CAPITOLO

3

La rivoluzione scientifica e Francesco Bacone

«Natura enim non nisi parendo vincitur»: alla natura infatti non si comanda se non obbedendole.
— Francesco Bacone, Novum Organum I 3 (traduzione della redazione)

OBIETTIVI

1. Spiegare che cosa si intende per rivoluzione scientifica, con i suoi limiti cronologici e le sue novità: matematica, esperimento, strumenti, istituzioni
2. Ricostruire il problema da cui parte Copernico, ciò che l'eliocentrismo spiega e le obiezioni che incontra
3. Distinguere realismo e strumentalismo a partire dalla premessa di Osiander
4. Descrivere il contributo di Tycho Brahe ed enunciare con precisione le tre leggi di Keplero, applicando la terza a dati reali
5. Esporre la critica di Bacone al sapere tradizionale, la dottrina degli idola e il metodo dell'induzione per eliminazione, con i suoi limiti

INDICE DEL CAPITOLO

3.1 Che cos'è la rivoluzione scientifica 3
3.2 Copernico: la Terra si muove 5
3.3 Tycho Brahe e Keplero: le misure e le leggi 10
3.4 Francesco Bacone: il sapere come potere e gli idola 15
3.5 Il metodo di Bacone: l'induzione per eliminazione 18
3.6 Leggere i testi 22

Filosofia 4 · Parte I · L'uomo e la natura: Rinascimento e rivoluzione scientifica · versione 1.0
Capitolo 3: La rivoluzione scientifica e Francesco Bacone · pagine 81–112 del volume completo · estratto per lo studio

Nel 1500 quasi tutti gli uomini colti d'Europa pensavano che la Terra fosse immobile al centro di un cosmo chiuso, fatto di sfere trasparenti che ruotano attorno a lei. Nel 1700 quasi tutti pensavano il contrario: la Terra è uno dei pianeti che girano attorno al Sole, il cielo e la Terra obbediscono alle stesse leggi, e queste leggi si scrivono con la matematica. In mezzo stanno due secoli in cui non è cambiata soltanto la risposta a una domanda di astronomia: è cambiato il modo di fare domande alla natura, di controllare le risposte e di decidere chi ha ragione. Questo capitolo segue la prima parte di quella trasformazione. Prima i fatti: tre astronomi, Copernico, Tycho Brahe e Keplero, che smontano pezzo per pezzo il cielo antico. Poi la riflessione: un filosofo inglese, Francesco Bacone, che si chiede perché il sapere sia rimasto fermo così a lungo e propone un metodo per farlo ripartire. Il protagonista più grande, Galileo, ha un capitolo tutto suo, il prossimo.

Contesto

Il periodo va dal 1543, l'anno in cui esce a Norimberga il libro di Copernico, al 1687, quando Newton pubblica a Londra i *Principia* (Figura 3.1). È l'Europa della Riforma e della Controriforma, delle guerre di religione e, dal 1618 al 1648, della guerra dei Trent'anni; è anche l'Europa delle grandi navigazioni, che hanno mostrato quanto poco gli antichi sapessero della Terra. I protagonisti non lavorano in un solo luogo: Copernico è un canonico della Polonia settentrionale, Tycho un nobile danese che costruisce un osservatorio su un'isola, Keplero un luterano tedesco che lavora a Graz, a Praga e a Linz, Bacone un uomo politico londinese. Li collegano i libri a stampa, le lettere e, dal Seicento, le accademie scientifiche. Quasi nessuno di loro è un professore universitario: anche questo è un segno dei tempi.

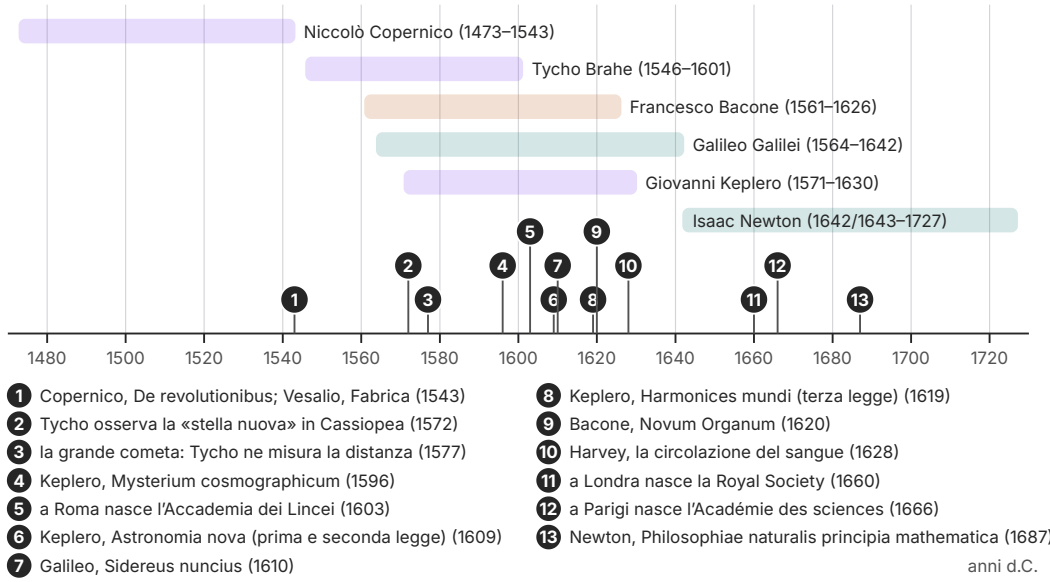


Figura 3.1 Linea del tempo della rivoluzione scientifica, dal *De revolutionibus* di Copernico (1543) ai *Principia* di Newton (1687): gli autori del capitolo (e Galileo e Newton, protagonisti del prossimo capitolo) e alcune opere e istituzioni. Per Newton, 1642 o 1643 dipende dal calendario, giuliano o gregoriano.

3.1 Che cos'è la rivoluzione scientifica

3.1.1 Un'espressione e i suoi limiti

L'espressione **rivoluzione scientifica** indica il complesso di trasformazioni che, tra la metà del Cinquecento e la fine del Seicento, ha dato origine alla scienza moderna: un nuovo quadro del cosmo, un nuovo metodo di indagine, nuove istituzioni. La formula non è dei protagonisti: si è diffusa nel Novecento grazie agli storici della scienza, tra i quali Alexandre Koyré. Va usata con due cautele. La prima: non fu un evento improvviso, ma un processo lungo più di un secolo, fatto di tentativi, ritorni indietro e polemiche. Copernico non sapeva di aprire una rivoluzione, e Keplero era convinto di scoprire l'armonia voluta da Dio nel cosmo. La seconda: non nacque dal nulla. Come hai visto nel volume precedente, già nel Trecento Giovanni Buridano aveva corretto la fisica di Aristotele con la teoria dell'*impetus* e Nicola Oresme aveva rappresentato le qualità con figure geometriche, discutendo perfino la possibilità che la Terra ruoti. E l'Umanesimo aveva restituito agli studiosi i testi greci di Archimede, di Tolomeo e dei pitagorici.

Eppure qualcosa di decisivo cambia davvero. Per capirlo conviene chiedersi che cosa distingue un fisico del 1700 da uno del 1500. Le differenze principali sono quattro: il ruolo della matematica, quello dell'esperimento, l'uso degli strumenti e il modo di stabilire che una tesi è vera.

3.1.2 Matematica ed esperimento

Nella tradizione aristotelica la matematica serviva all'astronomia e all'ottica, ma la fisica, cioè lo studio della natura dei corpi e delle loro cause, era un sapere qualitativo: spiegava il moto con la natura dei corpi e con i loro luoghi naturali. Nella scienza moderna la matematica diventa il linguaggio stesso della natura: una legge fisica è una relazione tra grandezze misurabili. Galileo darà a questa idea la formulazione più celebre, come vedrai nel prossimo capitolo, ma Keplero la pratica già quando cerca una formula che leghi le distanze dei pianeti ai loro periodi.

La seconda novità è l'**esperimento**. Anche gli aristotelici partivano dall'esperienza, ma intesa come esperienza comune: ciò che tutti vedono accadere «per lo più». L'esperimento moderno è un'altra cosa: è una situazione costruita apposta, spesso con strumenti, per isolare un fenomeno, misurarlo e rispondere a una domanda precisa. Non ci si limita a osservare la natura: la si interroga, mettendola in condizioni che da sola non presenterebbe. Bacone dirà che i segreti della natura si rivelano meglio quando è «vessata» dalle arti che quando segue il suo corso (*Novum Organum* I 98).

3.1.3 Nuovi strumenti, nuove istituzioni

Il Seicento è il secolo degli strumenti. Il cannocchiale, nato in Olanda nel 1608 e puntato verso il cielo da Galileo nel 1609, mostra cose che nessun occhio aveva mai visto; il microscopio, nei primi decenni del secolo, apre il mondo del piccolissimo; il barometro di Torricelli (1643) misura il peso dell'aria; l'orologio a pendolo di Christiaan Huygens (1656–1657) misura il tempo con una precisione mai raggiunta. Lo strumento cambia lo statuto dei sensi: non si crede più semplicemente a ciò che si vede, si corregge e si potenzia la vista.

Cambiano anche i luoghi del sapere. Accanto alle università, che restano in gran parte fedeli ad Aristotele, nascono le **accademie scientifiche**: a Roma l'Accademia dei Lincei (1603), fondata da Federico Cesi, di cui farà parte Galileo; a Firenze l'Accademia del Cimento (1657); a Londra la Royal Society (1660); a Parigi l'Académie des sciences (1666). Nel 1665 compaiono le prime riviste scientifiche, il *Journal des sçavans* a Parigi e le *Philosophical Transactions* a Londra. La scienza diventa un'impresa collettiva e pubblica, in cui un risultato vale solo se altri possono controllarlo.

COLLEGAMENTI

Latino. Il motto della Royal Society è *Nullius in verba*, «sulla parola di nessuno». È una citazione abbreviata da Orazio, che dice di sé di essere *nullius addictus iurare in verba magistri*, «non vincolato a giurare sulle parole di alcun maestro» (*Epistole* I 1, 14; traduzione della redazione): delle *Epistole* parlerai quest'anno in Latino, nel capitolo «Orazio: le *Odi* e le *Epistole*». Per gli scienziati inglesi il senso è preciso: in una questione di fatto non conta l'autorità di chi parla, neppure quella di Aristotele, ma ciò che l'esperimento mostra.

Scienze. Nel 1543, lo stesso anno del libro di Copernico, Andrea Vesalio pubblica a Basilea il *De humani corporis fabrica*, un grande trattato di anatomia fondato sulla dissezione e corredato di tavole precise, che corregge molti errori di Galeno. Nel 1628 William Harvey dimostra la circolazione del sangue, anche con un argomento quantitativo: il cuore spinge in poco tempo più sangue di quanto il corpo potrebbe produrne, quindi il sangue deve tornare al cuore.

Storia. Il quadro politico e religioso in cui nasce la nuova scienza, dalla crisi del Seicento alla guerra dei Trent'anni, è quello del capitolo 16 di *Storia 3*, «Il Seicento: crisi, guerra dei Trent'anni, nuova scienza».

Attenzione però a non immaginare che prima nessuno osservasse la natura: gli astronomi antichi e medievali osservavano con grande cura, e senza le loro tavole Copernico non avrebbe potuto lavorare. La novità non è l'osservazione in sé, ma il legame stretto tra misura, matematica ed esperimento costruito, e la decisione di far valere i fatti contro l'autorità dei libri.

3.2 Copernico: la Terra si muove

3.2.1 Il cielo ereditato

Ricordi il cosmo di Aristotele, lo stesso che Dante attraversa nel *Paradiso* (lo hai visto in Italiano, nel capitolo 4 di *Italiano 3*, «La *Commedia*: il poema, il viaggio, l'universo»): una sfera chiusa, con la Terra immobile al centro, il mondo sublunare dei quattro elementi e del divenire, e sopra la Luna i cieli di etere, che si muovono soltanto di moto circolare uniforme. All'astronomia questo quadro poneva un problema difficile. I pianeti (in greco «vagabondi») non si muovono in modo regolare: la loro velocità cambia, e a volte sembrano fermarsi e tornare indietro tra le stelle, per poi riprendere il cammino. È il **moto retrogrado**. Come conciliare questi moti irregolari con il principio che nei cieli esistono solo moti circolari e uniformi? Era il compito che la tradizione chiamava «salvare i fenomeni».

La risposta più riuscita era quella di Claudio Tolomeo, astronomo di Alessandria (II secolo d.C.), nell'*Almagesto*. Ogni pianeta si muove su un piccolo cerchio, l'**epiciclo**, il cui centro percorre a sua volta un cerchio più grande attorno alla Terra, il deferente. Componendo i due moti il pianeta, visto dalla Terra, rallenta, si ferma e torna indietro. Per migliorare l'accordo con le

osservazioni Tolomeo aggiungeva altri artifici: cerchi eccentrici, il cui centro non coincide con la Terra, e l'equante, un punto rispetto al quale il moto del centro dell'epiciclo appare uniforme. Il sistema funzionava bene, tanto da restare in uso per quattordici secoli (Figura 3.2).

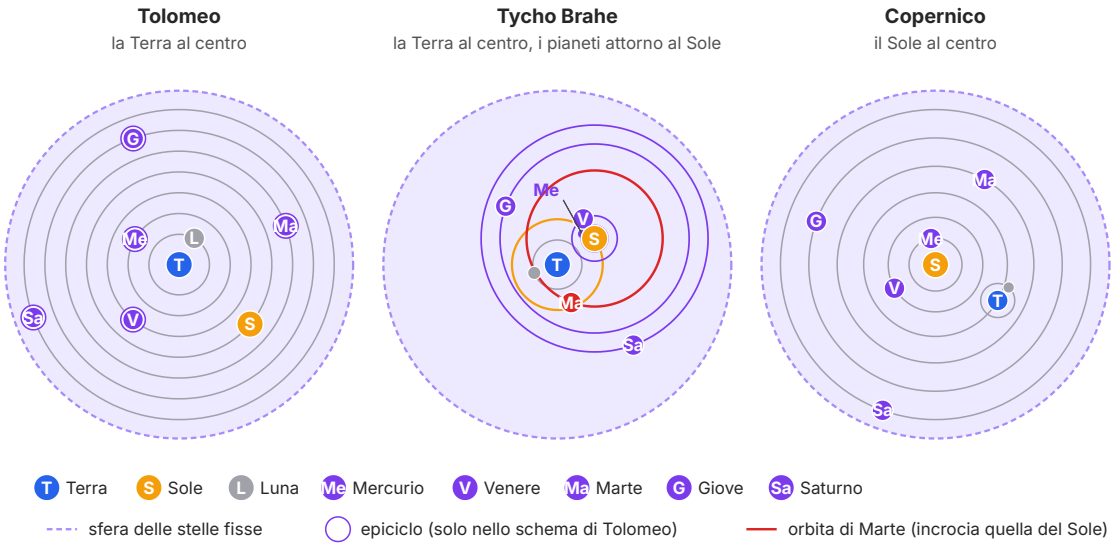


Figura 3.2 I tre sistemi del mondo a confronto (schemi, non in scala). A sinistra, Tolomeo: la Terra immobile al centro, i pianeti su epicicli. Al centro, Tycho Brahe: la Luna e il Sole ruotano attorno alla Terra, gli altri pianeti attorno al Sole; l'orbita di Marte incrocia quella del Sole. A destra, Copernico: il Sole al centro e la Terra, con la Luna, terza in ordine di distanza. Copernico conserva cerchi minori, qui omessi.

3.2.2 Il problema di Copernico

Niccolò Copernico (1473–1543) nasce a Toruń, in Polonia, studia a Cracovia e poi in Italia, a Bologna, Padova e Ferrara, dove si addottora in diritto canonico. Torna in patria e trascorre la vita come canonico del capitolo della cattedrale di Frombork, sul Baltico, occupandosi di amministrazione, di medicina e, nel tempo libero, di astronomia. Intorno al 1514 fa circolare tra pochi amici un breve scritto manoscritto, il *Commentariolus*, in cui presenta l'idea di un Sole immobile e di una Terra in movimento. Esita poi per decenni a pubblicare l'opera completa: la convince a farlo un giovane matematico luterano, Retico, che va a trovarlo nel 1539. Il *De revolutionibus orbium coelestium* («Sulle rivoluzioni delle sfere celesti») esce a Norimberga nel 1543, l'anno della morte dell'autore.

Nella dedica al papa Paolo III Copernico spiega che cosa lo ha spinto (T1). Il problema non è che il sistema di Tolomeo sbagli le previsioni: è che gli astronomi «non sono coerenti con sé stessi». Usano principi diversi per pianeti diversi, ammettono l'equante, che viola la regola del moto circolare uniforme, e soprattutto non sanno dire qual è la «forma del mondo», cioè l'ordine e le proporzioni del tutto. Il loro cielo, scrive Copernico, assomiglia a una figura composta di

mani, piedi e testa presi da corpi diversi: ogni pezzo è ben disegnato, ma l'insieme è un mostro. Il problema di Copernico, dunque, è di coerenza e di armonia prima che di precisione.

3.2.3 La soluzione: il Sole al centro

Copernico cerca negli autori antichi chi abbia già pensato a una Terra in movimento e trova, in Cicerone e in Plutarco, i nomi di alcuni pitagorici, come Filolao, che avevano attribuito un moto alla Terra (Aristarco di Samo, che aveva posto il Sole al centro, era ricordato per questa tesi solo in un passo del manoscritto che Copernico poi cancellò). Prova allora a vedere che cosa succede se si attribuiscono alla Terra alcuni moti. È l'**eliocentrismo**: il Sole sta fermo (in realtà, nel calcolo, quasi al centro), e la Terra ha un moto di rotazione quotidiano attorno al proprio asse, che spiega il giorno e la notte e il moto apparente di tutto il cielo, e un moto di rivoluzione annuo attorno al Sole; Copernico aggiunge un terzo moto per spiegare come l'asse terrestre resti orientato nella stessa direzione. La Luna gira attorno alla Terra; le stelle fisse sono immobili su una sfera lontanissima.

3.2.4 Che cosa spiega l'eliocentrismo

Il guadagno non sta nei numeri, ma nella spiegazione. Il moto retrogrado non è più un moto reale dei pianeti, da ricostruire con un epiciclo apposito: è un effetto di prospettiva dovuto al moto della Terra, che sorpassa i pianeti esterni o ne è sorpassata (Figura 3.3). Allo stesso modo si spiega perché Mercurio e Venere non si allontanano mai molto dal Sole: le loro orbite sono interne a quella terrestre, e dalla Terra li vediamo sempre nella direzione del Sole o vicino a essa. Soprattutto, il sistema ha un ordine: i pianeti si dispongono secondo i loro periodi, dal più rapido, Mercurio, al più lento, Saturno, e per la prima volta si possono calcolare le loro distanze relative dal Sole. Per Copernico questa armonia, per cui nessuna parte si può spostare senza sconvolgere il tutto, è il segno che il sistema è vero.

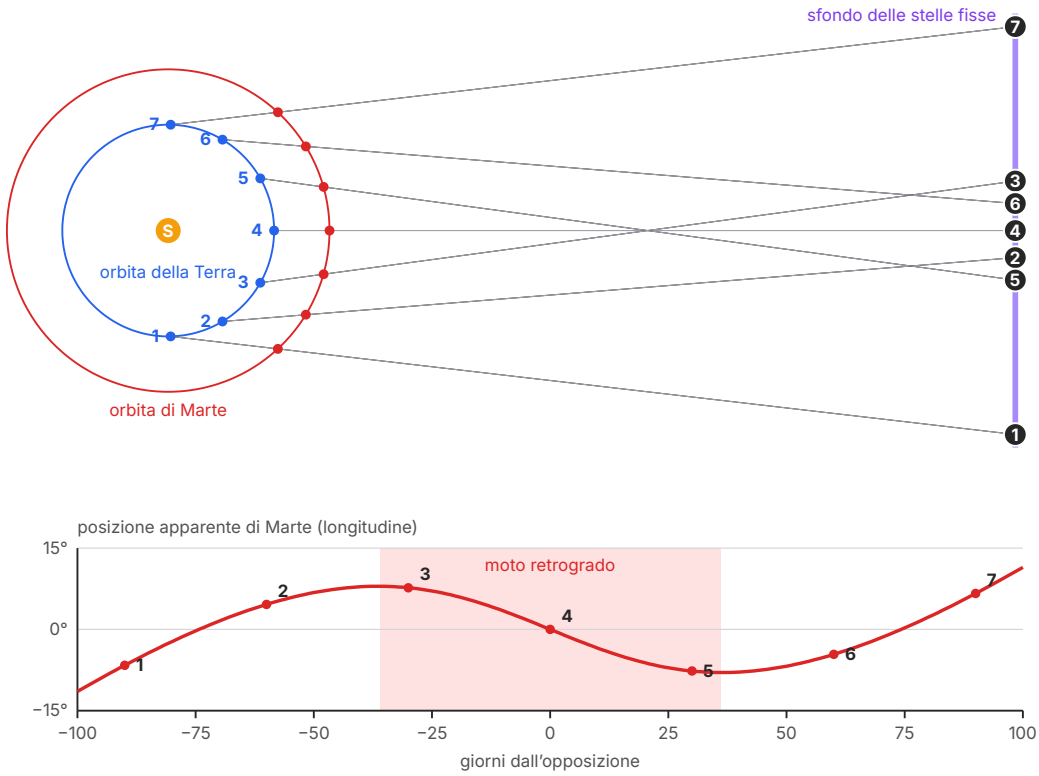


Figura 3.3 Il moto retrogrado di Marte spiegato dal moto della Terra, calcolato con orbite circolari (raggi 1 e 1,524 UA, periodi 1 e 1,881 anni). In alto, sette posizioni a intervalli di 30 giorni intorno all'opposizione (4): la Terra, più veloce, sorpassa Marte, e le linee di vista proiettano il pianeta sullo sfondo delle stelle prima in avanti (1–3), poi indietro (3–5), poi di nuovo in avanti (5–7). Lo sfondo è disegnato a 8 UA dal Sole: le stelle vere sono enormemente più lontane. In basso, la posizione apparente di Marte giorno per giorno: il moto retrogrado dura circa 72 giorni.

ESEMPIO SVOLTO

Perché Marte torna indietro

Problema. Spiega con il modello eliocentrico perché Marte, a intervalli regolari, sembra muoversi all'indietro tra le stelle.

1. I dati. La Terra percorre la sua orbita in 1 anno, Marte, più lontano dal Sole (1,524 volte), in 1,881 anni: la Terra è sulla corsia interna ed è più veloce.

2. Il sorpasso. Ogni tanto la Terra raggiunge Marte e lo sorpassa: avviene quando i due pianeti sono allineati dalla stessa parte del Sole (l'opposizione: Marte è opposto al Sole nel nostro cielo). Succede ogni $1/(1 - 1/1{,}881) \approx 2{,}14$ anni, il periodo sinodico.

3. L'effetto di prospettiva. Come un'auto più lenta, vista da un'auto che la sorpassa, sembra andare all'indietro rispetto alle montagne sullo sfondo, così Marte, visto dalla Terra che lo sorpassa, sembra arretrare rispetto alle stelle fisse. Nel modello a orbite circolari della Figura 3.3 il moto retrogrado dura circa 72 giorni, a cavallo dell'opposizione, e copre circa 16° di cielo.

4. La conclusione. Per Tolomeo ogni pianeta aveva bisogno di un epiciclo per produrre la retrogradazione; per Copernico la causa è una sola, il moto annuo della Terra, ed è la stessa per tutti i pianeti. Si spiega anche perché la retrogradazione di Marte coincide con il momento in cui il pianeta è più luminoso: è il momento in cui è più vicino a noi.

3.2.5 Che cosa non spiega, e le obiezioni

Il sistema di Copernico non era però la vittoria netta che si immagina. Copernico resta fedele ai cerchi e al moto uniforme: per accordare il modello con le osservazioni deve ancora usare cerchi minori ed eccentrici, e nel *Commentariolus* conclude che per spiegare tutto il cielo bastano trentaquattro cerchi, non molti meno di quelli di Tolomeo. Le sue previsioni non erano, all'inizio, più precise di quelle tolemaiche. E le obiezioni erano serie.

- **L'obiezione fisica.** Se la Terra gira su sé stessa, perché non sentiamo il movimento? Perché una pietra lasciata cadere da una torre non resta indietro, e le nuvole e gli uccelli non sono trascinati verso ovest? La fisica di Aristotele non sapeva rispondere: servirà la nuova fisica di Galileo.
- **L'obiezione astronomica.** Se la Terra percorre ogni anno un'orbita enorme, le stelle dovrebbero mostrare un piccolo spostamento apparente nel corso dell'anno, la **parallasse stellare**. Non lo si osservava. Copernico rispondeva che le stelle sono così lontane che lo spostamento è troppo piccolo per essere visto: aveva ragione, ma la parallasse fu misurata solo nel 1838, da Friedrich Bessel.
- **L'obiezione biblica.** Alcuni passi della Scrittura parlano del Sole che si muove e della Terra stabile: il più citato è il racconto di Giosuè che ferma il Sole (*Giosuè* 10). Copernico, nella dedica, liquida in anticipo chi lo criticherà «per qualche passo della Scrittura» stravolto a proprio vantaggio. Il problema esploderà con Galileo.

ERRORE FREQUENTE

«Copernico aveva un sistema più semplice e più preciso di quello di Tolomeo.» Né l'una né l'altra cosa sono vere, almeno nel senso in cui di solito si intendono: il suo modello usa ancora cerchi ed epicicli, in numero paragonabile, e all'inizio non prevede meglio le posizioni dei pianeti. È più *armonico*: spiega con una sola causa ciò che Tolomeo spiegava con molte, e fissa l'ordine e le distanze dei pianeti. Ricorda anche che le orbite di Copernico sono circolari: le ellissi arriveranno con Keplero.

3.2.6 L'avvertenza al lettore

Il *De revolutionibus* si apre con una breve premessa anonima, «Al lettore, sulle ipotesi di quest'opera» (T2). Non è di Copernico: l'ha aggiunta il teologo luterano Andrea Osiander, che seguiva la stampa a Norimberga. Osiander vuole proteggere il libro dalle polemiche e sostiene che l'astronomo non ha il compito di dire come è fatto il cielo, ma solo di costruire *ipotesi* che permettano di calcolare le posizioni dei pianeti: «non è necessario che queste ipotesi siano vere, e nemmeno verosimili». Copernico, come mostra la dedica, pensava il contrario: il suo sistema descrive il mondo reale. Fu Keplero, nel 1609, a rendere pubblico il nome dell'autore della premessa.

APPROFONDIMENTO

Descrivere il mondo o fare calcoli?

Dietro la premessa di Osiander c'è una domanda che attraversa tutta la storia della scienza: una teoria ci dice com'è fatta la realtà, oppure è soltanto uno strumento per prevedere i fenomeni? La prima posizione si chiama **realismo**, la seconda **strumentalismo**. Lo strumentalismo aveva radici antiche: secondo una lettura diffusa, molti astronomi greci e medievali consideravano gli epicicli artifici di calcolo, e lasciavano ai filosofi la questione della vera struttura del cosmo. Copernico, Keplero e Galileo sono invece realisti: per loro la Terra si muove davvero. La questione non è chiusa: nel Novecento il fisico e storico Pierre Duhem ha difeso una lettura strumentalista dell'astronomia antica, e i filosofi della scienza discutono ancora se le teorie scientifiche descrivano il mondo o lo «salvino» soltanto.

3.3 Tycho Brahe e Keplero: le misure e le leggi

3.3.1 Tycho Brahe: osservare con precisione

Tycho Brahe (1546–1601), nobile danese, è il più grande astronomo osservativo prima del cannocchiale. Nel novembre del 1572 vede brillare nella costellazione di Cassiopea una stella che prima non c'era (oggi sappiamo che era una supernova, l'esplosione di una stella lontana). Se-

condo Aristotele i cieli sono immutabili: una stella nuova doveva essere un fenomeno dell'atmosfera, sotto la Luna. Ma Tycho misura con cura la sua posizione e non trova alcuna parallasse: la stella è più lontana della Luna, quindi il cielo cambia. Nel 1577 fa la stessa cosa con una grande cometa e conclude che anche le comete stanno oltre la Luna e attraversano, nel loro cammino, le regioni dei pianeti. Se è così, le sfere solide e cristalline che dovevano trasportare i pianeti non esistono: la cometa le avrebbe infrante.

Il re di Danimarca gli concede l'isola di Hven, nello stretto tra Danimarca e Svezia, dove Tycho costruisce l'osservatorio di Uraniborg. Lì, per una ventina d'anni, con grandi quadranti e sestanti a occhio nudo, raccoglie misure delle posizioni dei pianeti di una precisione mai vista, fino a circa un primo d'arco (un sessantesimo di grado). Nel 1599 si trasferisce a Praga, alla corte dell'imperatore Rodolfo II, dove muore nel 1601.

Tycho non accettò il sistema di Copernico: gli sembrava assurdo attribuire il moto a un corpo pesante e pigro come la Terra, e la mancanza di parallasse stellare lo convinceva che la Terra fosse ferma. Propose quindi un compromesso, il **sistema ticonico**: la Terra è immobile al centro, la Luna e il Sole le girano attorno, e gli altri cinque pianeti girano attorno al Sole (Figura 3.2). Geometricamente equivale al sistema copernicano, e infatti spiega altrettanto bene la retrogradazione; ma in esso l'orbita di Marte attorno al Sole incrocia quella del Sole attorno alla Terra, cosa impossibile se i pianeti fossero portati da sfere solide. Per decenni il sistema ticonico fu l'alternativa preferita da chi non voleva muovere la Terra.

3.3.2 Keplero: cercare le cause

Giovanni Keplero (1571–1630) studia teologia a Tubinga, dove il suo maestro di astronomia, Michael Mästlin, gli fa conoscere Copernico. Diventa insegnante di matematica a Graz e nel 1596 pubblica il *Mysterium cosmographicum* («Il mistero del cosmo»). La domanda è tipica di Keplero: perché i pianeti sono proprio sei, e perché si trovano a quelle distanze dal Sole? La risposta è audace. Tra le sei sfere dei pianeti si possono inserire, una dentro l'altra, i cinque poliedri regolari: il cubo tra Saturno e Giove, il tetraedro tra Giove e Marte, il dodecaedro tra Marte e la Terra, l'icosaedro tra la Terra e Venere, l'ottaedro tra Venere e Mercurio. Poiché i poliedri regolari sono solo cinque, i pianeti non possono essere che sei.

COLLEGAMENTI

Filosofia antica e Matematica. I cinque poliedri regolari sono i «solidi platonici», perché Platone nel *Timeo* li associa agli elementi e al cosmo, come hai visto nel volume precedente; Euclide ne dimostra, alla fine degli *Elementi*, che non ne esistono altri. Keplero è un copernicano, ma anche un platonico: crede che Dio abbia costruito il mondo secondo un piano geometrico. La differenza rispetto a Platone è che Keplero confronta il suo piano con le misure, e lo abbandona quando le misure non tornano.

L'idea dei poliedri è sbagliata, ma il metodo è nuovo: Keplero confronta le distanze previste con quelle calcolate da Copernico, nota le discrepanze e capisce che per andare avanti servono dati migliori. Li ha soltanto Tycho. Nel 1600 Keplero raggiunge Tycho a Praga, e alla sua morte, nel 1601, ne eredita il posto di matematico imperiale e le osservazioni. Comincia una «guerra», come la chiamerà lui, con l'orbita di Marte, il pianeta più ribelle. Dopo anni di calcoli trova un'orbita circolare, con un centro spostato rispetto al Sole, che riproduce bene molte posizioni; ma in alcuni punti si scosta dalle misure di Tycho di 8 primi d'arco. Un astronomo precedente avrebbe accettato l'errore, più piccolo di quanto gli strumenti antichi potessero rilevare. Keplero no: nel capitolo 19 dell'*Astronomia nova* scrive che quegli 8 primi, poiché le osservazioni di Tycho sono così precise, non si possono trascurare, e che proprio da essi nascerà la riforma di tutta l'astronomia. È uno dei momenti decisivi della rivoluzione scientifica: il dato misurato vince sull'ipotesi più amata, quella dei cerchi.

3.3.3 Le tre leggi

L'*Astronomia nova* (1609) porta nel sottotitolo un programma: è un'astronomia «fondata sulle cause», una «fisica celeste». Contiene le prime due leggi; la terza viene dieci anni dopo, nell'*Harmonices mundi* («Le armonie del mondo», 1619). Oggi le chiamiamo **leggi di Keplero**.

1. **Prima legge.** Ogni pianeta si muove su un'orbita ellittica, e il Sole occupa uno dei due fuochi dell'ellisse.
2. **Seconda legge.** Il segmento che congiunge il Sole al pianeta descrive aree uguali in tempi uguali: quindi il pianeta è più veloce quando è più vicino al Sole (al perielio) e più lento quando è più lontano (all'afelio).
3. **Terza legge.** Il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta è proporzionale al cubo del semiasse maggiore della sua orbita: T^2/a^3 ha lo stesso valore per tutti i pianeti.

L'ellisse, che quest'anno studierai in Matematica, è la curva formata dai punti per i quali è costante la somma delle distanze da due punti fissi, i fuochi. Le prime due leggi demoliscono i due pilastri dell'astronomia antica, il cerchio e il moto uniforme (Figura 3.4). Curiosamente Keplero trovò prima la seconda, la legge delle aree, e solo dopo la forma ellittica dell'orbita. Le ellissi dei pianeti sono quasi circolari: quella di Marte, la più schiacciata tra i pianeti noti a Keplero dopo quella di Mercurio, ha un'eccentricità di circa 0,09, ed è per questo che la differenza dal cerchio si nascondeva in pochi primi d'arco. La terza legge, invece, collega tra loro pianeti diversi: è il primo esempio di una legge matematica che vale per l'intero sistema solare (Tabella 3.1). Se si riportano su un piano cartesiano i valori di a^3 in ascissa e di T^2 in ordinata, i sei pianeti cadono su una retta che passa per l'origine: T^2 e a^3 sono direttamente proporzionali (Figura 3.5).

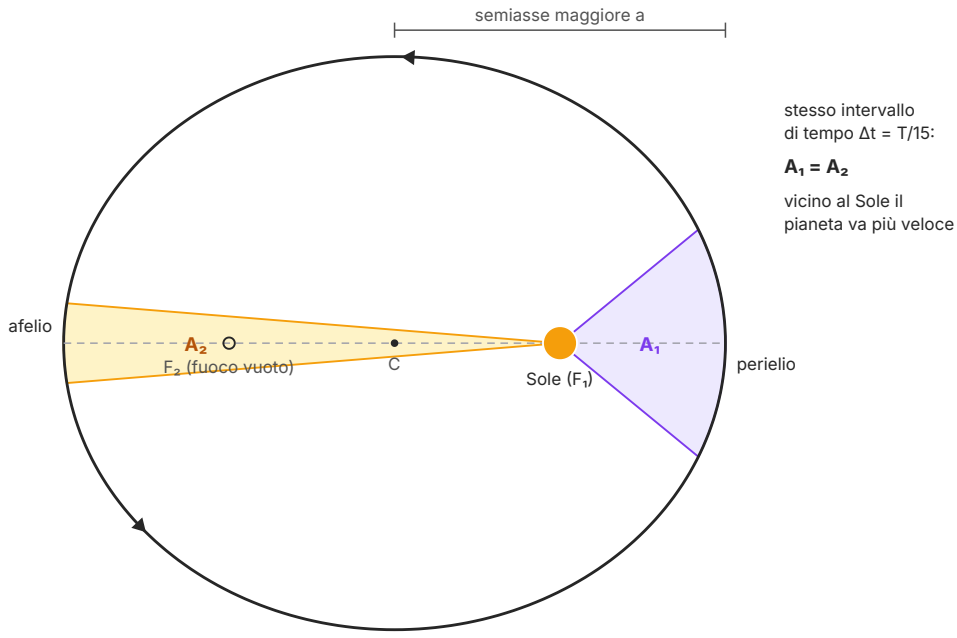


Figura 3.4 Prima e seconda legge di Keplero, calcolate con l'equazione di Keplero per un'orbita di eccentricità 0,5 (molto più schiacciata di quelle dei pianeti, per rendere visibile l'effetto). Il Sole occupa il fuoco F_1; i due settori sono spazzati dal raggio Sole-pianeta nello stesso tempo, un quindicesimo del periodo: hanno la stessa area, quindi vicino al perielio il pianeta percorre un arco più lungo.

Tabella 3.1 La terza legge di Keplero con i dati attuali dei sei pianeti conosciuti al tempo di Keplero (semiasse maggiore a in unità astronomiche, UA; periodo T in anni). Il rapporto T^2/a^3 vale 1 per tutti, a meno di qualche millesimo.

Pianeta	a (UA)	T (anni)	T^2	a^3	T^2/a^3
Mercurio	0,387	0,241	0,058	0,058	1,002
Venere	0,723	0,615	0,378	0,378	1,001
Terra	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	3,538	3,540	1,000
Giove	5,203	11,86	140,7	140,9	0,999
Saturno	9,537	29,46	867,9	867,4	1,001

ESEMPIO SVOLTO

Usare la terza legge

Problema. Marte dista dal Sole in media 1,524 UA (l'unità astronomica, UA, è la distanza media Terra-Sole). Quanto dura il suo anno? E quale sarebbe la distanza di un pianeta con periodo di 12 anni?

1. La legge per la Terra. Per la Terra $T = 1$ anno e $a = 1$ UA, quindi $T^2/a^3 = 1$. Per la terza legge vale 1 per tutti i pianeti, se misuriamo T in anni e a in UA: $T^2 = a^3$.

2. Marte. $a^3 = 1{,}524^3 \approx 3{,}540$; $T = \sqrt{3{,}540} \approx 1{,}881$ anni, cioè circa 687 giorni: esattamente il valore osservato.

3. Il problema inverso. Se $T = 12$ anni, $a^3 = 144$ e $a = \sqrt[3]{144} \approx 5{,}24$ UA: è all'incirca la distanza di Giove, il cui periodo è 11,86 anni.

4. Il significato. La legge non dice soltanto che i pianeti lontani sono più lenti: dice *di quanto*. Raddoppiando la distanza, il periodo non raddoppia, ma cresce di un fattore $\sqrt{8} \approx 2{,}83$: se a raddoppia, a^3 diventa $2^3 = 8$ volte più grande, e così T^2; quindi T cresce di $\sqrt{8}$.

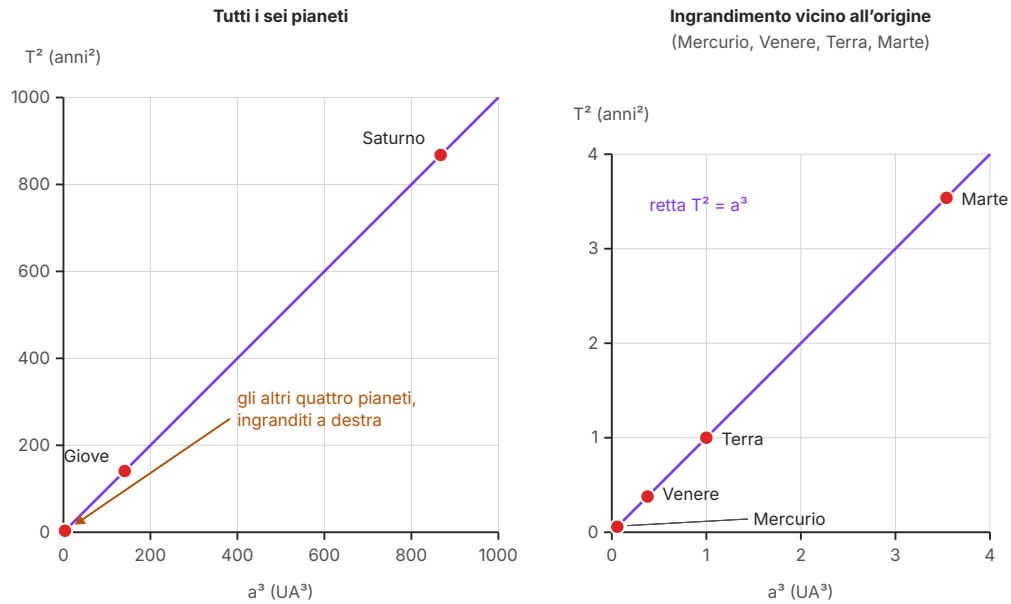


Figura 3.5 La terza legge su un piano cartesiano, con i dati reali dei sei pianeti della tabella: in ascissa il cubo del semiasse maggiore a^3, in ordinata il quadrato del periodo T^2 (unità: UA e anni). I punti stanno sulla retta $T^2 = a^3$, che passa per l'origine: le due grandezze sono direttamente proporzionali. Giove e Saturno sono così lontani che gli altri quattro pianeti si schiacciano vicino all'origine; a destra, la stessa retta ingrandita.

3.3.4 Una forza dal Sole

Perché i pianeti si muovono così? Keplero non si accontenta di descrivere: vuole le cause. Nota che i pianeti vanno più piano quando sono più lontani dal Sole e ne deduce che è il Sole a muoverli, con una forza che si indebolisce con la distanza. Nel *Mysterium* l'aveva chiamata «anima motrice»; più tardi preferisce parlare di «forza», e la immagina simile al magnetismo, che William Gilbert aveva studiato nel *De magnete* (1600). La spiegazione di Keplero è sbagliata nei dettagli, ma la domanda è quella giusta, e la risposta arriverà con Newton: la gravitazione universale spiegherà perché le orbite sono ellissi e perché vale la terza legge.

DA RICORDARE

Keplero unisce tre eredità: il **copernicanesimo** (il Sole al centro), il **platonismo** (il cosmo è costruito secondo armonie matematiche) e la **precisione delle misure** di Tycho. Abbandona il cerchio e il moto uniforme per rispettare un errore di 8 primi. Le sue tre leggi (orbite ellittiche con il Sole in un fuoco; aree uguali in tempi uguali; T^2/a^3 costante) trasformano l'astronomia da geometria del cielo in **fisica celeste**, che cerca le cause dei moti.

COLLEGAMENTI

Fisica. Quest'anno in Fisica seguirai la storia della gravitazione da Tolomeo e Copernico fino a Newton, e vedrai come la legge di gravitazione universale spiega le leggi di Keplero. La seconda vale per qualunque forza diretta sempre verso il Sole; la terza, nella forma di Newton, contiene la massa del Sole: il rapporto T^2/a^3 dipende soltanto da essa. Le stesse leggi valgono per i satelliti di Giove e per quelli artificiali attorno alla Terra, con una costante diversa. Il grafico della Figura 3.5 è una proporzionalità diretta come quelle che hai imparato a riconoscere nel capitolo 4 di *Fisica 3*, «Tabelle, grafici e leggi fisiche».

3.4 Francesco Bacone: il sapere come potere e gli idola

3.4.1 Un filosofo cancelliere

Mentre gli astronomi riscrivono il cielo, a Londra un uomo politico si chiede che cosa non funzioni nel sapere in generale. Francesco Bacone (Francis Bacon, 1561–1626) studia a Cambridge, diventa avvocato e deputato e, sotto il re Giacomo I, sale tutti i gradini della carriera: procuratore generale, custode del gran sigillo e infine, nel 1618, Lord cancelliere, la più alta carica giudiziaria del regno. Nel 1621 cade all'improvviso: accusato di aver accettato doni dalle parti nei processi, ammette le proprie colpe, è condannato a una forte multa, trascorre pochi giorni nella Torre di Londra e perde ogni incarico. Dedica gli ultimi anni agli studi.

Le sue opere filosofiche principali sono *The Advancement of Learning* («Il progresso del sapere», 1605), una rassegna di ciò che le scienze sanno e di ciò che manca loro; il *Novum Organum* (1620), il suo capolavoro, scritto in latino; e la *Nuova Atlantide*, un racconto utopico pubblicato postumo nel 1627. Il *Novum Organum* doveva essere la seconda parte di un progetto immenso, la *Instauratio magna* («La grande restaurazione» delle scienze), che Bacone non riuscì a completare. Il titolo è una sfida: l'*Organon* era il nome dato agli scritti logici di Aristotele, lo «strumento» del pensiero; Bacone propone uno strumento nuovo.

3.4.2 Sapere e potere

Il punto di partenza è una tesi sullo scopo del sapere. *Scientia et potentia humana in idem coincidunt, quia ignoratio causae destituit effectum. Natura enim non nisi parendo vincitur*: «La scienza e la potenza umana coincidono, perché l'ignoranza della causa priva dell'effetto. Alla natura infatti non si comanda se non obbedendole» (*Novum Organum* I 3; traduzione della redazione). Nota il verbo: *vincitur*, «è vinta»; la natura si vince soltanto *parendo*, «obbedendo». Conoscere le cause di un fenomeno significa poterlo produrre; e per produrlo bisogna rispettare le leggi della natura, non ignorarle. Il sapere non è dunque soltanto contemplazione, come per Aristotele, ma uno strumento per migliorare la vita degli uomini. Bacone porta tre esempi: la stampa, la polvere da sparo e la bussola, tre invenzioni sconosciute agli antichi, hanno cambiato «la faccia e lo stato» del mondo, nella cultura, nella guerra e nella navigazione, più di qualsiasi impero (*Novum Organum* I 129).

> **ERRORE FREQUENTE**
> La formula «sapere è potere» non si trova così nel *Novum Organum*: è una condensazione posteriore. Il *Novum Organum* (I 3) dice che scienza e potenza umana «coincidono»; l'espressione latina «ipsa scientia potestas est», «la scienza stessa è potere», compare in un'opera giovanile, le *Meditationes sacrae* (1597), in un contesto teologico. Attento anche al senso: il potere di cui parla Bacone è il dominio dell'umanità sulla natura per alleviare le miserie della vita, non il potere di un uomo sugli altri.

3.4.3 Il problema: perché il sapere non progredisce

Se il sapere è potere, perché in tanti secoli ha prodotto così poco? Le arti meccaniche, osserva Bacone, crescono di generazione in generazione, mentre la filosofia della natura è ferma da Aristotele. La colpa è del metodo. La logica tradizionale si fonda sul sillogismo, ma «il sillogismo è composto di proposizioni, le proposizioni di parole, le parole sono contrassegni delle nozioni»: se le nozioni sono confuse e ricavate dalle cose in fretta, tutto l'edificio costruito sopra crolla (*Novum Organum* I 14). Il sillogismo serve a vincere le dispute, non a scoprire cose nuove.

Bacone distingue due vie (T4). La via in uso «vola» subito dai pochi dati dei sensi ai principi più generali, e da quelli deduce tutto il resto; la via vera sale dai fatti per gradi, prima agli assio-

mi «medi», poi ai più generali. Chiama il primo modo di procedere *anticipationes naturae*, **anticipazioni della natura**, perché è «temerario e prematuro»; il secondo *interpretatio naturae*, **interpretazione della natura** (I 26). Ma prima di salire per la via giusta bisogna sgombrare il terreno: la mente umana non è una tavola pulita, è piena di false immagini. Il libro I del *Novum Organum*, che Bacone chiama la **pars destruens**, la «parte che distrugge», serve a smascherarle; il libro II, la *pars construens*, espone il metodo.

3.4.4 Gli idola

Bacone chiama queste false immagini *idola*, con una parola greca (εἴδωλον, plurale εἴδωλα) che significa «immagini», «fantasmi», ma anche «idoli» da adorare. Gli **idola** sono le nozioni false e le abitudini mentali che «assediano» l'intelletto e gli impediscono di vedere la natura com'è. Ne distingue quattro generi (T3 e Figura 3.6).

- **Idola tribus**, idoli della tribù, cioè del genere umano. Sono gli errori che dipendono dalla natura umana in quanto tale: il senso e la mente misurano le cose a misura dell'uomo, non dell'universo, e l'intelletto è come uno «specchio diseguale» che deforma ciò che riflette. Per esempio, tendiamo a supporre nella natura più ordine e regolarità di quanta ne esista, come quando si pretende che tutti i moti celesti siano circolari perfetti; e diamo più peso ai casi che confermano le nostre idee che a quelli che le smentiscono.
- **Idola specus**, idoli della caverna (con un'allusione alla caverna di Platone). Sono gli errori propri di ciascun individuo, che dipendono dal carattere, dall'educazione, dai libri letti e dagli autori che si ammirano: ognuno vive in una sua caverna che rifrange la luce della natura. C'è chi è portato a vedere le differenze e chi le somiglianze, chi ama l'antico e chi il nuovo.
- **Idola fori**, idoli della piazza o del mercato. Nascono dal linguaggio, cioè dal «commercio» tra gli uomini: le parole sono imposte «secondo la capacità del volgo» e ingannano l'intelletto. Ci sono nomi di cose che non esistono (Bacone cita l'«elemento del fuoco» e il «primo mobile» della fisica e dell'astronomia antiche) e nomi di cose reali ma confusi e mal definiti, come «umido».
- **Idola theatri**, idoli del teatro. Vengono dai sistemi filosofici e dalle regole sbagliate di dimostrazione: ogni filosofia ricevuta è come una favola messa in scena, che costruisce un mondo fittizio. Bacone distingue tre tipi di filosofie sbagliate: quella sofistica (il suo bersaglio è Aristotele, che avrebbe piegato la natura alla sua logica), quella empirica (chi generalizza da pochi esperimenti, come gli alchimisti) e quella superstiziosa (chi mescola filosofia e teologia).

Gli idola della tribù e della caverna dipendono dalla natura stessa della mente, umana o individuale: per questo si usa chiamarli innati, e non si possono eliminare del tutto, ma solo conoscere e tenere sotto controllo. Quelli della piazza e del teatro vengono invece dall'esterno, dalla vita sociale e dalle dottrine ricevute (degli idoli del teatro Bacone dice espressamente che «non

sono innati», I 61): sono acquisiti e si possono combattere, anche se quelli della piazza, avverte Bacone, sono i più molesti di tutti, perché le stesse definizioni sono fatte di parole (I 59). Il rimedio vero, dice Bacone, è l'induzione legittima; ma conoscere gli idola serve all'interpretazione della natura come la dottrina dei sofismi serve alla dialettica (I 40).

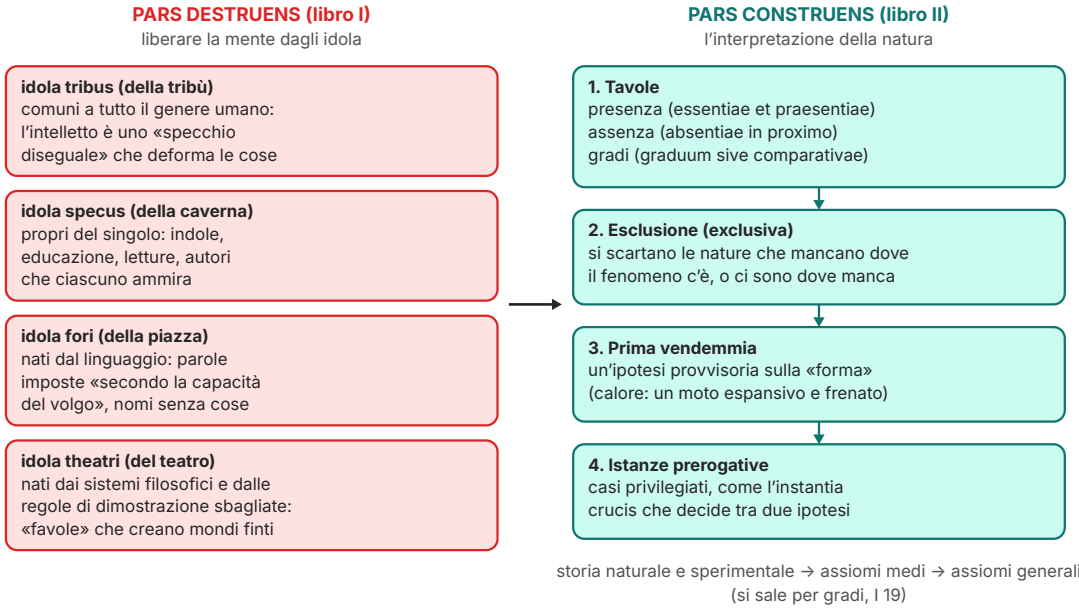


Figura 3.6 Il progetto del *Novum Organum*. A sinistra la *pars destruens* (libro I): i quattro generi di *idola* che assediano la mente. A destra la *pars construens* (libro II): le tappe dell'interpretazione della natura, dalle tavole alle istanze prerogative. In basso, la «via vera» che sale per gradi dai fatti agli assiomi (I 19).

3.5 Il metodo di Bacone: l'induzione per eliminazione

3.5.1 Le forme e la storia naturale

Che cosa cerca la nuova scienza? Bacone usa una parola antica, «forma», ma le dà un senso nuovo. La **forma** di una proprietà, come il calore o il colore bianco, non è un'essenza nascosta alla maniera degli scolastici: è la struttura fisica o il processo che c'è sempre quando la proprietà c'è, manca quando manca, cresce e diminuisce con essa, e che quindi, se sappiamo produrlo, ci permette di produrre la proprietà. Conoscere la forma del calore significa sapere come generare calore in qualunque corpo.

Il primo passo è raccogliere i fatti in una «storia naturale e sperimentale»: un inventario ampio e ordinato di osservazioni e di esperimenti, compresi quelli degli artigiani. Bacone sa bene che i fatti, ammucchiati senza ordine, confondono la mente. Bisogna disporli in tavole.

3.5.2 Le tre tavole

Il libro II del *Novum Organum* mostra il metodo su un esempio, la ricerca della forma del calore (Tabella 3.2).

- La **tavola di presenza** (*tabula essentiae et praesentiae*, II 11) raccoglie i casi, molto diversi tra loro, in cui il calore è presente: i raggi del Sole, le fiamme, i fulmini, l'acqua bollente, i corpi strofinati con forza, il fieno ammucchiato umido, gli animali.
- La **tavola di assenza** (*tabula declinationis sive absentiae in proximo*, II 12) raccoglie i casi in cui il calore manca, ma scegliendoli il più possibile simili a quelli della prima tavola: i raggi del Sole danno calore, quelli della Luna e delle stelle no; l'acqua bollente scotta, l'acqua comune no.
- La **tavola dei gradi** (*tabula graduum sive comparativae*, II 13) raccoglie i casi in cui il calore aumenta o diminuisce: per esempio, gli animali si scaldano con il moto e l'esercizio, il fuoco si ravviva con il mantice.

Tabella 3.2 Alcuni casi delle tre tavole di Bacone sul calore (*Novum Organum* II 11–13), scelti tra i molti dell'originale.

Tavola di presenza	Tavola di assenza (casi vicini)	Tavola dei gradi
i raggi del Sole, soprattutto d'estate e a mezzogiorno	i raggi della Luna e delle stelle	il calore cresce con il moto e l'esercizio negli animali
la fiamma; i fulmini; le eruzioni dei vulcani	i «fuochi fatui» e altre luci che non scaldano	il mantice e il vento ravvivano il fuoco
l'acqua bollente; i vapori ferventi	l'acqua e l'aria comuni	una fiamma compressa e soffocata si spegne
i corpi strofinati con forza; le scintille della pietra focaia	i corpi a riposo	più forte è l'attrito, più calore produce

3.5.3 Esclusione e prima vendemmia

Raccolte le tavole, comincia l'induzione vera e propria. Il modo abituale di generalizzare, l'induzione «per enumerazione semplice», che da molti casi favorevoli conclude una regola generale, è per Bacone «una cosa puerile»: basta un solo caso contrario per farla crollare (I 105). Il suo metodo procede al contrario, per esclusione. Si prendono le «nature» candidate a essere la forma del calore e si scarta ogni natura che manca in un caso in cui il calore c'è, che è presente in un caso in cui il calore manca, o che cresce quando il calore diminuisce. Per esempio: i raggi della Luna sono luminosi ma non caldi, l'acqua bollente è calda ma non luminosa; dunque la luce non è la forma del calore. Il fuoco sotterraneo, lontanissimo dai raggi celesti, scalda; dunque il calore non è una natura «celeste». È l'**induzione per eliminazione**: solo a Dio e forse agli

angeli, scrive Bacone, è concesso conoscere le forme direttamente, in positivo; all'uomo resta di procedere prima per negazioni e di arrivare all'affermazione soltanto alla fine, dopo aver escluso tutto il resto (II 15).

Siccome però «la verità emerge più facilmente dall'errore che dalla confusione», Bacone permette all'intelletto, a questo punto, un primo tentativo di risposta in positivo, un'ipotesi provvisoria che chiama **prima vendemmia** (*vindemiatio prima*, II 20). Il risultato è sorprendente per l'epoca: il calore è una forma di moto.

ESEMPIO SVOLTO

La forma del calore (*Novum Organum* II 18–20)

Problema. Ricostruisci come Bacone arriva alla sua definizione del calore.

1. Esclusioni. Dai raggi del Sole Bacone esclude che il calore sia legato alla natura di un elemento; dal fuoco sotterraneo, che sia una natura celeste; dal ferro rovente, che scalda gli altri corpi senza perdere peso, che sia una sostanza che passa da un corpo all'altro; dai raggi della Luna e dall'acqua bollente, che sia la luce.

2. Il caso più evidente. In tutti i casi resta una natura comune, più visibile in alcuni che in altri: nella fiamma, che si agita sempre, e nei liquidi che bollono, il calore si accompagna a un moto continuo delle parti; il mantice lo aumenta, una forte compressione, che frena il moto, lo spegne.

3. La definizione. Il calore stesso è moto, non perché il moto produca il calore o il calore il moto, ma perché il calore «è moto e nient'altro», un moto particolare: «il calore è un moto espansivo, frenato, che si sforza attraverso le parti più piccole» (II 20).

4. La versione operativa. Se in un corpo naturale riesci a suscitare un moto di espansione e a frenarlo e respingerlo in sé, così che non proceda in modo uniforme, genererai calore, qualunque sia il corpo. La conoscenza della forma si traduce in una regola per agire, come voleva I 3.

5. Il giudizio. L'idea che il calore sia un moto delle particelle sarà ripresa e resa quantitativa solo nell'Ottocento, con la teoria cinetica; quella di Bacone è un'intuizione qualitativa, ma ottenuta con un metodo esplicito e controllabile.

3.5.4 L'*instantia crucis*

Dopo la prima vendemmia Bacone presenta una lunga serie di «istanze prerogative», casi che hanno un valore particolare per la ricerca. La più celebre è la quattordicesima, l'***instantia crucis***, «istanza della croce» (II 36). Il nome viene dalle croci che, ai bivi delle strade, indicano dove le vie si separano. Quando due spiegazioni di un fenomeno sembrano ugualmente possibili, l'*instantia crucis* è il caso, di solito un esperimento progettato apposta, che decide tra le due: mostra che una delle due cause è sempre legata al fenomeno, l'altra no.

L'esempio più famoso riguarda il peso. I corpi pesanti tendono verso il centro della Terra per la loro natura, come diceva Aristotele, oppure sono attratti dalla massa della Terra? Se vale la

seconda ipotesi, ragiona Bacone, la forza del peso deve diminuire in alto, lontano dalla massa della Terra, e aumentare in profondità. Bacone propone allora di prendere due orologi, uno mosso da pesi di piombo e uno mosso da una lamina di ferro compressa, cioè da una molla, regolarli perché vadano alla stessa velocità e poi portare quello a pesi in cima a un campanile altissimo e in fondo a una miniera profonda: se in alto rallenta e in basso accelera, la causa del peso è l'attrazione della Terra. L'esperimento, con gli strumenti di allora, non poteva riuscire, perché l'effetto è troppo piccolo; ma la sua logica, un esperimento che separa due ipotesi rivali, diventerà un modello per la scienza moderna.

3.5.5 La formica, il ragno e l'ape

Bacone riassume la sua posizione con un'immagine (T4). Gli empirici sono come le formiche: accumulano dati e li consumano senza elaborarli. I razionalisti, cioè i filosofi dogmatici, sono come i ragni: tessono tele di ragionamenti traendole da sé stessi. Il vero filosofo deve essere come l'ape, che raccoglie il materiale dai fiori, ma lo trasforma con una capacità sua propria. Serve un'«alleanza più stretta e più santa» tra esperienza e ragione. L'immagine aiuta a non fraintendere Bacone: non è un semplice raccoglitore di fatti, ma il teorico di un metodo che guida l'esperienza.

3.5.6 La Casa di Salomone

Nella *Nuova Atlantide* alcuni marinai europei approdano su un'isola sconosciuta del Pacifico, Bensalem, governata con saggezza. Il suo cuore è la «Casa di Salomone», un istituto di ricerca in cui decine di studiosi si dividono il lavoro: alcuni viaggiano in incognito per raccogliere notizie e invenzioni degli altri paesi (Bacone li chiama «mercanti di luce»), altri fanno esperimenti, altri ancora ne ricavano assiomi e applicazioni. Lo scopo dell'istituzione, dice uno dei suoi padri, è «la conoscenza delle cause e dei moti segreti delle cose, e l'ampliamento dei confini del dominio umano, per realizzare tutte le cose possibili» (*Nuova Atlantide*; traduzione della redazione). È l'idea della scienza come impresa collettiva, organizzata e finanziata dallo Stato. I fondatori della Royal Society, pochi decenni dopo, indicheranno in Bacone il loro maestro.

3.5.7 I limiti del metodo

Il metodo di Bacone ha però limiti evidenti, che i suoi stessi ammiratori riconobbero. Il primo è la scarsa attenzione alla matematica: Bacone la considera un'appendice della filosofia naturale, non il suo linguaggio, e non coglie che proprio la misura e la formula, in Keplero e in Galileo, stavano producendo i risultati più grandi. Il secondo riguarda le ipotesi: nella pratica della scienza moderna l'ipotesi spesso viene prima dei dati e decide quali dati raccogliere, mentre Bacone diffida delle «anticipazioni» e la ammette solo dopo le tavole. Il terzo è che Bacone non riconobbe le grandi novità del suo tempo: rifiutava il sistema copernicano e diffidava di Gilbert, che a suo giudizio aveva fatto di un solo fenomeno, il magnetismo, una filosofia intera. Resta il

suo merito: aver posto il problema del metodo come problema centrale della filosofia, e aver mostrato che la scienza è un'impresa umana, collettiva e utile.

APPROFONDIMENTO

La fortuna di Bacone

Nel Seicento inglese Bacone diventa il simbolo della nuova scienza sperimentale: il chimico Robert Boyle e i fondatori della Royal Society si richiamano a lui, e l'ideale di una «storia naturale» raccolta con pazienza orienta molte loro ricerche. Nel Settecento gli enciclopedisti francesi lo considerano il padre della filosofia moderna e riprendono da lui la classificazione delle scienze, come vedrai nel capitolo sull'Illuminismo. Più tardi la sua immagine si è divisa: per alcuni è il profeta del progresso tecnico al servizio dell'umanità, per altri il primo teorico di un dominio sulla natura senza limiti. Entrambe le letture semplificano: Bacone lega sempre la potenza al rispetto delle leggi naturali, e il sapere alla carità verso gli uomini.

IN SINTESI

Autore	Problema	Risposta	Opera chiave
Copernico	il cielo di Tolomeo non ha un ordine coerente	il Sole al centro; la Terra ruota e gira attorno al Sole	*De revolutionibus*, 1543
Tycho Brahe	i cieli sono immutabili? Le osservazioni sono precise?	nuova stella e cometa oltre la Luna; sistema ticonico; misure al primo d'arco	osservazioni di Uraniborg
Keplero	quali sono le vere orbite e le loro cause?	tre leggi; una forza che viene dal Sole	*Astronomia nova*, 1609; *Harmonices mundi*, 1619
Bacone	perché il sapere non progredisce?	liberarsi dagli *idola*; induzione per eliminazione; scienza collettiva	*Novum Organum*, 1620

3.6 Leggere i testi

3.6.1 T1 · Copernico: un cielo come un mostro

Nota introduttiva. Il *De revolutionibus* si apre con una lettera di dedica al papa Paolo III. Copernico ha appena spiegato perché ha esitato per anni a pubblicare un'opinione che molti avrebbero giudicato assurda; ora espone al papa il motivo che lo ha spinto a pensare a un moto della Terra. I «matematici» sono gli astronomi; i «cerchi omocentrici» sono quelli che hanno tutti lo stesso centro, la Terra.

> Non voglio dunque che la Santità tua ignori che a pensare a un altro modo di calcolare i moti delle sfere del mondo non mi ha spinto nient'altro che l'essermi accorto che i matematici, nell'indagarli, non sono coerenti con sé stessi. Prima di tutto sono così incerti sul moto del Sole e della Luna da non riuscire a dimostrare e osservare la durata costante dell'anno. Poi, nello stabilire i moti sia di questi due astri sia degli altri cinque pianeti, non usano gli stessi principi e le stesse ipotesi, né le stesse dimostrazioni delle rivoluzioni e dei moti apparenti. Alcuni infatti si servono soltanto di cerchi omocentrici, altri di eccentrici e di epicicli, e tuttavia non ottengono pienamente ciò che cercano. [...] E soprattutto non hanno potuto trovare, né ricavare dalle loro ipotesi, la cosa principale, cioè la forma del mondo e l'esatta simmetria delle sue parti. È accaduto loro come a chi prendesse da luoghi diversi mani, piedi, testa e altre membra, dipinte benissimo ma non in proporzione con un unico corpo: poiché non si corrispondono in alcun modo, ne verrebbe fuori un mostro piuttosto che un uomo. [...]
>
> Presa dunque l'occasione da qui, cominciai anch'io a pensare alla mobilità della Terra. E benché l'opinione sembrasse assurda, sapevo che ad altri prima di me era stata concessa la libertà di immaginare qualsiasi cerchio per dimostrare i fenomeni degli astri; pensai quindi che anche a me sarebbe stato facilmente permesso di provare se, posto un qualche moto della Terra, si potessero trovare per le rivoluzioni delle sfere celesti dimostrazioni più solide delle loro.
>
> E così, posti i moti che più avanti nell'opera attribuisco alla Terra, con molte e lunghe osservazioni ho finalmente trovato che, se i moti degli altri pianeti si riferiscono alla circolazione della Terra e si calcolano secondo la rivoluzione di ciascun astro, non solo ne seguono i loro fenomeni, ma anche gli ordini e le grandezze di tutti gli astri e di tutte le sfere, e il cielo stesso, risultano così connessi che in nessuna sua parte si può spostare qualcosa senza mettere in confusione le altre parti e l'intero universo.
>
> (Copernico, *De revolutionibus*, dedica a Paolo III; traduzione della redazione)

Parole chiave: hypotheses (ipotesi), *mundi forma* (forma del mondo), *symmetria* (simmetria, proporzione), *terrae mobilitas* (mobilità della Terra).

1. Quali difetti rimprovera Copernico agli astronomi del suo tempo? Elencali.
2. Spiega l'immagine del «mostro»: a che cosa corrispondono le membra ben dipinte, e che cosa manca?
3. Quale «libertà» concessa agli astronomi Copernico invoca per giustificare la sua ipotesi?
4. Nell'ultimo paragrafo, quale argomento usa Copernico per sostenere che il suo sistema è vero, e non soltanto comodo?

3.6.2 T2 · Osiander: ipotesi, non verità

Nota introduttiva. La premessa «Al lettore, sulle ipotesi di quest'opera» compare, senza firma, prima della dedica di Copernico; è di Andrea Osiander. Il «perigeo» e l'«apogeo» sono il punto dell'orbita più vicino e quello più lontano dalla Terra; le «parti» sono gradi.

> Non dubito che alcuni dotti, essendosi ormai diffusa la notizia della novità delle ipotesi di quest'opera, che pone la Terra in movimento e il Sole immobile al centro dell'universo, si siano gravemente offesi, e pensino che non si debbano sconvolgere le discipline liberali, stabilite da tempo e in modo corretto. Ma se vorranno valutare la cosa con esattezza, troveranno che l'autore di quest'opera non ha commesso nulla che meriti biasimo. È proprio dell'astronomo, infatti, raccogliere con un'osservazione diligente ed esperta la storia dei moti celesti; e poi immaginare e costruire le loro cause, cioè ipotesi qualsiasi, poiché le vere non può raggiungerle in alcun modo, in modo che, supposte queste, gli stessi moti si possano calcolare correttamente secondo i principi della geometria, tanto per il futuro quanto per il passato. [...] Non è infatti necessario che queste ipotesi siano vere, e nemmeno verosimili: basta questo soltanto, che offrano un calcolo in accordo con le osservazioni. A meno che qualcuno non sia tanto ignaro di geometria e di ottica da ritenere verosimile l'epiciclo di Venere, o da crederlo la causa per cui essa ora precede il Sole ora lo segue di quaranta parti e più. Chi infatti non vede che, posto questo, ne segue necessariamente che il diametro dell'astro nel perigeo dovrebbe apparire più di quattro volte, e il corpo stesso più di sedici volte, maggiore che nell'apogeo, cosa a cui si oppone l'esperienza di ogni tempo? [...]
>
> Il filosofo forse chiederà di più la verosimiglianza; nessuno dei due, però, comprenderà o insegnerà qualcosa di certo, a meno che non gli sia stato rivelato da Dio. [...] E nessuno, per quanto riguarda le ipotesi, si aspetti dall'astronomia qualcosa di certo, poiché essa non può fornire nulla di simile; altrimenti, prendendo per vere cose immaginate per un altro uso, uscirebbe da questa disciplina più stolto di quando vi è entrato.
>
> (A. Osiander, *Ad lectorem de hypothesibus huius operis*, premessa al *De revolutionibus* di Copernico; traduzione della redazione)

1. Che cosa deve fare l'astronomo, secondo Osiander? Distingui i due compiti.
2. Perché, secondo Osiander, le ipotesi astronomiche non possono essere né vere né certe?
3. L'esempio dell'epiciclo di Venere: che cosa dovremmo osservare se fosse vero, e che cosa osserviamo invece? Che cosa vuole dimostrare Osiander con questo esempio?
4. Confronta T1 e T2: in che senso Osiander propone una lettura del libro opposta a quella del suo autore?

3.6.3 T3 · Bacone: i quattro generi di idoli

Nota introduttiva. Nel libro I del *Novum Organum*, dopo aver criticato la logica tradizionale, Bacone passa a descrivere gli ostacoli che la mente trova in sé stessa. Il testo è scritto, come tutta l'opera, in aforismi numerati.

> Gli idoli e le nozioni false che hanno già occupato l'intelletto umano e vi sono profondamente radicati non solo assediano le menti degli uomini, così che la verità vi trova un accesso difficile, ma, anche quando l'accesso sia stato dato e concesso, si ripresenteranno e daranno molestia nella stessa restaurazione delle scienze, a meno che gli uomini, avvertiti in anticipo, non se ne difendano per quanto è possibile. (I 38)
>
> Quattro sono i generi di idoli che assediano le menti umane. Per farci capire abbiamo dato loro dei nomi: chiamiamo il primo genere idoli della tribù, il secondo idoli della caverna, il terzo idoli della piazza, il quarto idoli del teatro. (I 39)
>
> Gli idoli della tribù sono fondati nella stessa natura umana e nella stessa tribù, o stirpe, degli uomini. È falso infatti affermare che il senso umano sia la misura delle cose; al contrario, tutte le percezioni, tanto del senso quanto della mente, sono a misura dell'uomo, non a misura dell'universo. E l'intelletto umano è come uno specchio diseguale rispetto ai raggi delle cose, che mescola la propria natura alla natura delle cose, e la deforma e la corrompe. (I 41)
>
> Gli idoli della caverna sono gli idoli del singolo uomo. Ciascuno infatti, oltre alle deviazioni della natura umana in genere, ha una sua caverna o spelonca individuale, che rifrange e corrompe la luce della natura: o per la natura propria e singolare di ciascuno, o per l'educazione e la frequentazione degli altri, o per la lettura dei libri e l'autorità di coloro che ciascuno venera e ammira [...]. (I 42)
>
> Ci sono anche idoli che nascono come dal contratto e dalla società reciproca del genere umano, e li chiamiamo idoli della piazza, per il commercio e la comunanza degli uomini. Gli uomini infatti si associano per mezzo dei discorsi; ma le parole vengono imposte secondo la capacità del volgo. Perciò un'imposizione cattiva e inadatta delle parole assedia l'intelletto in modi sorprendenti. [...] Le parole fanno apertamente violenza all'intelletto, turbano ogni cosa e trascinano gli uomini in controversie e fantasie vuote e innumerevoli. (I 43)
>
> Vi sono infine idoli che sono penetrati nell'animo degli uomini dai diversi dogmi delle filosofie e anche dalle leggi distorte delle dimostrazioni, e li chiamiamo idoli del teatro: perché riteniamo che quante sono le filosofie ricevute o inventate, altrettante siano le favole messe in scena e recitate, che hanno creato mondi fittizi e da palcoscenico. (I 44)
>
> (Bacone, *Novum Organum* I 38–39, 41–44; traduzione della redazione)

Parole chiave: idola (idoli, immagini false), *tribus* (tribù), *specus* (caverna), *forum* (piazza, mercato), *theatrum* (teatro).

1. Che cosa fanno gli idoli all'intelletto, secondo I 38? Perché sono pericolosi anche dopo che la verità ha trovato un accesso?
2. Spiega l'immagine dello «specchio diseguale» (I 41). Contro quale tesi antica polemizza Bacone quando nega che il senso sia «la misura delle cose»?
3. Perché il linguaggio produce errori? Fai un esempio tuo di una parola che «fa violenza all'intelletto».
4. In che senso le filosofie sono come «favole» messe in scena? Quale filosofia ha in mente soprattutto Bacone?

3.6.4 T4 · Bacone: le due vie e l'ape

Nota introduttiva. Due aforismi del libro I. Nel primo Bacone confronta il metodo tradizionale con il proprio; nel secondo, verso la fine del libro, descrive con un'immagine il rapporto tra esperienza e ragione. Gli «assiomi» sono le proposizioni generali della scienza.

> Due sono le vie, e possono esserci soltanto due, per indagare e scoprire la verità. La prima dal senso e dai particolari vola agli assiomi più generali, e da questi principi e dalla loro verità, ritenuta immutabile, giudica e scopre gli assiomi medi: ed è la via in uso. La seconda ricava gli assiomi dal senso e dai particolari salendo in modo continuo e per gradi, così da giungere per ultimo ai più generali: è la via vera, ma non ancora tentata. (I 19)
>
> Coloro che hanno trattato le scienze sono stati o empirici o dogmatici. Gli empirici, come le formiche, accumulano soltanto e consumano; i razionalisti, come i ragni, tessono tele traendole da sé stessi; l'ape invece segue una via di mezzo: ricava la materia dai fiori dei giardini e dei campi, ma la trasforma e la digerisce con una capacità sua propria. Non diversamente procede il vero lavoro della filosofia: essa non si fonda soltanto o principalmente sulle forze della mente, né ripone nella memoria, intatta, la materia offerta dalla storia naturale e dagli esperimenti meccanici, ma la ripone nell'intelletto trasformata ed elaborata. Perciò da un'alleanza più stretta e più santa di queste facoltà, cioè di quella sperimentale e di quella razionale, alleanza che finora non è stata stretta, c'è molto da sperare. (I 95)
>
> (Bacone, *Novum Organum* I 19 e I 95; traduzione della redazione)

1. Descrivi le due vie di I 19: da dove partono, come procedono, dove arrivano?
2. Che cosa sono gli «assiomi medi», e perché nella prima via vengono dedotti, nella seconda trovati?
3. A quali due tipi di studiosi corrispondono la formica e il ragno? Che cosa manca a ciascuno?

4. Perché l'immagine dell'ape smentisce chi considera Bacone un semplice raccoglitore di fatti?

SINTESI

- La **rivoluzione scientifica** (c. 1543–1687) è un processo lungo, non un evento improvviso: nuovo cosmo, matematica come linguaggio della natura, esperimento costruito, strumenti (cannocchiale, microscopio, barometro, orologio a pendolo), accademie e riviste. Ha radici nel Trecento e nell'Umanesimo.
- Il cosmo di Aristotele e Tolomeo: Terra immobile al centro, moti circolari uniformi; il moto retrogrado dei pianeti è spiegato con epicicli, deferenti, eccentrici ed equante.
- **Copernico** (*De revolutionibus*, 1543) parte da un problema di coerenza: il cielo degli astronomi è un «mostro» senza forma unitaria. Mette il Sole al centro e dà alla Terra un moto di rotazione e uno di rivoluzione.
- L'eliocentrismo spiega con una sola causa il moto retrogrado, la vicinanza al Sole di Mercurio e Venere, l'ordine e le distanze dei pianeti. Ma conserva cerchi ed epicicli, non è all'inizio più preciso e incontra obiezioni fisiche, astronomiche (la parallasse stellare, misurata solo nel 1838) e bibliche.
- La premessa anonima di **Osiander** presenta il sistema come pura ipotesi di calcolo (strumentalismo), contro l'intenzione realista di Copernico.
- **Tycho Brahe** dimostra che la stella nuova del 1572 e la cometa del 1577 stanno oltre la Luna: i cieli cambiano e le sfere solide non esistono. Propone un sistema geo-eliocentrico e raccoglie misure precise fino a circa un primo d'arco.
- **Keplero** cerca le cause del cosmo (*Mysterium cosmographicum*, 1596: i poliedri regolari) e, per rispettare un errore di 8 primi nelle misure di Tycho, abbandona il cerchio.
- Le **leggi di Keplero**: orbite ellittiche con il Sole in un fuoco; aree uguali in tempi uguali (*Astronomia nova*, 1609); T^2/a^3 costante (*Harmonices mundi*, 1619). L'astronomia diventa fisica celeste: Keplero ipotizza una forza che viene dal Sole.
- **Bacone** (*Novum Organum*, 1620): scienza e potenza umana coincidono; alla natura si comanda obbedendole. Il sapere tradizionale è sterile perché procede per «anticipazioni» e sillogismi.
- La *pars destruens* smaschera gli **idola**: della tribù (la natura umana), della caverna (l'individuo), della piazza (il linguaggio), del teatro (i sistemi filosofici).
- La *pars construens*: tavole di presenza, di assenza e dei gradi; **induzione per eliminazione**; prima vendemmia (il calore è un moto espansivo e frenato); *instantia crucis*, che decide tra due ipotesi rivali.
- L'ape unisce esperienza e ragione; la *Nuova Atlantide* immagina la scienza come istituzione collettiva. Limiti: sottovaluta la matematica e il ruolo delle ipotesi.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Per «rivoluzione scientifica» gli storici intendono:
   - **A.** un processo di trasformazione del sapere sulla natura, tra la metà del Cinquecento e la fine del Seicento
   - **B.** la scoperta improvvisa del cannocchiale nel 1609
   - **C.** la rivolta degli scienziati contro la Chiesa cattolica
   - **D.** una teoria di Copernico sul moto dei pianeti

2. ● Che cosa rimprovera Copernico, nella dedica a Paolo III, agli astronomi del suo tempo?
   - **A.** di sbagliare tutte le previsioni delle eclissi
   - **B.** di non usare il cannocchiale
   - **C.** di non essere coerenti tra loro e di non saper indicare la forma del mondo
   - **D.** di non credere nella Scrittura

3. ● Nel sistema di Copernico il moto retrogrado di Marte è:
   - **A.** un moto reale del pianeta su un epiciclo
   - **B.** un effetto di prospettiva dovuto al moto della Terra
   - **C.** un errore delle osservazioni antiche
   - **D.** causato dalla forza magnetica del Sole

4. ● Perché la mancanza di parallasse stellare era un'obiezione al moto della Terra?
   - **A.** perché le stelle avrebbero dovuto cadere sulla Terra
   - **B.** perché la Luna avrebbe dovuto cambiare forma
   - **C.** perché il Sole avrebbe dovuto apparire più grande d'estate
   - **D.** perché, se la Terra gira attorno al Sole, le stelle dovrebbero mostrare uno spostamento apparente nel corso dell'anno

5. ● La premessa anonima del *De revolutionibus*, scritta da Osiander, sostiene che:
   - **A.** le ipotesi astronomiche devono soltanto permettere calcoli in accordo con le osservazioni
   - **B.** la Terra si muove davvero, come prova la Scrittura
   - **C.** il sistema di Tolomeo è stato definitivamente confutato
   - **D.** il libro è stato scritto da Retico

6. ● Nel sistema di Tycho Brahe:
   - **A.** tutti i pianeti, Terra compresa, girano attorno al Sole
   - **B.** la Terra è immobile, Luna e Sole le girano attorno, gli altri pianeti girano attorno al Sole
   - **C.** il Sole è immobile e la Terra ruota soltanto attorno al proprio asse
   - **D.** i pianeti sono trasportati da sfere solide di cristallo

7. ● La seconda legge di Keplero afferma che:
   - **A.** le orbite dei pianeti sono circolari
   - **B.** il quadrato del periodo è proporzionale al cubo del semiasse maggiore
   - **C.** il raggio Sole-pianeta descrive aree uguali in tempi uguali
   - **D.** i pianeti più lontani sono più veloci

8. ● Quale ordine cronologico è corretto?
   - **A.** *Astronomia nova* → *De revolutionibus* → *Novum Organum* → *Harmonices mundi*
   - **B.** *De revolutionibus* → *Novum Organum* → *Astronomia nova* → *Harmonices mundi*
   - **C.** *Mysterium cosmographicum* → *De revolutionibus* → *Astronomia nova* → *Novum Organum*
   - **D.** *De revolutionibus* → *Astronomia nova* → *Harmonices mundi* → *Novum Organum*

9. ● Gli *idola fori*, secondo Bacone, nascono:
   - **A.** dalla natura umana comune a tutti
   - **B.** dal carattere e dall'educazione del singolo
   - **C.** dai sistemi filosofici
   - **D.** dal linguaggio e dalle parole imposte secondo la capacità del volgo

10. ● L'*instantia crucis* è:
    - **A.** un caso, spesso un esperimento progettato, che decide tra due ipotesi rivali
    - **B.** il primo caso della tavola di presenza
    - **C.** un idolo legato alla religione
    - **D.** l'ipotesi provvisoria sulla forma del calore

Il lessico filosofico

11. ● Definisci l'*eliocentrismo* e spiega in che cosa si distingue dal sistema ticonico.

12. ● Completa: Bacone chiama _____ naturae il modo di ragionare che vola subito ai principi generali, e _____ naturae quello che sale per gradi dai fatti. Il libro I del *Novum Organum* è la pars _____, il libro II la pars _____.

13. ●● Abbina a ciascun termine l'autore e la definizione giusti. Termini: a) epiciclo; b) *instantia crucis*; c) ipotesi «che non è necessario siano vere»; d) legge delle aree. Autori: Bacone, Keplero, Osiander, Tolomeo. Definizioni: 1) strumento di calcolo che deve solo accordarsi con le osservazioni; 2) piccolo cerchio il cui centro percorre un cerchio maggiore; 3) caso che decide tra due spiegazioni rivali; 4) il raggio Sole-pianeta spazza aree uguali in tempi uguali.

14. ●● Distingui l'induzione per enumerazione semplice dall'induzione per eliminazione. Perché Bacone giudica la prima «una cosa puerile»?

15. ●● Distingui gli idola «innati» da quelli «acquisiti»: quali sono, e perché i primi si possono soltanto conoscere e tenere sotto controllo?

16. ●● Traduci e spiega: *Natura enim non nisi parendo vincitur* (*Novum Organum* I 3). Che cosa significa «vincere» la natura «obbedendole»? Perché la frase non contraddice l'idea che il sapere sia potenza?

Leggere i testi

17. ● Nel T1, con quale immagine Copernico descrive il sistema degli astronomi del suo tempo? Che cosa vuole dire?

18. ●● Nel T2, Osiander distingue il compito dell'astronomo da quello del filosofo. Riassumi la distinzione e spiega perché, per lui, nessuno dei due arriva al certo.

19. ●● Nel T3, perché gli idoli della caverna si chiamano così? Indica le cause che, nel passo di I 42 riportato, «rifrangono» la luce della natura in ciascun individuo.

20. ● Nel T4, perché la prima via è «in uso» e la seconda «non ancora tentata»? Collega la risposta alla critica baconiana del sillogismo.

21. ●● Leggi il passo e rispondi. «Ha risposto bene quel tale che, quando nel tempio gli mostravano appesa una tavola con i ritratti di coloro che, fatto un voto, erano scampati al pericolo del naufragio, e lo incalzavano chiedendogli se non riconoscesse almeno allora la potenza degli dèi, domandò a sua volta: "E dove sono dipinti quelli che, dopo aver fatto il voto, sono morti?"» (Bacone, *Novum Organum* I 46; traduzione della redazione). a) A quale genere di idoli appartiene l'errore che il passo smaschera? b) Qual è l'errore, in termini generali? c) Fai un esempio attuale dello stesso errore.

22. ●●● Leggi il passo e rispondi. «Si prenda un orologio di quelli che si muovono per mezzo di pesi di piombo, e un altro di quelli che si muovono per la compressione di una lamina di ferro; [...] poi si collochi l'orologio mosso dai pesi sulla cima di un tempio altissimo, tenendo l'altro in basso, e si osservi con cura se l'orologio posto in alto si muova più lentamente del solito, per la diminuita forza dei pesi» (Bacone, *Novum Organum* II 36; traduzione della redazione). a) Quali sono le due ipotesi sul peso tra cui l'esperimento deve decidere? b) Perché serve il secondo orologio, a molla? c) Perché questo è un esempio di *instantia crucis*?

Argomentare

23. ●● Ricostruisci in premesse e conclusione l'argomento di Copernico in T1 per la verità del suo sistema (almeno tre premesse numerate).

24. ●● Ricostruisci in premesse e conclusione l'obiezione della parallasse contro il moto della Terra. Poi indica quale premessa Copernico rifiutava, e perché aveva ragione.

25. ●●● Ricostruisci il ragionamento con cui Bacone esclude che la luce sia la forma del calore. Qual è la regola generale dell'esclusione che sta dietro a questo caso? È un ragionamento valido?

26. ●●● «Le osservazioni di Tycho sono precise fino a circa un primo d'arco; l'orbita circolare di Keplero se ne scosta di 8 primi; dunque l'orbita non è un cerchio.» Individua la premessa nascosta di questo argomento e spiega perché un astronomo antico avrebbe potuto non accettare la conclusione.

Confrontare e collegare

27. ●● Confronta il realismo di Copernico e lo strumentalismo di Osiander. Quale delle due posizioni ti sembra più adatta a descrivere che cosa fa oggi la scienza? Motiva la risposta.

28. ●● *Matematica e Fisica.* Un asteroide ha un semiasse maggiore di 2,77 UA. Calcola con la terza legge di Keplero il suo periodo di rivoluzione. Poi calcola il semiasse maggiore di un corpo con periodo di 84 anni e confrontalo con quello di Urano (19,2 UA).

29. ●● *Filosofia antica.* Confronta la caverna di Platone e gli *idola specus* di Bacone: che cosa hanno in comune le due immagini, e in che cosa differiscono?

30. ●● *Cronologia.* Ordina dal più antico al più recente, indicando l'anno: la Royal Society; il *Novum Organum*; la stella nuova di Tycho; il *De revolutionibus*; i *Principia* di Newton; l'*Harmonices mundi*. Quali di questi eventi avrebbe potuto conoscere Bacone?

31. ●●● *E oggi?* Bacone voleva una scienza che amplia «i confini del dominio umano». Discuti, con un esempio attuale, il valore e i rischi di questa idea.

Verso la verifica

32. ●● Spiega in non più di 8 righe perché il sistema di Copernico, pur non essendo più preciso di quello di Tolomeo, rappresentava un progresso.

33. ●● Enuncia le tre leggi di Keplero e spiega quale principio dell'astronomia antica viene abbandonato con ciascuna delle prime due.

34. ●●● *Trattazione sintetica* (12–15 righe). Il metodo di Bacone: dalla critica degli idola all'induzione per eliminazione. Indicane anche i limiti.

35. ●●● *Tema argomentativo* (scaletta). «Nella scienza i fatti contano più delle teorie.» Prepara la scaletta di un tema: tesi; due argomenti (uno tratto da Keplero, uno da Bacone); un'obiezione; conclusione.

PER APPROFONDIRE

- [ROS] P. Rossi, *La nascita della scienza moderna in Europa*: i capitoli sulla rivoluzione astronomica, su Keplero e su Bacone e sulle nuove istituzioni scientifiche.
- [KOY] A. Koyré, *Dal mondo chiuso all'universo infinito*: come cambia l'idea di cosmo da Cusano e Copernico a Keplero e Newton.
- [REA] G. Reale, D. Antiseri, *Il pensiero occidentale dalle origini ad oggi*, vol. 2: i capitoli sulla rivoluzione scientifica e su Bacone.

Glossario del capitolo

Accademia scientifica
Associazione di studiosi, esterna all'università, che discute e controlla le ricerche (Lincei, Royal Society, Académie des sciences).

Anticipazioni della natura
In Bacone, il modo di ragionare che passa subito da pochi dati ai principi generali; opposto all'interpretazione della natura, che sale per gradi.

Eliocentrismo
Sistema astronomico che pone il Sole immobile al centro e attribuisce alla Terra un moto di rotazione e uno di rivoluzione (Copernico).

Epiciclo
Nell'astronomia di Tolomeo, piccolo cerchio percorso dal pianeta, il cui centro si muove su un cerchio maggiore (deferente) attorno alla Terra.

Esperimento
Situazione costruita apposta, spesso con strumenti, per isolare e misurare un fenomeno e rispondere a una domanda precisa; diversa dall'esperienza comune degli aristotelici.

Forma (in Bacone)
La struttura o il processo fisico sempre presente con una proprietà, assente senza di essa e variabile con essa; conoscerla permette di produrre la proprietà.

Idola
In Bacone, le false immagini e abitudini mentali che assediano l'intelletto: della tribù, della caverna, della piazza, del teatro.

Induzione per eliminazione
Il metodo di Bacone: si giunge alla forma escludendo, con i casi negativi, tutte le nature che non sono sempre legate al fenomeno.

Instantia crucis
In Bacone, il caso, spesso un esperimento progettato, che decide tra due spiegazioni rivali, come una croce posta a un bivio.

Leggi di Keplero
Orbite ellittiche con il Sole in un fuoco; aree uguali in tempi uguali; T^2/a^3 costante per tutti i pianeti.

Moto retrogrado
Il moto apparente con cui un pianeta, per un certo tempo, sembra tornare indietro tra le stelle fisse.

Parallasse stellare
Lo spostamento apparente delle stelle vicine, nel corso dell'anno, dovuto al moto della Terra attorno al Sole; misurato per la prima volta nel 1838.

Pars destruens / pars construens
In Bacone, la parte critica del *Novum Organum* (libro I: gli idola) e quella che espone il nuovo metodo (libro II).

Prima vendemmia
In Bacone, l'ipotesi provvisoria formulata dopo le tavole e l'esclusione (per il calore: un moto espansivo e frenato delle parti minori).

Rivoluzione scientifica
Il processo, tra la metà del Cinquecento e la fine del Seicento, da cui nasce la scienza moderna: nuovo cosmo, matematica ed esperimento, strumenti e accademie.

Sistema ticonico
Sistema geo-eliocentrico di Tycho Brahe: Terra immobile al centro, Luna e Sole attorno alla Terra, gli altri pianeti attorno al Sole.

Strumentalismo
Concezione per cui una teoria scientifica è uno strumento per calcolare e prevedere, non una descrizione vera della realtà (Osiander); si oppone al realismo.

Tavole
In Bacone, le raccolte ordinate di casi: di presenza, di assenza nei casi vicini, dei gradi.

Soluzioni

1. A. È un processo lungo più di un secolo che trasforma cosmo, metodo e istituzioni (§ «Un'espressione e i suoi limiti»).

2. C. Usano principi diversi e non sanno dire la «forma del mondo»: l'immagine del mostro (T1).

3. B. La Terra, più veloce, sorpassa Marte, che sembra arretrare rispetto alle stelle (Esempio svolto).

4. D. Dal moto annuo della Terra seguirebbe uno spostamento apparente delle stelle, misurato solo nel 1838 da Bessel.

5. A. Per Osiander le ipotesi non devono essere vere né verosimili, ma permettere calcoli corretti (T2).

6. B. È il sistema geo-eliocentrico; Tycho nega le sfere solide (D è falsa).

7. C. B è la terza legge; D è il contrario del vero.

8. D. 1543, 1609, 1619, 1620. In A e B l'*Astronomia nova* o il *Novum Organum* sono fuori posto; in C il *Mysterium* (1596) è posto prima del 1543.

9. D. Sono gli idoli della piazza (I 43); A sono quelli della tribù, B della caverna, C del teatro.

10. A. Dal nome delle croci ai bivi (II 36); D è la prima vendemmia.

11. Eliocentrismo: il Sole è (quasi) al centro e immobile, la Terra ruota su sé stessa e gli gira attorno con gli altri pianeti. Nel sistema ticonico la Terra resta immobile al centro: Luna e Sole le girano attorno, gli altri cinque pianeti girano attorno al Sole. I due sistemi sono geometricamente equivalenti per i moti apparenti, ma differiscono su che cosa si muove davvero.

12. *anticipationes*; *interpretatio*; *destruens*; *construens*.

13. a) Tolomeo, 2; b) Bacone, 3; c) Osiander, 1; d) Keplero, 4.

14. L'enumerazione semplice generalizza dai casi favorevoli che si hanno a disposizione e crolla davanti a un solo caso contrario (I 105). L'eliminazione usa proprio i casi negativi: scarta le nature che mancano dove il fenomeno c'è, o ci sono dove manca, finché resta la forma. È «puerile» perché conclude troppo in fretta, da pochi casi e solo da quelli presenti.

15. Innati: idola della tribù e della caverna, legati alla natura della mente umana e dell'individuo: si possono conoscere e controllare, non eliminare. Acquisiti: idola della piazza e del teatro, che vengono dal linguaggio e dalle dottrine ricevute: si possono combattere con la critica delle filosofie e con un linguaggio controllato, anche se gli idola della piazza restano i più molesti, perché le definizioni stesse sono fatte di parole (I 59).

16. «Alla natura infatti non si comanda (letteralmente: la natura non è vinta) se non obbedendole.» Si «vince» la natura, cioè la si piega ai fini umani, solo conoscendone le cause e rispettandone le leggi: chi ignora la causa non può produrre l'effetto. Non c'è contraddizione con «scienza e potenza coincidono»: la potenza nasce proprio dall'obbedienza, cioè dalla conoscenza delle leggi; ciò che nella contemplazione vale come causa, nell'operazione vale come regola (I 3).

17. Un mostro composto di membra ben dipinte ma prese da corpi diversi: ogni parte del sistema funziona da sola, ma l'insieme non ha unità né proporzioni, cioè manca la «forma del mondo».

18. L'astronomo raccoglie le osservazioni e costruisce ipotesi qualsiasi che permettano di calcolare i moti; il filosofo cerca piuttosto la verosimiglianza, cioè come stanno davvero le cose. Nessuno dei due arriva al certo perché le vere cause sono irraggiungibili senza una rivelazione divina (T2).

19. Perché ognuno vive come in una sua caverna (allusione a Platone) che rifrange la luce della natura. Cause indicate nel passo: la natura propria e singolare di ciascuno; l'educazione e la frequentazione

degli altri; la lettura dei libri e l'autorità degli autori che ciascuno venera e ammira. Nella parte omessa («[...]») Bacone ne aggiunge una quarta: le diverse impressioni ricevute da un animo prevenuto o sereno (I 42).

20. La prima è quella della logica tradizionale, che dai pochi dati passa subito ai principi e poi deduce: è il metodo del sillogismo, che lavora su nozioni già fissate (I 14). La seconda richiede di salire per gradi con tavole ed esclusioni, cosa che nessuno ha ancora fatto in modo sistematico.

21. a) Idola tribus (I 46: è un errore della natura umana). b) Si contano i casi che confermano un'opinione (i salvati) e si trascurano quelli che la smentiscono (gli annegati): la mente si lascia muovere più dalle istanze affermative che dalle negative. c) Per esempio, chi crede negli oroscopi ricorda le previsioni azzeccate e dimentica quelle sbagliate.

22. a) I corpi pesanti tendono al centro della Terra per la propria natura, oppure sono attratti dalla massa della Terra. b) L'orologio a molla non dipende dal peso: serve come termine di confronto per vedere se quello a pesi rallenta. c) Perché, se il peso diminuisce in alto e cresce in basso, è confermata l'attrazione e scartata l'altra ipotesi: l'esperimento si trova al «bivio» tra le due cause (II 36).

23. Traccia: (1) un sistema vero deve dare al mondo una forma unitaria in cui le parti sono connesse; (2) i sistemi tradizionali non ci riescono (il mostro); (3) nel sistema con la Terra in moto i fenomeni seguono, e ordini e grandezze di tutti gli astri risultano connessi così che nulla si può spostare senza confondere il tutto; conclusione: il sistema eliocentrico descrive la vera forma del mondo (T1, ultimo paragrafo).

24. (1) Se la Terra gira attorno al Sole, la nostra posizione cambia molto nel corso dell'anno; (2) se cambia la posizione dell'osservatore, le stelle vicine devono spostarsi rispetto a quelle lontane (parallasse); (3) nessuna parallasse è osservata; conclusione: la Terra non gira attorno al Sole. Premessa nascosta: lo spostamento sarebbe abbastanza grande da essere osservato. Copernico la rifiutava: le stelle sono così lontane che la parallasse è minima; infatti fu misurata solo nel 1838, con strumenti molto più precisi.

25. I raggi della Luna sono luminosi ma non caldi (luce senza calore); l'acqua bollente è calda ma non luminosa (calore senza luce); dunque la luce non è la forma del calore. Regola: è scartata ogni natura che manca dove il fenomeno c'è, o c'è dove il fenomeno manca (II 16). Il ragionamento è valido se si accetta che la forma sia sempre presente con il fenomeno e assente senza di esso: un solo caso contrario basta a escludere una candidata.

26. Premessa nascosta: una teoria deve accordarsi con le osservazioni entro il loro margine d'errore, e uno scarto maggiore di quel margine la confuta. Un astronomo antico, con strumenti meno precisi e convinto che i cerchi e il moto uniforme fossero principi certi, avrebbe attribuito lo scarto a errori di osservazione, o l'avrebbe ritenuto trascurabile, salvando il cerchio.

27. Traccia: realismo (Copernico): la teoria dice come è fatto il mondo, la Terra si muove davvero; strumentalismo (Osiander): la teoria è uno strumento di calcolo, vera o falsa non importa. Argomenti possibili: le teorie fanno previsioni nuove che si avverano (a favore del realismo); molte teorie del passato funzionavano ed erano false (a favore della prudenza strumentalista). Va motivata la scelta (Approfondimento «Descrivere il mondo o fare calcoli?»).

28. $T^2 = 2{,}77^3 \approx 21{,}25$, $T = \sqrt{21{,}25} \approx 4{,}61$ anni (è Cerere, il più grande corpo della fascia degli asteroidi). Con $T = 84$ anni: $a^3 = 7056$, $a = \sqrt[3]{7056} \approx 19{,}2$ UA: proprio la distanza di Urano, il cui periodo è infatti di circa 84 anni.

29. In comune: l'uomo vede ombre o luce deformata invece della realtà, e la sua condizione dipende dal luogo in cui è chiuso. Differenze: in Platone la caverna è la condizione di tutti gli uomini legati al sensibile, e si esce verso le idee; in Bacone ogni individuo ha la sua caverna, fatta di carattere, educazione e letture, e il rimedio non è salire alle idee ma tornare con metodo ai fatti della natura.

30. 1543 *De revolutionibus*; 1572 stella nuova; 1619 *Harmonices mundi*; 1620 *Novum Organum*; 1660

Royal Society; 1687 *Principia*. Bacone (morto nel 1626) poteva conoscere i primi tre eventi e scrisse il quarto.

31. Traccia: valore: la scienza applicata ha allungato la vita e ridotto la fatica (medicina, tecnica); Bacone lega il potere all'obbedienza alle leggi naturali e al bene degli uomini. Rischi: il dominio sulla natura può diventare sfruttamento (crisi ambientale) o strumento di potere di pochi; serve una scelta etica e politica su che cosa sia «possibile» realizzare. Un esempio concreto è richiesto.

32. Traccia: (1) spiega con una sola causa, il moto della Terra, il moto retrogrado e la posizione di Mercurio e Venere; (2) stabilisce l'ordine dei pianeti in base ai periodi e le loro distanze relative; (3) dà al cosmo una forma unitaria; (4) pone il problema di una nuova fisica, che porterà a Keplero e a Galileo.

33. Prima: orbite ellittiche con il Sole in un fuoco (cade il cerchio). Seconda: aree uguali in tempi uguali, quindi velocità variabile (cade il moto uniforme). Terza: T^2/a^3 costante per tutti i pianeti, una legge che collega pianeti diversi.

34. Traccia: scopo (scienza e potenza coincidono, I 3); critica del sillogismo e delle anticipazioni; i quattro idola; le tre tavole; l'esclusione e la prima vendemmia sul calore; l'*instantia crucis*; l'ape; limiti: matematica sottovalutata, ruolo delle ipotesi, rifiuto di Copernico.

35. Traccia: tesi (per esempio: i fatti hanno l'ultima parola, ma non parlano da soli); argomento 1: Keplero abbandona il cerchio per 8 primi d'arco; argomento 2: Bacone e l'*instantia crucis*, l'esperimento che decide; obiezione: senza un'ipotesi non si sa quali fatti cercare (l'ape, non la formica; Keplero partiva dai poliedri); conclusione: fatti e teorie si correggono a vicenda.