

Capitolo 1

La *fisica* di Aristotele

Quando ci si pone il problema di analizzare storicamente quella profonda rivoluzione culturale che prende l'avvio tra il Cinquecento e il Seicento e che vede nella graduale affermazione del sistema eliocentrico copernicano e nello sviluppo del metodo scientifico galileiano i due punti di partenza da cui ha inizio lo sviluppo successivo del pensiero moderno, una breve riflessione sui principi fondamentali espressi nella fisica di Aristotele è una premessa assolutamente indispensabile.

E' utile, inoltre, ricordare come proprio la figura di Aristotele e la sua opera, considerata per tutto il tardo Medioevo un vertice assoluto ed indiscutibile di perfezione filosofica sia in campo cosmologico come nell'interpretazione dei fenomeni naturali, abbia dato origine ad un malinteso principio di autorità in virtù del quale ogni tentativo di criticare gli assunti aristotelici era a priori destinato ad una violenta opposizione culturale, volutamente preconcepita e colpevolmente illogica.

Nell'analisi che segue, condividendo la posizione più volte espressa dallo stesso Galileo, si considera doveroso separare l'opera di Aristotele, che rappresenta di fatto uno dei punti più alti raggiunti dal pensiero filosofico occidentale, dall'operato dei suoi seguaci, gli Aristotelici, i quali intralceranno non poco lo sviluppo della scienza moderna con il loro atteggiamento dogmatico, contraddistinto dal rifiuto di ogni tentativo di dialogo e dalla incapacità di aprirsi ai nuovi orizzonti di pensiero che si andavano prefigurando.

I punti salienti della fisica aristotelica possono essere riassunti come segue:

1. *Netta separazione tra il mondo celeste e quello sublunare (o terrestre)*. Questa impostazione filosofica è ripresa da Platone e sottolinea come per Aristotele sia assolutamente necessario individuare due insiemi diversi di leggi per interpretare i fenomeni celesti e quelli terrestri. Le leggi che valgono sulla Terra non valgono per le sfere celesti.
2. *Identificazione del mondo celeste come il luogo della perfezione*. Le sfere cristalline omocentriche che consentono il moto dei pianeti sono costituite da materiale trasparente, perfettamente liscio e senza imperfezioni, e si muovono di moto circolare uniforme. La sfera e la circonferenza non a caso sono i paradigmi della perfezione desunti dalla tradizione platonica: il moto circolare, non avendo punto d'inizio o di fine, è di conseguenza il moto perfetto ed eterno.

L'elemento che riempie di sé l'intero Universo è *l'etere*, impalpabile, trasparente, incorrotto ed incorruttibile, la cui onnipresenza *rende impossibile l'esistenza del vuoto*. La perfezione delle sfere celesti richiede che tutto sia immutabile ed eterno. Fenomeni mutevoli come le comete e i fulmini sono localizzati nel mondo sublunare. Il moto delle sfere celesti, circolare e uniforme, avviene per trasmissione del movimento primario che l'Ente Supremo, il Motore Immobile, comunica alla sfera più esterna, quella delle stelle fisse. Il Motore Immobile è identificato da Aristotele con la divinità. Egli reputa che gli antichi abbiano raccontato miti sugli dei, rappresentandoli in maniera antropomorfa, ma un merito di questi antichi miti è di aver intuito che le sostanze divine devono essere cercate nei Cieli. Esse sono molteplici, ma al di sopra di esse si colloca la divinità primaria, che Aristotele fa coincidere con il Motore Immobile.

3. *Convinzione che il mondo sublunare sia invece imperfetto, mutevole, mortale*. Le leggi che regolano i fenomeni terrestri sono diverse da quelle del mondo celeste. Gli elementi costitutivi della materia terrestre sono ancora quelli empedoclei: l'aria, il fuoco, la terra, l'acqua. Ciascuno di essi è caratterizzato dal possesso di due delle quattro qualità base: secco e umido, caldo e freddo. La terra, per esempio, è fredda e secca, mentre il fuoco è caldo e secco.

Gli elementi sono suscettibili di trasformarsi l'uno nell'altro, per esempio attraverso processi di evaporazione o di congelamento; mediante questi processi possono essere spiegati i vari fenomeni meteorologici. La tendenza al disordine del mondo sublunare è indotta dal moto circolare del cielo della Luna che trascina gli elementi terrestri producendone il rimescolamento (ne sono conseguenza le esalazioni dalla sfera del fuoco con cui vengono spiegati fenomeni astronomici come le comete, i meteoriti e la stessa Via Lattea). Il moto naturale nel mondo sublunare è il moto rettilineo.

4. *Interpretazione dei moti naturali con il "finalismo"*. Aristotele tratta il problema del movimento dando una descrizione qualitativa di questo fenomeno: egli implicitamente respinge la possibilità di fornirne una trattazione quantitativa e matematica coerentemente con l'idea che il numero, discreto per sua natura, non possa descrivere un fenomeno come il moto che riguarda le grandezze continue di spazio e tempo.

Secondo Aristotele i moti si dividono in *violenti* (o artificiali) e *naturali*. A loro volta i moti naturali sono di due tipi: quelli circolari (che sono propri delle sfere celesti), e quelli rettilinei (tipici del mondo sublunare). Il fuoco e l'aria, essendo elementi leggeri, tendono sempre a muoversi verso l'alto (i Cieli); la terra e l'acqua, pesanti, si dirigono invece verso il basso (la Terra). L'idea di base è che il moto naturale è una tendenza di ogni corpo ad assumere "la posizione che gli compete", il suo luogo naturale, e quindi a realizzare in atto ciò che esso è in potenza. Si tratta di una spiegazione teleologica, che analizza il moto in base ad un fine prestabilito, non alle sue cause (è il famoso *finalismo* di Aristotele). I corpi pesanti, lasciati a loro stessi, cadono verso la Terra perché composti di terra ed acqua che, per loro natura, tendono verso il basso, che è la posizione "che loro compete", quindi il loro luogo naturale. Per l'aria e il fuoco, invece, il luogo naturale è il Cielo.

Una delle conseguenze più significative di questa concezione aristotelica è il geocentrismo: la Terra, in quanto corpo più pesante di tutti gli altri, deve occupare necessariamente il centro dell'Universo

5. *Interpretazione dei moti artificiali o violenti*. Per quanto riguarda invece i moti artificiali, per risolvere il problema del perché un corpo messo in moto (ad es. una freccia scagliata dall'arco) continui a muoversi anche quando non è più soggetto ad una forza (quella impressa dalla corda tesa dell'arco), Aristotele sostiene che chi spinge il corpo è l'aria che lo circonda, la quale tende a richiudersi dietro il corpo in moto sospingendolo in avanti (anche se con una forza sempre minore, che va sempre più diminuendo).

Questa interpretazione è strettamente legata all'idea che non possa esistere il vuoto: la natura ha "orrore del vuoto" (*horror vacui*) al punto tale che, quando si presentano le condizioni perché questo si possa realizzare, come nel caso della freccia che attraversando l'aria darebbe l'idea di lasciare dietro sé uno spazio momentaneamente vuoto, subito la Natura stessa provvede ad evitare che ciò succeda. L'aria si sposta velocemente nello spazio lasciato libero dalla freccia e nel fare ciò, come già osservato in precedenza, oltre ad evitare la formazione del vuoto, causa la prosecuzione del movimento stesso dell'oggetto.

Questa teoria consente di spiegare perché una pietra lanciata verso l'alto tende a cadere in basso. Infatti, il lancio di una pietra verso l'alto è un moto contro natura e pertanto violento, perché costringe un corpo ad allontanarsi dal suo luogo naturale. Tale oggetto può conservare temporaneamente il

moto che gli è stato impresso grazie al sostegno del mezzo in cui si muove, in questo caso dell'aria; se ci fosse invece il vuoto, ciò non sarebbe più possibile.

6. *L'horror vacui*. L'esistenza del vuoto è assolutamente inconcepibile perchè impedirebbe il movimento. E' una affermazione, questa, in radicale polemica con la fisica atomista e meccanicista di Democrito, che invece vedeva il mondo come composto da atomi vaganti nel vuoto infinito (e che pare avesse anche intuito anche il principio di inerzia). Anche il moto naturale degli astri e delle sfere celesti viene concepito da Aristotele come un qualcosa che non può avvenire nel vuoto, ma solo nell'etere.

Una delle motivazioni che sostengono questa ipotesi è quella secondo la quale, in uno spazio vuoto, non vi sarebbe nulla ad offrire resistenza al moto degli oggetti; quindi non ci sarebbero differenze di velocità tra corpi pesanti e corpi leggeri, cosa che, secondo Aristotele, contravviene chiaramente quanto si osserva, e cioè che il sasso cade più velocemente della piuma (in questo caso Aristotele dimostra di non considerare gli effetti introdotti dalla resistenza dall'aria). Per questo motivo, senza incontrare nessuna resistenza, si arriverebbe al paradosso che ogni oggetto sottoposto agli effetti di una forza per un periodo sufficientemente lungo potrebbe facilmente raggiungere una velocità infinita che lo renderebbe presente contemporaneamente in più punti dell'Universo.

L'ipotesi dell'impossibilità del vuoto attribuisce allo spazio una chiara fisicità materiale. Lo spazio esiste in quanto "contiene" la materia, ne è in qualche modo il limite esterno, il contenitore; dove finisce la materia finisce anche lo spazio, o meglio, dove non c'è materia (e quindi c'è il vuoto) non può esserci nemmeno lo spazio.

L'horror vacui ha, tra l'altro, delle apparenti giustificazioni empiriche proprio in alcuni aspetti della vita di tutti i giorni, quali, ad esempio, l'esperimento che mostra come praticando un foro in un recipiente pieno d'acqua, l'acqua non scenda se tentiamo di versarla; vi riusciamo invece se praticiamo due fori da parti opposte del contenitore permettendo all'aria di entrare al posto del liquido versato.

E' chiaro che in esempi come questo Aristotele non tiene conto del ruolo giocato dalla pressione dell'aria (al tempo completamente sconosciuta). E ancora: tutti sanno che se l'acqua contenuta in una bottiglia diventa ghiaccio l'aumento di volume che ne consegue causa la rottura del vetro. Per gli antichi, invece, il volume del ghiaccio è minore di quello dell'acqua. La rottura del vetro della bottiglia è spiegato ancora con la teoria dell'*horror vacui*: ritirandosi all'interno della bottiglia, l'acqua diventata solida lascerebbe degli spazi "vuoti" e poiché questo non è possibile ecco che l'aria dall'esterno preme fino a rompere il vetro, evitando così la formazione del vuoto ...

In definitiva, affermare l'esistenza del vuoto, dice Aristotele, significherebbe ammettere l'infinità dello spazio (perché, lo ricordiamo, dove finisce la materia c'è il vuoto, quindi al di là di esso si può incontrare dell'altra materia seguita da altro vuoto, senza alcun limite). Ammettere poi l'infinità dello spazio significa negare l'esistenza di un suo centro; tutti i punti potrebbero essere infatti il centro perché tutti avrebbero la stessa distanza (infinita) dagli estremi. Verrebbe quindi tolta alla Terra la sua funzione esclusiva di centro dell'Universo e questa conclusione, secondo Aristotele, sarebbe completamente assurda.

7. *Interpretazione (errata) del concetto di forza.* Per il filosofo la forza è la vera *causa del moto*. A questa conclusione Aristotele giunge osservando come ogni cosa cessi il movimento quando la forza che sostiene l'oggetto viene meno (la barca si ferma quando cessa l'azione del vento ...). La sua analisi, come anticipato in precedenza, non giunge ad intuire l'importanza del ruolo svolto dagli attriti i quali, essendo delle forze come le altre, sono gli unici responsabili dell'interruzione del moto al venire meno della forza iniziale (nel caso della barca, quindi, è la forza d'attrito dell'acqua a fermarne il movimento quando il vento cessa la sua azione...).

Abbiamo poi già visto come, nel caso dei moti in caduta libera, venga fornita una interpretazione che lega la velocità di caduta alla quantità di materia: l'oggetto che ha più materia (peso maggiore) cerca di ritornare più velocemente al suo luogo naturale, la Terra. Aristotele mette quindi in relazione, erroneamente, *la forza con la velocità* (e non con l'accelerazione, come intuirà molto più tardi Newton) arrivando alla conclusione (errata e smentita da Galileo) che gli oggetti più pesanti cadono più velocemente.

Si noti come la forza aristotelica ha le caratteristiche di un ente che agisce solo tramite il contatto fisico con i corpi: quando viene meno l'interazione tra vento e barca, tra la corda tesa dell'arco e la freccia, tra l'aria che riempie i vuoti lasciati della freccia (e nel far ciò la spinge in avanti) e la freccia stessa, il moto cessa. Per il grande filosofo non esistono *forze a distanza*, ma solo *forze a contatto* (ciò sarà problematico quando Newton spiegherà i moti dei pianeti attraverso gli effetti della forza gravitazionale: come può la Terra attirare la Luna se non c'è contatto tra i due corpi ??).

8. *Negazione del moto di rotazione della Terra.* Se la Terra ruotasse, afferma Aristotele, tutti gli oggetti in aria, le nuvole e gli uccelli e gli stessi corpi che lanciamo verso l'alto, dovrebbero spostarsi in verso opposto alla rotazione della Terra. Ma ciò non accade. Inoltre, un corpo lanciato in aria non dovrebbe ricadere nel punto di partenza ma, a causa del moto di rotazione terrestre, in un punto diverso da quello di partenza e posto più ad est. E anche questo sembra non accadere ... (in realtà il fenomeno esiste, ma è di entità così piccola che risultava impossibile metterlo in evidenza con la strumentazione del tempo)

9. *Affermazione della finitezza dell'Universo.* Il mondo, però, se è vero che è eterno, ossia non ha né inizio né fine, non è infinito spazialmente poiché in uno spazio infinito non potrebbe esservi centro; né i mondi sono molteplici o addirittura infiniti, come avevano supposto Democrito e gli atomisti. Per dimostrare l'unicità del mondo, Aristotele fa uso di una dimostrazione per assurdo: se esistesse un ipotetico secondo mondo, esso sarebbe costituito dagli stessi elementi costitutivi del nostro; ma in base alla dottrina dei luoghi naturali, ciascun elemento tenderebbe ad esso e quindi la Terra di questo secondo Universo tenderebbe a ricongiungersi con la Terra del nostro Universo e così tutti gli altri elementi; pertanto, l'Universo non può che essere unico. In questo senso, il carattere finito dell'Universo è il contrassegno inequivocabile della sua perfezione.

Queste concezioni, ben radicate nella cultura degli intellettuali fino al periodo rinascimentale, ne costituivano il preciso orizzonte filosofico e ne rappresentavano i fondamenti certi ed indubitabili. Contro di esse dovrà combattere a fondo Galileo per poter fondare le teorie che ancora oggi sono alla base della fisica e della scienza moderna.