

## Momenti della rivoluzione scientifica

### Rivoluzione scientifica e cultura rinascimentale

Rivoluzione scientifica e mondo moderno

Con il termine rivoluzione scientifica si intende un articolato movimento di ricerche e di elaborazioni teoriche, che ebbe inizio e si consolidò nel corso dei secoli XVI e XVII, e dal quale ebbero origine i principali elementi della visione razionale e scientifica del mondo. Essa fu il risultato di una serie di innovazioni, nelle idee e nei metodi, che ha fornito la chiave per la decifrazione dell'architettura del *cosmo* e delle relazioni tra i suoi fenomeni: in quest'accezione, la rivoluzione scientifica si rivela come il vero laboratorio della modernità, nel cui senso comune sono progressivamente confluiti concetti e procedimenti originariamente affermatasi in quei due secoli decisivi. Anche per questo è stata talvolta proposta come elemento periodizzante e discriminante. Con una serie di problemi di definizione delle sue relazioni con la contemporanea cultura rinascimentale, e con quella medievale.

Rinascimento e rivoluzione scientifica

Pur dimostrandosi entrambi delicati e complessi per la varietà di risvolti impliciti, l'aspetto senz'altro più controverso è quello del nesso *Rinascimento-rivoluzione scientifica*, se non altro per il fatto che la sovrapposizione sincronica e la comune rivendicazione della rottura con il cosmo medievale comportano un'esigenza di delimitazione e specificazione che non sempre è stata realizzata con equilibrio. In effetti è stata impiegata l'espressione *Rinascimento scientifico*, per indicare la prima fase della *rivoluzione scientifica*, innestata nel movimento rinascimentale, addirittura con determinazioni cronologiche di massima, 1450-1630, per richiamare, da un lato, la piena fioritura del lavoro filologico (destinato a importanti ricadute anche in ambito scientifico), dall'altro, il compimento del galileiano **Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo**.

Umanesimo e rivoluzione scientifica

Tuttavia, anche tale espressione sottintende, in ogni caso, una presa di distanze dall'accezione più generica del termine *Rinascimento*, quella *umanistica*, relativamente alla quale la valutazione critica degli storici della scienza è articolata, con posizioni di limitato riconoscimento per l'apporto filologico, altre più severe nel rilievo dell'incomprensione umanistica per il significato della ricerca scientifica, altre, infine, globalmente liquidatorie, nella convinzione che, metodologicamente e contenutisticamente, la *rivoluzione scientifica* debba piuttosto essere ricollegata alla cultura del medievale aristotelismo parigino e oxoniense, spesso dileggiato dagli stessi umanisti.

L'unilateralità etico-civile del primo *umanesimo*, la polemica nei confronti di un atteggiamento, quello scolastico, e di un ambiente, quello universitario, ritenuti, schematicamente, responsabili dell'imbarbarimento della lingua, e, di conseguenza, del pensiero, lo stesso ideale pedagogico di una cultura per l'uomo, contribuirono all'emarginazione (anche se non alla scomparsa, come abbiamo visto) dell'interesse scientifico, talvolta frainteso, come espressione di una curiosità fine a se stessa. La venerazione del mondo greco-latino, non sempre pronta a riconoscere i limiti del concorso classico, e l'attitudine prevalente a ricavare dai tesori filologici una lezione per il presente, accentuarono ulteriormente la distrazione verso la lezione che veniva timidamente e parzialmente sviluppandosi nelle ricerche dei cosiddetti *artigiani superiori*, artisti, fabbricanti di strumenti, e degli ingegneri, tecnici impegnati nella soluzione dei problemi concreti che lo sviluppo economico e sociale contemporaneo continuamente proponeva.

Individualismo rinascimentale e moderna concezione della collaborazione scientifica

In questo senso è stato messo in evidenza come i valori propugnati dall'*umanesimo rinascimentale*, incentrati sulla *gloria* e sulla *fama*, concorressero a definire un *individualismo* professionale, incompatibile con quell'esigenza di collaborazione scientifica, che, maturatasi nelle botteghe artigiane del tardo Medioevo, avrebbe poi improntato l'impegno dello scienziato moderno, contribuendo a determinare la formazione dell'idea di progresso. Essa implicava:

- la convinzione che il sapere scientifico sia qualcosa che si attua mediante un processo al quale contribuiscano generazioni di studiosi,
- la convinzione che questo processo non sia mai completo,
- la convinzione che si dia, in qualche modo, un'unica tradizione scientifica.

Le stesse convinzioni metafisiche che abbiamo ritrovato alle radici del naturalismo rinascimentale, con il motivo della *vicissitudine* e della *renovatione*, si rivelerebbero estranee a tale prospettiva.

Umanesimo e interessi scientifici

D'altra parte, l'indubbio contributo filologico degli *humanisti* al recupero della scienza greca, in particolare ellenistica, che ebbe vasta eco nelle ricerche dei protagonisti della *rivoluzione scientifica*, non si legava a un interesse specifico o a un progetto organico, che non fosse quello, più generale, di

dischiudere, in ogni ambito, la ricchezza dell'esperienza classica. La dimensione matematica del calcolo, piuttosto che quella empirica dell'osservazione, o quella meccanica della macchina, presenti nella lezione della grande scienza ellenistica, rimasero del tutto estranei al platonismo prevalente nell'*umanesimo*, coniugandosi talvolta in ostilità verso la ricerca scientifica empiricamente fondata, e in scherno verso gli studiosi delle scienze naturali, i logici terministi e i cosiddetti *calculatores* della tarda scolastica, a dimostrazione di disinteresse e ignoranza.

Gli storici della scienza che hanno studiato a fondo la *rivoluzione scientifica* hanno sollevato gravi riserve circa l'effettiva azione innovatrice esplicita dall'*umanesimo rinascimentale*. Esso avrebbe in realtà esercitato scarsa influenza sui primi stampatori, che continuarono a pubblicare, in larga misura, testi medievali; inoltre il suo lavoro critico-filologico sarebbe stato anche troppo disponibile nei confronti degli autori classici, propendendo per una lettura *assiologica* del passato, caricato di valore a scapito del presente storico: questo avrebbe rappresentato una remora per il perseguimento di una scienza, che non cercava di imitare e ricostruire, ma ricercava ciò che non era ancora conosciuto (ciò valeva particolarmente per quelle branche della conoscenza non sviluppate nell'antichità).

Naturalismo  
rinascimentale  
e rivoluzione  
scientifica

Ma la cultura *rinascimentale* non è solo *umanesimo*, sebbene essa si innesti in quel movimento: abbiamo avuto modo di evidenziare la forte impronta naturalistica nel platonismo e aristotelismo quattro-cinquecenteschi. Come si raccorda questa tradizione con la stagione di studi che è alla base della nuova concezione del sapere scientifico? Anche la risposta a questo interrogativo richiede una precisa articolazione: per lo più, in passato, gli storici della scienza hanno rimarcato la matrice religiosa, metafisica e superstiziosa delle credenze magiche e astrologiche spesso connesse a quella lezione naturalistica, denunciandone il carattere *anti-scientifico*, in quanto non inquadrabili all'interno di criteri stabili e oggettivi. Con l'aumentare dell'interesse storico-culturale per quei fenomeni, tuttavia, la valutazione si è fatta più equilibrata.

Così, se da un lato non si è mancato di osservare che il *Rinascimento* accentuò la diffusione delle pratiche astrologiche, non tracciando chiaramente una linea di demarcazione tra aspetti mistici e aspetti razionali, si è dall'altro riconosciuto che la *magia naturale*, avvalendosi di mezzi naturali per investigare le forze che scorrevano all'interno dell'universo (simpatie ed antipatie), si avvicinava a diventare scienza sperimentale. Inoltre, la dimensione immanentistica che progressivamente s'impose in quella tradizione, sicuramente favorì il concentrarsi dell'attenzione nell'ambito del mondo fisico, affrontato *iuxta propria principia*.

Sapere  
qualitativo e  
scienza  
quantitativa

In ogni caso, la *rivoluzione scientifica* comportò una radicale ridefinizione del sapere, già solo nella misura in cui impose un approccio alla natura di stampo quantitativo-matematico, portatore di profonde istanze innovative, come vedremo, anche a livello di osservazione e verifica, che scardinava il prevalente atteggiamento speculativo, legato a una valutazione qualitativa della realtà (essenze, forme ecc.). Gli uomini che, a partire dal XVI secolo, sempre più insistentemente imposero la matematizzazione del cosmo, in effetti, in molti casi prendevano le mosse (è il caso di Copernico e dello stesso Keplero) da un retroterra culturale almeno in parte naturalistico, in cui, in altre parole, era forte il riferimento alla totalità organica, alle sue intrinseche corrispondenze. Tuttavia, come dimostra proprio il caso di Keplero, seppero correggere quanto, confrontato con precisi dati osservativi tradotti matematicamente, si rivelasse mero pregiudizio.

Scienza  
matematica e  
platonismo

Non c'è dubbio che su questa svolta quantitativa (che in ogni modo andrà poi valutata nei singoli contesti) abbia pesato la lezione pitagorico-platonico-neoplatonica, ben documentata all'interno della stagione rinascimentale, e anche nella tradizione della *magia naturale*. Gli storici della scienza hanno, a questo proposito, talvolta messo in risalto la labilità del nesso, con argomenti tesi a rilevare l'accessorietà della matematica in quei contesti, oppure la sua riduzione a superstiziosa *numerologia*.

E.W. Strong distinse, invece, tra due tradizioni nettamente differenziate del pensiero matematico rinascimentale:

- una tradizione (risalente allo stesso Platone, e a Proclo) che assegna un significato ontologico ai numeri, considerandoli entità intermedie tra mondo sensibile e mondo delle forme, e inserendo lo studio matematico in una prospettiva propedeutica alla visione speculativa;
- l'altra, ispirata dagli **Elementi** di Euclide, che divulgò un modello di struttura scientifica e argomentativa destinato a larga fortuna nel corso del XVII e XVIII secolo.

Il pitagorismo dei neoplatonici, in se stesso, avrebbe rappresentato dunque un indirizzo di pensiero contrario al progresso della scienza, anche se poi, in casi come quello di Keplero, la fede nell'esistenza di relazioni matematiche perfette costituì uno degli stimoli per la ricerca. Chi, come

Il contributo logico dell'aristotelismo

Tartaglia, Guidobaldo del Monte, Stevino, Viète, Benedetti, Galilei, contribuì maggiormente al consolidamento della matematica e della fisica, condivideva un approccio metodologico che privilegiava i procedimenti piuttosto che la metafisica.

Anche dal punto di vista della logica il contributo rinascimentale era stato modesto, dal momento che, spesso, i maestri umanisti avevano espresso la convinzione che l'*oratio* potesse essere persuasiva, e persino cogente, pur non essendo rigorosamente valida in termini formali. In seno alla tradizione aristotelica degli studi di Bologna e Padova maturò, invece, tra i secoli XIV e XV, un'intensa discussione intorno agli aspetti logici della metodologia scientifica aristotelica, molto più attenta alla concretezza del mondo naturale, e alle possibilità d'intervento in esso.

In particolare, Jacopo Zabarella (1533-89), nelle sue controversie logiche, arrivò a riformulare il metodo aristotelico, delineando la struttura dell'*esperienza scientifica*. La logica scolastica aveva troppo disinvoltamente accettato principi primi, stabiliti sulla base della mera osservazione comune. Egli, al contrario, proponeva l'esigenza di un'accurata analisi dell'esperienza, come condizione della scoperta del preciso *principio* dei fenomeni osservati: solo passando rigorosamente attraverso la *via analitica della scoperta*, era poi possibile dimostrare deduttivamente come i fatti derivino dal *principio* individuato, percorrendo la *via della verità*. Il metodo scientifico si articolava quindi in due momenti essenziali:

- l'*analisi* rigorosa di pochi casi, opportunamente scelti, per enucleare il *principio*,
- la *sintesi sistematica*, che ordinava i fatti muovendo dal *principio*.

La *rivoluzione scientifica* risultò profondamente indebitata nei confronti di questa corrente metodologica, a cavallo tra tradizione universitaria medievale e nuova attenzione per il mondo della natura (non a caso essa si sviluppò soprattutto nel polo patavino, dove facoltà principale era quella di medicina), esattamente come nei confronti di quella lezione matematica (sempre attenta, però, alla dimensione metodologica euclidea), stimolata dai recuperi culturali umanistici, ma sviluppata soprattutto da ingegneri come Stevino o Tartaglia.

Magia rinascimentale e rivoluzione scientifica

C'è, infine, un ultimo, delicato aspetto da valutare nel complesso rapporto tra *Rinascimento* e *rivoluzione scientifica*. Si è detto dell'*individualismo* e della presunta scarsa attitudine umanistica alla cooperazione comune, presupposto di una visione progressiva delle relazioni generazionali e delle tradizioni intellettuali e manuali. La magia naturale, d'altro canto, accentuò però la dimensione dell'*utilitas*, disponendo l'intervento nella natura a vantaggio dell'umanità. Per la prima volta, sistematicamente, in Cardano, in Della Porta, in Campanella, in Bruno, in John Dee, troviamo l'idea di un sapere capace di soccorrere, di guidare con efficacia, di trasformare la realtà: il processo che si espliciterà pienamente in Bacone, nell'esaltazione dell'*uomo, ministro e interprete della natura*, del *sapere fruttifero*, ha, in fondo, almeno per questi risvolti, le sue radici nella cultura magico-ermetica, non meno che nella tradizione dei cosiddetti *artigiani superiori*.

## Rivoluzione scientifica e cultura medievale

Contributo scientifico tardo-medievale

Per quanto riguarda l'*eredità* medievale nello sviluppo cinque-secentesco del sapere scientifico, si è, da parte di alcuni storici della scienza (primo fra tutti P. Duhem), spesso rimarcato il debito profondo che tutta la ricerca moderna avrebbe avuto nei confronti delle indagini tardo-medievali, a volte insistendo sulla continuità metodologica (A. Crombie), assicurata dai comuni referenti classici, altre volte sulla rielaborazione metodologica operata, nel corso del XIV-XV secolo, all'interno della stessa tradizione universitaria aristotelica (J.H. Randall). Il Crombie ha, ad esempio, sostenuto che:

<<la concezione fondamentale della spiegazione scientifica ammessa dai fisici del Medioevo veniva dai greci, ed essa era essenzialmente la stessa di quella della scienza moderna. Una volta descritto accuratamente un fenomeno, di modo che le sue caratteristiche fossero adeguatamente conosciute, lo si spiegava ricollegandolo ad un insieme di principi o di teorie generali colleganti tutti i fenomeni simili. Il problema della relazione tra la teoria e l'esperienza, presentata da questa forma di spiegazione scientifica, fu analizzata dagli scolastici nella elaborazione dei loro metodi di "risoluzione e composizione">>.

Continuità metodologica e rovesciamento di prospettiva mentale

Carugo ha, in ogni caso, rilevato come l'*identità essenziale* vada accettata solo nel senso ristretto di un'identità o analogia meramente esteriore nei modi e nelle forme in cui la spiegazione scientifica si articola: a tale *continuità metodologica* si accompagnerebbe, in realtà, un *rovesciamento di prospettiva mentale*, che imprimerebbe un carattere rivoluzionario al movimento scientifico dei primi secoli dell'età moderna, segnando, con i secoli precedenti, una vera *frattura ideologica*, evidenziata nel nuovo modo di *fare e concepire* la ricerca scientifica, orientata su *problemi concreti*, da risolvere attraverso l'applicazione di strumenti matematici, in un diverso *contesto tecnologico*, sperimentale. Tutti punti rispetto a cui la tradizione tardo-medievale si sarebbe mostrata carente o irrisolta.

In generale, si può dire che, effettivamente, l'attenzione di certi settori della cultura medievale (per lo più aristotelici) per i temi della fisica contribuì a fissare, anche sulla scorta dei modelli classici, regole e procedimenti metodologici significativi per la scienza moderna (come confermerebbero gli sviluppi delle ricerche dello studio patavino, in precedenza segnalati). Tuttavia, essa crebbe e si articolò a partire da uno sfondo, quello della *rivoluzione astronomica*, destinato a rompere decisamente con il mondo cui si riferiva la tradizione aristotelica del XIV e XV secolo, la quale, benché impegnata nell'analisi di fenomeni fisici specifici, intuendo la rilevanza dell'introduzione del calcolo, ancora li inseriva in un universo qualitativo, organizzato gerarchicamente e assiologicamente, senza prescindere del tutto, poi, dalla lezione ontologica delle *essenze*. Perché la scienza moderna potesse consapevolmente decollare, era necessario superare quell'immagine della realtà, come avvenne, direttamente o indirettamente, per opera di Copernico e Keplero, uomini, per altro, per molti versi iscrivibili nell'alveo di una cultura rinascimentale lontana da quegli esempi della tarda scolastica.

### Alle origini della rivoluzione astronomica: Copernico

Il sottofondo teorico in cui si inserisce quell'ampio movimento che abbiamo definito *rivoluzione scientifica* è dominato dalla lenta erosione dell'immagine tradizionale del cosmo, che sfocia, nella seconda metà del XVI secolo, in un vero e proprio rovesciamento dell'universo aristotelico, per opera di Copernico e Keplero. La nuova concezione della scienza si lega strettamente a questo nuovo quadro (pur non derivandone direttamente), dal momento che esso si presentava, per lo più, vincolato a un'originale sintesi tra osservazione, elaborazione matematica e audacia immaginativa, capace di trascendere il limite degli atteggiamenti più disponibili nei confronti delle autorità della tradizione. Eppure i protagonisti di questa svolta, destinata a pesare durevolmente nella formazione della cultura e, in genere, della mentalità moderne, non possono certamente essere proposti come modelli di trasgressione.

Copernico  
uomo del  
suo tempo

Niccolò Copernico (1473-1543) fu, in tutto e per tutto, uomo del suo tempo. Avviato a una carriera ecclesiastica che avrebbe dovuto provvedergli un futuro sicuro, egli compì i suoi studi prima nella nativa Polonia (a Cracovia), quindi, secondo costume, nelle università e negli *studia* italiani, Bologna, Padova, Roma e Ferrara. Qui apprese a fondo le lingue classiche, avvicinandosi a quella cultura aristotelica, densa di contenuti naturalistici, dominante nei due poli settentrionali, ma, soprattutto, al platonismo, anche ermetizzante, diffuso nel primo Cinquecento. In Italia si addottorò anche in diritto canonico, approfondendo, parallelamente, le sue ricerche matematico-astronomiche, con qualche contributo osservativo, sebbene in quest'ambito il suo fosse sostanzialmente l'apporto del matematico all'interpretazione dei dati osservativi della tradizione. Come è stato sostenuto, quello di Copernico è il massimo esempio di un rivoluzionamento della scienza compiuto considerando i fatti vecchi in modo nuovo.

Problemi  
astronomici  
contemporanei

La sua formazione scientifica specifica era essenzialmente allineata ai canoni coevi, improntati dalle lezioni dei commentatori di Tolomeo e dalle recenti riscoperte classiche, tra cui l'**Almagesto**, disponibile manoscritto all'epoca del soggiorno italiano dello studioso polacco, e pubblicato quindi, nella traduzione latina di Gherardo da Cremona, nel 1515.

Quando Copernico portò a compimento questo addestramento matematico-astronomico, i suoi maestri avevano già cominciato a avvertire che quel percorso tolemaico costituiva solo una premessa essenziale per l'ulteriore sviluppo dell'astronomia, ancora da definire. In particolare, la teoria planetaria si era rivelata sempre più inadeguata a dare soddisfacenti spiegazioni delle nuove osservazioni celesti, contorcendosi in una disperata strategia di assorbimento delle anomalie, rispetto alla lettera della fisica e cosmologia aristoteliche, con il ricorso a ipotesi di carattere matematico-calcolistico, difficilmente coniugabili con la portata realistica dei contributi aristotelici.

L'astronomia del XV secolo viveva, insomma, la contraddizione tra la teoria del cosmo fisico dello Stagirita, imperniato sul complesso delle sfere cristalline omocentriche, e il modello calcolato da Tolomeo (II secolo), per *salvare le apparenze*, che prevedeva *eccentrici*, *epicicli*, *deferenti*, *cerchi equanti*, che non potevano inquadrarsi nell'intelaiatura cristallina di quell'universo.

Copernico, in questo corrispondendo perfettamente alle attese di una stagione che ricercava risorse nella sapienza arcaica, sondò le tradizioni più antiche per trovare una risposta all'incoerenza dei *matematici* contemporanei:

Copernico e  
gli antichi

<<perciò mi diedi la pena di rileggere tutte le opere dei filosofi sulle quali potei mettere mano, per cercare di scoprire se qualcuno avesse mai supposto che i moti delle sfere fossero altra cosa da quelli che son pretesi dalle scuole dei matematici>>.

Attraverso questo percorso, così poco *rivoluzionario*, egli giunse, dunque, a un modello identificato (a torto) con quello pitagorico, in grado di dar conto dei fenomeni celesti con un sistema di calcolo semplificato rispetto a quello tolemaico, riducendone le ipotesi e rendendo complessivamente più uniforme l'architettura del cosmo. Da questo punto di vista, tuttavia, l'intenzione copernicana si rivelò effettivamente innovativa, dal momento che evitava di disperdere i calcoli in una serie di ricerche particolari, relative al singolo *orbe* planetario, puntando all'armonia e all'equilibrio del sistema, e quindi alla ricostruzione di un ordine totale dell'universo. In fondo, a garantire la validità e *verità* della proposta, in assenza di osservazioni decisive, sarà avanzato proprio il *pregiudizio* pitagorico-platonico della coerenza e semplicità globali del sistema di calcolo adottato.

Novità  
copernicana

Così, al centro del **De revolutionibus orbium celestium** (1543), molto tradizionalmente inteso come una disamina critica, nell'ottica dello specialista (a parte il primo libro, introduttivo), del capolavoro di Tolomeo (l'**Almagesto**), noi troviamo due postulati fondamentali:

- attribuzione del moto diurno degli astri alla rotazione della Terra intorno al proprio asse,
- attribuzione del loro moto annuo alla rivoluzione della Terra intorno al Sole.

Elaborate con il vecchio armamentario tolemaico degli *eccentrici* e degli *epicicli* le loro conseguenze astronomiche, Copernico sviluppò le sue ipotesi seguendo l'esempio dei predecessori, introducendo, in altre parole, postulazioni accessorie, per *salvare le apparenze*.

Eversione  
del cosmo  
aristotelico

La diversa dislocazione dei corpi celesti era, in effetti, di per sé, direttamente e indirettamente, eversiva del modello classico. La (quasi) centralità del Sole rispetto agli orbi rotanti, la sua immobilità (per cui il sistema sarà propriamente *eliostatico* più che *eliocentrico*), la connessa *deriva* planetaria della Terra, ponevano problemi gravissimi all'impianto fisico-metafisico aristotelico (di cui Copernico si mostrò per lo più consapevole), ma anche problemi d'ordine teologico (per lo stridore con certi passi biblici), e altri più genericamente di mentalità, legati all'impatto sul *sensu comune*, impregnato della concettualità geocentrica aristotelica, perfettamente coerente con il punto di vista dell'osservatore terrestre. Problemi che dovettero convincere il pavido Copernico, dopo una prima limitata circolazione delle sue idee nel manoscritto **Commentariolus** (1510), a evitarne la diffusione per decenni, fino all'intervento di Reticus, che produsse una **Narratio prima** (1540), immediatamente precedente all'edizione del **De revolutionibus**, nell'anno della morte del suo autore, con la supervisione di Osiander.

Impronta  
matematica  
del sistema  
copernicano

Le postulazioni essenziali della proposta copernicana erano mirate a ottenere un risultato di marca decisamente matematica, anche se il sistema *eliostatico* rappresentava qualcosa di più che un mero strumento di calcolo, manifestando piuttosto un modello unificato di *sistema solare*, da contrapporre alla collezione tolemaica di modelli distinti per ogni pianeta. Tuttavia, proprio dal punto di vista matematico, la teoria planetaria copernicana era scarsamente superiore a quella tolemaica, comportando una diminuzione degli accessori di calcolo (*epicicli*, *equanti*), e una maggiore uniformità intrinseca.

Se, quindi, in senso *teorico* e *qualitativo*, riuscendo, con il solo ricorso al moto terrestre, a offrire una spiegazione unitaria di molti dei differenti caratteri del movimento dei pianeti, Copernico assicurava una maggiore semplicità, d'altra parte, dal punto di vista *quantitativo*, puramente calcolistico, l'innovazione non comportava consistenti benefici, mentre, se consideriamo la dimensione *pratica* della soluzione del calcolo delle posizioni planetarie, secondo alcuni storici della scienza, essa fu addirittura fallimentare.

La superiorità *pitagorica* della proposta era tuttavia, per lo scienziato, legata all'ordinamento e organizzazione semplificati, garantiti da un vero e proprio *sistema planetario matematico*. Comportando una nuova relazione sistematica, di carattere matematico, tra i corpi celesti, non riducendosi a mero strumento di calcolo da impiegare nell'illustrazione dei singoli movimenti planetari, la teoria copernicana era destinata all'impatto con la cosmologia fisica di Aristotele.

Limiti  
dell'approccio  
fisico  
copernicano

Proprio nel confronto con quella lezione emergono i limiti dell'approccio *fisico* copernicano. Al di là del nuovo ordine matematico, l'universo dello scienziato polacco è ancora strutturato sulla base di orbi cristallini, in cui sono "incastonati" i pianeti, così trascinati dal loro *naturale*, eterno movimento: pur rinunciando ai *motori* aristotelici, la giustificazione del moto planetario rimane dunque ancorata a uno schema sostanzialmente aristotelico, nella misura in cui la *forma* degli sferi cristallini (forma già di per sé *naturale* per ogni aggregazione di materia) sottintende il movimento circolare uniforme (argomento equivalente a quello adottato per spiegare la rotazione giornaliera della Terra sul proprio asse), con evidente trasposizione delle funzioni cinematiche associate agli aristotelici *luoghi naturali* nella copernicana *forma geometrica*.

Verso il superamento delle gerarchie cosmologiche

Certamente, la diversa dislocazione della Terra e del Sole implicava, tendenzialmente, una *rivoluzionaria* riduzione della forbice tra mondo terrestre e mondo celeste, con conseguente omogeneizzazione dell'universo fisico. Tuttavia, anche in questo caso, i chiarimenti copernicani risultano intrisi di considerazioni di valore, essenzialmente schierate con la tradizione o, al limite, con le contemporanee suggestioni naturalistiche.

Il Sole, spostato, immobile, verso il centro del sistema, vedeva così riconosciuta la sua *dignità* divina (secondo un'indicazione ermetica), di fonte di vita, di *anima* dell'universo. Nell'altro polo immobile del sistema, la periferia rappresentata dal cielo delle stelle fisse, che racchiudeva in sé l'insieme del creato, si poteva, analogamente, riscontrare la maggiore nobiltà del riposo rispetto al movimento. Anche se poi, dal punto di vista cinematico, il secondo non svolgeva più alcuna azione di *trascinamento* (come in Aristotele), in un universo dove il moto era assicurato dalla *forma geometrica*, e il primo rimaneva associato al divenire terrestre solo attraverso la propagazione del suo calore.

Problemi di dinamica

Le maggiori difficoltà incontrate dalla proposta copernicana riguardavano, dunque, soprattutto aspetti fisici: come spiegare il comportamento dei corpi sulla superficie terrestre, una volta allontanata la Terra dal centro del sistema? Come combinare moti rettilinei (propri del mondo sublunare aristotelico) e moto di rotazione e rivoluzione? Copernico, senz'altro più abile e interessato ai problemi del calcolo e della sistemazione matematica, fu costretto a abbozzare, accanto alla cinematica, una dinamica, in cui fece confluire elementi disparati, d'origine aristotelica e naturalistica, tenuti insieme da una buona dose d'immaginazione.

Nell'universo aristotelico il geocentrismo era alla base dell'ordine statico e di quello dinamico, agganciati ai cosiddetti *luoghi naturali*, per cui, *naturalmente*, la *terra* si disponeva verso il cuore del sistema, l'*acqua* al di sopra della *terra*, l'*aria* al di sopra dell'*acqua*, il *fuoco* al di sopra dell'*aria*, e ogni inversione di quella disposizione statica (ad esempio, per effetto dell'obliquità del moto solare) era compensata, *naturalmente*, dal successivo riequilibrio dinamico (esistendo, di conseguenza, un *alto* e un *basso* nel moto degli elementi terrestri). Copernico, dal canto suo, era costretto dal decentramento a reinventare tali processi, con una lettura non priva di spunti coraggiosi, per gli annessi risvolti.

La *gravitazione* diventava allora fenomeno tipico non solo della Terra, ma di tutti gli altri pianeti, da chiarire con il ricorso all'attrazione del simile con il simile (chiara eco del coevo naturalismo di marca presocratica), implicitamente (e inconsapevolmente) superando la dicotomia cosmologica aristotelica tra i due mondi. Le obiezioni al moto terrestre venivano accantonate rinviando alla *naturalità* del moto circolare per la sfera, che escludeva qualsiasi scossa violenta nella *rotazione* e nella *rivoluzione*, dall'altro sottolineando come tutti i corpi, sulla superficie o a ridosso della superficie (l'atmosfera), condividessero il moto terrestre, anche in virtù dell'attrazione precedentemente registrata. Facendo forza alla fisica aristotelica, Copernico impose la convivenza dei moti all'interno del sistema: i corpi che sulla Terra cadevano o erano lanciati verso l'alto avevano un doppio moto, circolare quando si trovavano nel loro *luogo naturale*, rettilineo quando da quello si allontanavano o vi ritornavano.

D'altra parte, l'universo poteva, in un certo senso, essere inteso come *policentrico*, dal momento che, accanto alla (quasi) centralità del Sole rispetto alle rivoluzioni planetarie, si doveva registrare la centralità della Terra rispetto al satellite lunare (il che assicurava sempre sufficiente *dignità* al nuovo pianeta), ma anche *immenso*, con una delle intuizioni più interessanti e coraggiose. Per aggirare l'ostacolo rappresentato dall'assenza dei fenomeni di *parallasse* (di moto apparente) delle stelle fisse, implicato dalla *rivoluzione* terrestre (fu registrato solo tre secoli dopo, con strumenti adeguati), Copernico, infatti, intervenne a correggere le dimensioni dell'universo. Esso doveva essere molto grande, così grande che la distanza tra la Terra e il Sole dovesse risultare trascurabile, se paragonata alla distanza tra il Sole e la sfera delle stelle fisse (il limite contenente).

Incomprensioni copernicane

È convinzione diffusa tra gli storici della scienza che, in realtà, Copernico non si rese conto della portata rivoluzionaria della propria innovazione: cercò di conservare nel proprio sistema alcuni concetti e elementi della tradizione aristotelica, come la valutazione *assiologica* degli stati e dei luoghi, la finitezza dell'universo, l'esistenza degli orbi cristallini, non avvertendo, sulla scorta di tali pregiudizi, la contraddizione con i nuovi principi da lui introdotti.

Copernico e Osiander

In questo senso non deve stupire la prefazione del teologo luterano Andreas Osiander, che curò l'edizione del **De revolutionibus**, nella quale questi sosteneva la tradizione del *salvare le apparenze*. Egli affermò che Copernico aveva seguito la consuetudine degli astronomi che inventavano liberamente modelli matematici al fine di predire le posizioni dei pianeti. Quel che

contava non era se i pianeti ruotassero effettivamente intorno al Sole, piuttosto se, con la propria ipotesi, Copernico fosse riuscito a *salvare le apparenze*. Invitato, dallo stesso Osiander, a esprimersi introduttivamente in tal senso, Copernico non ebbe tempo o modo per rispondere: la morte sopraggiunse proprio all'epoca della pubblicazione dell'opera.

L'impostazione calcolistica e il costante confronto con Tolomeo potrebbero, in effetti, giustificare la lettura di Osiander, ma il realismo platonico-pitagorico della cultura rinascimentale in cui lo scienziato si era formato, l'acribia con cui egli si impegnò a ribattere alle possibili obiezioni, parlano a favore dell'interpretazione *fisica* della teoria. Come non sfuggì a molti suoi lettori dell'epoca, primi fra tutti Bruno (che ne difese la consistenza nella **Cena delle ceneri**), Keplero e Galilei.

### La rivoluzione astronomica: Keplero

Originalità  
di Keplero

Il tedesco (anche se per lo più vissuto nell'area austro-boema) Johannes Kepler (1571-1630) approfondì in tutta la sua attività scientifica il contributo dello scienziato polacco, tanto nei suoi aspetti matematici, quanto in quelli fisici. Pur avendo dedicato la vita alla risoluzione delle difficoltà matematiche dell'eliocentrismo (sfruttando anche i grandi sviluppi della matematica del suo tempo, in trigonometria e con l'introduzione dei logaritmi), la sua grande immaginazione scientifica lo portò ad essere creativo ben al di là delle operazioni matematiche.

Egli scoprì le nuove leggi descrittive dei moti planetari, ma raggiunse risultati ancora superiori, in quanto, per primo, propose una teoria fisica dell'universo (superando le forme di *animismo* verso un nuovo *meccanicismo*), adeguata alle necessità della nuova descrizione. Tutto questo pur rimanendo, come Copernico, sostanzialmente un astronomo-matematico di stampo medievale, in altri termini, legato ai problemi della tradizione platonica e aristotelica, capace più di elaborare dati, che di lavorare pazientemente e inventivamente (da un punto di vista tecnico) per la loro raccolta puntuale. La sua fortuna, in questo senso, fu la complementarità della sua ricerca matematica e della sua speculazione fisica con l'immenso lavoro osservativo di un grande indagatore dei cieli.

Keplero e  
Brahe

Keplero fu, infatti per breve periodo assistente di Tycho Brahe (1546-1601), ereditandone poi il materiale sparso - accumulato dall'astronomo danese nei lunghi anni di esercizio nell'isola di Hven, presso il castello di Uraniborg, messi a disposizione dal suo sovrano Cristiano IV - che il tedesco si impegnò a organizzare per un'edizione definitiva (nelle cosiddette *tavole rudolfine*).

Il contributo  
di Brahe

Brahe fu, in un certo senso, il primo scienziato moderno disinteressatamente impegnato nell'osservazione e nella descrizione: egli fu tra i primi a insistere sull'importanza fondamentale della misurazione quantitativa accurata, che perseguì con un puntiglio e un talento senza pari, introducendo personalmente nel proprio lavoro non solo strumenti, da lui stesso progettati, per migliorare la puntualità del rilievo, ma, addirittura, metodi per valutare e correggere errori di osservazione, al fine di determinare i limiti di precisione. In tal modo ottenne una significativa riduzione dei margini d'approssimazione (tra calcoli e dati osservativi), da dieci minuti d'arco a quattro minuti, e, in certi casi, fino a trenta secondi.

Su questo materiale, che lo scienziato danese, modesto matematico, organizzò in un'ipotesi tutto sommato di compromesso, tra le aperture copernicane e il modello tolemaico (centralità della Terra, rivoluzione degli altri pianeti intorno al Sole, e del Sole intorno alla Terra), l'elaborazione teorica kepleriana poteva procedere con risultanze di gran lunga più accurate di quelle dell'intera tradizione astronomica precedente. Senza tener conto di un ulteriore, decisivo, contributo diretto di Brahe alla svolta rivoluzionaria del XVI secolo: la verifica della *nova* del 1572, e il calcolo della traiettoria della cometa apparsa nel 1577 costrinsero il pur riluttante osservatore a concludere che, da un lato, era insostenibile la tesi aristotelica dell'immutabilità e incorruttibilità dei cieli, dall'altro, altrettanto inaccettabile la teoria degli orbi cristallini (che la cometa avrebbe dovuto frantumare nel suo percorso).

Il  
misticismo  
platonico  
del  
*Mysterium*

Le carenze matematiche, le convinzioni astrologiche, le concessioni alla magia naturale, le preoccupazioni apologetiche, non hanno garantito a Brahe una posizione di rilievo nel firmamento scientifico moderno, come è invece accaduto al suo giovane assistente. Il quale, d'altra parte, aveva preso le mosse dallo stesso retroterra culturale, platonico e naturalistico, intriso di misticismo: nella sua prima consistente prova "scientifica", il **Mysterium cosmographicum** (1596), egli aveva addirittura preteso di svelare l'architettura razionale alla base della creazione, sfruttando l'archetipo pitagorico del **Timeo** platonico.

Pieno d'orgoglio, Keplero ne scandagliava il piano, dimostrando che le distanze dei pianeti potevano essere correlate ai raggi di gusci sferici, inscritti e circoscritti a un *nido* ricavato dai cinque

solidi regolari. Keplero riuscì a trovare un accordo approssimativo tra i rapporti osservati nei raggi dei pianeti, e i rapporti calcolati dalla geometria nel nido di solidi regolari, riscontrandone, così, non solo l'impianto copernicano, ma anche la solida armonia matematica, che, a loro volta, rinviavano a un più profondo ordine trinitario. Il Sole centrale incarnava il Padre, il cielo delle stelle fisse (che raccoglieva ad unità il sistema) il Figlio, lo spazio intermedio lo Spirito Santo. Una lettura del cosmo, come trasparenza mistica della Trinità, che avrebbe accompagnato l'intero arco di studi kepleriani, fino all'ultima grande sintesi (**Harmonice Mundi** 1619). Sulla scorta del sistema matematico globale realizzato da Copernico, la ricerca di Keplero si impegnava dunque, in direzione metafisica, a cogliere, oltre le apparenze visibili, la tessitura armonica (geometrica) soggiacente ai moti planetari.

Questo grande disegno metafisico (cui l'astronomo tedesco non rinuncerà mai del tutto), segno di pregiudizi ma anche di grande potenza immaginativa, venne però drasticamente rivisto quando, all'indomani dell'incontro con Brahe, con i nuovi dati osservativi a disposizione, si aprì un nuovo scenario:

<<Avrei concluso le ricerche sulle armonie del mondo se l'astronomia di Tycho non mi avesse affascinato al punto da farmi quasi uscir di mente; e continuo a chiedermi che cosa si potrebbe ancora fare in questa direzione. Uno dei motivi più importanti della mia visita era [...] la speranza di apprendere da lui valori più corretti per le eccentricità allo scopo di mettere a confronto con essi il mio *Mysterium* e l'*Harmonice* appena citata. Infatti queste speculazioni a priori non devono contraddire la testimonianza dell'esperienza; di più, devono concordare con essa>> [da una lettera all'amico Herwart von Hohenburg, anno 1600].

Premesse  
metodologiche

Il brano manifesta un'importante premessa metodologica, maturata, evidentemente, all'epoca dei contatti con lo scienziato danese: pur ribadendo la qualità teorica della ricerca astronomica, e, nel caso specifico, il valore euristico (orientativo per la scoperta) del concetto di *armonia cosmica*, culturalmente e teoreticamente pregiudiziale a ogni indagine, Keplero pone l'accento sulla necessità del confronto tra i risultati speculativi e i dati osservativi corroboranti. Nell'elaborare questo *criterio della conferma empirica*, egli tenne conto della portata della conferma, affermando, per esempio, che l'ipotesi copernicana era *più vera* di quella tolemaica perché, tra le due, essa sola poteva collocare i pianeti intorno al Sole in un ordine conforme ai loro periodi di rivoluzione.

Il metodo  
scientifico

Più tardi, nell'**Epitome astronomiae copernicanae** (1618), dopo anni di lavoro sul materiale raccolto dal suo maestro, dopo una serie di precisazioni e smentite delle proprie convinzioni pitagoriche, Keplero avrebbe fissato la sua concezione della filosofia e dei metodi dell'astronomia. Per lui l'astronomia cominciava con le osservazioni, che poi, con l'aiuto degli strumenti di misurazione, erano tradotte in lunghezze e numeri, che dovevano essere sottoposti a un trattamento geometrico, algebrico e aritmetico. Quindi si elaboravano le ipotesi, grazie alle quali le relazioni osservate erano organizzate in sistemi geometrici, che *salvavano le apparenze*. Una strategia in cui convergevano la lezione astronomica *moderna* di Brahe, sul valore decisivo dell'osservazione diretta e sulla necessità di una sua adeguata traduzione quantitativa, quella *calcolistica*, medievale, ma profondamente rinnovata dagli sviluppi della matematica contemporanea, quella *speculativa*, di marca platonica, che con la propria *fede* nel *cosmo* guidava l'elaborazione teorica.

I risultati  
scientifici

I risultati che lo scienziato tedesco conseguì con questo approccio metodologico trasformarono l'immagine del mondo. Sfruttando le indicazioni ricavate da Brahe dallo studio della cometa del 1577, Keplero, per rispettare la puntualità che il danese aveva imposto a livello osservativo, pur convinto della superiorità, *matematica e fisica*, del sistema copernicano, intervenne a precisarne drasticamente l'architettura, e, con essa, alcuni fondamentali pregiudizi pitagorico-platonici. Studiando matematicamente (nell'**Astronomia nova** 1609) quella che ormai, caduti gli *orbi cristallini*, si poteva definire l'*orbita* (la pura traiettoria descritta dal pianeta nel suo moto di rivoluzione intorno al Sole) di Marte, egli dovette constatare l'insostenibilità di uno degli assunti di fondo della proposta di Copernico: l'uniforme costanza e regolarità di tutti i moti planetari.

Le leggi

Formulando per prima la sua cosiddetta *seconda legge*, Keplero sostenne che *il raggio vettore dal Sole a un pianeta copre aree uguali in tempi uguali*. Ciò comportava, anche ammettendo solo l'*eccentricità* copernicana delle orbite planetarie rispetto al Sole, una variazione nella velocità di rivoluzione, con accelerazione del moto planetario in prossimità del *perielio* (punto di massima vicinanza al Sole), e suo rallentamento in prossimità dell'*afelio* (punto di massima lontananza).

Proprio applicandosi alla determinazione dell'*orbita* di Marte, lo scienziato fu costretto, dal riscontro empirico dello scarto tra i suoi calcoli, basati sull'archetipo del circolo (poi anche su quello, ritenuto meno *anormale*, dell'ovale), e la reale traiettoria del pianeta, a far cadere un secondo caposaldo dell'intera astronomia classica, introducendo l'*orbita ellittica*, in altri termini una forma geometricamente *strana* e insolita. L'unica, tuttavia, al di là dei preconcetti, ad essere corroborata

dalle osservazioni. Così la *prima legge* del moto planetario descriveva *l'orbita di un pianeta come ellisse, di cui il Sole rappresenta uno dei fuochi*.

Le prime due leggi, che furono subito dichiarate valide in generale per tutti i pianeti, si riferivano al moto dei singoli pianeti. Dieci anni dopo, nell'**Harmonice mundi** (1619), Keplero incluse una *terza legge*, la quale stabiliva che, *per tutti i pianeti, esiste un rapporto costante tra il quadrato del loro periodo di rivoluzione e il cubo della distanza media dal Sole*. Per l'astronomia la sua scoperta fu un fatto di notevoli conseguenze storiche, mentre confermava, definitivamente, l'ipotesi kepleriana che la struttura del sistema planetario doveva poter essere descritta in termini matematici. D'altra parte, come risulterà ovvio, in un contesto certamente originale, connotato con tratti pitagoricamente poco ortodossi, essa suggellava quell'idea di *cosmo* a cui Keplero si era originariamente aperto con il **Mysterium cosmographicum**.

Il modello  
dinamico

Come abbiamo sottolineato nella presentazione, Keplero non si limitò al calcolo, ma, convinto della verità *fisica* del copernicanesimo, si sforzò di superare gli ostacoli d'ordine dinamico che potevano minarne la credibilità scientifica. Così fu particolarmente assorbito dalla giustificazione del comportamento cinematico dei pianeti, in relazione alle sue due prime leggi. Il problema era complesso, anche per il venir meno degli *orbi cristallini*, che, per la loro sfericità, erano stati da Copernico *naturalmente* dotati di moto circolare uniforme: loro era il compito di trascinare nel proprio movimento di rivoluzione i pianeti, a loro volta, *naturalmente* (almeno nel caso della Terra) coinvolti nella rotazione intorno al proprio asse. Keplero doveva dunque riuscire a spiegare il combinarsi di diverse situazioni cinematiche: la rotazione, la rivoluzione ellittica, il variare della velocità orbitale.

La soluzione adottata, maturata nel corso di un decennio, sintetizzava istanze diverse:

- l'*animismo* del **Timeo** platonico (il tema dell'*anima motrix* attribuita ad ogni corpo celeste, in grado di chiarirne sia la capacità motrice nella traslazione, sia la capacità attrattiva nella gravitazione),
- il *magnetismo* studiato dal contemporaneo Gilbert (per cui Keplero generalizzava all'intero sistema quanto da Gilbert sostenuto a proposito del magnetismo terrestre: l'animazione era quindi, in primo luogo, *magnetica*),
- il *meccanicismo* (con la tendenza a sostituire all'*anima motrix* una *vis motrix*, nella seconda edizione del **Mysterium**, 1621).

L'intuizione  
della  
gravitazione

L'esito di questa confluenza fu il grande affresco dei moti planetari, prodotti dall'interazione tra il campo magnetico generato dal Sole nel movimento intorno al proprio asse, che coinvolgeva nella *rivoluzione* gli altri corpi celesti, e le loro virtù magnetiche, che, per attrazione e repulsione (a seconda dell'orientamento dei poli nel corso della *rivoluzione*), produceva avvicinamento e allontanamento, accelerazione e decelerazione. D'altra parte, dobbiamo a Keplero l'intuizione del principio di *gravitazione*, introdotto nella relazione tra la Terra e la Luna: un satellite era mantenuto nella sua orbita da due forze, di cui una era la *mutua attrazione* radiale con il corpo centrale, l'altra la potenza dell'*anima* (poi *vis*) *motrix*. Sviluppata a partire dalle assunzioni copernicane circa l'attrazione del simile, questa tesi rendeva *reciproca* tale *attrazione*, attribuendola solo ai corpi affini (come i singoli pianeti e i loro satelliti). Si trattava di un primo passo verso il principio che Newton avrebbe generalizzato e quantificato.

## Il progetto scientifico-culturale di Galilei

Contemporaneo di Keplero, Galileo Galilei (1564-1642) svolse un ruolo rilevante nel dare sistemazione metodologica e nel difendere il modello copernicano, e pur fraintendendo il contributo originale e scientificamente innovativo del tedesco, approfondì, con le proprie ricerche, il disegno unitario di Keplero, saldando dinamica e cinematica celeste e terrestre.

Consapevo-  
lezza culturale  
di Galilei

Tuttavia, ciò che, rispetto ai precedenti copernicani e kepleriani, contraddistingue nettamente il progetto galileiano è la consapevolezza della portata culturale della rivoluzione copernicana, in altri termini, l'esigenza di farla valere come il nuovo paradigma di senso non solo nella cerchia ristretta degli addetti ai lavori, ma anche tra il pubblico (per lo più "colto") dei lettori: uomini di corte, nobili illuminati, uomini delle professioni, sensibili al fascino della cultura scientifica, e le stesse gerarchie ecclesiastiche. In un'epoca, quella della Controriforma, di quasi totale controllo dell'attività culturale, nell'area dell'Europa cattolica, da parte della Chiesa e degli ordini religiosi, tale coinvolgimento avrebbe potuto assicurare un'ulteriore ampia divulgazione.

La scelta del  
volgare

La scelta di concentrare i propri sforzi per lo più in una produzione in volgare, lontana dalla forma del trattato latino tipica degli ambienti accademici, è indice di tale programma di *politica*

*culturale*: alla cultura tradizionale, con i suoi pregiudizi, si contrappone una lingua moderna, già temprata nelle scienze applicate, dove rifletteva i procedimenti pratici degli *artigiani superiori*, impegnati nella soluzione dei problemi concreti del quotidiano, destinata a incidere quindi, pur nel respiro teorico, all'interno delle attività di altri operatori. Nonostante la propria esperienza universitaria (pisana e padovana), Galilei si dimostrò disponibile verso la lingua italiana, recuperando e emancipando, tecnicamente e stilisticamente, il modello di quelle dissertazioni in volgare, nella convinzione che la grande impresa di rinnovamento della scienza potesse avvalersi della lingua viva per fissare un legame diretto con il mondo della tecnica e dei mestieri.

L'intenzione pedagogica

D'altra parte, sin dalle opere del periodo padovano (1592-1610) si può notare una paziente intenzione didattica, una disposizione *pedagogica* al rinnovamento mentale e terminologico, che si sarebbe ulteriormente rafforzata, dopo il successivo trasferimento presso la corte medicea, nell'ambito di un discorso per tutti comprensibile, tendenzialmente estraneo alla frattura tra linguaggio comune e linguaggio tecnico. Un atteggiamento ovviamente dettato dal convincimento che le evidenze scientifiche, unitamente alla razionalità dei loro procedimenti, fossero effettivamente sufficienti a assicurarne il successo, in termini di mentalità e, al limite, di *sensu comune*, se solo si fosse pazientemente atteso alla loro illustrazione in termini non esasperatamente tecnici.

Il modello del dialogo

È da leggere in questo sfondo sia l'impronta spesso occasionale e dialettica dei testi galileiani, sia il ricorso, almeno nelle due opere maggiori (il **Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano**, 1632, e i **Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze**, 1638), al modello diretto del dialogo. Questo, ampiamente documentato nella cultura medievale e rinascimentale, e, nello specifico copernicano, già impiegato nella **Cena delle ceneri** di Giordano Bruno, rappresentò per lo scienziato pisano uno strumento funzionale al proprio disegno culturale, garantendo allo stesso tempo duttilità di registro espressivo (che poteva così passare dal rigore della dimostrazione all'ironia, dal linguaggio specifico della scienza alla colloquialità del confronto quotidiano), occasione di puntualizzazione concettuale, e contesto ideale per esemplificare la tensione tra vecchio e nuovo sapere.

Così, in modo *socratico*, Galilei riusciva nell'intento di rivolgersi sia agli specialisti (accademici e tecnici superiori), con risvolti e sfumature differenti, sia, più in generale, a tutti gli uomini: il dovere dello scienziato nuovo nei confronti dell'umanità era quello di combattere l'ignoranza, nell'interesse del progresso del sapere. Egli sentì questo senso della "missione" dello scienziato e, pur consapevole che la verità scientifica, come quella filosofica, non è necessariamente e immediatamente compresa e gradita dalla moltitudine, non abbandonò mai la sua fiducia nell'opera di convinzione e di attrazione della pura ragione.

### Galilei: scienza e rivelazione

L'atteggiamento nei confronti dei vertici ecclesiastici

Questo ampio impegno culturale, che sempre si coniugò con la ricerca scientifica, era anche mirato a smuovere i vertici ecclesiastici e gli esponenti della cultura cattolica dal preconconcetto anticopernicanesimo. La disponibilità al confronto, allo scambio epistolare, chiarificatore di eventuali incomprensioni, la stessa insistenza con cui Galilei si interessò ai problemi dell'interpretazione del testo sacro immediatamente connessi alla prospettiva copernicana, costituivano i segnali d'apertura dello scienziato, pienamente persuaso della *verità* del nuovo modello, verso una controparte che, almeno in certe sue frange (i gesuiti in particolare), si mostrava curiosa o interessata all'approfondimento, tenendo comunque fermo l'approccio *calcolistico*, *ipotetico* avanzato da Osiander.

La strategia galileiana prevedeva probabilmente, con la divulgazione dei risultati scientifici conseguibili nella nuova prospettiva copernicana, secondo le modalità comunicative precedentemente ricordate, di ottenere quel riconoscimento consistente tra i suoi potenziali lettori, in grado di assicurargli una più incline attenzione da parte delle autorità religiose. In questo egli si illuse profondamente (come dimostrano l'*ammonimento* a opera del cardinale Bellarmino nel 1616, e la condanna del Sant'Uffizio nel 1633), ottenendo, semmai, l'effetto opposto, di suscitare, in altre parole, sospetto per un'iniziativa che, proprio per la sua intenzione e ostinazione divulgativa, finiva per apparire eversiva delle *autorità* della tradizione.

La lotta contro il principio d'autorità

Nell'ambito di questa strategia, Galilei fu ripetutamente impegnato nella lotta contro il *principio d'autorità*, in nome della ragione e dell'esperienza, combattendo una duplice battaglia, contro l'aristotelismo e contro i teologi che pregiudizialmente bocciavano, in nome del *libro* o del peso di una *tradizione*, le verità del copernicanesimo.

Sicuramente più lineare la condanna galileiana del dogmatismo cieco della scuola che si richiamava al filosofo greco, accusata di trascurare i nuovi dati osservativi che avrebbero messo in discussione le tesi del maestro, in una chiusura anti-scientifica nella presunta ovvietà della lezione fisica aristotelica. Smentendo le intenzioni scientifiche dello Stagirita, suffragate dai dati alla sua epoca disponibili, l'aristotelismo contemporaneo ne aveva stravolto l'empirismo di fondo, per farlo scadere a verbosa, ottusa ripetizione del dettato del filosofo. Galilei sfruttava così a proprio vantaggio la supposta asimmetria tra l'impegno originario e l'onestà intellettuale di Aristotele da un lato, e la mediocre scolastica dei suoi seguaci coevi dall'altro, ipotizzando, al limite, l'adesione copernicana del pensatore greco, se solo egli avesse potuto disporre di dati aggiornati.

Lettera biblica  
e prospettiva  
copernicana

Molto più complesso e articolato l'atteggiamento galileiano riguardo all'apparente conflitto tra lettera biblica e prospettiva copernicana, riassunto nei celebri passaggi della lettera al benedettino Benedetto Castelli del 21-12-1613:

<<Quanto alla prima domanda generica di Madama Serenissima, parmi che prudentissimamente fuste proposto da quella e concesso e stabilito dalla Paternità Vostra, non poter mai la Scrittura Sacra mentire o errare, ma essere i suoi decreti d'assoluta ed inviolabile verità. Solo avrei aggiunto, che, se bene la Scrittura non può errare, potrebbe nondimeno talvolta errare alcuno de' suoi interpreti ed espositori, in varii modi: tra i quali uno sarebbe gravissimo e frequentissimo, quando volessero fermarsi sempre nel puro significato delle parole, perché così vi apparirebbono non solo diverse contradizioni, ma gravi eresie e bestemmie ancora [...]. Onde, sì come nella Scrittura si trovano molte proposizioni le quali, quanto al nudo senso delle parole, hanno aspetto diverso dal vero, ma son poste in cotal guisa per accomodarsi all'incapacità del vulgo, così per quei pochi che meritano d'esser separati dalla plebe è necessario che i saggi espositori produchino i veri sensi, e n'additino le ragioni particolari per che siano sotto cotali parole stati profferiti.

Stante, dunque, che la Scrittura in molti luoghi è non solamente capace, ma necessariamente bisognosa d'esposizioni diverse dall'apparente significato delle parole, mi par che nelle dispute naturali ella dovrebbe esser riserbata nell'ultimo luogo: perché procedendo di pari dal Verbo divino la Scrittura Sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima esecutrice de gli ordini di Dio; ed essendo, di più, convenuto nelle Scritture, per accomodarsi all'intendimento dell'universale, dir molte cose diverse, in aspetto e quanto al significato delle parole, dal vero assoluto; ma, all'incontro, essendo la natura inesorabile e immutabile e nulla curante che le sue recondite ragioni e modi d'operare sieno o non sieno esposti alla capacità de gli uomini, per lo che ella non trasgredisce mai i termini delle leggi imposteli; pare che quello de gli effetti naturali che o la sensata esperienza ci pone innanzi a gli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio per luoghi della Scrittura ch'avesser nelle parole diverso sembante, poi che non ogni detto della Scrittura è legato a obblighi così severi com'ogni effetto di natura [...].

Stante questo, ed essendo di più manifesto che due verità non posson mai contrariarsi, è officio de' saggi espositori affaticarsi per trovare i veri sensi de' luoghi sacri, concordanti con quelle conclusioni naturali delle quali prima il senso manifesto o le dimostrazioni necessarie ci avesser resi certi e sicuri>>.

La tesi che lo scienziato pisano sviluppa in questa pagina è in qualche modo una variante della tradizionale impostazione tomistica: non può esservi conflitto tra la verità della Scrittura e quella della scienza, discendendo entrambe dallo stesso *Verbo* divino. Nessuna *doppia verità*, dunque, secondo i moduli tipici dell'averrosimo diffuso nell'ambiente padovano frequentato da Galilei. Tuttavia la convergenza con la scolastica cristiana è solo parziale, subentrando per altro un essenziale ritocco.

Rifiuto della  
doppia verità

Natura e  
Scrittura

L'autore distingue, infatti, implicitamente due rivelazioni, quella attraverso la *natura* e quella attraverso le Scritture, segnalando le finalità e peculiarità con cui, in ogni ambito, Dio esprime la propria sapienza. Essendo compito precipuo della Bibbia delineare il percorso di salvezza, il *Verbo* si sarà espresso così da raggiungere, nell'articolarsi della sua economia, tutti gli uomini, di diversa condizione culturale e storica. Rivolto originariamente a un popolo rozzo, la sua rivelazione scritturale sarà risultata *accomodata* a quel livello, ma passibile di *interpretazioni* più sottili, svincolate dalle immagini più grossolane. Galilei rileva dunque l'urgenza ermeneutica di superare il mero dettato letterale, inevitabilmente foriero di fraintendimenti dell'essenza del messaggio biblico, almeno per quei *pochi* che, per capacità, si distinguono dalla *plebe* ignorante.

Normatività  
della natura

La *natura*, d'altra parte, manifesta la sapienza divina nella propria intrinseca, universale, ineludibile normatività, rivelandosi in questo estranea a compromessi con l'eventuale, distorta, ottica umana: non essendo la *salvezza* il suo fine, ma la piena estrinsecazione degli *ordini* di Dio, non si può applicare a essa altra interpretazione che quella scientifica, implicita nelle leggi stesse che la determinano (come meglio vedremo in seguito). Se quindi si dovesse aprire sullo sfondo della *natura*, come nel caso delle tesi copernicane, una tensione tra la lettera della Scrittura e le indicazioni della scienza, fondate sull'evidenza dell'osservazione (*sensata esperienza*) o sulla *certezza* dell'elaborazione matematica (*necessarie dimostrazioni*), Galilei non esita a individuare

proprio nel dettato biblico l'istanza veritativa più debole, bisognosa di una diversa interpretazione che riduca la contraddizione con la *verità* (corroborata dalla *necessità*) della scienza.

Autonomia  
della scienza

In tal modo, nella prospettiva della reciproca *autonomia* e funzionalità, in riferimento alla specificità degli ambiti di applicazione, lo scienziato difendeva la propria libertà rilanciando al teologo la responsabilità del lavoro di revisione delle letture tradizionali, in conflitto con il nuovo sapere copernicano. Stigmatizzando la polivocità del testo sacro da un lato, e l'asettica univocità della *natura*, Galilei forniva alla scienza, in materia *naturale*, un primato teorico e una legittimazione morale, a dispetto delle eventuali censure religiose, con pochi precedenti nel quadro della cultura occidentale.

### Galilei: il contributo scientifico

Ciò che rendeva Galilei così (pericolosamente) esplicito circa l'*autonomia* della scienza (*copernicana* in primo luogo) erano, si è già detto, i nuovi risultati osservativi che riteneva potessero ampiamente corroborare il modello eliostatico. In questo settore dell'attività scientifica egli si mostrò di gran lunga più innovatore e "rivoluzionario" rispetto ai primi protagonisti della riforma astronomica, sebbene le sue elaborazioni matematiche si rivelassero poi inferiori a quelle kepleriane, non consentendogli, ad esempio, di superare il pregiudizio pitagorico della circolarità delle orbite planetarie.

Galilei e la  
nascita della  
astronomia  
moderna

Probabilmente si può affermare che con Galilei nasce l'astronomia moderna, capace di coniugare nuove osservazioni *strumentali* e ipotesi teoriche, superando l'unilateralità matematica tipica dell'astronomo medievale. Da questo punto di vista Galilei si può collocare accanto a Brahe, per la comune vocazione a introdurre strumenti di controllo capaci di correggere o potenziare la mera contemplazione ad occhio nudo. Entrambi si possono collegare direttamente alla tradizione degli *artigiani superiori*, costruttori e ingegneri, per l'impegno ideativo e realizzativo con cui promossero la ricerca. Tuttavia Galilei, almeno durante gli anni padovani, sistematicamente sviluppò quella propensione ingegneristica (anche per arrotondare le entrate), avendo il merito, in particolare, di valorizzare la funzione della strumentazione all'interno dell'indagine scientifica, e di inserire il *cannochiale* (che egli stesso realizzò sulla scorta di notizie provenienti dai Paesi Bassi) nella pratica dell'osservazione astronomica. Si saldavano così, nella prassi scientifica, la lezione teorico-speculativa, quella empirico-osservativa e quella *sperimentale*, che non disdegnava l'apporto tecnico che poteva offrire la tradizione dei *meccanici*.

Il contributo  
astronomico

Gli effetti dell'introduzione di uno strumento che incrementava le possibilità d'osservazione dell'astronomo furono subito rilevanti, dischiudendo allo scienziato l'evidenza di un mondo celeste in tutto e per tutto analogo a quello terrestre: a conferma di quanto implicito nella riforma con cui Copernico aveva proceduto alla dislocazione orbitale della Terra intorno al Sole, saltava la differenza *qualitativa* tra *mondo sublunare* e *mondo celeste* della tradizione.

La Luna presentava gibbosità su una superficie affine a quella terrestre, Giove una corte di piccoli satelliti (così dimostrando come un pianeta potesse allo stesso tempo percorrere la propria orbita di *rivoluzione* rimanendo centro del moto di satelliti), rappresentando un piccolo modello di sistema solare; Saturno un corpo apparentemente irregolare (per i famosi "anelli", che lo strumento di Galilei non era in grado di focalizzare). Venere, infine, rivelò delle *fasi* simili a quelle lunari, che potevano giustificarsi solo all'interno del modello eliostatico, per il diverso rapporto che questo imponeva, tra il Sole e il pianeta, rispetto al sistema aristotelico-tolemaico. Ma Galilei ebbe l'opportunità di compiere altre indicative osservazioni, che mostravano l'immensità dei cieli, la presenza di corpi astrali difficilmente identificabili ad occhio nudo, che evidenziavano, insomma, una popolazione stellare ben più vasta e dispersa di quanto previsto nell'universo classico.

Le indagini  
dinamiche

Accanto a questa attività astronomica si collocano le indagini di dinamica terrestre, lo studio del comportamento dei corpi sottoposti a forze (secondo la tradizione di studi di balistica tipica degli ingegneri come Tartaglia), o quello della loro caduta, problemi di sicura pertinenza *copernicana* in quanto collegati, direttamente o indirettamente, alla giustificazione del moto della Terra. Il contributo risolutivo di Galilei dipende dalla sua approssimazione al concetto di *inerzia*: un corpo in movimento continua a muoversi a velocità uniforme finché non intervenga qualcosa dall'esterno. I corpi che si muovevano sulla Terra partecipavano eternamente del moto terrestre, che non ne turbava, di conseguenza, il comportamento. Moto e quiete, infatti, erano strappati dalla tradizionale loro connessione alla natura essenziale dei corpi, riducendosi a stati equivalenti (in altri termini, senza differenze assiologiche) ininfluenti sui corpi stessi, che così potevano tranquillamente partecipare contemporaneamente a più di un movimento. Il fatto che poi lo scienziato fraintendesse

la rettilinearità del moto inerziale, attribuendogli la più classica circolarità, costituiva un ulteriore tassello del mosaico copernicano proposto da Galilei: interpretato come inerziale il movimento dei pianeti, si risolvevano non solo i problemi relativi alla convivenza di moti diversi, ma quelli relativi alla *causa* stessa del moto, eliminando il riferimento a *motori* di ogni tipo.

### Galilei: l'epistemologia

Galilei e Keplero

Alla luce di quanto abbiamo segnalato nel caso di Keplero, è evidente che Galilei si mostrò meno “coraggioso”, assegnando alle regolarità pitagorico-platoniche un ruolo che l'elaborazione dei dati osservativi da parte dell'astronomo tedesco, in contatto epistolare con l'italiano, aveva profondamente corretto. Il rifiuto delle orbite ellittiche, la forzatura del movimento inerziale in senso circolare, la conservazione del peso quale proprietà intrinseca ai corpi, mantengono la statura scientifica di Galilei lontana da quella di Newton ma anche da quella del tedesco, sebbene nell'economia della storia della scienza moderna egli abbia rivestito un'importante funzione d'ordine metodologico. Più di Copernico, Brahe e Keplero, più degli stessi tecnici (Tartaglia, Stevino), egli sviluppò una riflessione sul senso della *matematizzazione* dell'universo portata avanti dai pionieri della *rivoluzione astronomica*.

Le basi dell'epistemologia galileiana

Alla base della sua *epistemologia* troviamo un'intuizione piuttosto semplice, che mette a nudo il limite maggiore della filosofia della natura aristotelica, la sua *verbosità*, l'illusione che dando nomi si possano realmente estendere le conoscenze. Certamente per formare concetti si devono dare nomi, d'altra parte non si deve credere che concetti scientifici possano nascere solo dalla disponibilità di parole: senza una raccolta adeguata di informazioni e senza una loro adeguata sistemazione, i concetti si riveleranno oscuri e infruttuosi, e il sapere vacuo. Risolvere i fenomeni in cause puramente nominali significava dunque abdicare al compito vero di conoscerli. Parole come *gravità*, secondo Galilei, erano semplicemente nomi imposti a certe regolarità osservate, che non svelavano concretamente alcuna *essenza* su cui fondare una conoscenza universale e necessaria. Compito primo della scienza doveva allora diventare quello di definire quelle regolarità, che si era tentato di risolvere sul piano verbale, scoprendone le cause prossime, gli antecedenti che, a parità di tutte le altre condizioni, producevano sempre e soltanto quel dato effetto.

Galilei e il modello aristotelico

In questo senso, rispetto al modello esplicativo aristotelico, lo scienziato rinunciava alle cause formali e finali, che pretendevano di rivelare la struttura ontologica e teleologica degli enti, a tutto vantaggio di uno schema cinematico in cui si prendevano in considerazione corpuscoli in movimento. Accantonando una ricerca metafisica (*il tentar le essenze*), dagli esiti sostanzialmente verbali, non inquadrabili in un'elaborazione rigorosa, Galilei optava decisamente per l'esame di quegli *accidenti* passibili di misurazione e quindi *matematizzazione*.

L'idealizzazione matematica

In pratica, concentrandosi sui *fenomeni* registrabili, lo scienziato era chiamato a *diffalcare* (fare astrazione da) tutti gli aspetti *sogettivi* o comunque afferenti alla *sogettività* dell'osservatore, in modo da produrre una “radiografia” degli elementi portanti dell'*oggettività fenomenica*. Attraverso questa operazione analitica si doveva imporre una *idealizzazione* dell'esperienza, di fatto implicante una sua *essenzializzazione* matematica. Sulla scorta della tradizione pitagorico-platonica, ma anche di quella atomistica (con l'oggettività dei tagli geometrici dei corpuscoli materiali), Galilei restringeva il campo della fisica a asserzioni sugli aspetti quantitativi (poi definiti *qualità primarie*: figura, grandezza, posizione, quantità di moto), focalizzati attraverso la *riduzione* del dato empirico immediato.

Esperienza e dimostrazione

La matematica forniva un ausilio prezioso al processo di astrazione, con il proprio rigore e la propria esattezza, garantendo una guida decisiva per l'immaginazione dello scienziato, che doveva superare gli ostacoli, gli impedimenti dell'esperienza puramente qualitativa. Accanto all'evidenza delle *sensate esperienze* (di una puntuale raccolta di elementi osservativi), era da collocarsi la *necessità* delle *dimostrazioni*: in ambito matematico la conoscenza umana poteva eguagliare quella divina, più ampia *extensive* ma non superiore *intensive*. Solo attraverso tale *idealizzazione matematica*, sarebbe stato possibile dare soluzione universale ai problemi della fisica: Galilei intendeva così elevare lo scienziato a puro, asettico osservatore, capace di prescindere dal dato immediatamente qualitativo del senso, per leggerlo nella sua trasparenza quantitativa, ridimensionandone la centralità percettiva, per esaltarne l'intuizione matematica.

Si trattava, in concreto, di tradurre un problema fisico definito nella dimensione fisico-astratta dello spazio euclideo, risolvendolo secondo modalità geometriche. Un modo di procedere non del tutto nuovo, con precedenti tra gli studiosi di ottica e con un grande esempio classico in Archimede. Tuttavia si deve a Galilei l'applicazione della riduzione e dell'elaborazione matematica ai

movimenti dei corpi reali e, in genere, all'intero ambito della fisica, con il riconoscimento che quello matematico era il solo metodo valido, capace di certezza dimostrativa.

Il  
platonismo  
di Galilei

Tale approccio, in linea con i pregiudizi culturali che abbiamo riscontrato negli altri protagonisti della storia della scienza nella prima età moderna, portava Galilei a riconoscere che il *libro della natura* era scritto in lingua matematica, e che per decifrarne il senso era indispensabile padroneggiarne l'alfabeto geometrico. Il mondo fisico non rinviava a archetipi trascendenti, era intrinsecamente razionale, strutturato secondo leggi matematiche immanenti. Con questo *platonismo galileiano*, probabilmente mediato dalla lezione di Archimede, le astrazioni matematiche acquistarono la loro validità di enunciazioni riguardanti la natura: l'architettura del mondo reale non era meno geometrica di quella dello spazio euclideo; rendendo via via più complesso l'universo fisico astratto della scienza si finiva, per approssimazione, all'universo effettivo.

Così tutto il procedimento scientifico consisteva:

Il  
procediment  
o scientifico

- nell'iniziale *riduzione* delle proprietà osservate in un fenomeno agli elementi essenziali;
- nella successiva elaborazione (*composizione*) delle relazioni matematiche implicite in un *assunto ipotetico*, da cui ricavare le conseguenze che dovevano derivarne;
- nell'*analisi sperimentale* di modelli o esempi del fenomeno indagato, per verificare l'ipotesi confrontando le conseguenze dedotte con l'osservazione.

Certamente lo scienziato pisano non sempre applicò sistematicamente questa scaletta: la fiducia pregiudiziale nella razionalità del reale lo portava, anche in considerazione della complessità della riproduzione e misurazione sperimentale di molti fenomeni, a servirsi per lo più di esperimenti mentali, che, pur prospettati in condizioni ideali, trovavano la propria coerenza nel disegno logico dei passaggi e nella esatta descrizione delle situazioni.

La circolarità  
del modello  
epistemologico

Tuttavia è interessante l'articolazione circolare del modello epistemologico: dall'*esperienza* idealizzata, attraverso l'elaborazione teorica, all'*esperimento*. Tale circolarità offriva in effetti le maggiori garanzie riguardo all'applicabilità delle teorie al mondo reale: se la teoria conduceva a certi risultati, era sufficiente la loro verifica. D'altra parte, come si era partiti così si doveva concludere: l'essenzializzazione matematica del dato empirico comportava un controllo sperimentale in condizioni ottimali. Galileo non era un rozzo empirista, era perfettamente consapevole del fatto che la sperimentazione rappresentava un'arma a doppio taglio, passibile di fraintendimenti da parte di chi l'avesse usata rozzamente. L'esperimento, nella scienza galileiana, non sarà mai in grado di confermare l'intera struttura intellettuale della teoria, i cui elementi essenziali (ad esempio i concetti di *tempo* e *distanza*) trascendono ogni possibile verifica, costituendo piuttosto lo sfondo in cui non solo è elaborata la teoria, ma anche impostato l'esperimento.

### Francesco Bacone: tra magia e scienza

Bacone e la  
scienza  
moderna

L'intestazione di questo paragrafo, che volutamente riprende il titolo di uno dei maggiori contributi storiografici sulla figura del filosofo inglese, intende preliminarmente porre la questione della sua presenza all'interno di un capitolo dedicato a alcuni protagonisti della cosiddetta *rivoluzione scientifica*. In effetti, come hanno rilevato autorevoli storici della scienza (Dijksterhuis), Bacone non diede alcun apporto specifico e spesso non fu in grado di riconoscere i meriti dei veri contributori. Per altri, egli non solo non ha arricchito la scienza con esempi concreti del suo *metodo*, ma con la sua abilità letteraria ha conseguito una posizione, nell'ambito della *rivoluzione scientifica*, non corrispondente ai suoi meriti reali.

Pur risultando tali rilievi largamente condivisibili, non c'è dubbio, tuttavia, che il pensatore inglese abbia saputo ritagliarsi nella tradizione scientifica moderna uno spazio particolare, a motivo:

- dell'attenzione per il problema del *metodo*,
- del rilievo dato al nesso scienza-tecnica,
- della messa a fuoco del tema del *progresso*.

Si tratta, per lo più, quindi, di un apporto culturale, di una riflessione sul significato delle contemporanee trasformazioni, di cui si esaltava in primo luogo la portata critica verso forme di sapere detestate, cogliendone la ricaduta nella storia dell'umanità.

La riforma  
del sapere

Il motivo dominante nella vita intellettuale di Francesco Bacone (1561-1626) è la riforma completa del sapere, affinché l'uomo possa conquistare una nuova padronanza sulle cose. In questo senso si fa trasparente la lezione della *magia rinascimentale* che l'inglese, anche sulla scia di altri personaggi ambigualmente divisi tra quella tradizione e la nuova scienza (John Dee, Thomas Digges, William Gilbert), "sublimò" all'interno della mentalità scientifica moderna, contestandone le pretese

esoteriche e gli aspetti metodologicamente oscuri, ma recuperandone un'istanza fondamentale, quella del *dominio* sulla natura come conseguenza di un umile e paziente confronto diretto con essa.

La  
restaurazione  
e dell'uomo

La **Instauratio Magna**, il grande progetto incompiuto che avrebbe dovuto sintetizzare nella propria articolazione la *rivoluzione culturale* baconiana, si proponeva programmaticamente una radicale *restaurazione* dell'uomo, quasi un riscatto dalla corruzione originaria, in cui l'umanità, in analogia con il racconto biblico, era caduta per un peccato di superbia. In questa prospettiva, il filosofo doveva in primo luogo impegnarsi a dissolvere il sapere apparente, operare quella *expurgatio intellectus* in grado di trasformare la mente umana, scaduta a *specchio incantato*, in un limpido ricettacolo delle strutture della realtà naturale. In questo recupero dell'*innocenza* si delineava l'apertura di una nuova epoca nella storia dell'uomo.

Ciò che Bacone presupponeva nel suo disegno era la convinzione profonda che fine ultimo della conoscenza dovesse essere la glorificazione del Creatore e la dedizione alla causa del progresso umano: il vero e legittimo obiettivo della scienza era dunque quello di dotare la vita umana di nuove scoperte e di nuovi poteri. Pur non estraneo al fascino della ricerca speculativa, egli era d'altronde persuaso che l'ispirazione del lavoro scientifico scaturisse dai bisogni del genere umano, come un impulso filantropico che proibisse un ruolo da mero spettatore, di fronte alla sofferenza, alla malattia e alla fatica. In questo senso il fine della scienza era propriamente *morale e religioso*, l'adempimento dell'obbligo cristiano della carità, e prevedeva esplicitamente, nella proficua connessione di scienza e tecnica, l'idea, di origine magico-alchemica, di un sapere scientifico inteso a allungare la vita degli uomini, rendendola meno dolorosa e meno faticosa.

L'immagine  
della natura

In tal modo Bacone veniva a limitare la ragione al mondo naturale, sollecitando un atteggiamento radicalmente nuovo di fronte alla natura stessa. A differenza degli autori considerati in precedenza, essa non gli appariva immediatamente armonica o ordinata, piuttosto superficialmente caotica e dispersiva. L'ordine celato nella creazione era da rintracciare nel corso di un confronto serrato, costringendo la natura a cedere il proprio codice genetico, così da poterlo sfruttare a proprio vantaggio.

Condanna  
della  
tradizione

In nome di quell'atteggiamento e alla luce delle esigenze espresse in precedenza, il giudizio di Bacone sulla tradizione rifiutava la consolidata accezione dei compiti e delle funzioni della filosofia, e si traduceva in una condanna d'ordine morale delle premesse storiche di una parte consistente di quella tradizione. Essa avrebbe, infatti, ben presto rinunciato all'impegnativo scandaglio della natura, imbastendo, a partire da Platone e Aristotele, una strategia di ripiego verbale, disponibile, in altre parole, a sostituire le reali soluzioni, frutto di una ricerca faticosa, con soluzioni fittizie, affidate all'innata capacità affabulatoria dell'uomo.

Così, dopo i risultati dell'esperienza naturalistica, si sarebbe progressivamente imposto un modello metafisico essenzialmente verboso e verbifico, adatto per la disputa ma assolutamente sterile, culminato nella cavillosità della cultura scolastica. Come i *ragni* che tessono la ragnatela cavandola da se stessi, i maestri di quella tradizione avevano avuto la pretesa di erigere grandi edifici utilizzando scarsissimo materiale empirico, abbozzando dunque sistemi logici e teologici, assolutamente discutibili e inefficaci.

Né poteva valere il richiamo a atteggiamenti diversi, critici rispetto a quella lezione: il *sapere delicato* degli umanisti, tutto concentrato sui valori morali e quindi indisponibile per l'*oracolo* delle opere di Dio, o quello *fantastico* ed esoterico della magia. La filosofia si rivelava colpevolmente infeconda per avere distolto gli uomini dalle indagini sulla natura, mutandosi in riflessione speculativa, e desistito dall'affrontare i problemi sollevati dall'esperienza. La *confutazione delle filosofie*, condotta nel **Temporis partus masculus** (1602), nei **Cogitata et visa de interpretatione naturae** (1607) e nella **Redargutio philosophiarum** (1608), portava così a denunciare i limiti del pensiero tradizionale, nella sua incapacità di produrre opere, nel suo carattere non progressivo, nell'assenza di un *metodo* e nel mancato riconoscimento della necessità di far uso di adeguati strumenti intellettuali.

Riforma del  
sapere e  
liberazione  
dai  
pregiudizi

Sulla scorta di questo quadro, la riforma del sapere avanzata da Bacone muoveva dalla opinione che, per essere di beneficio agli uomini, per essere *fruttifero*, esso dovesse, in primo luogo, essere *lucifero*, perseguire la *verità* così come essa si offre nella creazione. Il sapere poteva essere utile in quanto sapere *vero*, e non vero in quanto utile: le opere diventavano in questa prospettiva *pegni di verità*. Per *instaurare il regno dell'uomo*, fondato sulla scienza della natura, si doveva sottostare ai medesimi requisiti richiesti per accedere al *Regno dei Cieli*: diventare fanciulli di fronte alla natura, aperti e pronti a accogliere quanto essa ha da dirci. A questo scopo era indispensabile mettere in atto una duplice strategia, di *catarsi* dai pregiudizi di ogni tipo che perturbavano il rapporto con la

natura, producendo la sterilità del sapere, di *soccorso* alla mente, di fronte alle *sottigliezze* della stessa natura.

### Bacone: la liberazione dai pregiudizi

La teoria degli *idola*

Il primo aspetto, quello della *expurgatio intellectus*, impegnò particolarmente Bacone nel primo libro del **Novum Organon**, seconda parte della **Instauratio Magna** (1620), dove l'autore introdusse la propria teoria degli *idola*, in cui classificò varie e diffuse tendenze dell'intelletto umano, alla base delle sue frequenti cadute nell'errore. Gli *idola tribus* rappresentavano i pregiudizi radicati nella natura dell'uomo, che lo portano sempre a supporre un grado di ordine e eguaglianza nelle cose, a contemplare l'universo nella propria ottica semplicistica e antropomorfa (*ex analogia hominis*), in termini teleologici. Gli *idola specus* erano invece le forme preconcepite legate alla storia individuale, alla formazione familiare, all'educazione ricevuta, per cui si tende a perpetuare errori, a agire acriticamente, a applicare a ogni cosa principi dettati dai propri interessi. Gli *idola fori* costituivano invece le prevenzioni che nascono nel commercio umano, nei rapporti sociali, attraverso l'uso-abuso del linguaggio. Gli *idola theatri*, infine, erano le perturbazioni indotte dall'incidenza dei sistemi filosofici, con il loro potere annebbiante rispetto alla natura.

La matrice religiosa della polemica baconiana

Questa classificazione dei pregiudizi, anticipatrice di grandi istanze critiche illuministiche, era in Bacone strettamente connessa, come già abbiamo avuto modo di rimarcare, al retroterra religioso della sua formazione. Egli mantenne il senso puritano della natura corrotta, la convinzione che la situazione *di fatto* della mente umana di fronte alla natura non fosse quella che avrebbe dovuto essere *di diritto*.

Su un piano intellettuale egli esprimeva dunque l'esigenza di restaurare le capacità umane, ridotte a impotenza dalla seduzione della superbia, nel peccato originale prima, nel verbalismo platonico-aristotelico dopo. D'altra parte, la tematica del pregiudizio rivela la lettura degli esponenti contemporanei dello scetticismo, Montaigne in particolare, per l'insistito richiamo alle presunzioni dei grandi sistemi, per il rilievo tutto morale della loro condanna, per la consapevolezza del limite e della fragilità umani.

L'esigenza di una nuova organizzazione scientifica

Bacone non era in ogni caso così ingenuo da non capire come non fossero solo gli ostacoli d'ordine "psicologico" a contrastare il progresso del sapere umano: la natura, vera interlocutrice dell'uomo, si dimostrava in realtà più complessa dell'intelletto che cercava di decifrarla. Per questo un'indagine che intendesse effettivamente rispecchiare nel pensiero l'*alfabeto* riposto della creazione (*interpretatio naturae*), in altri termini, le strutture a fondamento dei fenomeni naturali, avrebbe dovuto organizzarsi come una grande impresa di esplorazione e scoperta, coinvolgendo la collaborazione di più individui e di più generazioni, in un costante confronto-dibattito pubblico (secondo un modello sviluppato nell'incompiuta **New Atlantis**).

Pur muovendosi sostanzialmente, nonostante le critiche, nell'ambito delle premesse ontologiche e gnoseologiche di Aristotele (ci sono forme della realtà che la conoscenza può afferrare), e di quelle della tradizione magico-alchemica rinascimentale (traduzione costante del sapere in operazioni mirate al dominio sulla natura), Bacone palesò una fiducia nelle possibilità di crescita continua della conoscenza, una sensibilità per la dimensione politico-sociale della scienza che, al di là dell'indubbia eco dell'umile lezione degli *artigiani superiori* e dei *meccanici*, gli sono, nella storia della filosofia, veramente peculiari.

### Bacone: il metodo

Complessità della natura e metodo

Così, una volta ripulito per quanto possibile (in via approssimativa) lo *specchio* della mente dalle illusioni pregiudiziali che ne appannano la superficie, una volta delimitato chiaramente l'ambito *naturale* dell'indagine (con esclusione dell'eventuale accesso ai *misteri divini* tramite la contemplazione della natura), insomma, eliminati tutti i fattori perturbanti, si poneva il problema di affrontare con efficacia l'impresa, nella consapevolezza, già rilevata, delle *sottigliezze* dell'interlocutrice.

Non era dunque sufficiente liberarsi dagli *idola* per raggiungere la realtà delle cose in sé considerate, che offrono congiuntamente verità e utilità. La mente doveva abituarsi a far uso di tecniche specifiche di ricerca, capaci di assicurare, di fronte alla complessità, l'oggettività del risultato teorico e dunque la sua traducibilità pratica. La ragione doveva procedere pazientemente e sistematicamente all'individuazione della *causa* di una certa proprietà fenomenica, in modo da consentirne poi una manipolazione (ad esempio trasferendola da una certa base materiale a un'altra).

I due procedimenti erano rigorosamente saldati, dal momento che la *causa* su cui convergeva la ricerca diventava il mezzo dell'operazione.

La ricerca delle cause

Il percorso della ricerca doveva, per poter *costringere* la natura, prendere le mosse direttamente dall'esame empirico della stessa, tenendo conto di un duplice livello, *fisico* e *metafisico*. Il primo corrispondeva per Bacone sostanzialmente al campo della complessa causazione efficiente-meccanica, il secondo al perimetro più ristretto delle cause formali, strutture elementari delle cose. La complessità della *fisica* era progressivamente trascesa nella semplicità della *metafisica*: in questa prospettiva si esprimeva la fede nella sotterranea elementarità dell'ordine a fondamento della creazione, che avrebbe consentito di inquadrare il mondo fenomenico alla luce di alcune costanti.

L'approccio rigorosamente *eziologico*, che, a differenza di quanto registrato nel caso di Galilei, non si riduceva a pura descrizione cinematica del contesto meccanico dei corpi, mentre confermava il persistere di un orizzonte *qualitativo* di marca aristotelica, imponeva anche il confronto *metodologico* con l'epistemologia peripatetica, che Bacone sviluppò sempre nel **Novum Organon**, all'interno del già citato progetto della *Instauratio Magna*, sintetizzando elementi della tradizione logica degli **Analitici** con altri ricavati dalla retorica classica (Quintiliano) e dalla mnemotecnica.

Critiche alla logica aristotelica

In effetti la logica tradizionale veniva prospettata come strumento tipicamente disputatorio, per il prevalere di un modello sillogistico vincolato a premesse stabilite attraverso un'induzione sommaria. Bacone, come Galilei, stigmatizzava la debolezza di tale procedimento, che finiva per privilegiare espressioni verbali oscure, incapaci di riferirsi a aspetti definiti della realtà. I termini avevano significato solo nella misura in cui designassero concetti ricavati dall'osservazione; le proposizioni universali, che dovevano fungere da premesse, avevano senso in quanto risultato di una precisa generalizzazione induttiva. Consapevole di questi limiti della *dialettica* tradizionale, che ne avevano determinato lo scadimento, il pensatore inglese si impegnò a ribaltarne gli equilibri, ridimensionandone la prevalente impronta deduttiva, a vantaggio del processo induttivo con cui si risaliva ai principi della dimostrazione.

L'induzione baconiana

L'*induzione* doveva realmente diventare la procedura per cui, a partire da una messe osservativa sufficientemente ampia, attraverso generalizzazione, classificazione e confronto dei dati, si perveniva alla conoscenza degli *assiomi*, dei principi universali a fondamento dei fatti osservati. In questa direzione era necessario integrare il lavoro empirico con un rigoroso controllo razionale. Rispetto all'*induzione* per mera *enumerazione*, Bacone sottolineava la *vis instantiae negativae*, l'esigenza del metodo per esclusione (in realtà già praticato nel tardo medioevo), più efficace nel discriminare e quindi più adatto nell'analisi delle complessità fenomeniche. Esso prevedeva un primo stadio di raccolta, affidato a accurate e complete storie naturali e sperimentali, frutto della collaborazione tra centri di ricerca, che avrebbe dovuto garantire una solida base empirica al sapere scientifico, massima ipoteca per il successivo intervento operativo.

Le tabulae

Contro l'eccessiva dispersione, si doveva quindi procedere a distribuire il materiale per l'indagine all'interno di *griglie* di lettura, che Bacone chiamava *tabulae*, così da ordinarlo per facilitare il sondaggio dell'intelletto. Egli ne prevedeva di tre tipi, reciprocamente convergenti: *presentiae* (della presenza, in cui si registrava la positiva presenza di un determinato aspetto fenomenico), *absentiae* (per registrarne invece l'assenza) e *graduum* (per indicarne le variazioni). Lo scopo delle *tavole* era, insomma, quello di preparare l'individuazione delle correlazioni tra fenomeni, lungo le quali si sarebbe snodato il procedimento induttivo vero e proprio, che solo dopo tali preliminari poteva prendere le mosse.

Le nature semplici

Secondo questo disegno metodologico, la ricerca scientifica si presentava come un'ascesa dalle osservazioni, attraverso correlazioni sempre più inclusive, fino ai principi. La progressiva generalizzazione, controllata nei suoi passaggi essenziali attraverso l'uso incrociato delle *tavole*, doveva consentire di inquadrare rigorosamente le proprietà fenomeniche fondamentali (o *nature semplici*: Bacone porta a esempio il calore). In tal modo, attraverso una progressiva concentrazione e focalizzazione dell'esame dei dati, sarebbe stato possibile scoprire o ipotizzare nessi causali all'interno di gruppi omogenei di fenomeni (sulla scorta dell'assunto che quando c'è la proprietà deve esserci anche la sua causa), da verificare eventualmente con esperimenti (*instantiae prerogativae*).

Le forme

Al vertice di questa piramide, risultato di un'analisi che era riduzione dei fenomeni complessi all'alfabeto elementare della creazione, focalizzazione delle premesse non osservabili alla base dei fenomeni stessi, stavano, in qualità di principi, quelle che, con linguaggio aristotelico, Bacone definisce *forme*, cioè le cause strutturali di specifiche qualità fenomeniche. Sebbene il linguaggio del filosofo in proposito lasci spazio a letture molto tradizionali (le definisce infatti come *fonti di*

*emanazione, nature naturanti*), la pratica concreta del metodo nel caso specifico del calore mostra un'interpretazione meccanica:

<<il calore è un movimento espansivo che non avviene in modo uniforme nell'insieme del corpo, ma che si espande attraverso le particelle più piccole del corpo; ed è insieme trattenuto, respinto, ricacciato indietro, in modo da acquistare un movimento alternativo, continuamente tremolante, che si sforza e si affatica ed è irritato dalla ripercussione>>.

Essa rinvia per un verso alla microstruttura delle *particelle*, per altro alla loro dinamica reciproca, quasi si trattasse di un brevetto costruttivo. La procedura *induttiva* terminava così con l'apprensione delle cause delle proprietà naturali, integrando con l'*immaginazione* e le *ipotesi* i dati sensoriali, per scoprire le strutture latenti, difficili o impossibili da osservare. Tale apprensione doveva preludere all'intervento operativo, che avrebbe sfruttato il quadro causale determinato per produrre effetti conformi all'umana utilità, la cui efficacia risultava, di conseguenza, rigorosamente vincolata alla bontà della ricerca e alla *verità* dei suoi esiti.

Limiti della concezione metodologica baconiana

È stata sempre sottolineata la macchinosità e improponibilità concreta di questo *metodo* baconiano, eccessivamente dispersivo, nonostante l'impegno alla rielaborazione razionale del materiale raccolto. È stata giustamente rimarcata l'incomprensione nei confronti dell'*idealizzazione* matematica che guidava l'analisi scientifica del contemporaneo Galilei, la prospettiva tutto sommato ancora *qualitativa* che non avrebbe consentito quella omogeneizzazione quantitativa che risultò vincente nell'ambito della rivoluzione scientifica, l'atteggiamento contrastante riguardo agli *esperimenti*, per i quali il filosofo inglese mostrò poca pazienza e perseveranza, non valorizzando adeguatamente la componente *ipotetico-deduttiva* della procedura metodica.

D'altra parte Bacone più di ogni altro ebbe altissimo il senso dell'urgenza della collaborazione tra scienziati, della continuità generazionale degli sforzi scientifici per il progresso dell'umanità, della necessità di una guida razionale e metodica che correggesse il vano ricorso alla sperimentazione casuale, tipica della tradizione alchimistica. Con un grande obiettivo teorico: quello di raccogliere i risultati delle scienze particolari all'interno di un'unica scienza universale, una *philosophia prima*, tronco dell'albero dal quale si dipartono i rami scientifici settoriali, ricettacolo di tutti gli assiomi comuni alle diverse scienze, in grado di mostrare l'unità della natura.

### **Il compimento della rivoluzione: la sintesi di Newton.**

A Isaac Newton (1642-1727) si deve un fondamentale sforzo di sistemazione e approfondimento del lavoro svolto, nel corso del XVII secolo, in ambito ottico, matematico, meccanico, astronomico e chimico, da Galilei, Keplero, Snell, Boyle, Barrow e altri più o meno grandi protagonisti della scena scientifica. Nella sua sintesi non solo trovavano collocazione organica i diversi contributi specifici, all'interno di uno schema concettuale semplice e rigoroso, ma venivano inquadrati anche i problemi d'ordine metodologico, contribuendo alla piena trasparenza e consapevolezza dei procedimenti adottati e alla definizione dell'immagine razionale dell'universo, che Newton fissò in una vera e propria *filosofia della natura*.

Filosofia della natura e unità dell'universo

Con la sua opera la *rivoluzione scientifica* raggiunse, dunque, il suo culmine per quanto concerne le scienze fisiche: nel loro ambito apparve giustificata la fiducia di Galilei nella struttura matematica della natura e fu possibile dimostrare che i *principi meccanici* erano una base di spiegazione universalmente sufficiente. L'omogeneizzazione dell'universo fu manifestata nella continuità di leggi fisiche tra cielo e Terra: quel che più contava, inoltre, era la dimostrazione del fatto che le indicazioni copernicane, le leggi kepleriane e le scoperte galileiane erano conseguenze necessarie di tali leggi.

La legge di gravitazione universale

Il contributo sintetico più caratteristico tra quelli newtoniani è senz'altro la *legge della gravitazione universale*, la cui funzione principale fu quella di stabilire un vero e proprio *sistema dell'universo*, in altre parole un sistema di fisica nel senso più ampio possibile, che abbracciava la meccanica celeste, una teoria generale della dinamica, la teoria dei moti dei corpi sottoposti a forze centripete. Nella sua formulazione più generale (come forza d'attrazione fra corpi, proporzionale al prodotto delle loro masse) essa investiva il sistema planetario, giustificando l'ellitticità delle orbite, secondo le leggi di Keplero, il comportamento dei corpi su ciascun pianeta, secondo i calcoli galileiani, e addirittura quello delle particelle materiali di ciascun corpo.

La *gravità*, come *forza d'attrazione*, diventava così (con l'elaborazione di un'intuizione originariamente kepleriana) il comune denominatore universale, un'ulteriore *qualità primaria* capace di compendiare statica e dinamica. L'idea dell'unità nella natura, variamente coltivata dai diversi autori, nei misteri geometrici del *nido planetario* di Keplero, nell'alfabeto matematico di

Galilei o in quello qualitativo di Bacone, trovava infine la propria traduzione normativa in una formula riassuntiva molto semplice.

I principi della dinamica

Nella stessa direzione, sebbene con uno spettro meno ampio, si muove la definizione dei *tre principi della dinamica*, che Newton in parte rielaborava a partire da indicazioni e intuizioni kepleriane, galileiane e cartesiane:

- il principio di inerzia (<<Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse>>),
- il principio di azione delle forze (<<Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa e avviene lungo la linea retta secondo la quale la forza è stata impressa>>),
- il principio di azione e reazione (<<A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria: ossia le azioni di due corpi sono sempre uguali fra loro e dirette verso parti opposte>>).

A questi si devono aggiungere poi i grandi contributi più settoriali, come quelli matematici (calcolo infinitesimale) e ottici (teoria dei colori), che testimoniano la versatilità e creatività dello scienziato.

### Newton: il metodo scientifico

L'attenzione per la dimensione formale del discorso scientifico

Lo scienziato inglese fu del tutto consapevole della centralità della dimensione *formale* del discorso scientifico, arrivando addirittura a ritardare di molti anni la pubblicazione del suo capolavoro, i **Principia mathematica philosophiae naturalis** (1687), proprio per far conseguire alla *legge di gravitazione* un impeccabile assetto logico-matematico. D'altra parte l'opera è preceduta dall'esposizione di *principi*, enunciati logico-empirici sui quali si fonda sia la meccanica razionale, sia la interpretazione matematica della natura. Si tratta di definizioni (*massa, quantità di moto, inerzia, forza impressa, forza centripeta* ecc.), talvolta chiaramente rivolte a concetti irriducibili all'esperienza, di cui costituirebbero semmai le condizioni d'intelligibilità (*spazio assoluto e tempo assoluto*); di *assiomi* indeducibili da altre proposizioni all'interno del *sistema*. L'impegno newtoniano si rivela quindi orientato nella direzione di una *assiomatizzazione* della fisica, articolata deduttivamente da *principi*, secondo il modello logicamente inattaccabile degli **Elementi** di Euclide (risultando così non estraneo alla suggestione pitagorica della *semplicità e logicità* del *sistema del mondo*). Anche se poi era previsto un secondo stadio in cui i *teoremi* del sistema assiomatico dovevano essere collegati alle osservazioni di eventi fisici.

Matematica e fisica

Il merito particolare, da un punto di vista scientifico, della riflessione metodologica di Newton fu il sondaggio, secondo la linea già tracciata da Galilei, delle possibilità sperimentali di un sapere intento alla descrizione dei fenomeni piuttosto che alla loro giustificazione metafisica. In questo senso egli distingueva accuratamente le proposizioni *fisiche* da quelle *matematiche*: le prime dovevano essere punti di partenza e di arrivo della ricerca, le seconde strumenti di elaborazione. È molto probabile che lo scienziato non condividesse la fede kepleriana e galileiana nell'essenza geometrica dell'universo, valutando la matematica piuttosto come puro mezzo d'indagine, efficace nell'ordinare con rigore il materiale scientifico, ma inadeguato a svelare il riposto disegno della creazione.

Scienza e astrazione

Alla base di tutta la *filosofia della natura* venivano dunque posti enunciati (*principi*) costruiti su dati direttamente ricavati dalla realtà fisica mediante l'esperienza sensibile (le *sensate esperienze galileiane*): anche in questo caso, tuttavia, l'osservazione registrata doveva subire una *idealizzazione* che ne garantisse la manipolazione matematica. Newton era convinto che in *filosofia* occorresse *astrarre dai sensi*, in altre parole rinunciare agli aspetti qualitativi, meramente soggettivi e apparenti, per concentrarsi su proprietà come *estensione, durezza, impenetrabilità, inerzia, massa*, le quali, sottoposte a generalizzazione e a calcolo, avrebbero consentito di ottenere, *per via matematica, leggi* riferibili a tutti i corpi, la cui validità sarebbe stata saggiata a livello sperimentale.

Analisi e sintesi

Queste riflessioni newtoniane sul metodo scientifico erano rivolte in primo luogo contro coloro (come i cartesiani) che pretendevano di ricavare le leggi fisiche fondamentali da principi metafisici. Opponendosi a questo metodo di *teorizzazione* della natura, Newton sostenne che il *filosofo naturale* dovesse fondare le proprie generalizzazioni su un attento esame dei fenomeni.

Contro l'approccio cartesiano egli recuperò, in modo originale, il nesso aristotelico *induzione-deduzione*, proponendo il *metodo di analisi e sintesi* e mostrando come il procedimento scientifico dovesse articolarsi in uno stadio induttivo e in uno stadio deduttivo. L'*analisi* consisteva, secondo Newton, nel fare esperimenti e osservazioni e nel ricavarne conclusioni per induzione, nel non

ammettere obiezioni contro le conclusioni, che non fossero derivate da esperimenti o da altre verità certe. Pur consapevole del fatto che il ragionare su esperimenti e osservazioni, per *induzione*, non significasse dimostrare conclusioni generali, egli era comunque convinto che rappresentasse il modo migliore per capire quali di queste fossero ammesse dalla natura delle cose. Mediante questo metodo analitico si doveva procedere dagli effetti alle cause, da cause particolari ad altre più generali, concludendo nella più generale. La sintesi riguardava la spiegazione dei fenomeni tramite le cause scoperte e acquisite come principi.

Le *regulae philosophandi*

Questa posizione metodologica venne riassunta nelle famose quattro *regulae philosophandi* dei **Principia**:

- la prima (<<Degli eventi naturali non si devono ammettere cause più numerose di quelle che sono vere e sono sufficienti a spiegare i fenomeni>>) assicura uno sfondo di essenzialità e semplicità, indice, secondo lo scienziato, di razionalità e economia della natura (<<la natura infatti è semplice e non sovrabbonda di cause superflue>>);
- la seconda (<<Perciò, nella misura in cui può essere fatto, a effetti naturali dello stesso genere devono essere attribuite le stesse cause>>) e la terza (<<Le qualità dei corpi che non possono essere aumentate né diminuite, e quelle che appartengono a tutti i corpi sui quali è possibile svolgere esperimenti, devono essere ritenute qualità di tutti i corpi>>) postulano continuità e omogeneità, riflesso delle conquiste della rivoluzione astronomica, ponendo le premesse per un'indagine dei fenomeni che sfuggono all'analisi empirica o sperimentale, da condurre in analogia con quanto assunto e verificato in altri casi;
- la quarta (<<Nella filosofia sperimentale le proposizioni ricavate per induzione dai fenomeni, malgrado le ipotesi contrarie, devono essere considerate vere o rigorosamente o quanto più possibile, fino a che non si presentino altri fenomeni mediante i quali o sono rese più rigorose o fatte suscettibili di eccezioni>>) costituisce la sintesi newtoniana del metodo induttivo, costruito sulle postulazioni precedenti.

Il ruolo delle ipotesi

Come è stato rimarcato da alcuni interpreti, nonostante l'impegno a distinguere costantemente i principi empirici e le leggi verificate dalle ipotesi, il progetto di una scienza scevra da ogni elemento extra-sperimentale rimase un'idea-limite. Fermamente convinto che l'atteggiamento dello scienziato dovesse essere sostanzialmente descrittivo, quindi non impegnato ontologicamente dai *perché* o dai *che cosa* ma concentrato sulla constatazione dei fenomeni, persuaso dell'evidenza che le prove sperimentali erano in grado di estrarre dai fenomeni stessi, Newton con il suo motto *hypotheses non fingo* intendeva rigettare le teorizzazioni astratte e metafisiche di marca cartesiana, e non propriamente eliminare ogni riferimento a quanto non direttamente verificabile nell'esperienza.

Già si è segnalata la convergenza newtoniana sulle scelte quantitative operate da Galilei, si è visto come il punto di partenza e quello d'arrivo della ricerca scientifica fosse la determinazione dei valori delle *qualità manifeste* (gli aspetti fenomenici misurabili sperimentalmente). La *filosofia naturale* avrebbe così dovuto restringere il proprio contenuto a asserti su tali *qualità manifeste*, *teorie* derivate da questi asserti e questioni orientative per ulteriori indagini. Il termine *teoria* venne di fatto applicato a relazioni invarianti tra termini designanti *qualità manifeste*, *dedotte* dai fenomeni (il che implicava in realtà solo una forte evidenza induttiva a loro conferma); il termine *ipotesi* era invece destinato a indicare asserti su *qualità occulte*, per le quali non era possibile alcun procedimento di misura.

D'altra parte il *sistema del mondo* di Newton è costruito su definizioni quali quelle di *tempo assoluto* e *spazio assoluto*, essenziali per stabilire un quadro di riferimento assoluto in cui iscrivere le leggi dinamiche, che certamente hanno il valore di concetti astratti, impossibili da verificare ma in ogni modo imprescindibili per il discorso scientifico. Ancora più discutibile il rifiuto newtoniano delle *ipotesi* se pensiamo alle regole del filosofare, le quali non rappresentano tanto coordinate concettuali a fondamento delle teorie scientifiche, quanto lo sfondo metafisico premesso a giustificazione dell'analisi matematica dell'universo.

Se, di fronte ai problemi suscitati dalla *gravitazione*, Newton non si pronunciò circa le cause dell'attrazione, limitandosi così a formulare la legge che descriveva il comportamento reciproco dei corpi, svincolandola da ulteriori speculazioni, è anche vero che egli per tutta la vita coltivò l'ipotesi atomistica, alla ricerca di una teoria unitaria della materia che abbracciasse le sue più diverse manifestazioni. Addirittura, sfruttando la tradizione alchimistica, portò avanti ricerche sull'*etere*, fluido misterioso che con la propria elasticità avrebbe dovuto spiegare i fenomeni ottici e il più generale fenomeno dell'azione di forze a distanza.

Scienza sperimentale e metafisica, a dispetto dello sforzo discriminante scrupolosamente operato, finiscono per confondersi invece nello *Scholium generale* aggiunto all'edizione dei *Principia* del 1713:

<<[...] sei principali pianeti ruotano intorno al Sole in cerchi concentrici al Sole con moto orientato nella stessa direzione e all'incirca sul medesimo piano. Dieci lune ruotano intorno alla Terra, a Giove e a Saturno in cerchi concentrici con moto orientato nella stessa direzione e approssimativamente sui piani delle orbite dei pianeti. E tutti questi moti regolari non traggono origine da cause meccaniche; le comete infatti sono trasportate liberamente in tutte le parti del cielo secondo orbite fortemente eccentriche. [...] Questa elegantissima compagine del Sole, dei pianeti e delle comete non potè sorgere senza il progetto e la potenza di un ente intelligente e potente. E se le stelle fisse sono a loro volta centri di sistemi analoghi, tutti questi, essendo costruiti con identico disegno, saranno soggetti al potere dell'uno: soprattutto in quanto la luce delle stelle fisse è della medesima natura della luce del Sole e tutti i sistemi inviano la luce reciprocamente verso tutti gli altri. E affinché i sistemi delle stelle fisse non cadano l'uno sull'altro, a causa della gravità, Egli pose una distanza immensa tra loro.

Egli regge tutte le cose non come anima del mondo, ma come signore di tutti gli universi e per il suo dominio suole essere chiamato Signore Dio παντοκρατωρ>>.

Le regolarità osservate, le geometrie planetarie, la stessa logica dell'attrazione non potevano, secondo Newton, rinviare al cieco caso. Il *meccanismo* dell'universo non poteva esaurire la realtà, rappresentandone semmai solo la dimensione superficiale, dietro cui si celava un assetto sfuggente all'uomo, facente capo a una *Causa* trascendente. Insomma, il *cosmo* della scienza era *fenomenico* e come tale rinvitava ad altro da sé, come sua *essenza* e causa ordinatrice e reggitrice, rivelando proprio nel nesso regolarità-irregolarità la necessità di un *architetto* e di un sovrintendente. Se la *rivoluzione scientifica* si era originariamente imposta, lottando per la propria autonomia, in nome dell'oggettività dei propri risultati (in ciò appoggiandosi a una metafisica neoplatonizzante), essa conseguì con Newton la piena maturità stabilendo nettamente i contorni fenomenici delle proprie asserzioni, assicurandosi così un dominio matematico assoluto ma limitato alla superficie, e affidando alla teologia il compito di decifrarne il senso recondito.

Dario Zucchello (1996)