

Il superamento del paradigma della fisica aristotelica alla base della rivoluzione nella meccanica e nell'astronomia seicentesche

di Cristian Mazzoni

[Nota. Nelle considerazioni a seguire mi riferirò, assumendone le tesi, al noto testo di Thomas Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (1962). Per motivi di concisione e semplicità d'esposizione, mi limiterò a riportare qui sinteticamente il punto di vista espresso in quel saggio, senza soffermarmi sulle posizioni antagoniste e sul dibattito suscitato, entro la Filosofia della scienza, dalla sua pubblicazione.]

La fisica meccanica e l'astronomia moderne (in cui dapprima si esprime la scienza moderna) non sorsero sulla base di fatti osservativi nuovi (nuovi dati osservativi si porranno soltanto in un secondo momento), ma di una *nuova modalità d'inquadrare i fatti già noti*.

Tutti gli scienziati, sino ad allora, accoglievano come indubitabili due tesi (entrambe risalenti ad Aristotele), e cercavano di fornire, rispetto ai dati osservativi, spiegazioni che, ad ogni modo, conciliassero tali dati con queste due tesi.

Queste tesi sono:

1) per quanto riguarda i moti terrestri, tutti i corpi pesanti tendono verso il centro della Terra e, giunti nel loro luogo naturale, si acquietano (ciò vale sia per i corpi pesanti, o terrosi, sia per gli altri corpi: i corpi caldi tendono verso l'alto, etc.). Si noti che i corpi pesanti, secondo questa concezione, si dirigono verso il centro della Terra per una loro disposizione intrinseca, in quanto *anelano*, per così dire, a raggiungere il loro luogo naturale, da cui sono stati separati, e non, viceversa, si dirigono verso il centro della Terra in quanto subiscono un'*attrazione* da parte di quest'ultima. Ogni moto di un corpo pesante diretto in senso contrario a quello verso il centro della terra è *violento* e necessita di un agente esterno: così il moto verso l'alto o quello in orizzontale. Per un corpo caldo, viceversa, il moto violento è quello verso il basso, etc.

2) il moto dei corpi celesti necessita di un agente esterno che ne sia la causa: esso è pensato in analogia ai moti violenti terrestri. Ciò significa postulare una qualche entità nascosta che agisca sui pianeti in modo continuativo. Il motore immobile di Aristotele aveva precisamente questa funzione: esso, muovendo le sfere d'etere cui erano ancorati i pianeti, muoveva anche questi ultimi.

Altro pre-giudizio diffuso era quello per il quale si riteneva sussistere un'eterogeneità fra moti terrestri (imperfetti) e moti celesti (perfetti).

La meccanica moderna mette capo al principio d'inerzia, la cui prima versione è dovuta a Galileo. Ora, a che si possa soltanto ipotizzare un principio di tal fatta, occorre liberarsi dai due pregiudizi di cui sopra. Il principio d'inerzia, nella sua versione compiuta datagli da Newton, enuncia: un corpo si mantiene nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme salvo l'azione di agenti esterni.

Ora, secondo questo principio, non è affatto un problema il fatto che un corpo si muova di moto rettilineo uniforme. Dire che "non è affatto un problema" significa che tale condizione non necessita di alcuna spiegazione. Ciò che, viceversa, va spiegato è il fatto che un corpo non si muova di moto rettilineo uniforme, ma rettilineo accelerato o di moto circolare, etc.

Così (posto come i principi della meccanica terrestre possano applicarsi anche a quella celeste), che i pianeti si muovano, non è un problema (per la teoria aristotelica, viceversa, questo era un problema fondamentale: infatti, se si muovono, dovevano essere mossi da qualcosa). Il problema, viceversa, è dato dal loro moto circolare (poi rivelatosi ellittico con il Sole in uno dei fuochi). Dal momento che il moto è circolare, stando al principio d'inerzia, si tratta di ipotizzare delle forze che agiscono sugli astri deviandoli dal loro moto rettilineo. La soluzione che si darà alla difficoltà riprende una vecchia tesi di William Gilbert (1600), per la quale un corpo pesante non si dirige verso il centro della Terra poiché anela al suo luogo naturale (come voleva Aristotele), ma poiché,

sotto la superficie terrestre, è collocato un gigantesco magnete, il quale attrae i corpi a sé. La medesima attrazione che agisce fra la Terra e un corpo terrestre, agisce, secondo Gilbert, anche fra i pianeti. Lo stesso movimento dei pianeti è poi spiegato da Gilbert sulla base dell'attrazione magnetica esercitata reciprocamente fra di loro. Altri, successivamente, utilizzeranno le tesi dell'attrazione fra pianeti di Gilbert non per spiegare il movimento dei pianeti stessi (cosa che, per il principio d'inerzia, non necessita di spiegazione), ma per spiegare le loro orbite, ossia la deviazione dal moto rettilineo uniforme.

Tornando al punto di partenza: senza un cambio di mentalità, senza la messa in discussione dei principi aristotelici, non sarebbe mai stata possibile la nascita della meccanica moderna.

Galileo, nel momento in cui ipotizzò il principio d'inerzia, non aveva a disposizione alcun fatto osservativo nuovo: ciò di cui disponeva erano i fatti già noti ad Aristotele. Egli, per spiegare quei fatti, suppose, tuttavia, un'ipotesi molto meno intuitiva e lontana dal senso comune rispetto a quella aristotelica. Infatti, per Aristotele, il fatto che un corpo sia in quiete non è un problema: questo significa o che ha raggiunto il suo luogo naturale, o che qualcosa gli impedisce di raggiungere quel luogo (ad esempio una palla posata su una sedia). Galileo suppose, invece, che un corpo che si muove di moto rettilineo con una velocità x , continua a muoversi indefinitamente di quel moto (cioè continuerà a muoversi di moto rettilineo a velocità x), salvo l'azione di forze contrarie: qui il problema non è più perché il corpo si muove, ma perché sta fermo se prima si muoveva. Si ponga bene mente a quanto stiamo qui dicendo: secondo i due punti di vista in esame, dinnanzi ad uno stesso fenomeno osservativo (ad esempio un corpo che si muove su un piano orizzontale e che, ad un certo punto e senza incontrare ostacoli, si ferma), si pongono due problemi esattamente opposti. Per gli aristotelici, il problema è spiegare perché quel corpo s'è mosso, per i fautori del principio d'inerzia, è spiegare perché s'è fermato: per i primi necessita di un agente esterno la spiegazione del moto orizzontale di un corpo pesante (infatti si tratta di un moto violento), per i secondi necessita di un agente esterno la spiegazione del fatto che il corpo ha rallentato e poi s'è fermato, invece di continuare indefinitamente nel proprio moto rettilineo uniforme. Per contro, il fatto che il corpo si fermi non è un problema per gli aristotelici poiché esso, fermandosi, non fa che recuperare il proprio stato naturale, che era in precedenza stato alterato; alla stessa maniera, per i fautori del principio d'inerzia, non è un problema che il corpo si muova di moto rettilineo uniforme poiché due, secondo loro, sono le condizioni naturali (cioè presenti laddove sul corpo non agiscano forze esterne) di un corpo: la quiete o il moto rettilineo uniforme. Il moto, in quanto rettilineo uniforme, è, per questi ultimi, già naturale.

Galileo, per provare la sua ipotesi, suppose di imprimere ad una palla da biliardo posata su un piano orizzontale una certa spinta: se la sua ipotesi era vera, la palla avrebbe dovuto continuare indefinitamente a muoversi di moto rettilineo con la stessa velocità. Galileo notò che, levigando sempre più accuratamente la palla e il piano, la velocità si manteneva costante per un lasso sempre maggiore di tempo: ciò lo portò a concludere (con un esperimento puramente mentale) che se la palla ed il piano fossero stati assolutamente levigati ed eliminato completamente l'attrito dell'aria, la velocità si sarebbe mantenuta indefinitamente costante e la palla non avrebbe più cessato di muoversi. Galileo non soltanto formulò un'ipotesi decisamente contraria al senso comune (chi mai ha visto un corpo cui è impressa una spinta continuare eternamente a muoversi?), ma, soprattutto, andò contro una dei capisaldi del sistema aristotelico.

Il principio d'inerzia apriva orizzonti completamente nuovi per la meccanica. Infatti, se è vero che la condizione originaria di un corpo (terrestre o celeste) è la quiete o il moto rettilineo uniforme, ciò che deve essere spiegato (come già visto) sono tutti gli stati del movimento di un corpo che non sono quiete o moto rettilineo uniforme: così se vi sono accelerazioni vanno spiegate, se il moto devia dal rettilineo, va spiegato, etc. L'assunzione del principio d'inerzia portò con sé l'assunzione di ulteriori ipotesi per spiegare i moti osservabili non corrispondenti a quelle due condizioni: s'è già

trattato di come fu affrontata la questione circa al moto degli astri. Si può sostenere che i nuovi dati osservativi a sostegno delle ipotesi accolte furono più una conseguenza che una causa della formulazione delle ipotesi stesse: si andava alla ricerca di conferme empiriche (poi venute) che sostenessero le tesi accolte in via ipotetica, e non, viceversa, le ipotesi erano state formulate sulla base di fatti osservativi nuovi. In altri termini: l'atto con cui fu concepito per la prima volta il principio d'inerzia, non fu determinato da nuovi fatti osservativi, ma dalla rottura di un vecchio schema di pensiero. Galileo è il fondatore della meccanica moderna poiché, per primo, seppe svincolarsi dai pre-giudizi ("pre-giudizio" nel senso etimologico del termine, ossia ciò che noi sin da principio e indipendentemente da ogni evidenza di fatto assumiamo) che condizionavano l'indagine degli scienziati del suo tempo.

Nota. A rigore, la prima formulazione del principio d'inerzia, la si deve a Cartesio: spesso ciò è trascurato. Le ragioni per cui normalmente è citato Galileo e non Cartesio come primo formulatore del principio, non sono, tuttavia, trascurabili. Infatti, nel caso di Cartesio, il principio non è soggetto al metodo sperimentale, cioè non è un'ipotesi sottoposta a verifica empirica (per quanto nei limiti che questa verifica ebbe in Galileo stesso: l'esperimento mentale) e non trae la sua forza dalla verifica empirica, ma è ricavato deduttivamente dalla teoria generale cartesiana circa la conservazione della quantità di moto, la quale, a sua volta, si fonda sull'esistenza di un Dio magnanimo e buono (anch'essa dimostrata da Cartesio). In altri termini: Cartesio giunse al principio non attraverso il metodo della scienza moderna, basato su ipotesi e verifica sperimentale, ma sulla base di un metodo ancora essenzialmente deduttivo. Non è un caso che Cartesio, a differenza di Galileo, non sia mai annoverato, nei manuali, fra gli scienziati, ma unicamente fra i filosofi. Del *metodo* della scienza moderna tratteremo diffusamente nel prossimo capitolo.

Nel Seicento si compì una *rivoluzione* scientifica in duplice senso: 1) furono abbattuti i principi fondamentali accolti, sino ad allora, entro molte delle scienze (abbiamo esaminato il caso della Fisica) e sostituiti da altri principi che erano, al contempo, un altro modo d'intendere e vedere il mondo; 2) si adottò, nelle scienze, un nuovo *metodo* d'indagine, il quale si contrapponeva all'antico metodo aristotelico: quel metodo è lo stesso che, ancora oggi, viene applicato correntemente dagli scienziati. Tecnicamente, l'accezione "rivoluzione scientifica" può essere utilizzata in due sensi: in un senso, si ha una rivoluzione scientifica laddove vengano rivoluzionati i principi stessi di una scienza (per intenderci: le ipotesi date per assolutamente certe, indubitabili) – e in questo senso la rivoluzione scientifica del Seicento non fu l'unica -; nell'altro, l'accezione copre la sola rivoluzione scientifica seicentesca, in quanto essa rivoluzionò il *metodo* della scienza, tanto che da essa è fatta datare la scienza moderna. Nel primo senso, ad esempio, si ha una rivoluzione scientifica laddove, al vecchio paradigma della scienza per cui i moti dei pianeti *dovevano* essere circolari ed uniformi e la Terra *doveva* stare al centro dell'universo, se ne sostituisce un altro che ammette moti non uniformi, non circolari, la Terra non al centro, etc., ma che ha, a sua volta, altri punti fermi, altre ipotesi non negoziabili, etc. Prima, entro il vecchio paradigma, dinanzi a dati osservativi contrastanti con i principi assunti e non negoziabili (uniformità e circolarità dei moti celesti, centralità della Terra, etc.), si formulavano ipotesi aggiuntive tali da preservare i principi assunti: così, la teoria dell'epiciclo-deferente serviva a rendere conto dei fenomeni osservabili (ad esempio i moti retrogradi dei Pianeti e le loro variazioni di velocità) che avrebbero contraddetto la circolarità e uniformità del moto dei Pianeti (grazie all'ipotesi dell'epiciclo-deferente, i pianeti erano concepiti muoversi di moto circolare uniforme, pur non apparendo tale, visto dalla Terra immobile, il loro moto). E' solo rimossi i punti fermi, le ipotesi non negoziabili, che fu possibile cercare una differente spiegazione per i dati osservativi già noti: infatti, se noi riteniamo di poter supporre che la Terra non stia immobile al centro dell'universo, con ciò, è già aperta la possibilità ad altre spiegazioni degli stessi fenomeni (Copernico, pur mantenendosi fedele al vecchio principio che voleva il moto dei pianeti circolare ed uniforme, spiegherà il moto retrogrado dei Pianeti sulla base delle loro differenti velocità di rivoluzione intorno al Sole rispetto alla velocità di rivoluzione della

Terra).

Un esempio analogo può essere addotto in riferimento alla nascita della chimica moderna. Sin dall'antichità un inveterato pregiudizio (recepito anche da Aristotele, che, con la sua autorità, lo rese un principio indiscusso) voleva che l'acqua, l'aria, il fuoco e la terra fossero elementi irriducibili, ossia elementi primi. Secondo Aristotele, per quanto ciascuno dei quattro elementi fosse la risultante dell'unione di due qualità primarie, cioè freddo, caldo, secco, umido (ciò spiegava, ad esempio, il mutamento dell'acqua in aria per ebollizione), i quattro elementi non risultavano per combinazione da altri elementi (in questo senso erano elementi "primi").

Questo pre-giudizio fu d'intralcio alla nascita della scienza chimica in senso moderno in quanto impediva di concepire l'acqua come composto (oggi sappiamo che l'acqua risulta dall'unione di Idrogeno e Ossigeno) e, ancor più a monte, impediva di distinguere fra i diversi tipi di aria (oggi detti "gas"): infatti, la chimica moderna ci dice che altro è l'ossigeno, altra l'anidride carbonica, etc. Molti dati sperimentali deponevano contro il vecchio pre-giudizio che l'acqua fosse un elemento irriducibile o che tutti i tipi d'aria fossero uguali, tuttavia i dati venivano inquadrati, attraverso apposite ipotesi create *ad hoc*, entro la vecchia teoria che riteneva l'acqua, l'aria, etc., elementi primi.

Colui che per primo negò i principi non negoziabili sino ad allora universalmente ammessi in chimica (determinando con questo la nascita stessa della chimica moderna), fu Lavoisier, intorno agli anni Settanta del diciottesimo secolo: fu lui a distinguere l'aria fissa (cioè l'anidride carbonica), dall'aria eminentemente respirabile (l'ossigeno), intesa la prima come composto della seconda e del carbonio greggio.

Citerò ora direttamente il testo di Kuhn. Definito "paradigma" l'insieme di credenze, tecniche, metodologie e principi condivisi dal gruppo dei ricercatori (ad esempio il paradigma eliocentrico contrapposto a quello geocentrico, il paradigma della meccanica newtoniana contrapposto a quello della meccanica aristotelica, etc.), le questioni filosoficamente rilevanti sono due: 1) che cosa determina la concezione di un *nuovo* paradigma, vale a dire, a quali condizioni un nuovo paradigma *può essere pensato*; 2) posto che un nuovo paradigma sia stato concepito, a quali condizioni *può essere accettato* in sostituzione del vecchio, vale a dire, qual è il criterio per decidere, fra due paradigmi, quale dei due è preferibile.

Al primo quesito, Kuhn risponde così (parafraso, semplificando, ppg. 124-125, cap. 9): a che un *nuovo* paradigma possa emergere, occorre che il vecchio entri in crisi. Quando si dice "entri in crisi", la crisi cui si ci riferisce deve essere permanente ed irrisolvibile, nonostante i ripetuti tentativi di soluzione. In generale, entro un paradigma, si pongono spesso dati osservativi (le cosiddette "anomalie") avversi ai principi non negoziabili: in genere (in periodi, usando la terminologia di Kuhn, di "scienza normale"), i dati avversi vengono risolti con ipotesi addizionali tali da preservare i principi non negoziabili (non è un caso che Kuhn chiami la condizione normale della scienza, cioè la scienza normale, "soluzione di rompicapo"). Così gli eccentrici, gli epiciclo-deferente, etc. erano atti a "salvare i fenomeni", ossia a spiegare i moti apparenti (cioè visibili dalla Terra), a partire dai principi non negoziabili del moto circolare uniforme dei pianeti e della centralità e immobilità della Terra. Tuttavia, talora, i dati osservativi contraddicono i principi fondamentali del paradigma, e tali anomalie non risultano risolvibili mediante ipotesi addizionali. Laddove un paradigma presenti anomalie irrisolvibili, allora può essere concepito un nuovo paradigma.

Questa a seguire, invece, è la risposta al secondo quesito.

Il nuovo paradigma, una volta sorto, soppianderà il vecchio a condizione che: 1) consenta di spiegare le anomalie irriducibili del vecchio; 2) da esso siano deducibili conseguenze verificabili e verificate che il vecchio paradigma non consentiva di prevedere. Spesso molti nuovi paradigmi, tuttavia, sono stati accettati, pur soddisfacendo solo il secondo dei due requisiti summenzionati.

Circa la 1, si legge (pg. 185, cap. 12):

Probabilmente la pretesa più importante avanzata dai sostenitori di un nuovo paradigma è quella di essere in grado di risolvere i problemi che hanno portato il vecchio paradigma alla crisi. Questa pretesa, quando può venire avanzata legittimamente, costituisce spesso l'argomentazione a favore più efficace.

Circa la 2 (ppg. 186-187, cap. 12):

La pretesa di avere risolti i problemi che hanno originato la crisi è però difficilmente sufficiente da sola. Né è sempre possibile avanzarla legittimamente. Di fatto, la teoria di Copernico non era più accurata di quella di Tolomeo e non introdusse alcun immediato miglioramento nel calendario.

[...] Talvolta l'attività più libera che caratterizza la ricerca straordinaria produrrà una teoria atta ad essere candidata al ruolo di paradigma che inizialmente non è di alcun aiuto per i problemi che hanno suscitato la crisi. Quando si presenta una situazione del genere, le prove a favore debbono essere ricavate da altri settori del campo. In questi altri settori si possono sviluppare argomentazioni particolarmente persuasive, nel caso in cui il nuovo paradigma permette la previsione di fenomeni che non si erano mai neppure sospettati quando prevaleva il vecchio paradigma.

La teoria di Copernico, ad esempio, suggeriva che i pianeti dovevano essere simili alla Terra, che Venere doveva presentare fasi, e che l'universo doveva essere molto più largo di quanto si era supposto in precedenza. Di conseguenza, quando, sessant'anni dopo la sua morte, il telescopio rivelò improvvisamente l'esistenza di montagne sulla Luna, le fasi di Venere, e un numero immenso di stelle che prima non si erano sospettate, queste osservazioni convertirono alla nuova teoria numerosi scienziati, particolarmente fra coloro che non erano astronomi.

Intervengono poi, secondo Kuhn, a lato dei fattori summenzionati, i quali risultano preponderanti per lo scienziato *in quanto scienziato*, fattori personali (pg. 188, cap. 12), cioè tali da condizionare lo scienziato nella sua scelta fra paradigmi rivali, *in quanto uomo*. In questo senso, egli attribuisce particolare importanza ai fattori estetici: così, spesso, un paradigma, a parità di fatti spiegati, è preferibile ad un'altro per un pregio estetico maggiore, che può essere la maggiore eleganza o la maggiore semplicità. Copernico, a favore della sua tesi eliocentrica, a lato di argomenti prettamente scientifici (la maggiore capacità previsionale circa la posizione dei pianeti, etc. — per altro, di fatto, la teoria tolemaica e quella copernicana, nella versione che ad essa diede Copernico, con moti circolari, etc., avevano esattamente la stessa capacità previsionale, erano, cioè, da un punto di vista scientifico, due teorie equivalenti), addusse il carattere di maggiore semplicità ed eleganza rispetto alla vecchia teoria tolemaica.

Per concludere: il saggio di Kuhn ribalta la tesi per la quale la scienza sarebbe un sapere cumulativo, che procede, cioè, edificando, mattone su mattone, un edificio su fondamenta preesistenti. In verità, spesso la scienza procede per rivoluzioni, cioè abbattendo dalle fondamenta l'edificio precedentemente costituito e riedificandone uno nuovo a partire da altre fondamenta. Questo aspetto rivoluzionario della scienza è occultato (su ciò in specie il capitolo 11: *L'invisibilità delle rivoluzioni*) dal fatto che i manuali di scienza sono privi di un approccio storico, ma si limitano ad enucleare il paradigma accolto dalla comunità scientifica nel momento della loro stesura: in altri termini, ogni nuovo paradigma che si sia affermato, riscrive la storia della disciplina (anche nella coscienza degli stessi scienziati) a partire da se stesso, come se nessun altro paradigma l'avesse mai preceduto. Non è un caso che, nei manuali di Fisica, la Fisica cominci col Seicento, cioè la Fisica venga fatta coincidere *in toto* con la Fisica moderna. Si tratta perciò, per Kuhn, di recuperare innanzitutto il carattere *storico* del sapere scientifico attraverso una dettagliata storia della scienza.

In periodi di scienza normale, ossia laddove il paradigma non sia in discussione, il lavoro degli scienziati consiste nell'inquadrare i dati osservativi entro il paradigma (soluzione di rompicapo). Secondo Kuhn, il normale operare degli scienziati non risiede, perciò, come vorrebbe Karl Popper, nel cercare di falsificare le proprie teorie, ma, al contrario, nel creare ipotesi atte a difendere, salvo

anomalie irrisolvibili, i paradigmi accolti.