, e cioè l'impulso centripeto, avrebbe dovuto essere diretto verso l'asse del vortice e non verso il suo centro, mentre il mezzo vorticoso avrebbe dovuto avere una densità assai maggiore di quella di una qualsiasi sostanza terrestre), la dottrina di Cartesio era considerata alla stregua di una teoria *ad hoc* che, contrariamente a quanto in essa si dichiarava, doveva contrabbandare il concetto di forza sotto l'etichetta della pressione, o comunque sotto altra forma.

Durante la prima metà del Seicento molti astronomi credevano ancora, in accordo con le prime ipotesi di Keplero, a una forza rotazionale di natura magnetica esercitata dal corpo centrale ruotante, e tale da trascinare pianeti e satelliti nelle loro orbite.

Tuttavia, verso la metà del secolo, si accettava in generale l'esistenza di una qualche forza di tipo centrale, diretta dal Sole ai pianeti. Ma, come sempre accade in campo scientifico, la soluzione di una questione sollevava un nuovo problema: Perché i pianeti, sotto l'azione di questa forza centrale, non cadono sul Sole? Furono proposte diverse soluzioni. Nell'opera intitolata *Theoricæ Mediceorum Planetarum ex causis physicis deductæ* e basata su osservazioni, condotte per un certo numero di anni, relative ai satelliti di Giove, Giovanni Alfonso Borelli concepì le orbite planetarie come posizioni d'equilibrio tra forze opposte, parlando, in termini abbastanza vaghi, di legami materiali che connettono il pianeta al suo corso centrale, di correnti eteree che trasportano il pianeta attorno al Sole e di una tendenza naturale dei pianeti ad avvicinarsi a quest'ultimo, contrastati da una certa propensione dei pianeti a raggiungere la circonferenza del sistema planetario. A volte i legami materiali che connettono il pianeta al Sole vengono descritti come se si trattasse di forze magnetiche di intensità costante. Il moto progressivo - oggi diremmo tangenziale - lungo l'orbita è tuttavia spiegato mediante una forza motrice interna al pianeta e tale da decrescere di intensità al crescere della distanza dal Sole. Ovviamente l'assunzione di una forza "interna" al corpo mobile e ciò nondimeno correlata alla distanza dal centro costituisce, se non un'incoerenza logica, un elemento di seria debolezza concettuale della spiegazione di Borelli, anche nel caso che questa correlazione sia concepita come accidentale. Borelli dimostra che se un pianeta si muove su una traiettoria troppo lontana dal Sole, il pianeta dovrà allora avvicinarsi a quest'ultimo in quanto il suo moto progressivo, assai piccolo a tale distanza, meno resiste alla tendenza all'avvicinamento. Se poi il pianeta giunge troppo vicino al Sole, questo moto vince la tendenza centripeta e il pianeta riprende ad allontanarsi dal Sole. Non disponendo del necessario apparato matematico, Borelli non poté dimostrare che le orbite planetarie che ne risultavano avevano la forma di ellissi. E infatti la maggior parte delle sue considerazioni era unicamente di carattere qualitativo. Ciò nondimeno il suo lavoro sui satelliti di Giove contribuì in modo decisivo all'abbandono delle forze magnetiche rotazionali come cause dei moti planetari e pose le fondamenta per le future teorie gravitazionali. Ma la formula matematica dell'impulso centrifugo come funzione della velocità orbitale non era ancora stata trovata.