

**FRANCO GIUDICE**

**LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA E LE ORIGINI  
DELLA SCIENZA MODERNA**

**CHE COSA S'INTENDE PER "RIVOLUZIONE SCIENTIFICA"**

Con l'espressione "rivoluzione scientifica" si è soliti indicare quel periodo della storia europea, compreso fra la metà del XVI e la fine del XVIII secolo, durante il quale furono poste le basi concettuali, metodologiche e istituzionali della scienza moderna. Sebbene tuttavia tale espressione sia ormai di uso comune, il problema di determinare esattamente il periodo in questione continua a suscitare non meno disaccordo di quello connesso alla precisa natura di questa rivoluzione.

Il fatto che la rivoluzione scientifica si presti a varie e divergenti interpretazioni, indica in modo inequivoco che essa è, principalmente, una categoria storiografica: un concetto cioè che assolve a una funzione meramente descrittiva e denotativa, e che, al pari di altre categorie (Medioevo, Rinascimento, Illuminismo, ecc.), serve a designare determinate vicende del passato. Nella fattispecie, tutta una serie di eventi, che si sviluppano su di una molteplicità di piani – ma che, a diverso titolo, hanno contribuito a cambiare il modo di pensare e di vedere il mondo, offrendo un'immagine della natura e dell'uomo, nonché del loro rapporto, nuova e diversa rispetto alle epoche precedenti –, concorre a definire quell'oggetto specifico che è appunto la rivoluzione scientifica, da cui è nata la scienza moderna.

Il concetto di "rivoluzione scientifica" si configura dunque come un termine di comodo, convenzionale (e in certa misura quindi arbitrario), di cui si servono gli storici per indicare quella complessa realtà storica denominata scienza moderna. Ciò, tuttavia, non significa che esso sia un frutto della loro immaginazione, qualcosa insomma che non trova alcun riscontro nei fatti reali.

È indubbio, infatti, che fra la metà del 1500 e la fine del 1700 giunsero a maturazione idee e temi, indissolubilmente legati alla scienza moderna, che fecero sì che il mondo cambiasse aspetto, fosse cioè percepito e conosciuto in modo nuovo, tanto da non apparire più riconoscibile alle generazioni successive. Da questo punto di vista, il concetto di rivoluzione scientifica può senz'altro essere considerato come un reale processo di radicale mutamento. E se si intende comprendere la natura e le cause di questo profondo cambiamento, occorre analizzare le

questioni e i problemi con cui si confrontarono i principali protagonisti della scienza moderna.

## **1. LA MATEMATIZZAZIONE DELLA NATURA: L'ASTRONOMIA DI COPERNICO**

La *matematizzazione della natura* è stata vista come una delle caratteristiche più significative e importanti della rivoluzione scientifica. L'idea di una natura concepita in termini matematici viene solitamente ricondotta al costituirsi di una prospettiva metafisica diversa da quella che aveva dominato la cultura medievale. A determinare questo mutamento di prospettiva sarebbero stati due ordini di fattori, peraltro strettamente connessi alla profonda trasformazione intellettuale introdotta dall'umanesimo: 1) la fine dell'autorità aristotelica, su cui si fondava tutta la riflessione filosofico-scientifica della scolastica; 2) la rinascita della tradizione platonico-pitagorica. Il trionfo della metafisica platonico-pitagorica avrebbe quindi permesso l'affermarsi di una visione quantitativa della natura, di un cosmo cioè costruito secondo i principi dell'ordine matematico, impensabile all'interno delle categorie concettuali dell'aristotelismo.

Più corrispondente alla realtà storica si rivela però un altro modo di vedere la questione: che consiste nel porre l'accento piuttosto sul diverso statuto epistemologico che la matematica inizia ad acquisire alle origini della scienza moderna. **Ciò che risulta decisivo è infatti il mutato atteggiamento circa l'applicazione della matematica ai fenomeni naturali. Durante la rivoluzione scientifica, a un atteggiamento strumentalistico, predominante nei secoli precedenti, ne subentra uno più marcatamente realistico.** Il ruolo proprio della matematica quindi non è quello, meramente ipotetico, di fornire gli strumenti per facilitare i calcoli e prevedere i fenomeni, come veniva inteso in passato, ma quello di rivelare e descrivere la natura reale delle cose. L'adozione di un punto di vista così decisamente realistico si manifesta, con tutto il suo vigore, nell'astronomia di **Niccolò Copernico (1473-1543)**.

Per una lunga e consolidata tradizione risalente all'antichità, l'astronomia rientrava nelle cosiddette "scienze miste", era cioè composta da una parte matematica e da una parte fisica. Il compito dell'astronomo consisteva pertanto nel conciliare le costruzioni matematiche, tramite cui si calcolavano i moti dei pianeti, con le spiegazioni fisiche circa la causa del moto dei pianeti, della loro composizione, del motivo per cui occupano un determinato spazio. Verso la fine dell'antichità, però, le difficoltà di unificare in un solo sistema queste due esigenze, portarono a una netta separazione, che si

sarebbe sempre più accentuata, fra astronomia fisica e astronomia matematica.

Nella cosmologia aristotelica, il mondo era concepito come un grande sistema di sfere concentriche al cui centro, immobile, si trovava la Terra. A partire dalla sfera della Luna, fino al limite esterno della sfera delle stelle fisse, che racchiudeva il cosmo, i corpi erano composti di un quinto elemento, l'*etere*, che, a differenza dei quattro elementi terrestri, era ingenerabile, incorruttibile e soggetto soltanto a un tipo di movimento, quello circolare uniforme. I pianeti e le stelle erano incastonati in grandi sfere, anch'esse di etere, che ruotavano intorno al centro del cosmo, la Terra. Sebbene una tale rappresentazione dell'universo potesse apparire suggestiva, in realtà aveva limiti notevoli, che impedivano di spiegare diversi fenomeni comuni, come, ad esempio, la variazione della luminosità apparente dei pianeti.

Nel tentativo di rendere conto di questi fenomeni, inspiegabili nella cosmologia aristotelica, i tardi astronomi greci escogitarono vari sistemi, il più importante dei quali fu formulato da Tolomeo nel II secolo d. C. L'opera in cui Tolomeo descriveva la sua teoria, l'*Almagesto*, avrebbe dominato incontrastata il pensiero astronomico occidentale, almeno nel suo aspetto matematico, fino all'epoca di Copernico.

**Tolomeo si serviva di una tecnica matematica in base alla quale ogni pianeta si muoveva di moto uniforme su un piccolo cerchio (l'*epiciclo*), il cui centro a sua volta si muoveva, sempre di moto uniforme, su un cerchio più grande (il *deferente*). Tale modello era in grado di fornire una descrizione alquanto accurata delle variazioni sia di velocità sia di luminosità dei pianeti. Rimaneva, però, un problema: confrontando il moto previsto dal modello epiciclo-deferente con l'osservazione effettiva, si riscontrava che non sempre il pianeta era colto nella posizione esatta prevista dal modello teorico. Tolomeo aveva pertanto escogitato un altro stratagemma matematico, l'*equante*: il centro di un epiciclo si muoveva uniformemente non intorno al centro del deferente o a quello della Terra, ma intorno a un terzo punto, l'*equante*, scelto precisamente per riprodurre la velocità apparentemente non uniforme del pianeta.**

Sebbene Tolomeo fosse un *realista*, fosse cioè convinto che i modelli matematici da lui impiegati potessero essere ricondotti a strutture fisiche effettive, vere e proprie componenti reali dell'universo, la sua teoria planetaria finì con l'essere considerata un sistema geometrico ipotetico, del tutto incompatibile con il sistema cosmologico e fisico di Aristotele. **Già a partire dal VI secolo d. C., e poi per tutto il Medioevo,**

**diventò quindi prassi comune distinguere fra un'astronomia fisica, il cui obiettivo consisteva nel descrivere gli eventi reali, e un'astronomia matematica, meramente *calcolistica* e ipotetica, che serviva a rendere ragione dei fenomeni osservati, cioè a “salvare le apparenze”.** Il possibile conflitto fra la parte matematica e quella fisica dell'astronomia era così risolto in un modo alquanto ingegnoso, ossia tenendo ben separati i principi di queste due discipline.

All'epoca di Copernico, i termini della questione erano sostanzialmente immutati: l'astronomia rimaneva un campo di attività per i matematici, e non aveva ancora nulla a che vedere con la cosmologia o la fisica dei corpi celesti. Un fatto, però, era certo: il millenario sistema astronomico di Tolomeo, su cui si basava l'immagine dell'universo che Copernico si trovò di fronte, mostrava ormai i suoi limiti, risultando sempre più incapace di conciliare con sufficiente precisione le osservazioni empiriche con i calcoli. **Il limite senz'altro più vistoso e imbarazzante della teoria tolemaica concerneva la sua incapacità di accordare l'anno solare con l'anno lunare, da cui discendeva l'impossibilità di predire con esattezza la caduta delle feste consacrate, come la Pasqua.** L'esigenza di risolvere questo problema, che aveva a lungo affannato la Chiesa, fu indubbiamente, insieme ad altre, una delle motivazioni che spinsero Copernico a pensare a un nuovo sistema astronomico. Quando, infatti, **nel 1514 il problema della riforma del calendario fu portato dinanzi al Concilio lateranense**, Copernico, invitato a dare il suo parere in merito, aveva suggerito di non intraprendere alcuna determinazione, giacché la definitiva soluzione del problema richiedeva, in realtà, un approfondito studio dei moti del Sole e della Luna, ovvero una completa riforma della teoria astronomica.

Copernico, che di professione faceva il canonico, nel tempo libero si dedicò appunto alla riforma dell'astronomia. Il risultato fu l'elaborazione di una nuova teoria astronomica, che trasferiva il centro dei moti planetari dalla Terra al Sole. Il Sole diventava così il corpo centrale attorno al quale ruotavano tutti i pianeti, di cui adesso faceva parte anche la Terra. Con la sua teoria Copernico non solo rovesciava il vecchio sistema del mondo, ma forniva allo stesso tempo un modello con requisiti di completezza e praticità pari a quello elaborato da Tolomeo e dai suoi successori e commentatori medievali. **Il sistema di Copernico permetteva infatti di prevedere e calcolare i movimenti celesti osservabili con la stessa efficacia operativa del sistema precedente.** La nuova cosmologia eliocentrica, sebbene abbozzata in un breve trattato (il *Commentariolus*, composto probabilmente poco dopo il 1510 e

diffuso in poche copie manoscritte), venne esposta *in extenso* nel ***De revolutionibus orbium coelestium*, pubblicata nel 1543, lo stesso anno della morte del suo autore.** Il *De revolutionibus* rappresenta, senza alcun dubbio, il lavoro scientifico più importante di tutta la vita di Copernico, quello in cui si trova compendiato, in forma compiuta e interamente sviluppata, il suo sistema astronomico.

I motivi che indussero Copernico a elaborare una nuova astronomia, come si è detto, nascevano dalla constatazione che il modello matematico vigente, quello tolemaico, non era più in accordo con i fenomeni osservabili. L'obiettivo primario di Copernico, pertanto, fu quello di rielaborare i vecchi dati che aveva a disposizione in un nuovo modello matematico e cosmologico. **Da questo punto di vista, ciò che caratterizza l'opera copernicana non è tanto l'apporto di nuovi dati, quanto piuttosto l'elaborazione di una nuova teoria. Si tratta quindi di un sistema cosmologico nuovo fondato sui medesimi dati dell'astronomia tolemaica.** Copernico, inoltre, nella propria cosmologia accoglie non pochi elementi della tradizione: la realtà materiale delle sfere cristalline (allo stesso modo di Aristotele, egli crede infatti che i pianeti siano incastonati in grandi sfere trasparenti e che ruotino come diamanti inseriti in un anello); l'idea di un cosmo perfettamente sferico e finito, racchiuso nella sfera delle stelle fisse, sebbene con un diametro maggiore di quello tolemaico. Anche per quanto concerne l'impiego delle tecniche matematiche, Copernico rimane un tolemaico, si avvale cioè degli strumenti matematici elaborati dall'astronomo alessandrino. E se si rifiuta di utilizzare il punto equante, lo fa perché è convinto che esso violi l'antico assioma che i moti celesti devono essere perfettamente circolari e uniformi; ciò, tuttavia, non gli impedisce di servirsi di eccentrici, epicicli e deferenti per risolvere gli stessi problemi di Tolomeo. **Copernico, infine, per giustificare il proprio sistema astronomico non si avvale quasi mai di argomenti ricavati dall'esperienza; le tesi più significative del *De revolutionibus*, il moto dei pianeti e l'immobilità del Sole, si basano su convinzioni di natura estetica, morale e religiosa.** I pianeti ruotano semplicemente perché sono sferici; a determinare il loro moto circolare è la loro peculiare forma geometrica: la mobilità propria della sfera consiste infatti, secondo il vecchio assioma platonico-pitagorico, nel ruotare in circolo. La centralità e immobilità del Sole deriva invece dalla sua natura, che Copernico, sulla base di temi attinti alla letteratura solare del neoplatonismo rinascimentale e alla tradizione ermetica, considera più nobile e divina degli altri corpi celesti. Il Sole si trova in una posizione centrale ed è il primo in "dignità" per la funzione

che a esso viene attribuita: quella di illuminare e rischiarare il mondo, al quale dà la vita e il movimento.

Sulla base di considerazioni di questo tipo, **è prevalsa la tendenza a considerare Copernico non come un rivoluzionario, bensì come un riformatore moderato, un conservatore.** È stato infatti sostenuto che il sistema copernicano, in realtà, non rappresentava il superamento della vecchia cosmologia, ma una sua modificazione. Il *De revolutionibus* rimarrebbe cioè nell'ambito dell'antica tradizione astronomica e cosmologica, poiché ne implicava la medesima struttura, operando soltanto un'unica variante: lo scambio di ruoli fra la Terra e il Sole. In tal senso, il *De revolutionibus* più che un testo rivoluzionario sarebbe piuttosto un testo che provoca una rivoluzione. La sua portata rivoluzionaria risiederebbe, da ultimo, negli esiti futuri che, non previsti dallo stesso Copernico, avrebbero determinato, ad opera di altri pensatori (Keplero, Galilei e Newton), una rottura completa e radicale con la tradizione antica.

Senza alcun dubbio, Copernico, ma questo è fin troppo ovvio, fu uomo del suo tempo, e condivise quindi le prospettive di fondo del vecchio mondo intellettuale nel quale era nato e nel quale si era formato. Non deve stupire, di conseguenza, che egli fosse un riformatore interessato alla conservazione, che mirava a riportare in armonia la filosofia naturale e l'astronomia matematica sulla base del principio assoluto che tutti i moti sono uniformi e circolari, dimodoché tutte le sfere devono ruotare in modo uniforme attorno ai loro centri. **È altresì vero, tuttavia, che Copernico deve essere visto come un innovatore radicale:** egli infatti sostiene che la Terra è un pianeta come gli altri, richiamandosi alle argomentazioni della parte matematica dell'astronomia. In questo modo, Copernico attribuisce alla geometria un potere euristico, quello di conoscere la realtà fisica, che trasforma il ruolo stesso dell'astronomo. **Il compito dell'astronomo, secondo Copernico, non consiste nel fornire ipotesi matematiche atte a "salvare i fenomeni", ma nel ricercare la vera struttura dell'universo. Con Copernico, quindi, l'astronomo inizia ad avere un nuovo ruolo: quello di filosofo naturale.**

Le autentiche intenzioni di Copernico, tuttavia, finirono con l'essere tradite dalle eccezionali circostanze che accompagnarono la pubblicazione del *De revolutionibus*. Benché infatti Copernico avesse ultimato la stesura dell'opera già nel 1531, egli ne acconsentì la pubblicazione soltanto al termine della sua vita. A convincerlo fu un giovane docente di matematica, Georg Joachim Rheticus (1514-1572), che andò a trovare Copernico dall'Università di Wittenberg, il centro accademico della Riforma luterana. Rheticus ebbe il permesso sia di

pubblicare una versione preliminare della teoria eliocentrica (la *Narratio prima*, apparsa nel 1540), sia di curare la stampa del *De revolutionibus*. Non avendo però il tempo necessario per sovrintendere al lavoro, affidò la cura editoriale dell'opera a un suo collega luterano, Andreas **Osiander** (1498-1552). Quest'ultimo, senza l'autorizzazione di Copernico né di Rheticus, aggiunse al testo un'anonima **prefazione**, intitolata *Al lettore sulle ipotesi di quest'opera*, in cui affermava il carattere strettamente ipotetico della nuova teoria, come di tutte le teorie astronomiche in generale.

L'originaria posizione di Copernico, però, appare, senza possibilità di equivoci, nella lettera dedicatoria al papa Paolo III premessa al *De revolutionibus*, in cui presenta appunto il proprio sistema non come *una* ipotesi fra le tante possibili, ma come *la* vera rappresentazione dell'universo. E non è tutto. Copernico, infatti, non solo colloca la Terra fra gli altri pianeti, e quindi in palese contrasto con gli insegnamenti della fisica aristotelica, delle sacre scritture e del senso comune, ma fa ciò sulla base di argomenti che la maggior parte dei suoi contemporanei consideravano illegittimi. Per quanto il moto della Terra possa apparire contrario alla filosofia naturale, esso, insiste Copernico, **deve essere vero, perché lo esige la matematica**. Per l'epoca in cui visse Copernico, un'affermazione del genere era sicuramente *rivoluzionaria*. Non va infine dimenticato che l'ammissione del moto terrestre, oltre a comportare un rovesciamento della struttura dell'astronomia e della fisica, poneva una serie di domande inquietanti circa il posto e il significato dell'uomo nell'universo. La distruzione della plurisecolare immagine dell'universo scalzava infatti l'uomo dalla sua posizione centrale e lo collocava su un pianeta periferico in movimento; per la prima volta, quindi, l'uomo non era più al centro dell'universo né, tanto meno, il cosmo ordinato attorno a lui.

## **2. GLI SVILUPPI DEL COPERNICANESIMO: BRAHE E KEPLERO**

La successiva storia della matematizzazione della natura mostra il medesimo orientamento realistico. Non è infatti un caso che i principali protagonisti della rivoluzione scientifica furono tutti interessati allo statuto epistemologico della matematica. Tale orientamento è ben presente nell'opera dell'astronomo danese **Tycho Brahe (1546-1601)**. Al contrario di Copernico, Brahe fu un attento e acuto osservatore dei fenomeni celesti; senz'altro il più grande osservatore a occhio nudo della storia dell'astronomia. Bisogna inoltre sottolineare che Brahe, diversamente da quanto fino ad allora si era soliti fare, osservava i pianeti con regolarità, seguendo il loro corso completo attraverso i cieli e non

soltanto quando essi si trovavano in una configurazione particolarmente favorevole.

Sulla base delle sue accurate osservazioni, Brahe rifiutò la teoria tolemaica, che considerava inficiata di gravi difetti. Allo stesso tempo, però, egli respinse anche la teoria copernicana, sia perché risultava inconciliabile con le Scritture (in cui si affermava che il Sole sorgeva e tramontava e la Terra poggiava su solide fondamenta), sia perché a Brahe sembrava assurdo che il corpo “pesante e pigro” della Terra potesse muoversi velocemente nello spazio. Per ovviare alle difficoltà e alle obiezioni cui andavano incontro queste teorie, Brahe propose un suo proprio sistema del mondo, che doveva avere le seguenti caratteristiche: “accordarsi sia con la matematica sia con la fisica, evitare la censura teologica, essere in completo accordo con quanto si osservava nei cieli”. Il risultato fu l’elaborazione di un sistema intermedio fra quelli di Tolomeo e Copernico. Nella teoria di Brahe la Terra mantiene una posizione immobile e centrale, come in Tolomeo, ma attorno ad essa ruotano soltanto la Luna e il Sole; gli altri cinque pianeti invece ruotano intorno al Sole.

Da quanto si è detto è abbastanza evidente che Brahe fosse un realista, fosse cioè convinto che la propria teoria descrivesse il moto effettivo dei movimenti planetari e celesti. Ciò che, tuttavia, portò Brahe a elaborare un sistema così ibrido fu, oltre alla convinzione che in esso trovavano piena giustificazione i dati empirici da lui osservati, il proposito di conservare tutti i vantaggi dei due sistemi precedenti, scartandone i rispettivi svantaggi. Bisogna infatti rilevare che, dal punto di vista matematico, **il sistema di Brahe risulta del tutto equivalente a quello copernicano**; ma, rifiutando il moto della Terra, ne elimina tutte quelle incongruenze di ordine fisico, cosmologico e teologico.

Tanto le critiche che Brahe muoveva alla teoria copernicana del moto terrestre, quanto la sua soluzione di compromesso del problema dei pianeti, testimoniano come egli fosse ancora vincolato a modelli concettuali di tipo tradizionale. È anche vero comunque che, di là dall’innegabile operazione restauratrice, il sistema di Brahe, basato com’era su una notevole e accurata messe di osservazioni, incrinò importanti aspetti dell’universo aristotelico-tolemaico. Non va infatti dimenticato che, non accogliendo il postulato fondamentale della vecchia cosmologia, in base al quale la Terra doveva essere il centro di tutti i moti planetari, Brahe veniva a negare, di fatto, quella natura privilegiata attribuita alla Terra fin dall’antichità. Le osservazioni di Brahe svolsero tuttavia un ruolo ancora più significativo per un altro motivo: **l’affermazione dell’inesistenza delle sfere cristalline** postulate da Aristotele e accolte dallo stesso Copernico. Quando nel 1572 apparve

una nuova stella nella costellazione di Cassiopea, Brahe, grazie alle sue tecniche di osservazione, mostrò che essa doveva trovarsi nella sfera delle stelle fisse. Stando così le cose, l'unica spiegazione plausibile era che nei cieli immutabili si era verificato un mutamento, e di conseguenza uno dei capisaldi della cosmologia aristotelica – quello della netta differenza sostanziale fra mondo celeste e mondo sublunare – veniva revocato in dubbio. Brahe, inoltre, fu in grado di stabilire che la cometa apparsa nel 1577 si trovava al di là del Sole. In precedenza, in accordo con la concezione aristotelica, le comete e le meteore erano considerate fenomeni atmosferici, ma Brahe fece osservare che ciò non corrispondeva affatto al vero. Anzi, sconfinando nel territorio della filosofia naturale, egli dimostrò che la traiettoria della cometa avrebbe dovuto attraversare le sfere celesti solide, ammesso che esistessero. Secondo Brahe, però, le sfere cristalline non sono reali, ma servono soltanto a rendere intelligibili i moti dei pianeti. Il cielo non è un corpo duro e impenetrabile, composto di sfere reali, ma fluido e libero, aperto in tutte le direzioni, tale da non opporre alcun ostacolo ai moti planetari, che sono governati soltanto dalla “sapienza regolatrice di Dio”.

La negazione dell'esistenza delle sfere cristalline aveva profonde implicazioni. Eliminate le sfere cristalline e considerando i pianeti come corpi indipendenti, occorre infatti individuare quale fosse la causa fisica che determinava il moto dei pianeti e li manteneva nelle loro orbite. Nella cosmologia tradizionale un problema del genere non si pone, poiché i pianeti non si muovono in quanto tali, ma partecipano del moto delle sfere in cui sono incastonati e da cui sono trasportati. Se si abbandona il postulato delle sfere materiali, però, il problema si ripropone con tutto il carico di difficoltà che da esso discendono. Fu proprio questo problema di fondo – “cos'è che fa muovere i pianeti?” – a dare l'impulso e a orientare le ricerche di **Johannes Kepler (1571-1630)**.

Keplero fu assistente di Brahe e alla morte di questi gli succedette nella carica di matematico imperiale. A differenza di Brahe, però, Keplero fin da giovane aderisce alla teoria eliocentrica di Copernico, del quale condivide anche l'impostazione neoplatonica. Anche nel caso di Keplero, ciò che caratterizza la sua elaborazione teorica è **l'accettazione di un punto di vista realistico** circa il ruolo della matematica nella spiegazione dei fenomeni naturali (non è infatti un caso che egli sia stato il primo a respingere l'interpretazione che Oslander aveva dato della teoria copernicana come mera ipotesi), nonché la convinzione che l'astronomo deve essere pure un filosofo naturale. Già il titolo della sua opera astronomica fondamentale è, a questo riguardo, molto significativo e indicativo dei suoi orientamenti programmatici: *Astronomia nova*,

*Aitiologetos, seu physica coelestis* (1609), ovvero: *Nuova astronomia, considerata causalisticamente, ossia fisica celeste*.

L'importanza di quest'opera è almeno duplice: 1) **Keplero vi enuncia la scoperta delle prime due leggi planetarie, che ancora oggi portano il suo nome, rifiutando l'assioma, ritenuto valido per duemila anni, del movimento circolare e uniforme dei pianeti**; 2) respinge la presunta inconciliabilità fra astronomia matematica e astronomia fisica.

L'*Astronomia nova* costituisce la sintesi di anni di intenso lavoro che Keplero, sulla base delle osservazioni di Brahe, dedicò al moto di Marte per trovare le dimensioni esatte della sua orbita e la velocità del suo moto. Nella cosmologia tradizionale (ma anche per Copernico), come si è detto, il moto circolare era l'unico moto perfetto e naturale; e Keplero, in un primo tempo, non si preoccupò affatto di mettere in discussione tale assioma. Di conseguenza, egli cercò di conciliare i dati raccolti da Brahe sui moti di Marte con i vari circoli (equanti ed epicicli) di Tolomeo e Copernico, pervenendo però soltanto ad approssimazioni insoddisfacenti: il pianeta Marte, infatti, sembrava muoversi sulla propria traiettoria in modo del tutto irregolare. Provando a fare i calcoli per la Terra, Keplero constatò la medesima difficoltà, ossia che anche la Terra non si spostava di moto uniforme, ma aumentava di velocità quando era vicina al Sole e diminuiva quando se ne allontanava. I calcoli matematici facevano quindi emergere un fatto ben preciso: il moto della Terra doveva essere simile a quello degli altri pianeti. Keplero si convinse pertanto che il problema generale dei pianeti risiedeva nel trovare un'espressione matematica che desse ragione della variazione di velocità del pianeta rispetto alla sua distanza dal Sole. Alla fine, non senza difficoltà e calcoli errati, Keplero trovò la soluzione: ogni pianeta si muove nella sua orbita non con velocità linearmente uniforme, ma in modo che il raggio vettore che unisce il pianeta al Sole descrive in intervalli di tempo uguali aree uguali (la cosiddetta seconda legge di Keplero). Il risultato conseguito da Keplero costituiva un superamento e uno sviluppo del concetto tradizionale di uniformità: al contrario di quanto veniva affermato dall'astronomia tradizionale, il moto della Terra e degli altri pianeti è realmente non uniforme, e non solo in apparenza.

Stabilita la non uniformità dei moti planetari, Keplero cercò di individuare quale fosse la forma dell'orbita dei pianeti. La difficoltà di mantenere Marte in un'orbita circolare lo portò a valutare se i pianeti potessero muoversi su qualche altra curva chiusa. Keplero provò con l'ovale e si accorse che l'orbita descritta dal pianeta era un tipo speciale di ovale: l'ellisse. Questa scoperta appare a Keplero come un'illuminazione improvvisa poiché, oltre a risultare in accordo con i dati

dell'osservazione, soddisfa in pieno la condizione della descrizione di aree uguali in tempi uguali (ossia la seconda legge), posto che il Sole si trovi in uno dei due fuochi dell'ellisse. Ecco quindi enunciata la prima legge di Keplero: ogni pianeta si muove attorno al Sole su una traiettoria ellittica, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi. L'ellisse fu una grande semplificazione: attraverso l'abbandono del pregiudizio della circolarità, Keplero faceva infatti piazza pulita delle varie complicazioni di epicicli, eccentrici ed equanti. Per descrivere l'orbita di ogni pianeta era sufficiente soltanto una curva chiusa, **l'ellisse**.

L'importanza dell'*Astronomia nova* non si esaurisce nella scoperta delle due leggi planetarie, ma si estende ben oltre questo pur notevole risultato. Keplero fu infatti fra i primi a essere consapevole del fatto che una descrizione matematica del moto dei pianeti doveva necessariamente essere fondata su una teoria fisica dell'universo. Chiedendosi quale fosse la causa fisica del moto dei pianeti, Keplero non solo sconfinava nel territorio del filosofo naturale, ma rendeva priva di fondamento la vecchia contrapposizione fra astronomia matematica e astronomia fisica. La "fisica celeste", cui Keplero si riferisce nel titolo della sua opera, non si oppone alla "fisica terrestre", per il semplice motivo che non si tratta di due "fisiche", ma di una sola. Tanto i fenomeni celesti quanto quelli terrestri possono e devono essere spiegati partendo dai medesimi principi.

Per spiegare la causa fisica del moto dei pianeti e della loro variazione di velocità, **Keplero si rifà alla filosofia magnetica di William Gilbert (1540-1603) e alla tradizione neoplatonica della metafisica della luce**. Il Sole, "anima del mondo", secondo Keplero, è dotato di una forza o virtù motrice che fa girare i pianeti intorno ad esso. E anche i pianeti, inclusa la Terra, sono forniti di una virtù magnetica. Ruotando intorno al proprio asse, il Sole emette una specie immateriale, analoga a quella della luce. Questa specie ruota in un vortice velocissimo trasportando con sé i pianeti; la forza motrice del vortice, però, diminuisce in ragione della distanza dei pianeti: quanto più il pianeta si allontana dal Sole, tanto più debole è l'efficacia di tale forza, e tanto minore è la velocità del pianeta. Ciascun pianeta, inoltre, il cui asse magnetico è sempre orientato verso la stessa direzione, è alternativamente attratto e respinto dal Sole, posto che esso sia immaginato come un polo magnetico.

Fra gli straordinari cambiamenti verificatisi nella storia dell'astronomia compresa fra Copernico e Keplero, l'elemento indubbiamente più significativo fu la crescente consapevolezza che la rigida divisione aristotelica fra fenomeni terrestri e fenomeni celesti – in base alla quale tutti moti naturali del mondo terrestre sono rettilinei, mentre quelli del

mondo celeste sono sempre circolari – era ormai insostenibile. Poiché la posizione centrale e immobile della Terra costituiva uno dei pilastri principali su cui poggiava l'intero sistema fisico-cosmologico di Aristotele, rimuovendo la Terra dal centro dell'universo, Copernico aveva di fatto compromesso la netta distinzione tra fisica celeste e fisica terrestre. Inoltre, la negazione della realtà delle sfere cristalline, ad opera di Brahe, oltre a destituire di fondamento la spiegazione tradizionale circa il moto dei pianeti, ne rendeva necessaria una nuova e più plausibile. A queste esigenze, Keplero dette una prima risposta, sia tentando di individuare quale fosse la causa fisica cui imputare il moto dei pianeti, sia riconoscendo che fra fisica celeste e fisica terrestre non vi fosse alcuna contrapposizione. Affinché s'imponesse definitivamente l'idea che i fenomeni terrestri e quelli astronomici andassero trattati come interdipendenti e strettamente connessi, sarebbe stato però necessario attendere l'opera di Galileo e di Newton.

### **3. LA FILOSOFIA MECCANICISTICA**

La matematizzazione della natura costituisce senz'altro uno degli orientamenti fondamentali e più significativi della rivoluzione scientifica. Bisogna tuttavia rilevare che l'affermarsi di una concezione della natura come insieme di fenomeni esprimibili e spiegabili in termini matematici, non riguardò soltanto l'astronomia, ma coinvolse anche la meccanica, ossia lo studio del moto dei corpi [si vedano i capp. su Galileo e Newton]. Ora, proprio la meccanica fornì il modello esemplare per l'elaborazione di una nuova filosofia della natura che, nel corso della rivoluzione scientifica, rimpiazzò, in modo pressoché definitivo, l'immagine aristotelico-scolastica dell'universo. Questa visione del mondo trovò piena espressione nella cosiddetta *filosofia meccanicistica*, o *meccanicismo*, che rappresentò la nuova chiave per comprendere tutti gli aspetti del mondo fisico, dalla propagazione della luce alla generazione degli animali, dalla pneumatica alla respirazione, dalla chimica all'astronomia. La filosofia meccanicistica, da questo punto di vista, segna una rottura definitiva con il passato e può essere considerata come il risultato teorico in cui sfociano tutti i fattori di rinnovamento, inclusa la matematizzazione della natura, introdotti dalla rivoluzione scientifica.

In senso proprio, ciò che contraddistingue la filosofia meccanicistica è l'adozione di un ristretto numero di principi esplicativi. Tutti i fenomeni naturali devono infatti essere spiegati sulla base dei concetti impiegati nell'ambito della meccanica: **figura, grandezza, quantità e moto**. Tale privilegio attribuito alla meccanica trova la sua giustificazione nel fatto che, studiando il moto dei corpi in generale, essa offre la possibilità di astrarre da ogni altra considerazione, consentendo pertanto di ricondurre

l'analisi alle condizioni più semplici. Nella logica esplicativa adottata dai sostenitori del meccanicismo, i principi fondamentali della meccanica assumono un valore universale, e di conseguenza a risultare essenziale è **una teoria della causalità concepita soltanto in termini di azione per contatto.**

Strettamente connessa al valore universale della meccanica è la convinzione che le macchine, alle quali sempre più si attribuisce una dimensione teorica, costituiscano poderosi modelli esplicativi. **La filosofia meccanicistica considera i processi del mondo naturale in analogia con la macchina.** Gli elementi fondamentali della macchina – ruote dentate, catene, pulegge, sistemi di trasmissione, pompe, ecc. – rivestono un duplice significato: da un lato, servono a dare concretezza e visibilità ai principi astratti della meccanica; dall'altro, prospettano una nuova immagine del mondo naturale, nel senso che lo rendono più razionale, più prevedibile e, pertanto, più manipolabile. I fenomeni della natura possono essere spiegati in termini di relazioni reciproche fra i corpi, sul modello meccanico che presiede al funzionamento di un orologio composto di ruote dentate e contrappesi, ossia tramite l'urto e il trasferimento di moto da un corpo a un altro. Il mondo concepito come una grande orologio o una grande macchina, in cui ogni elemento dell'ingranaggio svolge una funzione specifica e, soprattutto, necessaria al suo funzionamento, mina dalle fondamenta l'immagine tradizionale di un mondo strutturato in base a fenomeni gerarchicamente ordinati. **La nuova immagine della natura introdotta dal meccanicismo non solo revoca in dubbio l'idea che fra i fenomeni si diano gerarchie, ma esclude la possibilità di spiegazioni basate sui principi attivi e sulle cause finali.**

**L'ontologia che sta alla base del meccanicismo implica che il mondo immediato dell'esperienza sensibile non è reale. Il presupposto teorico fondamentale di questa ontologia è la distinzione fra quelle che sono considerate le proprietà reali dei corpi (la figura, la grandezza, il moto, la quiete) e quelle meramente soggettive, causate dalle prime, quali il colore, l'odore, il gusto, ecc. Tale dottrina, che nella fraseologia poi adottata da Boyle e Locke assumerà la forma della celebre distinzione fra qualità primarie e qualità secondarie, è presente in vari autori (Galileo, Descartes, Hobbes, Mersenne, Gassendi) e costituisce una delle idee filosofiche più significative per la fondazione della scienza moderna, poiché da essa discende la possibilità di considerare la realtà come una struttura ontologica omogenea, suscettibile pertanto di essere analizzata secondo relazioni quantitative.** Le qualità manifeste della filosofia aristotelica vengono

così ridotte a qualità secondarie, imputabili ai moti di piccole particelle invisibili di cui si compongono i corpi. E anche **la vecchia distinzione aristotelica fra qualità manifeste e qualità occulte diventa priva di senso**, in quanto all'interno della filosofia meccanicistica tutte le spiegazioni si riducono, in definitiva, ai moti e alle interazioni di particelle non percepibili nell'esperienza diretta.

L'**interpretazione della realtà in termini di materia e moto** scaturisce dal presupposto essenziale che sta a fondamento della filosofia meccanicistica, dall'assumere cioè che i corpi del mondo naturale sono costituiti da piccolissime particelle o corpuscoli impercipienti. L'ontologia che contraddistingue il meccanicismo è quindi di tipo *corpuscolare*: la struttura materiale dei corpi consiste di parti così piccole che sfuggono alla percezione degli organi di senso. Ma qual è la natura di questi corpuscoli di cui si compongono i corpi? Nel corso della rivoluzione scientifica prevalsero per lo più **due orientamenti: alcuni sostenevano l'esistenza di particelle minime non ulteriormente divisibili, dette atomi; altri invece credevano che le parti costituenti la materia fossero divisibili senza limiti**. Sebbene quindi tutti i filosofi meccanicisti assumessero che la materia fosse composta di particelle, non tutti erano disposti a sottoscrivere che queste particelle fossero gli elementi ultimi della realtà. L'adozione di una prospettiva corpuscolare non implicava necessariamente l'adesione a una visione atomistica della realtà. Se infatti tutti gli atomisti furono corpuscolaristi, non tutti i corpuscolaristi furono atomisti, come risulta ben evidente dalla diversa concezione della materia di Gassendi e Descartes.

**Pierre Gassendi (1592-1655)** fu il principale artefice della ripresa dell'atomismo antico, di quella dottrina materialistica cioè che concepiva l'intera realtà in termini di atomi duri e impenetrabili, per il moto dei quali era indispensabile l'esistenza del vuoto. L'obiettivo di Gassendi, però, non si limitava a reintrodurre pedissequamente l'antica dottrina di Democrito ed Epicuro. Da prete cattolico di insospettata ortodossia, Gassendi si propose infatti di emendare l'atomismo da quelle implicazioni ateistiche per renderlo accettabile anche dal punto di vista teologico. Al contrario di quanto pensava Epicuro, ad esempio, l'universo e gli atomi, secondo Gassendi, non esistevano dall'eternità, ma erano stati creati da Dio. Il moto degli atomi, inoltre, non era governato dal cieco caso o dalla ferrea necessità, ma era controllato dal costante intervento di Dio.

Fatta eccezione per queste differenze di carattere teologico, comunque, l'immagine dell'universo di Gassendi è abbastanza simile a quella prospettata dagli antichi atomisti. Nel sistema di Gassendi, infatti, ogni fenomeno naturale è spiegato facendo ricorso soltanto agli atomi e

ai loro movimenti nel vuoto. La natura ultima degli atomi – che sono invisibili, ma non privi di estensione – è l'impenetrabilità; si tratta quindi di sostanze permanenti e invariabili, che non differiscono fra loro in qualità. Le caratteristiche essenziali dei singoli atomi sono la dimensione, la forma e il peso o principio del moto. A differenza di Epicuro, però, il peso non mette in movimento gli atomi secondo un'unica direzione definita, ma agisce come una forza motrice intrinseca che, impressa agli atomi da Dio all'atto della creazione, consente loro di muoversi in tutte le direzioni. Affinché però il movimento risulti possibile è necessario supporre l'esistenza del vuoto. Gassendi assume pertanto l'esistenza di un vuoto disseminato fra gli spazi interstiziali degli atomi, grazie al quale questi ultimi possono muoversi e alterare il loro corso. Gli atomi poi, attraverso i movimenti e la loro forma specifica, si aggregano in molecole di diverse dimensioni. Di conseguenza, le qualità dei corpi più grandi, quali la solidità, la fluidità, ecc., sono da imputare alle qualità precedenti dei singoli atomi e al modo in cui essi danno luogo alle aggregazioni molecolari.

Pur condividendo un generale quadro meccanicistico di spiegazione dei fenomeni naturali e l'idea che la materia abbia una struttura corpuscolare, **Descartes (1596-1650)**, al contrario di Gassendi, negò sia l'esistenza degli atomi sia del vuoto. Per Descartes i soli ingredienti che costituiscono il mondo naturale sono la **materia e il movimento**. La caratteristica fondamentale della materia è l'estensione geometrica in tre dimensioni (lunghezza, larghezza e profondità). E poiché la materia è identica all'estensione, essa coincide con lo spazio. L'identificazione di materia, estensione e spazio implica che l'universo è costituito ovunque della stessa materia, che la materia è divisibile all'infinito e, per la stessa ragione, che il vuoto non esiste. Il vuoto, infatti, dovrebbe essere uno spazio o estensione non contenente alcuna materia, ma l'essenza della materia consiste nell'estensione, dunque il concetto di vuoto è contraddittorio e conseguentemente impossibile.

La negazione cartesiana dei due elementi costitutivi dell'atomismo – l'indivisibilità delle parti ultime della materia (cioè gli atomi) e l'esistenza del vuoto – non esclude il darsi in atto di particelle corporee estremamente piccole e ulteriormente divisibili. Sebbene, infatti, Descartes postuli l'esistenza di una sola materia omogenea, tuttavia la suddivide in tre generi o elementi, che si differenziano unicamente quanto a proprietà di tipo meccanico. Il primo elemento, di cui sono costituiti il sole e le stelle, è formato di particelle piccolissime e velocissime, che riempiono gli interstizi fra le altre parti di materia. Le particelle del secondo elemento hanno forma sferica e compongono i cieli. Il terzo elemento, infine, del quale sono costituiti la terra e gli altri

pianeti, è fatto di particelle più grosse con una capacità di movimento inferiore rispetto a quella degli altri due elementi.

Poiché la materia, in quanto estensione, è inerte – ossia priva di principi attivi –, le sue variazioni devono avere qualche altra causa oltre alla materia stessa. Tutte le proprietà della materia si riducono alla divisibilità delle sue parti e alla mobilità di queste parti. Il moto delle parti estese deve essere dunque l'unico principio di spiegazione dei fenomeni naturali: ogni variazione della materia, infatti, come tutta la differenza delle sue forme, dipende soltanto dal moto locale. **La prima causa del moto è Dio stesso, che al principio ha creato la materia con una determinata quantità di quiete e di moto, e in seguito conserva in essa immutabile questa quantità.** Il fatto che Dio mantenga nell'universo una quantità costante di moto, secondo Descartes, deriva dall'immutabilità della volontà divina: Dio, infatti, è immutabile non solo in se stesso, ma anche in ogni sua operazione. Questa quantità, pur rimanendo sempre costante, si trova tuttavia distribuita nella materia in modo non uniforme; di conseguenza, lo stato in cui si trovano le parti della materia viene a modificarsi in seguito all'incontro o urto reciproco – variazioni nella forma, nelle dimensioni, nella direzione e nella velocità – secondo leggi fondamentali, che Descartes chiama *leggi di natura*, istituite da Dio stesso come cause seconde dei movimenti particolari.

#### **4. L'INVENZIONE DI NUOVI STRUMENTI SCIENTIFICI**

Nella fase culminante della rivoluzione scientifica, raggiunta nel XVII secolo, un ruolo decisivo fu svolto dall'elaborazione di nuovi strumenti, i quali introdussero fatti nuovi e nuovi modi di osservare fenomeni e cose già noti.

Gli strumenti scientifici dell'Antichità e del Medioevo – sfere armillari, astrolabi, quadranti – erano soprattutto strumenti di osservazione astronomica. E fino agli inizi del XVI secolo, la situazione rimase pressoché identica: gli strumenti erano infatti esclusivamente connessi all'osservazione astronomica o alla rilevazione topografica. Per secoli quindi la loro forma e struttura aveva subito soltanto una lentissima evoluzione, dovuta al perfezionamento delle tecniche di fabbricazione.

Durante il XVII secolo, però, questo ritmo si interruppe, cosicché alla fase di evoluzione succedette ben presto una fase di *invenzione*. A determinare una svolta così radicale fu lo stretto legame che venne a instaurarsi fra scienza e tecnica, portando, nel giro di circa un secolo, alla

realizzazione di tutta una serie di nuovi strumenti. L'invenzione e lo sviluppo di strumenti e apparecchi scientifici nuovi aprirono all'investigazione scientifica possibilità inaspettate. Da un lato, infatti, essi consentirono al filosofo naturale di effettuare osservazioni più precise rispetto al passato, ossia di vedere meglio ciò che egli poteva già vedere, ma anche di vedere oggetti che altrimenti non sarebbero stati direttamente percepibili agli organi di senso. E dall'altro, gli permisero di studiare fenomeni nuovi o di riprodurli in condizioni controllate, rendendo quindi possibile giustificare le conclusioni tratte riguardo ai fenomeni in oggetto.

Il ruolo di questi nuovi strumenti fu decisivo, e non è azzardato sostenere che essi costituiscono un vero e proprio spartiacque rispetto al passato, poiché risultano essenziali alla realizzazione di quel "metodo sperimentale" che rappresenta una delle principali caratteristiche della scienza moderna. A partire dai primi decenni del XVII secolo, l'invenzione di un notevole numero di strumenti fornisce infatti ai vari campi della ricerca scientifica – all'astronomia, alla fisica e alle scienze naturali – mezzi di indagine fino ad allora sconosciuti, e tali da ampliare gli orizzonti della conoscenza del mondo naturale.

**Il telescopio** consentì di osservare i corpi celesti lontani molto meglio di come essi potevano essere visti a occhio nudo, svelando letteralmente un nuovo mondo in cielo: si osservò che la Luna era montuosa come la Terra, che il Sole aveva macchie e che il cielo pullulava di innumerevoli stelle. **Il microscopio** rese possibili quelle scoperte che soltanto l'osservazione dell'infinitamente piccolo poteva permettere di realizzare, come, ad esempio, l'esistenza di milioni di esseri viventi piccolissimi e impercettibili ai sensi. **Il termometro** permise di osservare e misurare le variazioni della temperatura, portando per la prima volta la temperatura sotto il dominio dei numeri. **E il barometro** svolse la stessa funzione per le variazioni della pressione atmosferica. **La pompa pneumatica** creò la possibilità di studiare le proprietà dell'aria in condizioni controllate, cambiando dunque il modo di concepire il problema del vuoto. **L'orologio di precisione**, infine, consentì di misurare piccoli intervalli di tempo, trasformando la misurazione e di conseguenza anche il senso del tempo.

L'impiego di questi nuovi strumenti colloca la scienza moderna su un piano completamente diverso rispetto alle epoche precedenti. Nel corso della rivoluzione scientifica lo strumento scientifico acquisisce uno statuto che prima di allora non gli era mai stato riconosciuto. Lo strumento, infatti, concepito come *aiuto* e *potenziamento* dei sensi, è indispensabile non solo all'osservazione, ma anche alla sperimentazione. Di conseguenza, esso entra nell'investigazione scientifica con una

funzione conoscitiva ed euristica, poiché, oltre ad essere sede di principi teorici incorporati nella sua struttura, condiziona e stimola la stessa elaborazione teorica. Il riconoscimento di questa funzione e l'attribuzione di un valore positivo allo strumento scientifico devono essere dunque considerati fra le principali conquiste della rivoluzione scientifica.

## **5. LA NASCITA DELLE ACCADEMIE SCIENTIFICHE**

I profondi rivolgimenti concettuali che ebbero luogo nello sviluppo della rivoluzione scientifica portarono, sul piano istituzionale, a una diversa organizzazione della ricerca scientifica. Venuto meno il ruolo delle università quali centri dell'attività intellettuale, durante il XVII secolo si assistette alla nascita delle prime accademie e società scientifiche, che divennero il luogo privilegiato della produzione scientifica. **Queste nuove sedi della ricerca scientifica si svilupparono in opposizione alle università che, tradizionalmente controllate dal potere ecclesiastico, quasi senza eccezione guardarono alle innovazioni con estremo sospetto. Non deve quindi stupire che, tranne qualche caso isolato, la maggior parte degli scienziati del Seicento non ricoprì alcuna cattedra universitaria.** Nel tentativo di promuovere l'avvento di nuove idee, molti studiosi si organizzarono pertanto privatamente, incominciarono a riunirsi in circoli e associazioni, per scambiarsi informazioni, coordinare le ricerche, discutere e realizzare esperimenti, in un primo tempo in forme spontanee, in seguito strutturandosi in maniera stabile grazie al sostegno di ricchi mecenati, fra i quali non mancarono principi e re. Va comunque sottolineato che, pur essendo l'obiettivo di tali istituzioni quello di promuovere e divulgare le nuove concezioni filosofiche e scientifiche, le accademie furono anche strumenti di propaganda, non solo delle idee scientifiche, ma talvolta degli interessi extrascientifici dei promotori.

La prima organizzazione di questo tipo fu **l'Accademia dei Lincei**, fondata dal principe Federico **Cesi** (1585-1630), che ebbe fra i suoi membri più illustri Galileo. Con una struttura informale, che si ispirava ai cenacoli letterari e filosofici a quel tempo comuni in Italia, l'accademia rappresentò un luogo di incontro in cui individui con interessi affini potevano discutere di filosofia naturale. Benché dotata di una biblioteca, di un orto botanico e di un gabinetto di storia naturale, nell'accademia tuttavia non si tenevano riunioni regolari e le ricerche collettive dipendevano esclusivamente dall'iniziativa personale e dall'energia del principe Cesi. Alla sua morte, infatti, i membri dell'accademia si dispersero, anche se la sua attività cessò nel 1651.

Un altro gruppo analogo fu organizzato a Firenze con il patrocinio del granduca Ferdinando II de' Medici. **L'Accademia del Cimento**, però, nonostante l'immagine stereotipata che la storiografia tradizionale ha cercato di accreditare, non nacque dall'esigenza spontanea di liberi ricercatori che, guidati da un rigoroso sperimentalismo, perseguirono in piena collaborazione obiettivi comuni. Essa non fu un istituto di ricerca in senso moderno: priva infatti di uno statuto, con riunioni che non avevano periodicità precise, senza una sede stabile e un bilancio proprio, l'accademia dipendeva in tutto e per tutto dal mecenatismo del principe Leopoldo (1617-1675), fratello del granduca, che ne fece abilmente uno strumento di propaganda. Le stesse modalità con cui l'accademia si costituì e rese pubblici i risultati delle proprie ricerche documentano, inequivocabilmente, la sua precarietà istituzionale e l'assoluta subordinazione al principe Leopoldo. L'accademia, che non fu mai inaugurata ufficialmente, iniziò la sua attività scientifica nel 1657, registrando con una certa regolarità le esperienze effettuate in alcuni diari. Non essendosi posta alcuna questione istituzionale relativa alla sua apertura, a maggior ragione non ci fu affatto bisogno di sancirne la chiusura: molto semplicemente, a un certo punto l'accademia non fu più riunita. Nata quindi senza regole e strutture precise, l'accademia fu in realtà un fenomeno di corte, che rispondeva a mirate esigenze di politica culturale, come dimostra la pubblicazione dei *Saggi di naturali esperienze*. L'opera, apparsa nel 1667, raccoglieva i resoconti dell'attività sperimentale dell'accademia; paradossalmente, però, i nomi degli accademici non venivano neppure ricordati. Ad essere citato era soltanto il segretario, Lorenzo Magalotti (1637-1712), di fatto estraneo a tutto il lavoro sperimentale svolto dagli accademici.

La soppressione dei contributi scientifici dei singoli membri dell'accademia e l'immagine di un gruppo che aveva operato in piena armonia e collegialità, risultavano funzionali a rendere centrale la figura di Leopoldo, facendolo apparire non solo come promotore di importanti attività scientifiche, ma anche dotato di eccezionali virtù di saggezza ed equilibrio. Le esperienze quindi erano presentate senza alcun contesto teorico e senza conclusioni o tentativo di trarne, allo scopo di occultare le divergenze filosofiche dei membri dell'accademia, nonché la loro incapacità di pervenire a un consenso sull'interpretazione appropriata da dare agli esperimenti. Con la pubblicazione dei *Saggi*, l'accademia cessava la sua attività. E d'altronde non poteva essere altrimenti: una volta raggiunto l'obiettivo, Leopoldo venne attenuando l'impegno e l'interesse per l'accademia.

Diversamente dall'Accademia dei Lincei e da quella del Cimento, la **Royal Society** non nacque dalla volontà di un mecenate: la patente e la

protezione ufficiale del re Carlo II furono concesse soltanto nel 1662, quando esistevano già da un ventennio associazioni spontanee di studiosi che univano i loro sforzi per il progresso e la diffusione della “filosofia sperimentale”. Uno di questi gruppi si era costituito a Londra intorno al 1645 e teneva le sue riunioni, sebbene non in maniera esclusiva, al Gresham College. L’interesse principale di questo gruppo – che fra i suoi principali animatori annoverava John Wallis (1616-1703) e John Wilkins (1614-1672) – era la “nuova filosofia o filosofia sperimentale” e lo spettro delle loro ricerche era estremamente ampio: medicina, anatomia, geometria, astronomia, navigazione, statica, magnetismo, chimica, meccanica ed esperimenti naturali. A partire dal 1648, si era poi formato a Oxford un altro gruppo, in realtà una propaggine di quello londinese, noto come Club di Filosofia sperimentale di Oxford, al quale nel 1655 si era unito Robert Boyle (1627-1691). Le diverse eredità intellettuali e scientifiche di questi e di altri gruppi confluirono nella costituzione della Royal Society, nome legittimamente adottato a partire dal 1662, quando fu concessa la Patente Reale, che giungeva dopo circa due anni di riunioni settimanali svoltesi al Gresham College di Londra. La Royal Society adottò ben presto, ad opera soprattutto di Boyle e Wilkins, un’ideologia di tipo baconiano, mirando quindi a migliorare la conoscenza pratica e sperimentale, al fine di far avanzare la scienza e il bene universale dell’umanità. Inoltre, la regolarità degli incontri, i continui scambi scientifici, l’allestimento e la verifica pubblica degli esperimenti, la divulgazione dei risultati attraverso le *Philosophical Transactions* (pubblicate a partire dal 1665), lo stimolo alla discussione e alla competizione fra gli scienziati contribuirono, in maniera decisiva, a trasformare il carattere dell’attività scientifica sia in Inghilterra che in tutta Europa.

Anche in Francia, già a partire dagli anni '40 del XVII secolo, operavano, sotto il patrocinio di privati, gruppi di scienziati e di intellettuali che si riunivano in accademie e associazioni. Un primo impulso in questa direzione fu dato dal frate minore Marin Mersenne (1588-1648), che attraverso la propria estesa corrispondenza creò una rete internazionale di personalità scientifiche (da Galileo a Descartes, da Gassendi a Roberval, a Hobbes, ecc.) e la cui cella, nel convento dei Minimi a Parigi, diventò un punto di incontro per dotti francesi e stranieri. La prima importante associazione scientifica francese, tuttavia, si formò nel 1654; gli incontri si tenevano nella casa di Habert de Montmor, un facoltoso scienziato dilettante che invitò Gassendi a presiedere le riunioni. Alle discussioni partecipavano vari esponenti della migliore società, segno quindi che le nuove concezioni scientifiche erano diventate più che rispettabili, se non addirittura di moda. Fra gli

scienziati che si incontravano nella casa di Montmor o in quelle di altri notabili, c'erano personaggi scientifici notevoli, come i matematici Pascal e Roberval. E non era inusuale che a queste riunioni partecipassero e venissero invitati scienziati stranieri. Desiderosi di emulare l'Accademia del Cimento e sopravvalutando la munificenza di Carlo II verso la Royal Society da poco istituita, gli scienziati francesi si rivolsero al giovane re Luigi XIV per ottenere un sostegno ufficiale. Colbert ottenne l'assenso del re e nel 1666 veniva fondata **l'Académie Royale des Sciences**. Gli accademici ricevevano uno stipendio, potevano disporre della biblioteca reale e di un osservatorio astronomico. Per dare prestigio e lustro alla nuova istituzione furono chiamati anche studiosi stranieri: l'olandese Christiaan Huygens (1629-1695), l'italiano Gian Domenico Cassini (1625-1715) e il danese Ole Roemer (1644-1710). L'Académie rappresentò il primo esempio di istituzione scientifica finanziata dallo Stato, e ciò ovviamente comportava un prezzo da pagare. Oltre alle ricerche più propriamente teoriche, gli accademici dovevano anche occuparsi di cose utili, come la progettazione di impianti idraulici, la valutazione delle innovazioni tecnologiche, gli effetti pratici di alcune sostanze usate in vari vari farmaci, e così via.

In generale, comunque, le accademie scientifiche non furono istituti di ricerca in cui si compirono scoperte di rilievo. Esse si configurarono come luoghi di pubblico dibattito, sedi cioè in cui gli scienziati potevano confrontare le proprie elaborazioni teoriche o i risultati sperimentali con altri scienziati. Svolsero un ruolo notevole nel promuovere e nell'incentivare l'interesse per la conoscenza scientifica, facendo leva anche sulle sue ricadute di tipo pratico. Il modello cui spesso le accademie facevano riferimento era infatti la *Nuova Atlantide* (1627) di Francis Bacon. In quell'opera il Lord Cancelliere aveva descritto la Casa di Salomone come un'istituzione in cui scienziati e tecnici collaboravano insieme allo scopo di "allargare i confini del potere umano verso la realizzazione di ogni possibile obiettivo". La conoscenza scientifica veniva presentata come qualcosa di inseparabile dalle sue applicazioni pratiche, come un mezzo per ottenere il miglioramento della condizione umana e la fine della fatica fisica.