

MARCO DE PAOLI, **Theoria Motus. Dalla storia della scienza alla scienza** (Nuova edizione rinnovata e ampliata), Milano, FrancoAngeli, 2010 (1<sup>a</sup> ed. 2004), pp. 243.

Il volume raccoglie una serie di saggi, dei quali alcuni inediti, dedicati principalmente a illustrare i termini concettuali e i dibattiti che si svilupparono attorno ai problemi scientifici fondamentali dello studio del moto dei corpi e dei pianeti e a evidenziare le profonde interazioni che su questi temi si ebbero fra modelli metafisici e teorie scientifiche moderne e contemporanee.

Il primo e più corposo saggio è dedicato ad analizzare le teorie del moto di Galileo e la loro genesi, mettendo in rilievo, per un verso, la loro continuità rispetto alla tradizione della fisica aristotelica e, per l'altro, a porre in evidenza i limiti di applicabilità, riconosciuti dallo stesso scienziato pisano, della teoria della relatività.

Al fine di mostrare come la scienza aristotelica abbia profondamente permeato con i propri concetti la nuova scienza galileiana, si ripercorrono le teorie del moto da Aristotele a Galileo, sottolineando, per esempio, che, delineando il principio d'inerzia, lo scienziato pisano riprese in positivo la tesi dello stagirita, il quale, illustrando le conseguenze assurde che avrebbe portato l'ammissione dell'esistenza del vuoto, affermò che in esso i corpi avrebbero mantenuto eternamente lo stato di quiete o di moto in cui si trovavano. Il moto di

Copyright © FrancoAngeli

N.B: Copia ad uso personale. È vietata la riproduzione (totale o parziale) dell'opera con qualsiasi mezzo effettuata e la sua messa a disposizione di terzi, sia in forma gratuita sia a pagamento.

un corpo era prodotto da un motore per Aristotele e continuava anche dopo che si era staccato da esso grazie all'azione dell'aria. Questa teoria venne confutata e modificata da Giovanni Filopono, per il quale il motore trasmetteva al corpo una «forza impressa», che andava consumandosi lungo la traiettoria del proiettile, mentre Buridano introdusse il concetto di *impetus*, che veniva infuso nel corpo lanciato e che non era autodissipativo, ma che si consumava a causa della resistenza dell'aria e del peso dell'oggetto, che tendeva a riportarlo al suo luogo naturale, che era la terra. Non essendo autodissipativo l'*impetus*, in assenza di resistenze, continuava a mantenere il movimento dei corpi. Questo era, per esempio, il caso dei pianeti, il cui *impetus* era stato impresso da Dio e il cui moto circolare continuava all'infinito. Tale concezione del moto e della quiete era molto simile al principio d'inerzia, successivamente enunciato da Galileo, per cui, sempre secondo l'autore, tale principio appare frutto di una lunga elaborazione, in continuità e non in opposizione alla scienza aristotelica.

Sia Aristotele che gli autori medioevali colsero l'accelerazione del moto di caduta dei gravi, senza giungere però mai a una sua quantificazione matematica, che venne invece operata da Galileo che, anche in questo caso, non avrebbe spiegato *ex-novo* un fenomeno, ma sarebbe giunto a un fondamentale momento di sintesi di un lungo dibattito. Muovendosi su un terreno ideale, Galileo elaborò la legge di caduta dei gravi nel vuoto (per l'autore anch'essa già adombrata da Aristotele, dagli epicurei e da diversi autori medioevali), sottolineando che la loro velocità di caduta era indipendente dal loro peso. Al contrario, nell'atmosfera i corpi più pesanti giungevano a terra leggermente prima degli altri, in quanto vincevano meglio la resistenza dell'aria.

Una questione variamente trattata, da Aristotele a Galileo, fu quella della traiettoria di caduta dei gravi. Per Aristotele e molti aristotelici la caduta perpendicolare dei corpi dimostrava l'immobilità della terra, a differenza di quello che avrebbe poi evidenziato Galileo con il principio di relatività, che era stato anch'esso adombrato da molti altri autori, da Zenone a Lucrezio, da Virgilio a Cusano, da Giordano Bruno a Copernico a un trattato cinese della dinastia Han del I secolo a. C., che avevano sostenuto o ipotizzato il movimento della terra.

Galileo poneva però un limite al principio di relatività e sottolineava che il caso della goccia d'acqua che cadeva perpendicolarmente all'interno dell'abitacolo di una nave in movimento rettilineo uniforme non poteva essere generalizzato a quello di un corpo in caduta da una torre, che, anche se con una deviazione impercettibile, non sarebbe caduto perpendicolarmente, a causa del doppio movimento della terra. Per Galileo il leggero spostamento del punto di caduta non era determinato, secondo il ragionamento tipico degli aristotelici, dalla rotazione della terra, ma dal fatto che la velocità della cima della torre era superiore a quella della sua base, a causa della maggiore distanza dal centro di rotazione.

Galileo spiegava a questo punto il moto di caduta di un grave da una torre facendo riferimento alla composizione dei suoi moti circolare inerziale (poi sostituito con il tangenziale) e rettilineo verso il centro della terra, ottenendo come risultato una traiettoria parabolica di caduta, che si discostava di poco dalla perpendicolare. Sul moto di caduta di un grave agisce però una molteplicità di forze, che fa sì che la traiettoria non sia semplicemente una parabola o una spirale (come sostenuto da Fermat). Lo stesso Galileo sottolineò che tale movimento disegnava continue variazioni e «ghirigori» e che la parabola poteva considerarsi una curva ideale che collegava le diverse posizioni del grave nel suo moto di caduta.

G. Guglielmini si impegnò nel settecento a verificare la deviazione di tale moto dalla sua perpendicolare verso Est, in direzione della rotazione terrestre. Non avendo potuto eseguire a S. Pietro gli esperimenti, li fece a Bologna nella Torre degli Asinelli, constatando che la deviazione era proporzionale all'altezza del punto di caduta, dimostrando così sperimentalmente la rotazione diurna della terra e i limiti della teoria della relatività, poiché, come lo stesso Galileo aveva rilevato, tale moto di rotazione non risultava influente su quello di caduta dei gravi.

A un certo punto Galileo pensò di aver trovato nel fenomeno delle maree una prova fisica del moto della terra, negando, come fatto dagli aristotelici, la possibilità dell'influsso lunare a distanza e attribuendolo, a loro differenza, all'azione meccanica del doppio moto di rivoluzione e di rotazione della terra (che in parte l'autore riprende e ritiene una concausa dell'evento, ad ulteriore dimostrazione dei limiti della teoria della relatività). Per Galileo il movimento delle maree era infatti provocato dall'accelerazione e dalla decelerazione del moto di rotazione causato dalla sua composizione con quello di rivoluzione. Se i moti fossero stati uniformi (come per Galileo lo erano, se presi singolarmente) il fenomeno delle maree non si sarebbe dato. I moti di rotazione e di rivoluzione davano però luogo a un moto composto, che per 12 ore accelerava e per 12 decelerava il moto di rotazione, che influiva sulle acque degli oceani e dei mari, insieme ad altre supposte cause di natura geologica ritenute ancora ignote, provocando le maree, con il conseguente ridimensionamento anche per questo fenomeno dell'applicabilità della teoria della relatività nella scienza galileiana.

Il secondo capitolo ricostruisce il faticoso cammino che portò dal modello armonico e metafisico di cosmo dell'astronomia rinascimentale a quello caotico contemporaneo, consapevole dell'imperfezione e della variabilità delle orbite planetarie e della tendenza inevitabile alla distruzione dell'attuale equilibrio del sistema.

Patrizi, Bruno e Campanella negarono in vari modi la regolarità dei moti planetari e l'esistenza di rigide sfere celesti, ma il loro pensiero era ancora legato a una prospettiva magica, che attribuiva ai pianeti vite e intelligenze autonome e a un'arcaica resistenza alla quantificazione matematica del mondo fisico. Galileo si fece invece sostenitore di un modello ordinato di cosmo e di un moto planetario circolare uniforme. Dio avrebbe però portato i pianeti alla velocità alla quale si muovono attraverso un moto di caduta rettilinea uniformemente accelerato, trasformandolo poi in circolare uniforme in un momento e in un punto predefiniti, per evitare che l'accelerazione di un moto circolare provocasse l'estrusione per forza centrifuga degli oggetti presenti sulla superficie dei pianeti, che non la subiscono solo per l'uniformità del moto circolare a cui sono sottoposti.

L'accettazione da parte di Galileo del moto circolare uniforme dei pianeti e di una matematizzazione della fisica non era però sintomo, secondo l'autore, di un misticismo del numero di ascendenza pitagorico-platonica. La sua stessa tendenza all'approssimazione dei dati a vantaggio dell'enunciazioni di leggi generali e astratte, che idealizzano la realtà, deve essere intesa come uno sforzo di sintesi che eviti di perdersi nella molteplicità dei particolari contingenti e di una semplificazione dei calcoli e dei modelli, che consenta di giungere alla formulazioni di leggi unitarie.

Lo stesso Keplero iniziò a studiare il moto dei pianeti partendo dalla convinzione della circolarità delle loro orbite. I calcoli e le osservazioni che fece sul moto di rivoluzione di Marte lo convinsero però dell'incongruenza dei dati raccolti con il modello teorico assunto. Per spiegare i dati provò a confrontarli con le curve originate dalle sezioni coniche di Apollonio, convincendosi in questo tentativo che la più adatta fosse l'ellisse. Nello stesso tempo accettò l'irregolarità delle velocità dei pianeti, minime in afelio e massime in perielio, riuscendo tuttavia a ricondurle a una legge unitaria, che evidenziava l'uguaglianza delle aree dei triangoli spazzate in tempi uguali dai raggi vettori. Keplero si limitò quindi, secondo l'autore, a verificare che i pochi punti che aveva a disposizione dell'orbita di Marte erano compatibili con la figura dell'ellisse. Naturalmente avrebbe potuto anche scegliere una linea sinusoidale, ma con l'ellisse semplificò i calcoli e riportò i moti dei pianeti a una formula matematica sintetica.

Keplero riteneva che la posizione dei pianeti (quantunque inizialmente scagliati nel cosmo dalla rotazione del sole), le loro distanze e i loro moti non fossero casuali, ma determinati da una regola matematica. Le loro diverse velocità nelle differenti orbite avrebbero composto delle ottave musicali che, prodotte contemporaneamente, avrebbero dato vita a un'armonia celeste di carattere intellettuale. Keplero era intriso di una cultura teologica, simbolica e numerologica, ma si impegnò sempre a verificare con l'esperienza i propri mo-

delli teorici. Per lui i moti dei pianeti producevano un'armonia celeste ed era però impensabile che potessero perturbarsi reciprocamente. Le perturbazioni tuttavia avvenivano e la contraddittorietà dei dati aprì la strada al «problema dei tre corpi», che sarebbe stato affrontato da Newton sulla base della teoria gravitazionale.

Il moto dei pianeti per Keplero aveva assunto un'orbita ellittica e una velocità diversa nei vari punti del suo percorso, ma aveva mantenuto la dimensione unitaria di un moto riconducibile a una curva matematica. Con Newton e con l'applicazione della forza gravitazionale il moto smise di essere semplice e venne concepito come la somma di due forze vettoriali, una centripeta e l'altra centrifuga, che si componevano nella diagonale del parallelogramma corrispondente. La forma ellittica diveniva il risultato di un'approssimazione e non più di quell'armonia che era stata concepita da Keplero, con la conseguente presenza di un elemento di disordine nel moto dei pianeti.

Non solo, però, l'orbita ellittica non era semplice, ma composta e approssimata, ma le reciproche influenze dei pianeti fra di loro creavano irregolarità strutturali nelle orbite, come apparve evidente dal problema dei tre corpi, per esempio terra, luna e sole, con quest'ultimo che influenzava l'orbita della seconda. Nella realtà le influenze erano però molto più numerose e toglievano regolarità e prevedibilità ai moti planetari. Questo elemento di disordine riportava la paura, che era stata di molti astronomi e uomini del passato, che i pianeti potessero deragliare dalla loro orbita e perdersi nell'universo o precipitare verso il sole schiantandosi su di esso, bastando il prevalere della forza centrifuga o di quella centripeta per spingere i pianeti verso simili possibilità.

Newton era convinto che l'universo fosse come un orologio, che andasse naturalmente perdendo quantità di moto con il suo funzionamento. Per evitare la sua distruzione Dio doveva intervenire regolarmente, imprimendo nuova forza al sistema e ricaricando l'universo come si ricarica un orologio. Newton era anche convinto che l'universo, che aveva avuto il suo inizio con la creazione, avrebbe avuto anche la sua fine. Il giorno del giudizio sarebbe giunto nel momento in cui l'universo si fosse distrutto attraverso la caduta dei corpi celesti gli uni sugli altri per attrazione gravitazionale.

Le prospettive di Newton, Halley, Burnet e Whiston, che mescolavano scienza e teologia, facendo coincidere la distruzione dell'universo con il giorno del giudizio, sarebbero state superate a metà settecento da Eulero, che abbandonò simili punti di vista e si concentrò a interpretare sul piano scientifico le irregolarità dei moti planetari sulla base della teoria gravitazionale.

Laplace ripropose invece una teoria armonica dell'universo, affermando che le variazioni dei moti planetari erano minime e che si controbilanciavano, garantendo l'equilibrio dell'insieme. Per Laplace il sistema solare era autoregolato e non aveva bisogno di alcun intervento periodico di ricarica da parte della divinità. Laplace descriveva i moti dei pianeti facendo riferimento alle sue equazioni differenziali, che approssimavano i piccoli scarti e le differenze minime e restituivano così all'universo un'immagine in perfetto equilibrio, condivisa anche da matematici illuministi quali d'Alembert e Condorcet.

Poincaré si applicò invece al problema dei tre corpi con l'intenzione di valutare e quantificare anche le variazioni minime. Inizialmente propendeva anch'egli per una prospettiva di ordine del sistema e di riequilibrio delle anomalie. Poi, però, anche appoggiandosi alla teoria cinetica dei gas e a quella dell'entropia della termodinamica, cambiò idea, ritenendo che anche piccole anomalie potessero nel tempo sommarsi fra di loro, portando al collasso e alla distruzione del sistema, cosa che viene infine sostenuta anche dall'autore, che evidenzia come in passato già siano avvenute collisioni fra pianeti e asteroidi o comete e che sia altamente probabile che accadano anche in futuro. La stessa astronomia contemporanea ritiene più che plausibile la possibilità di una distruzione dei pianeti del sistema solare per collisione, depotenziando però l'evento da qualsiasi significato religioso o palinogenetico.

Il volume si chiude con quattro brevi capitoli volti a evidenziare il carattere simbolico e convenzionalista della scienza contemporanea, tuttavia in continuo confronto con

l'esigenza di un ancoramento a una realtà dei dati oggetto delle interpretazioni e delle teorie.

Il primo è dedicato al progetto di logica universale di Leibniz e al suo efficacissimo modello fortemente simbolizzato di algoritmo infinitesimale, che accettò la necessità dell'approssimazione in cambio dell'elaborazione di uno strumento di calcolo di enormi potenzialità, che si impose nel settecento su quello rivale di Newton, iniziando quel processo di formalizzazione accentuata delle scienze che si sarebbe imposto nel panorama europeo nei secoli successivi.

Il secondo prende in considerazione l'epistemologia convenzionalista di Poincaré, per il quale il piano ontologico rimane inaccessibile e le teorie si possono limitare a spiegare i fenomeni, indipendentemente da come in effetti sia la realtà, impossibile da conoscere. Su queste posizioni affrontò una polemica con Russell, che fondava la geometria su elementi formali a priori, in senso kantiano, e su elementi empirici, ma anche si scontrò con Le Roy, che invece fece proprio un convenzionalismo ancora più radicale, per il quale gli stessi fatti erano conseguenze delle teorie e la scienza, fondata su convenzioni arbitrarie, aveva un valore solo pratico e strumentale. Poincaré reagì alla svalutazione del valore euristico della scienza e moderò il proprio convenzionalismo, sottolineando l'esistenza e l'irriducibilità dei fatti «bruti», sui quali operavano poi interpretazioni e teorie, tentando quindi di comporre (anche se poi i due aspetti rimasero sempre inconciliabili) la dimensione convenzionale con quella empirica, entrambe presenti nella scienza contemporanea.

Dopo aver trattato, nel terzo, il contingentismo di Boutroux, per il quale le leggi non esistono in natura, che è il regno della pura contingenza e della libertà, ma sono solo convenzioni con le quali gli uomini cercano di spiegare i fatti, l'autore, nell'ultimo capitolo, illustra l'«idealismo soggettivo» dell'epistemologia di Eddington, il fervido sostenitore e divulgatore della teoria della relatività di Einstein. Eddington, accentuando la dimensione soggettiva data da Kant al processo conoscitivo, sosteneva che le teorie e le interpretazioni scientifiche non esprimevano le caratteristiche dei fenomeni, ma le strutture mentali del soggetto che le aveva elaborate. Pure riteneva che al di sotto della superficie dei fenomeni materiali agisse un mondo invisibile, una sorta di mente universale, contro la quale polemizzò in modo radicale Russell, denunciando, oltre l'idealismo del convenzionalismo di Eddington, l'indebita commistione che questi operò fra scienza e fede.