

Anno Accademico 2010-11

Facoltà di Scienze della Formazione

Corso di Laurea in Scienze dell'Investigazione

Storia della Scienza e delle Tecniche

Prof. Sandro Petruccioli

Materiali didattici

La rivoluzione astronomica e Galileo Galilei

Indice

1. Paolo Rossi, I meccanici, gli ingegneri, l'idea di progresso
2. Paolo Rossi, Cose mai viste prima
3. Paolo Rossi, La rivoluzione Astronomica
4. Alexandre Koyré, Il De Revolutionibus Orbium Caelestium
5. Thomas Kuhn, L'assimilazione dell'astronomia copernicana
6. William Shea, Galileo Galilei
7. Paolo Rossi, Galileo Galilei

I MECCANICI; GLI INGEGNERI, L'IDEA DI PROGRESSO

Paolo Rossi

1. *Gli artisti, gli ingegneri, i trattati*

Molte traduzioni cinquecentesche in volgare di testi classici si rivolgono espressamente a un pubblico emergente: quello degli artigiani. Jean Martin, che traduce in francese (nel 1547) i trattati sull'architettura di Vitruvio (I sec. a.C.) scrive per «gli operai e le altre persone che non sono in grado di leggere il latino». Walter Rivius, che presenta lo stesso testo in tedesco nel 1548, si rivolge ad artigiani, artefici, scalpellini, architetti, tessitori. I numerosi commentari a Vitruvio offrono un chiaro esempio del significato e dell'importanza di queste «ripresentazioni» di classici. Ne *I dieci libri dell'architettura di Vitruvio tradotti e commentati* (Venezia, 1556), il commento del nobile veneziano Daniele Barbaro si trasforma in una sorta di enciclopedia. Barbaro, che si serve della collaborazione di Andrea Palladio (1508-1580), è a conoscenza di molti testi della tecnica cinquecentesca; utilizza *l'Arte del navigar* di Pedro di Medina, i trattati sul compasso e sulle proporzioni di Dürer, i commenti a Tolomeo del Commandino, la *Compositio horologiorum* di Sebastian Münster (1489-1552).

Entrando in rapporto con gli ambienti della cultura umanistica e con l'eredità del mondo classico, non pochi rappresentanti di gruppi di artigiani più avanzati cercano nelle opere di Euclide, di Archimede, di Erone, di Vitruvio una risposta alle loro domande. La letteratura del Quattrocento e del Cinquecento è, come tutti sanno, straordinariamente ricca di trattati di carattere tecnico che sono, talvolta, veri e propri manuali e contengono, in altri casi, solo sparse riflessioni sul lavoro svolto da artisti o da «meccanici» o sui procedimenti impiegati nelle varie arti. A questa letteratura, prodotta da ingegneri, artisti, artigiani superiori appartengono gli scritti di Filippo Brunelleschi (1377-1446), di Lorenzo Ghiberti (1378-1455), di Piero della Francesca (1406 ca.-1492), di Leonardo da Vinci (1452-1519), di Paolo Lomazzo (1538-1600); i trattati sulle macchine da guerra di Konrad Keyser (1366-1405); le opere sull'architettura di Leon Battista Alberti

(1404-1472), di Francesco Averlino detto il Filarete (1416-1470), di Francesco di Giorgio Martini (1439-1502); il libro sulle macchine militari di Roberto Valturio da Rimini (pubblicato nel 1472 e poi ristampato a Verona nel 1482 e 1483, a Bologna nel 1483, a Venezia nel 1493 e ben quattro volte a Parigi fra il 1532 e il 1555), i due trattati di Albrecht Dürer (1471-1528) sulla geometria descrittiva (1525) e sulle fortificazioni (1527), la *Pirotechnia* di Vannoccio Biringuccio (1480 ca.-1539 ca.) che esce nel 1540 ed è poi ripubblicata in due edizioni latine, tre francesi e quattro italiane, l'opera sulla balistica (1537) di Niccolò Fontana detto Tartaglia (1500 ca.-1557), i due trattati di ingegneria mineraria di Georg Bauer o Giorgio Agricola (1494-1555) che vengono pubblicati nel 1546 e nel 1556, il *Théâtre dei instruments mathématiques et mechaniques* (1569) di Jacques Besson, le *Diverse et artificiose machine* (1588) di Agostino Ramelli (1531-1590), i *Mechanicorum libri* (1577) di Guidobaldo del Monte, i tre libri sulla meccanica di Simon Stevin o Stevinus (1548-1620), le *Machinae novae* (1595) di Fausto Veranzio (1551-1617), il *Novo teatro di machine et edifici* (1607) di Vittorio Zonca (1568-1602), i trattati di navigazione di Thomas Hariot (1560-1621) e di Robert Hues (1553-1632) rispettivamente pubblicati nel 1594 e nel 1599.

Le università e i conventi non sono più gli unici luoghi nei quali si produce e si elabora cultura. Nasce un tipo di sapere che ha a che fare con la progettazione di macchine, con la costruzione di strumenti bellici di offesa e di difesa, con le fortezze, i canali, le dighe, l'estrazione dei metalli dalle miniere. Coloro che elaborano questo sapere, gli ingegneri o gli artisti-ingegneri vengono assumendo una posizione di prestigio pari o superiore a quella del medico, del mago, dell'astronomo di corte, del professore universitario. Leon Battista Alberti è pittore, scultore, architetto, urbanista, si occupa di topografia, progetta un igrometro e strumenti per il metodo di sondaggio delle acque profonde. È un umanista raffinato, scrive una commedia in latino, una celebre opera *Della famiglia* e vari scritti di morale. Ritene che la matematica (teoria delle proporzioni e teoria della prospettiva) sia il terreno comune all'opera dell'artista e a quella dello scienziato. La visione prospettica, che è propria del pittore, è una scienza ed è scienza la pittura. La «ragione» e la «regola» si congiungono con l'«opera» nel lavoro dell'architetto e l'elogio dell'architetto si trasforma nell'esaltazione del lavoro dell'ingegnere che è in grado di traforare monti e di spostare enormi masse di acqua e di roccia, di prosciugare paludi, di regolare il corso dei fiumi, di costruire navi, ponti e macchine da guerra. I principi italiani, i re di Francia,

gli zar di Russia, il re d'Ungheria Mattia Corvino chiamavano alle loro corti uomini capaci di risolvere problemi pratici diversi, di produrre opere d'arte. Il bolognese Rinaldo Fioravanti, detto Aristotele, risolve nella sua città problemi particolarmente difficili: raddrizza la torre del Palazzo del Podestà, nel 1455 sposta la torre della Chiesa della Magione pesante più di 400 tonnellate. Lavora al servizio di Francesco Sforza, del Duca di Mantova, del papa Paolo III, nel 1470 è alla corte di Mattia Corvino e cinque anni dopo presso lo zar di Russia. È ingegnere, fonditore, coniatore di monete, esperto di idraulica e di pirotecnia. Francesco di Giorgio Martini sovrintende al servizio delle acque e delle fontane della città di Siena, costruisce statue e cannoni, per i duchi di Urbino costruisce palazzi e fortezze, diviene un esperto di fortificazioni e si sposta per tutta Italia. Il suo *Trattato di architettura, ingegneria e arte militare* si ferma a lungo sulle fortificazioni, le piante delle città, i materiali da costruzione, i giardini, ma contiene anche numerosi progetti di macchine: turbine, seghe idrauliche, macchine elevatrici, battipali ecc.

2. *Le botteghe*

Nel corso del Quattrocento, la mentalità e la posizione sociale degli artisti avevano subito modificazioni profonde. L'arte era considerata, nel Trecento, come un'attività manuale. All'artista si dava del tu come ai domestici. Nobili e cittadini benestanti avrebbero considerato umiliante la posizione dell'artista. Quasi tutti gli artisti del primo Quattrocento escono da ambienti artigiani, contadini e piccolo-borghesi. Andrea del Castagno è figlio di un contadino, Paolo Uccello di un barbiere, Filippo Lippi di un macellaio, i Pollaiuolo (come indica il nome) di un venditore di polli. Nei primi anni del secolo scultori e architetti, a Firenze, erano membri della corporazione minore dei muratori e carpentieri, mentre i pittori erano classificati nella corporazione maggiore dei medici e speciali (come sottoposti dell'arte) assieme agli imbianchini e ai macinatori di colori. Dalle botteghe, nelle quali il tirocinio iniziava con lavori manuali (macinazione dei colori, preparazione delle tele ecc.), non uscivano solo quadri insigni, ma stemmi, bandiere, intarsi, modelli per tappezzeri e ricamatori, lavori in terracotta, oggetti di oreficeria. Gli architetti non erano solo costruttori di edifici, ma si occupavano di strumenti meccanici e di macchine da guerra, della preparazione dei palchi, delle «macchine» e di complicati apparati per le processioni e per le feste.

Il profondo «mutamento delle idee sull'arte» è legato al carattere sempre più profano della produzione artistica,

al peso sempre maggiore dell'opinione dei laici, al lento passaggio degli artisti dal rango di artigiani a quello di «borghesi». Nell'età di Giorgio Vasari, alla metà del Cinquecento, incarichi di tipo artigianale già non appaiono più conciliabili con la dignità dell'artista. Carlo V si piega a raccogliere il pennello caduto a Tiziano: questo gesto, storico o leggendario che sia, è il simbolo del passaggio degli «artisti» a un nuovo *status* sociale. Ma prima che la figura dell'artista venisse identificata con quella del «genio», autore di capolavori destinati a vita immortale, proprio nelle botteghe fiorentine del Quattrocento si era attuata, come forse mai era avvenuto in precedenza, la fusione di lavoro manuale e di teoria. Alcune botteghe (come per esempio quella di Lorenzo Ghiberti durante la preparazione delle porte del Battistero) si trasformavano in veri e propri laboratori industriali. In queste botteghe, che sono anche officine, si formano i pittori e gli scultori, gli ingegneri, i tecnici, i costruttori e progettatori di macchine. Accanto all'arte di impastare i colori, di tagliare le pietre, di colare il bronzo, accanto alla pittura e alla scultura, vengono insegnati i rudimenti dell'anatomia e dell'ottica, della prospettiva e della geometria. La cultura degli «uomini senza lettere» deriva da un'educazione pratica che si richiama a fonti diverse, che conosce frammenti dei grandi testi della scienza classica, che si gloria di riferimenti a Euclide e Archimede. Il sapere empirico di personaggi come Leonardo ha alle spalle un ambiente di questo tipo.

3. *Leonardo da Vinci*

Leonardo da Vinci (1452-1519), pittore e ingegnere, costruttore e progettatore di macchine, uomo «senza lettere» e filosofo, è diventato non ingiustamente, per i moderni, il simbolo dell'uomo dai molti saperi, del superamento dell'antica separazione fra arti meccaniche e arti liberali, fra pratica e teoria, fra le operazioni delle mani e quelle della mente. I suoi interessi giovanili sono legati alla consuetudine delle *botteghe* del Quattrocento e proprio dalla sua familiarità artigiana con le caratteristiche dei materiali nasce la consapevolezza, che resta in lui sempre viva, della necessaria congiunzione della pratica con la teoria. Le scienze che «principiano e finiscono nella mente» non hanno verità, perché nei discorsi puramente mentali «non accade esperienza, senza la quale nulla dà di sé certezza». Ma è anche vero, reciprocamente, che non vi è certezza se non là dove si possono applicare le matematiche e che quelli che si innamorano della pratica senza la scienza «sono come i nocchieri che entrano in naviglio

senza timone o bussola». È del tutto senza senso rimproverare a Leonardo ambiguità o incertezze. Difendere, come egli faceva, la convergenza pratica-teoria voleva dire prendere di volta in volta posizione contro i sostenitori della pura teoria o contro quell'avversario che (per usare le parole stesse di Leonardo) «non vuole tanta scienza, perché gli basta la pratica». Iscritto alla corporazione dei pittori nel 1472, Leonardo resta fino al 1476 nella «bottega» del Verrocchio.

Nel 1482 Leonardo venne chiamato a Milano, da Ludovico Sforza, come scultore e fonditore. Dopo aver accettato dal conte di Ligny l'incarico di preparare un rapporto sulla difesa militare della Toscana deve abbandonare Milano, in seguito alla caduta dello Sforza, e rifugiarsi a Mantova. In quell'anno, il 1499, viene assunto in qualità di ingegnere militare dai Veneziani. Dopo un periodo di vita «errante» (durante il quale è anche a Firenze) entra, nel 1502, al servizio di Cesare Borgia, in qualità di ingegnere militare. In un quaderno di appunti (noto come il Manoscritto L) annota e disegna tutto ciò che lo interessa nei suoi continui spostamenti per l'Italia centrale. Caduto il Valentino, torna a Firenze nel 1503: è il periodo della *Gioconda* e dell'incompiuta *Battaglia d'Anghiari*. Il grandioso progetto di deviazione dell'Arno e di un porto a Firenze venne interrotto dalla guerra fra Firenze e Pisa. Nel 1506 è di nuovo a Milano, al servizio del re di Francia, e organizza le feste per l'entrata in Milano di Luigi XII. Resta a Milano fino al 1513 (che è l'anno del ritiro dei Francesi) e si trasferisce a Roma, al servizio di papa Leone X. Nel 1516 abbandona l'Italia e si trasferisce in Francia, invitato da Francesco I, e vi rimane fino alla morte in qualità di ingegnere, architetto, meccanico.

Si è giustamente parlato, soprattutto in relazione al secondo soggiorno milanese, di un progressivo spostamento del maturo Leonardo verso la teoria. Si può certo sottolineare il fatto che i complessi progetti leonardeschi di pompe, chiuse, raddrizzamento e canalizzazione dei corsi d'acqua nascono in questo periodo, ma non si può certo per questo, come molti hanno fatto, cercare nel pensiero di questo artista e letterato grandissimo l'atto di fondazione del metodo sperimentale e della nuova scienza della natura. Non a torto, dopo tanta insistenza sul «miracolo» Leonardo, si è ricordato il suo assoluto disdegno per la tipografia e per la stampa e si è sottolineato il fatto che la valutazione che fu data dei codici leonardeschi all'epoca della loro pubblicazione dipendeva dalla scarsa o nessuna conoscenza che si aveva allora dell'effettiva situazione del sapere scientifico del Cinquecento. La ricerca di Leonardo, che è straordinariamente ricca di balenanti intuizioni

e di geniali vedute, non oltrepassa mai il piano degli *esperimenti curiosi* per giungere a quella sistematicità che è una delle caratteristiche fondamentali della scienza e della tecnica moderne. La sua indagine, sempre oscillante fra l'esperimento e la annotazione, appare come frantumata e polverizzata in una serie di brevi note, di osservazioni sparse, di appunti scritti per sé medesimo in una simbologia spesso oscura e volutamente non trasmissibile. Sempre incuriosito da un problema particolare, Leonardo non ha alcun interesse a lavorare a un corpus sistematico di conoscenze e non ha la preoccupazione (che è anch'essa una dimensione fondamentale di ciò che chiamiamo tecnica e scienza) di trasmettere, spiegare e provare agli altri le proprie scoperte. Da questo punto di vista anche le innumerevoli, famose macchine progettate da Leonardo riacquistano le loro reali proporzioni e appaiono costruite, più che come strumenti per alleviare la fatica degli uomini e accrescere il loro potere sul mondo, in vista di scopi fuggitivi: feste, divertimenti, sorprese meccaniche. Leonardo, non per caso, è più preoccupato della *elaborazione* che della *esecuzione* dei suoi progetti. Quelle macchine rischiano continuamente di diventare «giocattoli», mentre il concetto di "forza" (sul quale si è tanto insistito) è certo più legato alla tematica ermetica e ficiniana dell'animazione universale che alla nascita della meccanica razionale.

E tuttavia non va dimenticato che si ritrovano di continuo, nei frammenti di Leonardo, affermazioni che torneranno a circolare con forza, in contesti diversi, entro la cultura dell'età moderna: l'idea di un necessario congiungimento fra la matematica e l'esperienza e le difficoltà di prospettarsi quel rapporto; la polemica fermissima contro le vane pretese dell'alchimia; l'invettiva contro «i recitatori e i trombetti delle altrui opere»; la protesta contro il richiamo alle autorità che è propria di chi usa la memoria invece che l'ingegno; l'immagine di una natura «che non rompe sue leggi», che è una catena mirabile e inesorabile di cause; l'affermazione che i risultati dell'esperienza sono in grado di «porre silenzio alle lingue de' litiganti» e all'«eterno gridore» dei sofisti. Sarebbe facile richiamare passi precisi: la «certezza che è data dagli occhi» e i «dottori di memoria» di Galileo Galilei, la sua immagine della natura «sorda ai nostri vani desideri» che produce i suoi effetti «con maniere inescogitabili da noi». E ancora: il rifiuto del sapere dei puri empirici da parte di Bacone, la sua immagine dell'uomo che è padrone della natura solo se è capace di obbedire alle sue leggi inesorabili.

L'immagine (che ha lungamente dominato) di una sorta di «infanzia della scienza» della quale Leonardo sa-

rebbe l'espressione è senza dubbio da rifiutare. Ma anche la lunga insistenza sui mirabili «precursori» e sul «miracolo» Leonardo andrà in qualche modo spiegata. Quella metafora dell'infanzia resta, su un piano diverso da quello dei «precursori», ricca di suggestioni. Le grandi scelte che sono alla radice della scienza moderna (il matematicismo, il corpuscolarismo, il meccanicismo) hanno condotto ciò che chiamiamo arte e ciò che chiamiamo scienza a seguire vie diverse, a muoversi secondo prospettive che tendono a divergere fortemente e a progressivamente allontanarsi. Tentare di ravvicinarle, di risaldarle insieme è un'impresa che sembra non avere più alcun senso. I disegni e le pitture di Leonardo non sono però il semplice strumento di una ricerca scientifica che ha altrove la sua metodologia. Molti di quei disegni di rocce, piante, animali, nuvole, parti del corpo umano, volti, moti di arie e di acque sono essi medesimi «atti di conoscenza scientifica, ossia indagine critica sulla realtà naturale». I fogli di Leonardo che sono giunti fino a noi – i suoi appunti, i suoi disegni e quella irripetibile, straordinaria mescolanza di testi e di disegni – ci consentono di affacciarci come a una soglia: a quegli uomini e a quell'ambiente in cui quell'avvicinamento, quella compenetrazione (per noi impossibile e illusoria) fra scienza e arte apparvero possibili, si configurarono come reali.

4. *La «fabbrica» e il «discorso»*

I libri di macchine pubblicati in Europa fra la metà del Cinquecento e la metà del Seicento sono rivolti alla ricerca di soluzioni per i nuovi problemi posti dai rapidi sviluppi dell'arte mineraria, di quella militare, della metallurgia, della navigazione. Sarebbe vano cercare in questi scritti la piena consapevolezza dei radicali mutamenti che gli sviluppi del sapere tecnico portavano anche nel mondo della cultura. Non mancano tuttavia prese di posizione che hanno un rilievo preciso.

L'intento della *Pirotechnia* di Biringuccio (1540) è prevalentemente descrittivo e, in nome di una descrizione fedele e stilisticamente scarna, Biringuccio rifiuta ogni tentativo di abbellimento retorico. Giudica che gli alchimisti appartengano a quella categoria di persone che nascondono dietro «mille favulette» la sostanziale ignoranza degli argomenti di cui trattano. Incapaci di una ricerca sui «mezzi», gli alchimisti guardano troppo lontano e non vedono «gli intermedi». A differenza di Biringuccio, Georg Bauer (Agricola) è uomo di vasta cultura e di molteplici interessi. Nato a Glachau, in Sassonia, nel 1494, studia a Lipsia, Bologna, Venezia. Nel 1527 comincia a esercitare

medicina a Joachimstal (in Boemia), una zona che era allora una delle maggiori aree minerarie d'Europa. Borgomastro di Chemnitz, incaricato di varie missioni politiche presso l'imperatore Carlo e il re Ferdinando d'Austria, godette della stima di Erasmo e di Melantone. Il *De ortu et causis subterraneorum* e il *De natura fossilium* sono fra i primi trattati sistematici di geologia e di mineralogia. Il *De re metallica* pubblicato nel 1556, un anno dopo la morte del suo autore, restò per due secoli l'opera fondamentale di arte mineraria. Nel Potosì, che fornì oro e argento a tutta Europa, l'opera di Agricola sarà considerata una specie di Bibbia e fu attaccata agli altari delle chiese in modo che i minatori abbinassero la risoluzione di un problema tecnico a un atto di devozione. I dodici libri del trattato si occupano di tutti i processi dell'estrazione e della fusione e trattamento dei metalli: dell'individuazione delle vene e della loro direzione, delle macchine e degli strumenti, dell'amministrazione, dell'assaggio dell'oro, delle fornaci. Ma nel libro è anche presente la consapevolezza di una seria crisi della cultura che nasce da un distacco dalle cose e da una degenerazione del linguaggio. «Io non ho scritto cosa niuna la quale non habbia veduta o letta o con accuratissima diligenza esaminata quando che da altrui mi sia stata raccontata»: su questa base egli critica severamente la voluta oscurità linguistica e la arbitrarietà terminologica degli alchimisti i cui libri sono «tutti scuri», perché quegli scrittori designano le cose con nomi «istрани et trovati di lor capo et chi l'uno et chi l'altro se n'è finto d'una stessa cosa».

Nel *De re metallica* Agricola difende infine l'arte dei metalli dall'accusa di essere «indegna e vile» nei confronti delle arti liberali. Per molti essa si configura come un lavoro servile «vergognoso e disonesto per l'uomo libero cioè per il gentiluomo honesto e honorevole». Ma il «metalliere», per Agricola, dovrà essere esperto nella individuazione dei terreni, delle vene, delle varie specie di pietre, gemme e metalli. Gli saranno necessarie la filosofia, la medicina, l'arte delle misure, l'architettura, l'arte del disegno, la legge e il diritto. Il lavoro dei tecnici non può andare disgiunto da quello degli scienziati. A chi, per sostenere la tesi opposta, si fonda sulla contrapposizione liberi-servi, Agricola risponde che anche l'agricoltura fu praticata un tempo dagli schiavi, che all'architettura contribuirono servi, che non pochi illustri medici furono schiavi.

Nei *Mechanicorum libri* di Guidobaldo del Monte (1545-1607) pubblicati a Pesaro nel 1577 troviamo, fondata su argomenti non dissimili, questa stessa appassionata difesa: in molte parti d'Italia «si suole dire ad altrui mechanico per ischernò et villania, et alcuni per essere chia-

mati ingegneri si prendono sdegno». Il termine meccanico indica invece un «uomo di alto affare, che sappia con le mani e col senno mandare ad esecuzione opere meravigliose». Archimede fu principalmente un meccanico. L'essere meccanico o ingegnere «è officio da persona degna et signorile, et mechanico è voce greca significante cosa fatta con artificio et in generale comprende ciascun edificio, ordigno, strumento, argano, mangano ovvero ingegno maestrevolmente ritrovato et lavorato in quab si voglia scienza, arte et esercitio» (1581, Ai lettori).

Nel suo commento a Vitruvio (1556), Daniele Barbaro si era posto con molta chiarezza un problema: «Perché i pratici non hanno acquistato credito? perciòché l'architettura nasce da discorso. Perché i letterati? perciòché l'architettura nasce da fabrica... A essere architetto, che è un'artificiosa generatione, si ricerca il discorso e la fabrica unitamente» (1556, 57). L'unione effettiva di *discorso* e di *fabrica*, di *speculazione* e *manifattura* presentava in realtà problemi non indifferenti. Della loro importanza si rese per esempio perfettamente conto un ingegnere come Bonaiuto Lorini che prestò servizio come ingegnere militare presso Cosimo dei Medici e presso la Repubblica di Venezia. In una pagina del suo trattato *Delle fortificationi* (1597) affronta il problema del rapporto fra il lavoro del «puro matematico speculativo» e quello del «meccanico pratico». Il matematico lavora con linee, superfici e corpi «immaginari et separati dalla materia». Le sue dimostrazioni «non rispondono così esquisitamente quando alle cose materiali si applicano» perché la materia con la quale opera il meccanico porta sempre con sé «impedimenti». Il giudizio e l'abilità del meccanico consiste nel saper prevedere le difficoltà e i problemi derivanti dalla diversità delle materie con le quali si deve operare. Su questo problema dei rapporti fra le «imperfezioni della materia» e le «purissime dimostrazioni matematiche» si apriranno i *Discorsi intorno a due nuove scienze* di Galilei.

Una caratteristica mescolanza di modelli idealizzati e di considerazioni «fisiche», un richiamo insistente e diretto ad Archimede caratterizzano le ricerche di Simon Stevin (1548-1620), latinizzato in Stevinus, nato a Bruges e morto all'Aja. I suoi contemporanei furono sbalorditi da un carro a vele che egli costruì per il divertimento del principe d'Orange ed esibì sulla spiaggia di Scheveningen. Stevin scrive di aritmetica e geometria, si occupa di fortificazioni, progetta e costruisce macchine e mulini ad acqua, pubblica tavole per il calcolo degli interessi, si occupa nello scritto *De Thiende* (Il decimo, 1585) della notazione delle frazioni decimali e nell'opera *De Havenvinding* (1599) della determinazione della longitudine. Ritiene

che l'olandese sia una delle più antiche lingue del mondo ed abbia pregi di concisione sconosciuti ad altre lingue. Si rivolge, sempre con grande cura per la chiarezza, ad un pubblico di artigiani. Per entrambe queste ragioni pubblica i suoi scritti in volgare. I tre libri dei *Beghinselen der Weeghconst* (Elementi dell'arte del pesare) pubblicati nel 1586, si richiamano nel titolo alla medioevale *scientia de ponderibus*. Tradotti in latino negli *Hypomnemata mathematica* (1605-1608), apparvero, nel 1634, anche in traduzione francese.

[...]

5. *La dignità delle arti meccaniche*

Alla discussione sulle arti meccaniche, che raggiunse una straordinaria intensità fra la metà del Cinquecento e la metà del Settecento, sono legati alcuni grandi temi della cultura europea. Nelle opere degli artisti e degli sperimentatori, nei trattati degli ingegneri e dei tecnici si fa strada una nuova considerazione del lavoro, della funzione del sapere tecnico, del significato che hanno i processi artificiali di alterazione e trasformazione della natura. Anche sul piano della filosofia emerge lentamente una valutazione delle *arti* assai diversa da quella tradizionale: alcuni dei procedimenti dei quali fanno uso tecnici e artigiani per modificare la natura giovano alla conoscenza della realtà naturale, valgono anzi a mostrare (come verrà detto in esplicita polemica con le filosofie tradizionali) la «natura in movimento».

La difesa delle arti meccaniche dalla accusa di «indegnità», il rifiuto di far coincidere l'orizzonte della cultura con quello delle arti liberali e le operazioni pratiche con il lavoro servile, implicavano in realtà l'abbandono di un'antica immagine della scienza: come disinteressata contemplazione della verità, come ricerca che nasce solo *dopo* che si sono apprestate le cose necessarie alla vita. Quest'ultima è una tesi aristotelica. Alla polemica contro gli aristotelici si unisce spesso l'altra, largamente diffusa entro la letteratura tecnica, rivolta contro ogni forma di sapienza occulta e segreta, contro l'antichissima concezione sacerdotale del sapere. Gli uomini che operavano nelle officine, negli arsenali, nelle botteghe giunsero a teorizzare fini e scopi del loro lavoro. A differenza degli artigiani e dei meccanici dell'antichità e del Medioevo, i tecnici e gli ingegneri della nascente età moderna scrissero e pubblicarono libri, tentarono di misurarsi polemicamente con la tradizione, contrapposero il loro tipo di sapere e di approccio alla realtà naturale a quelli teorizzati e praticati nelle università.

Nell'avvertimento ai lettori, premesso ai suoi *Discours admirables*, pubblicati a Parigi nel 1580, Bernard Palissy, il celebre ceramista francese, inveiva contro i professori della Sorbona e si poneva una domanda caratteristica: è possibile che un uomo possa giungere alla conoscenza degli effetti naturali senza aver letto libri scritti in latino? Palissy era un apprendista vetraio che, cercando il segreto dello smalto bianco da applicare alle ceramiche, era giunto alla celebrità e poi sull'orlo della rovina. Nella sua vita avventurosa aveva progettato numerose macchine che non riuscì mai ad eseguire; aveva rischiato più volte di morire di fame e di essere condannato a morte. Morì alla Bastiglia nel 1589 o 1590. Alla domanda che si era posto Palissy rispondeva affermativamente: la pratica può mostrare che le dottrine dei filosofi (anche i più antichi e rinomati) possono essere false in più punti: il laboratorio e museo di storia naturale che Palissy ha costruito può insegnare più filosofia di quanta non se ne possa apprendere dalla lettura degli antichi filosofi. Palissy non era un uomo colto, era un artigiano che aveva letto Vitruvio e qualche trattato di Paracelso e di Cardano. In lui troviamo, portata fino alle estreme conseguenze, la tesi che il libro della natura sia straordinariamente più complesso di qualsiasi altro libro.

Robert Norman (fl. ca. 1560-1596) è un marinaio inglese che, dopo circa vent'anni trascorsi in mare, si dedica alla costruzione e al commercio delle bussole. Un anno dopo la pubblicazione dei *Discours* di Palissy, pubblica a Londra (nel 1581) un volumetto intitolato *The new attractive, containing a short discourse of the Magnes or Lode-stone*, un testo sul magnetismo e la declinazione dell'ago magnetico che verrà utilizzato da William Gilbert. Norman qualifica se stesso un «matematico non istruito» che ha raccolto una grandissima quantità di informazioni nel corso della sua professione. Ha deciso di rischiare il suo buon nome e di sfidare le calunnie degli avversari per proporre alla considerazione del mondo i risultati del suo lavoro. Intende operare per la gloria di Dio e il vantaggio dell'Inghilterra. Il lettore dovrà tener sempre presente che egli è un semplice marinaio, incapace di «sostenere una disputa con i logici» o di dare una spiegazione soddisfacente delle cause del magnetismo terrestre. Nonostante la sua cautela e il suo atteggiamento di rispetto verso la cultura dei dotti, Norman ha anche il senso di un'opposizione di fondo fra le sue ricerche e quelle degli «uomini di liberi» che non mostrano di apprezzare il lavoro dei meccanici. Stando in mezzo ai loro libri, costoro elaborano concetti molto raffinati e vorrebbero che tutti i meccanici fossero costretti a consegnare a loro tutte le loro

conoscenze e i loro concetti, ma per fortuna, conclude Norman, «esistono in questo paese molti meccanici che conoscono alla perfezione l'uso delle loro arti e sono in grado di applicarle ai loro diversi scopi altrettanto efficacemente di coloro che vorrebbero condannarli».

Idee di questo tipo penetrano rapidamente anche nel mondo dei dotti. In un filosofo come Juan Luis Vives (1492-1540), amico di Erasmo e di Tommaso Moro, precettore alla corte inglese, uomo di raffinata cultura che scrive per il pubblico degli umanisti, troviamo espressi con minore ingenuità, ma con altrettanta energia questi stessi concetti. Nel *De tradendis disciplinis* (1531) Vives invita gli studiosi europei a porgere seria attenzione ai problemi relativi alle macchine, alla tessitura, all'agricoltura, alla navigazione. Vincendo il suo tradizionale disdegno, l'uomo di lettere deve entrare nelle officine e nelle fattorie, porre domande agli artigiani, cercare di rendersi conto dei dettagli del loro lavoro. La scienza della natura, scriveva nel *De causis corruptarum artium* (1531), non è monopolio dei filosofi e dei dialettici. Meglio di essi la conoscono i meccanici che non si sono mai costruiti entità immaginarie come le eccità o le formalità.

A livelli culturali differenti e con differenti intenzioni, Palissy, Norman, Vives danno dunque espressione all'esigenza di un sapere nel quale l'attenzione per le opere e la ricerca empirica fossero preminenti rispetto alle evasioni retoriche, alla logica come puro gioco intellettuale. Questa stessa esigenza (come vedremo) sarà presente in uno dei grandi testi della nuova scienza: il *De corporis humani fabrica* (1543) di Andrea Vesalio. Vesalio prenderà in essa energicamente posizione contro la figura di un medico il cui sapere si risolve in parole e di un sezionatore abbassato al rango di macellaio.

I testi ora ricordati risalgono ai cinquantennio compreso fra il 1530 e il 1580. Negli scritti di un artigiano parigino, di un marinaio inglese, di un filosofo spagnolo, di uno scienziato fiammingo legato alla tradizione culturale italiana sono presenti temi comuni: i procedimenti degli artigiani, degli artisti, degli ingegneri hanno valore ai fini del progresso del sapere. Ad essi va riconosciuta la dignità di fatti culturali. Per aver chiaro il significato di queste prese di posizione gioverà rendersi conto che esse non sono affatto rivolte solo contro il passato o la tradizione. Per molti secoli il disprezzo che si prova per chi esercita attività manuali era stato «trasferito» a quell'attività che era apparsa ultima nella scala dei valori sociali ed esclusa da quelli culturali. Questi concetti sono vivi fino in pieno Seicento e oltre. L'ingegnere diventerà un eroe positivo solo nell'Ottocento. Per persuadersene basta pensare allo

scandalo dei Gesuiti francesi di fronte alle troppe voci di argomento tecnico presenti nell'*Encyclopédie* di Diderot o aprire il *Dictionnaire français* del Richelet (1680) alla voce *mécanique*: «questo termine significa ciò che è contrario a liberale e onorevole, ha significato di basso, villano, poco degno di una persona onesta». Il giurista Charles Loyseau dava espressione a convinzioni diffuse quando affermava, nel 1613, che «viene comunemente chiamato meccanico ciò che è vile e abietto».

6. *Le origini dell'idea di progresso*

L'appello alla natura e all'esperienza, l'insistenza sulla necessità delle osservazioni, la valutazione dell'efficacia delle astrazioni non implicano affatto, in quanto tali, l'adesione all'immagine di una scienza che abbia carattere pubblico, che sia fondata sulla collaborazione e sulla pubblicità dei risultati: che sia cioè costituita da una serie di contributi individuali, organizzati nella forma di un discorso sistematico, offerti in vista di risultati che possano essere (almeno potenzialmente) patrimonio di tutti.

L'immagine moderna della scienza alla quale ci si è ora riferiti gioca un ruolo decisivo e determinante nella formazione dell'idea di progresso. Essa implica infatti: 1) la convinzione che il sapere scientifico sia qualcosa che aumenta e che cresce, che si attua mediante un processo al quale danno il loro contributo, l'una dopo l'altra, differenti generazioni; 2) la convinzione che questo processo non sia mai, in una qualunque delle sue tappe, completo: cioè non più bisognoso di successive aggiunte o revisioni o integrazioni; 3) infine la convinzione che si dia in qualche modo una tradizione scientifica entro la quale si collocano i contributi degli individui. Se è vero che l'immagine moderna della scienza ha un ruolo essenziale nella formazione dell'idea di progresso, è altrettanto vero che l'idea di progresso non è marginale, ma costitutiva dell'immagine moderna della scienza. Dai primi anni del Seicento fino ad oltre la seconda metà dell'Ottocento, l'idea di una crescita, di un avanzamento del sapere accompagna tutti i vari e differenti programmi scientifici, ne costituisce, per così dire, lo sfondo comune.

Negli scritti degli artisti e degli sperimentatori del Quattrocento e poi nei trattati di ingegneria mineraria, di arte della navigazione, di balistica, di arte delle fortificazioni del secolo successivo, si fa strada non solo (come abbiamo visto) una nuova considerazione del lavoro manuale e della funzione culturale delle arti meccaniche, ma si afferma anche l'immagine alla quale ci si è sopra riferiti della scienza come costruzione progressiva e come una se-

rie di risultati che si collocano, l'uno dopo l'altro, a un livello di complessità o di «perfezione» sempre maggiore.

Anche da questo punto di vista il sapere dei tecnici si costruisce come una grande alternativa storica al sapere dei maghi e all'ideale di sapienza che è caratteristico della tradizione ermetica. Al mondo inteso dal mago come unità e continuità, all'immagine magica dell'universo come una grande catena sembra corrispondere una visione della storia come realtà unitaria, continua e ripetitiva. Dal punto di vista della natura come un Tutto unitario e della storia umana come una Totalità unitaria, i sapienti hanno sempre continuato ad affermare, nel corso dei millenni, quelle stesse verità che a pochi è stato concesso di attingere. La verità non emerge dalla storia e dai tempo: è la perenne rivelazione di un *logos* eterno. La storia è un tessuto solo apparentemente vario: in essa è presente una sola immutabile *sapientia*.

Nelle opere dei meccanici questa prospettiva appare rovesciata. Le arti meccaniche – scrive Agostino Ramelli nella prefazione alle *Diverse et artificiose macchine* (1588) – nacquero dai bisogni e dalla fatica dei primi uomini impegnati a difendere la loro vita in un ambiente ostile. Il loro successivo sviluppo non assomiglia al moto impetuoso dei venti che sommergono le navi nel mare e poi indeboliscono fino a svanire. Assomiglia invece al corso dei fiumi che nascono piccoli e arrivano al mare grandi e poderosi e arricchiti dalle acque dei loro affluenti. Nella dedica premessa al *Trattato sulle proporzioni del corpo umano* (1528) Dürer aveva chiarito le ragioni per le quali, pur non essendo uno studioso, aveva osato affrontare un tema così alto. Ha deciso di pubblicare il libro, rischiando la maldicenza, per il pubblico beneficio di tutti gli artisti e per indurre altri a fare lo stesso «in modo che i nostri successori possano avere qualcosa da perfezionare e da far progredire». Il chirurgo parigino Ambroise Paré (1510-1599), ignaro di latino e autodidatta, invisato alla Facoltà, afferma che non bisogna riposare sulle fatiche degli antichi «perché ci sono più cose da trovare di quante se ne siano finora trovate... e perché le arti non sono mai così perfette che non si possano fare ad esse delle aggiunte».

Filosofi come Bacon, Descartes, Boyle porteranno al livello della consapevolezza filosofica – inserendole in contesti teorici di grande rilievo – idee che erano nate in ambienti non filosofici, ambienti considerati con ostilità, quando addirittura non con disprezzo, dalla cultura che si esprimeva nelle università.

7. Storia della natura e storia delle arti

Va certo abbandonata l'immagine positivista di Bacone come «fondatore della scienza moderna». Ma resta del tutto vero che egli si rende interprete di alcune esigenze fondamentali della cultura del suo tempo e porta a livello filosofico temi e idee che si erano andati affermando ai margini della scienza ufficiale, in quel mondo di tecnici, costruttori, ingegneri dei quali avevano fatto parte uomini come Biringuccio e Agricola. La valutazione baconiana delle arti meccaniche è fondata su tre punti: 1) esse servono a rivelare i processi della natura, sono una forma di conoscenza; 2) le arti meccaniche crescono su sé medesime, sono, a differenza di tutte le altre forme del sapere tradizionale, un sapere progressivo, e crescono così velocemente «che i desideri degli uomini vengono a mancare prima ancora che esse abbiano raggiunto la perfezione»; 3) nelle arti meccaniche, a differenza che nelle altre forme della cultura, vige la collaborazione, esse sono una forma di sapere collettivo: «in esse confluiscono gli impegni di molti, mentre nelle arti liberali gli ingegni di molti si sottoposero a quello di una sola persona e i seguaci, per lo più, lo depravarono invece di farlo progredire».

Il progetto di una *storia meccanica* o storia delle arti fu per la prima volta formulato nell'*Advancement of learning* del 1605 e poi ripreso, con ampiezza maggiore, nella *Parasceve ad historiam naturalem et experimentalem* (pubblicata nel 1620 in appendice al *Novum Organum*) e, infine, nel *De dignitate et augmentis scientiarum* del 1623. La storia della natura va congiunta (questa l'idea centrale) alla storia degli esperimenti compiuti dall'uomo sulla natura. La storia delle arti è da collocare fra i *desiderata* della nuova enciclopedia delle scienze. Nelle scarse trattazioni esistenti «sono stati trascurati e respinti gli esperimenti familiari e volgari che invece servono all'interpretazione della natura quanto quelli già noti». Sembra che la cultura subsca un disonore «se gli uomini dotti si abbassano alla considerazione delle cose meccaniche». E invece la storia delle arti potrà rivelarsi come una fiaccola luminosa atta a favorire l'indagine sulle cause delle cose». Nell'ultimo periodo della sua vita, Bacone subordinò al progetto di una storia della natura e delle arti il progetto stesso della sua nuova logica.

I metodi, i procedimenti, le operazioni, il linguaggio delle arti meccaniche si sono affermati e perfezionati al di fuori della scienza ufficiale. L'avanzamento del sapere e il progresso delle condizioni di vita dell'uomo sulla terra richiedono per Bacone che il sapere dei tecnici venga inserito nel campo (ad esso precluso da una millenaria tradizione) della scienza e della filosofia naturale. Quei metodi, quei procedimenti, quei linguaggi devono diventare og-

getto di riflessione e di studio. Non si tratta di pregiudizi di singoli intellettuali: le accademie, le società scientifiche, i sovrani devono porsi alla testa di questo moto di rinnovamento. Solo per questa via la *experientia erratica* dei meccanici, lo sparso insieme di ricerche o di osservazioni degli artigiani, le quotidiane fatiche di coloro che trasformano la natura mediante l'opera delle mani potranno essere sottratte al caso e alle ambiguità della magia, dar luogo a un grandioso e sistematico corpus di conoscenze.

Anche nell'opera di Descartes riscontriamo del tutto abbandonata l'antica condanna delle arti meccaniche. Nel testo delle *Regulae ad directionem ingenii* (composto fra il 1619 e il 1628) troviamo presente l'affermazione che il nuovo metodo imita quello delle arti meccaniche che dicono esse medesime in qual modo si debbono fabbricare i loro strumenti. Il riferimento ai «mestieri dei nostri artigiani» ricompare anche nella sesta parte del *Discours*, là ove Cartesio auspica l'invenzione di un'infinità di artifici capaci di trasformare la vita e si richiama alla tesi baconiana di una «filosofia pratica» capace di rendere l'uomo quasi padrone e possessore della natura.

Alla realizzazione del grandioso progetto di Bacone lavorarono in Inghilterra, dopo il 1640, diversi gruppi di intellettuali. Uno di questi gruppi, che ha fra i suoi *leaders* Robert Boyle, nacque dall'incontro dei futuri membri dei *Philosophical College*. Da questi incontri che si effettuarono in un secondo tempo ad Oxford prese vita, nel 1660, la Royal Society che ebbe fra i suoi primi progetti quelli di compilare fedeli resoconti di tutte le opere della natura e dell'arte e di studiare gli esperimenti effettuati nell'ambito di tutte le arti manuali (*manual trades*). A tutti i membri della Società si richiedeva «un modo di parlare discreto, nudo, naturale; sensi chiari; la capacità di portare tutte le cose il più vicino possibile alla chiarezza della matematica; una preferenza per il linguaggio degli artigiani, dei contadini, dei mercanti piuttosto che per quello dei filosofi». I *virtuosi* inglesi del Seicento sono l'espressione di una società che vede rapidamente aumentare il suo benessere a causa dei rapidi miglioramenti della tecnica. Nel progetto di un *gymnasium mechanicum* avanzato da William Petty nel 1648 ritroviamo presenti tutti gli elementi che caratterizzano la nascente *filosofia sperimentale*: la polemica contro la cultura libresca; la riaffermazione della inscindibilità fra scienza e tecnica; il progetto di una completa storia delle arti; la speranza in una meravigliosa fioritura di nuove scoperte.

Il libro della natura, l'officina degli artigiani, la sala anatomica vennero più volte contrapposte da Robert Boyle (1627-1691) alle biblioteche, agli studi dei letterati e

degli umanisti, alle ricerche puramente teoriche: la sua polemica sfiora in più casi una sorta di primitivismo scientifico. Nelle *Considerations touching the usefulness of experimental natural philosophy* (1671), Boyle dà forma coerente e compiuta agli interessi e alle aspirazioni dei gruppi baconiani. Gli esperimenti compiuti dai virtuosi nei loro laboratori hanno notevoli pregi di accuratezza, ma negli esperimenti compiuti dagli artigiani nelle loro officine, il difetto di una minore accuratezza è compensato da una maggiore diligenza. Il quarto dei saggi che compongono le *Considerations* ha un titolo molto significativo: «i beni dell'umanità possono essere grandemente accresciuti dall'interesse dei filosofi naturali per i mestieri».

L'idea, già presente in Bacone, di una luce portata alle teorie dal lavoro dei meccanici è espressa con molta chiarezza, in riferimento all'opera di Galilei e di Harvey, da Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). In uno scritto che tradisce fino dal titolo una precisa ispirazione baconiana (gli *Initia et specimina scientiae novae generalis pro instauratione et augmentis scientiarum ad publicam felicitatem*) Leibniz afferma che i progressi realizzati nelle arti meccaniche sono ancora in gran parte ignorati dagli uomini colti. Da un lato i tecnici sono all'oscuro degli usi che possono essere fatti dei loro esperimenti, dall'altro gli scienziati e i teorici ignorano che molti loro *desiderata* potrebbero essere soddisfatti dal lavoro dei meccanici. Il programma di una storia delle arti veniva ripreso con maggiore ampiezza nel *Discours touchant la méthode de la certitude et l'art d'inventer*: le conoscenze non scritte e non codificate, disperse fra gli uomini che svolgono attività tecniche di varia natura superano di gran lunga, per quantità e per importanza, tutto ciò che si trova scritto nei libri. La parte migliore del tesoro di cui dispone la specie umana non è stata ancora registrata. Non esiste d'altra parte un'arte meccanica tanto *méprisable* che non possa offrire osservazioni e materiali di primaria importanza per la scienza. Ci occorre un vero e proprio *teatro della vita umana* ricavato dalla pratica degli uomini perché se una sola delle arti andasse smarrita a ciò non potrebbero rimediare tutte le nostre biblioteche. Il *mettere per iscritto* i procedimenti degli artigiani e dei tecnici apparve a Leibniz uno dei compiti più urgenti della nuova cultura.

Nelle pagine premesse da Jean d'Alembert (1717-1783) alla grande *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des mestiers* (1751) è presente la consapevolezza che quella grande impresa portava a compimento un programma che aveva origini storiche precise. Nella enciclopedia di William Chambers, scriveva d'Alembert,

abbiamo trovato per quanto riguarda le arti liberali una parola dove occorrevano molte pagine, ma abbiamo trovato tutto da fare di nuovo nelle arti meccaniche. Chambers ha solo letto dei libri, non ha mai visto degli artigiani e vi sono cose che si imparano solo nelle officine. Nei *Prospectus* del 1750, Denis Diderot (1713-1784) aveva espresso la stessa esigenza di cogliere dal vivo quei metodi di lavoro: «Ci si è rivolti ai più abili operai di Parigi e dell'intera Francia, ci si è presi la briga di andare nelle loro officine, di interrogarli, di scrivere sotto la loro dettatura, di sviluppare i loro pensieri, di trarre i termini propri della loro professione, di compilarne delle tavole, di definirli...». Nella voce *Art*, Diderot rilevava i cattivi effetti derivanti dalla tradizionale distinzione delle arti in liberali e meccaniche. Ne è nato il pregiudizio che «il volgersi agli oggetti sensibili e materiali» costituisca «una deroga alla dignità dello spirito». Ma questo pregiudizio, continuava, «ha riempito le città di orgogliosi ragionatori e di contemplatori inutili e le campagne di piccoli tiranni ignoranti, oziosi e disdegnosi». La polemica in difesa delle arti meccaniche si saldava al grande tema della eguaglianza politica.

8. *La tecnica, il progresso, la salvezza*

La cultura del tardo illuminismo e del positivismo (Condorcet, Saint-Simon, Comte) trasformerà la nozione baconiana dell'*advancement of learning* o della crescita del sapere in una vera e propria teoria del progresso. In quel contesto: il progresso si configura come un ordine provvidenziale immanente alla storia, come una vera e propria legge storica; il progresso della scienza e della tecnica viene identificato con il progresso morale e politico e si tende a far dipendere il secondo dal primo; si tende infine a vedere nella competizione o nella «lotta» un elemento costitutivo del progresso (Spencer, darwinismo sociale). Proiettare la *nostra* immagine del progresso sui cosiddetti padri fondatori della scienza moderna conduce a risultati molto discutibili. Tutte le affermazioni sopra elencate sono completamente estranee al mondo culturale al quale, in questo capitolo, si è fatto riferimento.

La crescita del sapere appare ai grandi esponenti della cultura del Seicento qualcosa di provvisorio che la storia futura può cancellare o smentire. Quando elenca le «ragioni di speranza» che si possono nutrire per il rifiorire delle scienze e il rinnovamento debba vita umana, Bacone ritiene sia opportuno adottare una regola caratteristica della politica: diffidare per principio e sopporre sempre il peggio. Quando elenca in sette aforismi i motivi che pos-

sono spingere gli uomini a sperare in un futuro migliore, li qualifica come «le ragioni che debbono preservarci dalla disperazione». Per quanto concerne il futuro, la sua conclusione assomiglia più a quella di un esploratore che a quella di un assertore del progresso come portato inevitabile della storia: anche «se dal nuovo continente spirasse un'aura di speranza molto più debole, abbiamo deciso che la prova va egualmente tentata, se non vogliamo essere vili».

Bacone è stato presentato innumerevoli volte come l'entusiasta assertore della tecnica o, addirittura, come il padre spirituale del «tecnicismo neutro» che caratterizzerebbe tutta la cultura moderna. È vero esattamente il contrario. Esistono nella letteratura del Seicento ben poche pagine sul carattere ambiguo della tecnica che possano essere paragonate a quelle scritte dal Lord Cancelliere nell'interpretazione (che risale al 1609) del mito di *Daedalus sive mechanicus*. La figura di Dedalo è quella di un uomo ingegnoso ma esecrabile. Il suo nome è soprattutto celebrato per le «illecite invenzioni»: la macchina che permise a Pasife di accoppiarsi con un toro e di generare il Minotauro divoratore di giovani; il Labirinto escogitato per nascondere il Minotauro e per «proteggere il male con il male». Dal mito di Dedalo si ricavano conclusioni di carattere generale: le arti meccaniche generano aiuti per la vita e, insieme, «strumenti di vizio e di morte». Il sapere tecnico, agli occhi di Bacon, ha questo di caratteristico: mentre si pone come possibile produttore del male e del negativo, offre, insieme e congiuntamente a quel negativo, la possibilità di una diagnosi del male e di un rimedio al male. Dedalo costruì anche «rimedi per i delitti». Fu autore dell'ingegnoso espediente del filo capace di sciogliere i meandri del Labirinto: «Colui il quale ideò i meandri del Labirinto, ha mostrato anche la necessità del filo. Le arti meccaniche sono infatti di uso ambiguo e possono nel contempo produrre il male e offrire un rimedio al male» (*Scritti*, 1975, 482-83).

Per gli esponenti della rivoluzione scientifica la restaurazione del potere umano sulla natura, l'avanzamento del sapere hanno valore solo se realizzati in un più ampio contesto che concerne la religione, la morale, la politica. La «teocrazia universale» di Tommaso Campanella, la «carità» di Francis Bacon, il «cristianesimo universale» di Leibniz, la «pace universale» di Comenio non sono separabili dai loro interessi e dai loro entusiasmi per la nuova scienza. Costituiscono altrettanti ambiti entro i quali il sapere scientifico e tecnico deve operare per funzionare come strumento di riscatto e di liberazione. Per Bacon e per Boyle, come per Galilei, Descartes, Keplero, Leibniz e

Newton la volontà umana e il desiderio di dominio non costituiscono il principio più alto. La natura è, contemporaneamente, oggetto di dominio e di reverenza. Essa va «torturata» e piegata a servizio dell'uomo, ma essa è anche «il libro di Dio» che va letto in spirito di umiltà.

9. *Tecnici e teorici nella rivoluzione scientifica*

Sul rapporto fra tecnica e scienza, fra il sapere degli artigiani e degli ingegneri e quello dei teorici, in relazione alla cosiddetta rivoluzione scientifica, si è discusso moltissimo. Non è affatto vero (come ha sottolineato con forza Alexandre Koyré) che la teoria conduca direttamente alla pratica, né che la pratica generi direttamente la teoria. Non furono gli arpenodapti egiziani, che dovevano misurare i campi della valle del Nilo, a inventare la geometria, ma i Greci che non dovevano misurare nulla. Non furono i bisogni della navigazione, del computo ecclesiastico a incitare Copernico a rovesciare l'ordine delle sfere celesti e a porre il Sole al centro dell'universo. L'apparizione del cannone non provocò la nascita della nuova dinamica e la fisica di Galilei non è un epifenomeno dell'arsenale dei Veneziani.

L'immagine del nuovo scienziato del Seicento come «una sorta di ibrido fra il vecchio filosofo naturale e l'artigiano» è senza dubbio troppo facile. Ed è vero che Copernico, Vesalio e Descartes non erano certo più simili a un artigiano di quanto non lo fossero Tolomeo, Galeno, Aristotele. Ma è anche vero che Descartes fa riferimento alle arti meccaniche in modo molto diverso da Aristotele e che Vesalio scrisse pagine famose sui danni derivanti alla medicina dalla separazione fra il lavoro delle mani e l'elaborazione delle teorie.

Relativamente a questo problema andranno tenute presenti due considerazioni: 1) non serve molto teorizzare, in generale, sul carattere *attivo* della funzione esercitata dai teorici e sul carattere *passivo* di quella esercitata dagli artigiani; non ha infatti molto senso far riferimento alla «scienza» come ad una realtà unitaria e mettere sullo stesso piano l'astronomia che possiede da molti secoli una struttura teorica altamente organizzata e la chimica dello stesso periodo storico, che non ha alle spalle una tradizione chiaramente definita e nel cui ambito, agli inizi del mondo moderno, le conoscenze dei tecnici sono enormemente più avanzate di quelle dei filosofi naturali; 2) resta indubbio che i grandi progressi della tecnica empirica non solo attirarono l'attenzione degli scienziati e dei filosofi naturali ma li condussero ad accettare, come elemento fondamentale e costitutivo della loro immagine

della scienza, quella volontà di sottomissione della natura agli scopi dell'uomo che era stata una delle caratteristiche della magia e che si era fatta strada con forza nell'opera dei meccanici e degli empirici del Cinquecento.

Siamo troppo abituati all'esistenza di manuali specializzati dedicati a ogni possibile tipo di arte e di tecnica per renderci conto di quanto sia stata complicata e difficile la strada che condusse alla loro emergenza nella storia. Portare alla luce tutto ciò che Leibniz aveva chiamato «l'esperienza non registrata» del genere umano: in questa sua impresa Diderot si sentì un nuovo Socrate. Figlio di un coltellinaio egli fu, da questo punto di vista, veramente l'erede non solo di Bacone, di Galilei, di Cartesio, ma anche di quei «meccanici» come Biringuccio, Agricola, Norman e Palissy che avevano grandemente contribuito, due secoli prima, a mettere in crisi una veneranda immagine della scienza che risaliva alla Grecia.

COSE PRIMA MAI VISTE

Paolo Rossi

1. *La riscoperta degli antichi e il senso del nuovo*

All'interno della secolare tradizione dell'ermetismo e della *prisca theologia* il tema dei «guardare al passato» costituisce un motivo centrale: la storia dell'uomo non è un'evoluzione da primitive origini animali alla civiltà; il passato si configura come un valore rispetto al presente e ogni progresso appare come un «ritorno». Da una mitica età dell'oro si passa a successive età di bronzo e di ferro. La ricerca della verità coincide con il tentativo di recuperare quel remoto oro che è sepolto nel tempo. I seguaci dell'ermetismo accettano le tesi sostenute da Lattanzio, da Clemente Alessandrino, da Eusebio nella loro polemica contro la filosofia dei pagani e vedono in una serie di testi dell'età ellenistica (gli *Hermetica*, gli *Inni orfici*, gli *Oracula sybillina*, i *Carmina aurea*) l'espressione «sacra» di una remotissima antichità, che ha caratteri indeterminati e che è di poco anteriore o di poco posteriore al diluvio universale.

Leonardo Bruni (1374-1444), Guarino Veronese (1374-1460), Giannozzo Manetti (1396-1459), Lorenzo Valla (1407-1457): anche gli esponenti della cultura umanistica guardano al passato. Leggere Cicerone, Ovidio, Virgilio, vuoi dire fare ritorno a una civiltà che è superiore a quella nella quale ad essi è toccato in sorte di vivere e che costituisce l'irraggiungibile modello di ogni forma di convivenza umana. Ma a differenza dei maghi, dei seguaci dell'ermetismo, dei cultori della *prisca theologia*, gli umanisti fanno riferimento a un mondo storico preciso, che è collocabile nel tempo, del quale è possibile studiare, con l'ausilio di una raffinata filologia, l'inconfondibile fisionomia, con il quale ci si può misurare in una sorta di gara o di contesa. Gli umanisti non furono passivi ripetitori e fu presente, nei loro scritti, una costante polemica non solo contro la «barbarie» degli Scolastici, ma anche contro i pericoli della ripetizione e del classicismo. La contrapposizione della *aemulatio* alla *imitatio* divenne il grido di battaglia di molti intellettuali europei da Angelo Poliziano (1454-1494) a Erasmo da Rotterdam (1469-1536). Nella cultura umanistica è in realtà presente un forte contrasto fra la «venerazione per gli antichi» (che conduce al classicismo) e una difesa della eguaglianza dei «moderni» che

anticipa alcune delle tesi avanzate, nel corso del Seicento, nella disputa sugli antichi e sui moderni. Ma i testi riscoperti dagli Umanisti, nel corso del loro grandioso ed esaltante lavoro di ritrovamento, di raccolta, di commento, non si configuravano come semplici documenti. Quegli antichi testi contengono conoscenza: sono direttamente utili alla scienza e alla sua pratica. La diffusione di edizioni fatte direttamente sugli originali greci, di traduzioni non più fondate (come nel Medioevo) su traduzioni arabe di opere greche, ebbe effetti decisivi (che sono stati ampiamente studiati) sugli sviluppi del sapere scientifico. Fra le grandi edizioni basterà ricordare: quelle del testo greco di Euclide (Basilea, 1533) e la traduzione latina di Federico Commandino (1509-1575) (Pesaro, 1572); del testo greco di Archimede (Basilea, 1544) e la traduzione latina del Commandino (Venezia, 1558); delle traduzioni, sempre del Commandino, delle *Coniche* di Apollonio e dell'opera di Pappo (Bologna, 1566, Pesaro, 1588); l'edizione dell'*Almagesto* di Tolomeo (Basilea, 1538) e delle traduzioni della *Geografia* (un testo praticamente sconosciuto nel Medioevo). Alla prima traduzione dal greco in latino di scritti ippocratici (Roma, 1525) fecero seguito le edizioni greche del 1526 (Venezia) e del 1538 (Basilea). L'enorme massa degli scritti di Galeno (per lo più tradotti dall'arabo nel Medioevo, con l'interpolazione di molti scritti apocrifi) fu accuratamente ordinata e integrata dalla riscoperta di trattati sconosciuti in Occidente. La prima raccolta latina di scritti galenici è del 1490 (Venezia); l'edizione dei testi greci del 1525 (Venezia) seguita da quelle curate da Joachim Camerarius e da Leonhart Fuchs (Basilea, 1538).

Nell'opera di molti umanisti la filologia si configura come uno strumento di indagine capace di liberare dagli errori, come il tentativo di liberare il rigoroso discorso dei grandi esponenti della scienza antica dalle «adulterazioni» della Scolastica. Il dialogo con Euclide, Ippocrate, Galeno, Tolomeo deve farsi diretto. I loro scritti (per usare un'espressione del Commandino) devono essere liberati «dalle tenebre e dalla squallidezza». Fra la *riscoperta degli antichi* e il *senso del nuovo* che caratterizzano la cultura del cosiddetto Rinascimento (che è termine di significato ambiguo) esiste un complicato rapporto. A intendere il quale gioverà non dimenticare che gli esponenti maggiori della scienza del Seicento assumono, nei confronti dell'antichità, un atteggiamento che è sostanzialmente diverso da quello degli esponenti della cultura umanistica. Nel momento stesso in cui fanno ricorso ai testi dell'antichità, Bacone e Cartesio negano il carattere esemplare della civiltà classica. Non respingono solo la pedante

imitazione e la passiva ripetizione. Anche quel colloquio, quella gara, quella *aemulatio* sulla quale avevano insistito i migliori fra gli Umanisti, appare ad essi qualcosa che non ha più senso. Il terreno stesso di una «contesa» con gli antichi viene rifiutato con decisione: quando si impiega troppo tempo nel viaggiare, afferma Cartesio, si diventa alla fine stranieri nel proprio paese, allo stesso modo «chi è troppo curioso delle cose del passato diventa, per lo più, molto ignorante delle presenti». Lo spirito degli uomini che vissero nell'antica Grecia appare a Bacone «angusto e limitato». Se noi seguissimo la loro via, non riusciremmo certo ad imitarli: «Se dichiarassi di potervi offrire qualcosa di meglio degli antichi, dopo essere entrato nella loro stessa via, non potremmo evitare che si stabilisca un confronto o una sfida circa il merito e le capacità, ma ricordatevi che la questione concerne la via da seguire e non le forze, e che sosteniamo qui non la parte dei giudici, ma quella delle guide».

La *imitatio* sembra non avere altra giustificazione che la pigrizia degli uomini, si fonda sul bisogno, che in essi è presente, di delegare ad altri le loro capacità razionali. Nel 1647 Blaise Pascal (1623-1662) ha ancora l'impressione che non si possano proporre impunemente idee nuove, perché il rispetto per l'antichità «è giunto a un punto tale che tutte le sue opinioni sono prese per oracoli e persino le oscurità ne sono considerate come misteri». Ma anche la *aemulatio* non ha più senso. Avendo a disposizione soltanto gli occhi, gli antichi non potevano spiegare la Via Lattea diversamente da come fecero. Il fatto che conosciamo oggi la natura più di quanto essi la conoscevano, ci consente di «adottare nuovi pareri senza ingiuria e senza ingratitudine». Per questo, «senza contraddirli, possiamo affermare il contrario di ciò che essi dicevano». Nelle pagine di Bacone, di Cartesio, di Galilei l'impresa scientifica si configura come un'avventura intellettuale che implica la capacità di guardare il mondo senza più bisogno di «guide»: «Ci è bisogno di scorta nei paesi incogniti e selvaggi, ma nei luoghi aperti e piani i ciechi solamente hanno bisogno di guida; e chi è tale, è bene che si resti in casa, ma chi ha gli occhi nella fronte e nella mente, di quelli si ha da servire per scorta». Addurre tanti testimoni – scriverà ancora Galilei – «non serve a niente, perché noi non abbiamo mai negato che molti abbiano scritto o creduto tal cosa, ma si bene abbiamo detto tal cosa essere falsa».

Anche la scoperta di nuove terre e l'allargamento dei confini del mondo avevano dato modo di «sperimentare» la limitatezza delle dottrine degli antichi. Si fa sempre più chiaro il concetto che la filosofia e la scienza degli antichi non sono raccolte di verità eterne, ma sono invece prodot-

ti storici, legati a un tempo e a un luogo determinati, valide e soddisfacenti e pienamente legittime *allora*, ma non più valide, né soddisfacenti, né legittime *oggi*, in una situazione che pone differenti domande ed esige risposte differenti. Sarebbe vergognoso per gli uomini, troviamo scritto nel *Novum Organum* (1620) di Francesco Bacone, se «dopo aver svelato e illustrato l'aspetto del globo materiale, cioè delle terre, dei mari, degli astri, i confini del globo intellettuale restassero limitati entro i ristretti confini delle scoperte degli antichi» (I, 48). A dare il senso della limitatezza delle verità scoperte dagli antichi contribuirà non poco anche la nuova astronomia. Allargando oltremisura i confini dell'universo, giungendo addirittura, in alcuni casi, all'affermazione di un universo infinito, dette a molti la sensazione precisa della fine di tutte le tradizionali vedute e considerazioni dei cosmo. Ci accorgiamo che non sappiamo nulla «che non sia o non possa essere dibattuto», scriveva Pierre Borel nel 1657 in un volume dedicato alle nuove scoperte astronomiche: l'astronomia, la fisica, la medicina «vacillano ogni giorno e vedono crollare i loro stessi fondamenti». Pietro Ramo ha distrutto la filosofia di Aristotele, Copernico l'astronomia di Tolomeo, Paracelso la medicina di Galeno: «siamo costretti ad ammettere che ciò che sappiamo è molto meno di quanto ignoriamo» (Borel 1657, 3-4).

L'esistenza di una grandiosa svolta del sapere, capace di suscitare negli animi esaltazione o entusiasmo o, come più spesso accade, stupore, smarrimento e senso di una irrimediabile crisi, viene confermata da innumerevoli documenti, così come viene confermata di continuo la necessità di un sapere che sappia far fronte alle molteplici novità presenti nel sapere e nella storia, che corrisponda alle nuove dimensioni dell'universo geografico e astronomico, a un'immagine nuova della natura. Non è evidente, scriverà John Dryden (1631-1700), che «nel corso di quest'ultimo secolo ci è stata rivelata una nuova natura?». Il suo contemporaneo Giuseppe Valletta (1636-1714), difensore della filosofia dei «moderni» e dell'eredità di Cartesio, aveva anch'egli (come molti intellettuali del tempo) la sensazione del legame profondo che doveva sussistere fra le nuove scoperte e la nuova filosofia: «essendosi scoperte nuove stelle, nuovi pianeti et fenomeni, piante, circolazione di sangue e tante altre cose, et quasi un mondo nuovo, par ch'egli era d'uopo di nuove filosofie per investigarle, non bastando le antiche» (1732, Pref.). Era un tema che aveva attraversato tutta la cultura europea. Lo ritroviamo, espresso con gli stessi accenti, in un testo della metà del Cinquecento: oggi sono conosciute molte cose che gli antichi avevano ignorato: «nuovi mari, nuove ter-

re, nuovi tipi d'uomini, di abitudini, leggi, costumi, nuove erbe, alberi, minerali, nuove invenzioni» (Le Roy 1567, 8-9). *Novum Organum* di Bacone, *Nova de universis philosophia* di Francesco Patrizi (1591), *De mundo nostro sublunari philosophia nova* di William Gilbert (1651), *Astronomia nova* di Keplero (1609), *Discorsi intorno a due nuove scienze* di Galilei (1638), *Novo teatro di machine* di Vittorio Zonca (1607): il termine *novus* ricorre, in modo quasi ossessivo, nel titolo di centinaia di libri scientifici pubblicati nel corso del Seicento.

2. I libri

Siamo così abituati a quell'attività individuale, che avviene nel silenzio e nell'isolamento, della lettura dei libri, che ci è difficile renderci conto che l'oggetto familiare che abbiamo tra le mani sia potuto apparire come una novità sconvolgente, qualcosa che non solo diffondeva in modo prima non immaginabile le idee e il sapere, ma che sostituiva la lettura, prima prevalentemente collettiva ed effettuata probabilmente a voce alta, di testi privi di punteggiatura. L'arte della stampa, la polvere da sparo, la bussola. Troviamo spesso accostate queste tre «invenzioni meccaniche». Esse danno l'impressione, vivissima nella *Città del Sole* di Campanella (1602), di una serie di conquiste che coincide con un accelerarsi della storia: «v'è più historia in cent'anni che non ebbe il mondo in quattromila; e più libri si fecero in questi cento che in cinquemila; e l'invenzioni stupende della calamita e stampe ed archibugi, gran segni dell'union del mondo» (1941, 109). Quelle tre invenzioni, scrive Bacone nel 1620, «hanno cambiato la faccia del mondo e le condizioni di vita sulla Terra». Da esse derivarono infiniti mutamenti «tanto che nessun impero, nessuna setta, nessuna stella sembra aver esercitato sulle cose umane un maggior influsso e una maggior efficacia» (Bacon 1975, 635-636).

Non c'era alcuna sopravvalutazione. Perché la fusione, in una tecnologia completamente nuova, di tecniche differenti (la manifattura della carta e dell'inchiostro, la metallurgia e la fusione dei caratteri mobili, le tecniche della stampa) introduceva in Europa, con tre secoli di anticipo, quella «teoria delle parti intercambiabili» che è alla base delle moderne tecniche della manifattura (Steinberg 1962). Hans o Johann Gutenberg (1400 ca.-1468) iniziò a stampare libri a Magonza (l'edizione della Bibbia è del 1456) con una tecnica che, pienamente sviluppata nel Cinquecento, resterà immutata fino all'Ottocento (e che viene tuttora utilizzata). Alcuni dati sono assai significativi. Nel 1480 lavoravano presse tipografiche in più di 110

città europee, delle quali 50 in Italia, 30 in Germania, 8 rispettivamente in Olanda e in Spagna, 5 in Belgio e in Svizzera, 4 in Inghilterra, 2 in Boemia e 1 in Polonia. Solo vent'anni dopo, nel 1500, il numero delle città dove sono presenti tipografie è diventato 286. L. Febvre e H.J. Martin hanno calcolato che entro il 1500 siano state stampate 35.000 edizioni di 10-15.000 testi differenti e che almeno 20 milioni di copie fossero in circolazione. Nel corso del Seicento erano in circolazione 200 milioni di copie.

Le edizioni di Aldo Manuzio (1447-1516), di piccolo formato, sono state non ingiustamente paragonate ai *paperback* del nostro tempo. Venezia divenne, accanto a Parigi e Lione, uno dei grandi centri dell'editoria. Alla fine del Cinquecento si tengono a Lione, Medina del Campo, Lipsia e Francoforte le prime fiere internazionali del libro. Un'edizione variava dalle 300 alle 3000 copie, ma la media delle copie per edizione era circa 1000.

La diffusione delle idee, l'avanzamento del sapere implicavano un forte impiego di capitali e una buona dose di rischio per gli imprenditori. Quando era stato elaborato nella cella del monaco e nello studio dell'umanista il sapere non aveva suscitato questo tipo di problemi.

3. *Un modo nuovo di guardare: la scienza e le illustrazioni*

Come ha rilevato una volta Erwin Panofsky (che pubblicò nel 1945 una grande monografia su Albrecht Dürer) la rigorosa descrizione della realtà naturale che è presente nell'opera dei grandi pittori e incisori dal tardo Quattrocento al Seicento ha, per le scienze descrittive, la stessa importanza che ha (per l'astronomia e le scienze della vita) l'invenzione del telescopio e del microscopio. Le illustrazioni dei libri di botanica, anatomia, zoologia non sono semplici integrazioni al testo. La insufficienza delle descrizioni verbali dipendeva anche dall'assenza di un linguaggio tecnico (che viene raggiunto dalla botanica solo nel corso dell'Ottocento). La collaborazione degli «artisti» ebbe, nella scienze descrittive, effetti rivoluzionari.

Per questo, più che sui cosiddetti temi «filosofici» del pensiero di Leonardo da Vinci (1452-1519) nel quale vengono ripetuti motivi largamente diffusi, o sulla sua «fisica» dalla vaga e incostante terminologia, vale la pena di richiamarsi alle sue osservazioni sulla visione e sulla pittura, alla sua tendenza a «voler rendere visibile tutto» che è stata contrapposta all'atteggiamento di Leon Battista Alberti (1404-1472) che traduce in parole, valendosi della sua prosa latina di umanista raffinato, ogni concetto «strutturale» o «plastico». Molti dei suoi disegni di rocce,

piante, animali, nuvole, moti di acque e di arie sono atti di conoscenza scientifica della realtà naturale. Nei suoi disegni anatomici è stato rilevato un progresso notevole fra il periodo precedente e quello successivo al 1506, che coincide con una lettura del *De usu partium* di Galeno e con l'inizio di una più frequente pratica di dissezioni. L'anatomia comparata dei vertebrati, il volo degli uccelli, l'ottica fisiologica: sono tre temi ai quali Leonardo si appassionò per molti anni e sui quali esistono disegni innumerevoli. Centinaia di studi e di disegni sull'anatomia del cavallo sono legati ai progetti del monumento al Duca di Milano (iniziato nel 1483) e alla grande tavola della battaglia di Anghiari (iniziata nel 1503). Ma la curiosità di Leonardo oltrepassa di molto il livello al quale si arrestavano scultori e pittori interessati alla conoscenza dell'anatomia artistica o dei muscoli superficiali. Egli fu un osservatore metodico e sistematico e a questo suo atteggiamento è legata la sua tesi della superiorità *dell'occhio* sulla *mente*, dell'osservazione attenta del mondo reale sui libri e sulle scritture. Qui è il suo limite (tante volte e giustamente sottolineato da chi si è opposto all'immagine mitica di Leonardo «scienziato moderno») ed è anche la sua irripetibile grandezza: «Avete messo la pittura infra l'arti meccaniche; certo, se i pittori fussino atti a laudare collo scrivere l'opera loro come voi, io dubito non giacerebbe in sì vil cognome; se voi la chiamate meccanica, perché è prima manuale ché le mani figurano quel che tenevano nella fantasia, voi scrittori disegniate colla penna manualmente quello che nello ingegno vostro si truova».

I disegni di Leonardo restarono sconosciuti. Al 1461 risale il primo esemplare di xilografia impiegato per illustrare libri stampati con caratteri mobili, Il passaggio dalle xilografie alle incisioni (fra le più celebri quelle di Dürer) e alle acqueforti (Rembrandt è uno dei grandi artisti che si serve di questa tecnica) conduce a un progressivo raffinamento delle illustrazioni. Il primo testo illustrato di anatomia è il commento all'*Anatomia* di Mondino de' Luzzi (professore a Bologna fra il 1315 e il 1318) pubblicato a Bologna nel 1521 da Giacomo Berengario da Carpi (1460 ca.-1530) al quale fanno seguito, nel 1523, le *Isagoges breves in anatomiam*. Fra i moltissimi testi è soprattutto da ricordare il *De dissectione partium corporis humani* (1545) di Charles Estienne (Stephanus Riverius, 1504-1564). Ma le grandi bellissime tavole anatomiche, disegnate per il *De humani corporis fabrica* di Andrea Vesalio (1514-1564) superano per precisione e accuratezza ogni precedente esempio di raffigurazione anatomica e sono diventate, non ingiustamente, il simbolo di una svolta radicale nei metodi di osservazione della realtà. Sono attri-

buite dal Vasari a Jan Stephan van Calcar (1499 ca.-1550) e provengono comunque dalla Scuola del Tiziano. Basta confrontarle con gli approssimativi disegni anatomici dei manoscritti medievali per rendersi conto che nel modo di guardare e rappresentare il corpo umano si è verificato un salto qualitativo. E diventato un luogo comune sottolineare una coincidenza di date: il 1543 è l'anno in cui Copernico presenta la sua nuova immagine dell'universo e Vesalio offre agli uomini un ritratto nuovo del loro corpo. Vesalio, che era nato a Bruxelles da una famiglia di medici, aveva studiato a Lovanio e a Parigi, viaggiato in Italia e soggiornato a Venezia, nel 1537 era stato chiamato a insegnare anatomia a Padova e aveva successivamente tenuto lezioni a Bologna. Nel 1538 aveva pubblicato le sei tavole anatomiche, note come *Tabulae sex*. Nel 1543 era andato di persona a Basilea a sorvegliare la stampa della *Fabrica* e dell'*Epitome* (pubblicata anch'essa quell'anno). Quando vide la luce il suo capolavoro aveva solo ventotto anni: «non mi nascondo – scrive nella *Prefazione* – che il mio tentativo, a causa della mia età, sarà poco autorevole e non rimarrà senza critiche per la frequente denuncia di assiomi galenici non rispondenti al vero... a meno che l'opera non esca protetta dal patrocinio di un qualche nume». Il nume protettore era l'imperatore Carlo V, al quale il libro era dedicato e che nominerà Vesalio medico imperiale.

Vesalio segue Galeno nel piano delle sezioni che compongono l'opera, nell'interpretazione della nutrizione, nell'affermazione della maggiore importanza del sistema venoso rispetto all'arterioso. Pensa anche, con Galeno, che le vene traggano origine dal fegato. Ma, anche nella *Prefazione*, prende energicamente le distanze dalla tradizione affermando che Galeno «non si accorse di nessuna delle molteplici e sostanziali differenze fra il corpo delle scimmie e quello dell'uomo, ad eccezione del diverso modo di flettersi delle dita e dei garretti»; che egli, nei corso di una sola dimostrazione anatomica «errò più di duecento volte nella descrizione corretta delle parti, dell'armonia, dell'uso e della funzione del corpo umano». I medici, così come in altri campi i seguaci di Aristotele, ne sono grandemente turbati, «controllano con occhio severo e con grande desiderio di difenderlo le parti più minute sezionate». Tuttavia sono anche guidati dall'amore per la verità, accade spesso che «a poco a poco si ammansiscano» e finiscano per attribuire «ai loro propri occhi e ai loro criteri non inefficaci più fede che agli scritti di Galeno». Le tavole che illustrano il testo non servono ad allontanare dalla realtà, ma ad avvicinarla, non sostituiscono la pratica della dissezione, ma esortano ad essa.

I molti interpreti contemporanei che hanno insistito sul «galenismo» di Vesalio non solo hanno avuto la tendenza a trascurare queste affermazioni, ma anche a non dar conto delle veemenze degli attacchi ai quali fu sottoposta la *Fabrica* da parte dei difensori dell'ortodossia galenica. Jacques Dubois (Jacobus Sylvius, 1478-1555), antico maestro di Vesalio a Parigi, diventerà il suo principale avversario e nemico, lo chiamerà di continuo (con un pesante gioco di parole) *Vesanus* (folle o delirante) accusandolo di aver avvelenato con la sua opera il mondo della medicina. Nel momento in cui affermava con energia la necessità di una piena saldatura fra la medicina clinica e la dissezione (e la chirurgia), polemizzava con forza contro una medicina ridotta a cultura libresco, lottava per la convergenza, nella medicina, della teoria e dell'osservazione diretta, Vesalio proponeva in realtà una nuova immagine del medico, del professore di medicina e del rapporto che intercorre, nelle scienze «sperimentali», fra il lavoro delle mani e l'opera dell'intelletto. Il «disprezzo per l'opera della mano» gli appare una delle ragioni della degenerazione della medicina, I medici si sono limitati alla prescrizione dei farmaci e delle diete e hanno abbandonato il resto della medicina a coloro che «essi chiamano chirurghi e considerano appena come schiavi». Quando tutto il procedimento dell'operazione manuale fu affidato ai barbieri «non solo andò perduta per i medici la conoscenza dei visceri, ma venne completamente meno l'abilità settoria». I medici non si arrischiavano ad operare, mentre quelli cui quest'incarico era affidato erano troppo ignoranti per leggere gli scritti dei dottori. Si è in tal modo fatta strada una consuetudine detestabile: uno esegue il sezionamento, un altro descrive le parti. Quest'ultimo «gracchia dall'alto di una cattedra con rara presunzione» e ripete fino alla monotonia cose che non ha osservato direttamente, ma ha imparato a memoria dai libri: ogni cosa viene insegnata male e «in quella confusione sono presentate agli studenti meno cose di quelle che un macellaio dal suo bancone potrebbe insegnare a un medico» (Vesalio). Nel 1555 venne pubblicata, con alcune piccole correzioni, la seconda edizione della *Fabrica*. Nominato medico di Filippo II di Spagna, Vesalio rinunciò alla sua carica nel 1562. Morì due anni più tardi, di fame e di sete, dopo un naufragio che avvenne durante il ritorno da un pellegrinaggio a Gerusalemme. Era diretto a Padova, ove era stato nuovamente chiamato ad insegnare dal Senato Veneto.

Nove anni dopo la pubblicazione del *De Fabrica*, Bartolomeo Eustachio (1510?-1574) nato a Sanseverino nelle Marche e medico a Roma e autore di *Opuscola anatomica* (1563) fece preparare una serie di bellissime incisioni in

rame di anatomia umana. Furono però pubblicate (e poi più volte ristampate) solo nel 1714 a cura dell'anatomista Gian Maria Lancisi (1654-1720).

Il grande libro di Vesalio, così come le incisioni di Eustachio, erano anche la manifestazione della collaborazione, che andrà facendosi sempre più stretta, tra l'opera degli scienziati naturali e quella degli artisti disegnatori e incisori. Le tecniche illustrative ed anche le forme di questa non sempre facile collaborazione, relativamente all'ingegneria, zoologia, anatomia, botanica sono state analiticamente studiate ed è stato molte volte sottolineato lo straordinario e rapido passaggio (che si verifica nel corso del Cinquecento) dalle illustrazioni che hanno per oggetto il testo e sono interamente costruite su di esso a quelle che hanno per oggetto la natura. I due grandi libri tedeschi che segnano l'inizio degli erbari moderni sono: le *Herbarum vivae icones* (1530-1536) di Otto Brunfels (1488-1534) illustrate da Hans Weiditz; il *De historia stirpium* (1542) di Leonhart Fuchs (1501-1566). In entrambi i casi la novità è da vedere più nelle illustrazioni che nei testi che si muovono su un piano abbastanza tradizionale. E ciò, entro certi limiti, vale anche per l'opera di Vesalio. Si è impiegata la massima cura, scrive Fuchs nella prefazione, «affinché ogni pianta venisse rappresentata con le sue radici, steli, foglie, fiori, semi, frutti; si è pertanto deliberatamente evitato di modificare la forma naturale delle piante mediante ombre o altre cose non necessarie con le quali gli artisti cercano talvolta di raggiungere la fama». Almeno in questo caso, fu esercitata una qualche forma di sorveglianza: «non abbiamo permesso agli artisti di indulgere ai loro capricci, in modo tale da impedire che le riproduzioni non corrispondano esattamente alla realtà». In cambio di queste mancate concessioni, Fuchs fu largo di pubblici riconoscimenti: accanto a quello dell'autore, sono presenti nell'opera i ritratti degli incisori (uno dei quali è Albrecht Meyer) e dello stampatore. Di tanta accuratezza si serviranno abbondantemente, sino alla fine del Settecento ed oltre, non pochi autori di libri di botanica.

I due primi giardini botanici universitari furono istituiti a Padova e a Pisa intorno al 1544. Accanto all'aula di anatomia, gli «orti» diventano, nei primi decenni del Seicento, elementi necessari alla rispettabilità di una Università. All'origine dell'insegnamento e della ricerca nella botanica italiana sta la figura di Luca Ghini (1490-1556). Ma gli erbari del Cinquecento furono numerosi in ogni nazione. Fra gli autori principali: in Germania, Joachim Kammermeister o Camerarius (1534-1594); nei Paesi Bassi, Cristophe Plantin (1514-1588), Rembert Dodoens

o Dodonaeus (1516-1585), Charles de l'Ecluse o Clusius (1526-1609); in Svizzera, Gaspard e Jean Bauhin (1560-1624. 1541-1613); in Francia Jean Ruel (1479-1537); in Inghilterra William Turner (1510-1568); in Italia, Pietro Andrea Mattioli (1501-1577), Prospero Alpino (1553-1617).

Assai meno numerose sono le opere enciclopediche di argomento zoologico. Fra le storie «speciali» di animali sono soprattutto da ricordare (anche per le illustrazioni) *La nature et diversité des poissons* (1555) e *L'histoire de la nature des oyseaux* (1555) di Pierre Belon (1517-1564); il *De piscibus marinis* (1554) di Gufflaume Rondelet (1507-1566) e lo splendido trattato *Dell'anatomia et dell'infinità del cavallo* del senatore bolognese Carlo Ruini (1530-1598). Sul terreno delle opere generali il maggior monumento della cultura del Cinquecento (accanto all'opera di Ulisse Aldrovandi) è la *Historia animalium* dello zurighese Konrad Gesner (1516-1565) che ebbe breve vita, ma fu medico e umanista e si occupò (e pubblicò libri) di botanica, di linguistica, di Alpi e di alpinismo. A ventinove anni, nel 1545, aveva pubblicato una *Bibliotheca universalis* che era una bibliografia dei libri pubblicati a stampa in latino, greco, ebraico. I cinque volumi in folio dell'opera maggiore ai quali vanno aggiunti i tre volumi di *Icones* furono pubblicati fra il 1551 e il 1558 (il quinto uscì postumo nel 1587). Comprendono circa 4.500 pagine e più di mille incisioni in legno, opera di artisti di Zurigo. La celebre immagine del rinoceronte è ricavata da Albrecht Dürer ed è costruita su materiale di seconda mano. In quell'illustrazione (che servirà di modello a tutte le illustrazioni del rinoceronte fino a tutto il Settecento) opera la suggestione di ciò che Dürer sapeva del più celebre fra gli animali «esotici»: il drago coperto da squame. Al corno sul naso, Dürer aveva aggiunto un piccolo corno spirali-forme, molto dietro le orecchie, nella regione delle vertebre cervicali (che scomparirà dalle illustrazioni solo nel 1698).

Gesner ignora l'anatomia comparata. La classificazione degli animali è alfabetica (l'*Hippopotamos* è collocato fra l'*Hippocampus* e la *Hirudo* o sanguisuga). Ogni animale è descritto in capitoli spesso molto ampi (al cavallo sono dedicate 176 pagine in folio, all'elefante 33) suddivisi in sezioni (designate da una lettera). Nelle varie sezioni si tratta rispettivamente del nome dell'animale, nelle varie lingue antiche e moderne, del suo habitat e morfologia, delle malattie, dei comportamenti, dell'utilità e allevamento, della commestibilità (ove possibile), dell'utilità per la medicina, dell'etimologia e dei proverbi.

Nella sua tesi sulle «illustrazioni» e sui «limiti della so-

miglianza al vero», Ernst Gombrich ha certamente ragione: una rappresentazione già esistente «eserciterà sempre il suo ascendente sull'artista anche quando questi vuole fissare il vero» e «non si può creare dal nulla un'immagine visiva». E tuttavia, com'egli stesso ha sottolineato e come risulta da un confronto fra le immagini di un leone e di un porcospino tracciate dall'architetto gotico Villard de Honnecourt e quella di un coniglio dipinto ad acquarello da Dürer, nel periodo di tempo compreso fra il Trecento e il Cinquecento è accaduto qualcosa di decisivo. Lo «stile» ha perso la sua rigidità, ha «imparato ad adeguarsi con sufficiente scioltezza» ai soggetti che cadono sotto lo sguardo (cfr. Gombrich 1965, 102-103). Questo mutamento ha avuto, anche sugli sviluppi del sapere scientifico, effetti non secondari.

4. *La «certezza che è data dagli occhi»: nuove stelle*

Nel 1609 Galileo Galilei (1564-1642) puntava verso il cielo il cannocchiale e iniziava una serie di osservazioni che verranno rese pubbliche in un piccolo libro, il *Sidereus Nuncius*, che vide la luce a Venezia, il 12 di marzo dell'anno seguente. Il cannocchiale era nato negli ambienti dell'artigianato olandese. Galileo l'aveva ricostruito e l'aveva presentato a Venezia nell'agosto del 1609 per farne poi «libero dono» al governo della Signoria. Nonostante che Galilei affermasse poi di aver ritrovato il cannocchiale «per via di discorso», è stato ormai a sufficienza dimostrato che egli disponeva, in quel giro d'anni, di una scarsa preparazione ottica. Ciò che invece va sottolineato, perché segna una rivoluzione nell'atteggiamento dello scienziato, è la *fiducia* galileiana in uno strumento nato nell'ambiente dei meccanici, progredito solo per pratica, parzialmente accolto negli ambienti militari, ma ignorato, quando non disprezzato, dalla scienza ufficiale. Il cannocchiale non è per Galileo uno dei tanti strumenti curiosi costruiti per il diletto degli uomini di corte o per l'immediata utilità degli uomini d'arme. Egli lo impiega e lo volge verso il cielo con spirito metodico e con mentalità scientifica, lo «sperimenta centomila volte e in centomila altri oggetti», fa «centinaia di migliaia di esperienze in mille e mille oggetti, et vicini e lontani, e grandi e piccoli, e lucidi e oscuri».

In una lettera del gennaio 1610, indirizzata a Belisario Vinta, ministro del Granduca di Toscana, troviamo, esplicitamente presente, la consapevolezza del carattere rivoluzionario delle scoperte realizzate mediante il cannocchiale: «Io mi trovo al presente in Venezia per far stampare alcune osservazioni le quali col mezzo di un mio occhiale ho fatte ne i corpi celesti; e sì come sono d'infinito stu-

pore, così infinitamente rendo grazie a Dio, che si sia compiaciuto di far me solo primo osservatore di cose ammirando e tenute a tutti i secoli occulte». Quelle osservazioni davano in realtà un colpo mortale alla distinzione qualitativa fra corpi celesti e corpi terrestri che era uno dei pilastri fondamentali del sistema aristotelico-tolemaico. Galileo *vede* che la superficie della Luna «non è affatto liscia uniforme e di sfericità esattissima, come di essa e degli altri corpi celesti una numerosa schiera di filosofi ha ritenuto, ma al contrario disuguale, scabra, ripiena di cavità e di sporgenze, non altrimenti che la faccia stessa della Terra la quale si differenzia qua per catene di monti, là per profondità di valli».

I confini fra le tenebre e la luce si rivelano ineguali e sinuosi, nella parte tenebrosa della Luna appaiono punte lucenti che, trascorso un certo tempo, si congiungono con la parte luminosa. Sulla Terra non accade lo stesso? le cime più alte dei monti non sono illuminate dalla luce dell'aurora, mentre l'ombra occupa le pianure? e, sorto il Sole, le illuminazioni delle pianure e dei monti non finiscono per congiungersi? Il paesaggio lunare è dunque *un paesaggio terrestre*. La Terra ha caratteristiche che *non sono uniche* nell'universo. I corpi celesti, almeno nel caso della Luna, non hanno una differente natura, non posseggono cioè quei caratteri di assoluta perfezione che una millenaria tradizione ha loro attribuito. E le stelle sono enormemente più numerose di quelle che appaiono alla «vista naturale». Il cannocchiale mostra un cielo popolato di astri innumerevoli, rivela la complicata struttura delle costellazioni già note, mostra la natura della Via Lattea: «quello che fu da noi in terzo luogo osservato è l'essenza, ossia la materia della Via Lattea che, in virtù del cannocchiale, è dato scrutare tanto sensibilmente da esserne risolte, con la certezza che è data dagli occhi, tutte le dispute che per tanti secoli tormentarono i filosofi, e noi liberati da verbose discussioni». L'osservazione della parte non luminosa della superficie lunare porta Galileo a concludere che lo splendore della Luna è dovuto alla riflessione della luce proveniente dalla Terra, che è a sua volta illuminata dal Sole. Fra le stelle fisse e i pianeti si rivela infine una sostanziale differenza. Le prime, osservate con il cannocchiale, conservano il loro aspetto di punti luminosi circondati da «raggi brillanti», non sembrano aumentare di grandezza, come invece accade per i pianeti che appaiono come globi rotondi e perfettamente delineati, simili a piccole lune. La distanza delle stelle fisse dalla Terra è dunque incomparabilmente più grande di quella che separa i pianeti dal globo terrestre.

In alcune pagine del *Sidereus Nuncius*, che danno an-

cor oggi al lettore il senso di trepidazione che sempre accompagna la visione di una realtà nuova, Galileo espone un'altra delle sue fondamentali scoperte. Nella notte del 7 gennaio egli ha osservato, accanto a Giove, tre piccole lucentissime stelle, due a oriente, una ad occidente del pianeta; la notte seguente esse si presentano in posizione diversa, sono tutte a occidente; il 10 due delle stelle sono a oriente, la terza è come nascosta dal pianeta; il 12 dopo due ore di osservazione Galileo assiste alla comparsa della terza stella, il 13 compaiono quattro stelle: sono le lune o i satelliti di Giove (oggi sono denominati Io, Europa, Ganimede, Callisto) che, in onore di Cosimo II de' Medici, Galileo denominò «stelle medicee».

Il carattere rivoluzionario delle scoperte galileiane non sfuggì alla coscienza dei contemporanei. In un poema dedicato al «principe dei matematici del nostro secolo», Johannes Faber affermava che Vespucci e Colombo, navigatori in mari prima sconosciuti, dovevano cedere il passo a Galileo che ha donato al genere umano nuove costellazioni. Il paragone con le grandi scoperte geografiche, con i viaggi nel Nuovo Mondo ritorna più volte. William Lower, in Inghilterra, scrive al suo amico Thomas Hariot che Galileo ha realizzato, con le sue scoperte, qualcosa di più importante di Magellano che pure ha aperto agli uomini vie prima inesplorate. Nel 1612, in un'opera dedicata alla descrizione del mondo intellettuale del suo tempo, Francesco Bacone si congratula «con l'industria dei meccanici, con lo zelo e l'energia di certi uomini dotti che, poco tempo addietro, con l'aiuto di nuovi strumenti ottici, come usando scialuppe e piccole barche, hanno cominciato a tentare nuovi commerci con i fenomeni del cielo». La loro impresa, continuava, va considerata «qualcosa di nobile e di degno della razza umana e quegli uomini, oltre che per il loro coraggio, sono da apprezzare per la loro onestà, perché, con candore e con chiarezza, hanno dato via via conto del modo in cui ad essi risultava ogni singolo punto della loro ricerca». L'entusiasmo per la novità dell'impresa, per l'apertura di vie non prima tentate, si congiungeva qui all'apprezzamento positivo del metodo galileiano, così rigorosamente sperimentale, così lontano da ogni costruzione superstiziosa e fantastica di mondi immaginari. Il Lord Cancelliere, anche se non accettò la cosmologia di Copernico, era un grande filosofo. Tale non era certo Sir Henri Wotton, che pure era uomo di vasta erudizione e di fine cultura, ambasciatore inglese a Venezia. Il giorno stesso della pubblicazione del *Sidereus Nuncius* spedisce il libro al suo Re, con la promessa di inviargli presto un cannocchiale e con parole che danno il senso preciso dello sconvolgimento che l'opera di Galileo

ha portato nei tradizionali quadri dell'universo: «Invio alla Maestà Vostra, con questa lettera, la più strana notizia che mai sia apparsa al mondo. Si tratta del libro qui allegato del professore di matematica di Padova... Costui ha rovesciato tutta l'astronomia e tutta l'astrologia... L'autore potrà o diventare oltremodo famoso, o rendersi oltremodo ridicolo».

Non mancarono infatti le polemiche aspre, i rifiuti tenaci, le ostinate manifestazioni d'incredulità. Esse provenivano soprattutto dagli ambienti della cultura accademica legata alle posizioni dell'aristotelismo. Il celebre Cremonini, amico e collega di Galileo a Padova, non crede che Galileo abbia visto qualcosa e protesta contro quegli «occhiali» che «imbalordiscono la testa» e rimprovera Galileo di essere entrato «in tutte queste girandole». A Bologna, l'astronomo Giovanni Antonio Magini assume un atteggiamento di ostilità e di malevolenza. Quando Galileo si reca a Bologna nell'aprile del 1610 per cercare di persuadere gli studiosi della verità delle sue scoperte, Martino Horki, che diventerà in seguito un avversario irruento, scrive al grande Keplero: «ho provato in mille modi questo strumento di Galilei, sia nelle cose inferiori che nelle superiori; nelle prime fa meraviglie, ma fallisce nel cielo perché le stelle fisse appaiono duplicate».

Più tardi giungeranno il riconoscimento autorevole e limpido di Keplero, e, dopo le prime iniziali diffidenze, l'adesione dei Gesuiti romani. Galilei aveva vinto, perché a convincere gli ultimi, irriducibili ostinati, a ridurre al silenzio quei professori che negavano le montagne sulla Luna o l'esistenza dei satelliti di Giove per ragioni logico-metafisiche, non sarebbe bastato com'egli scrisse più tardi, «il testimonio delle medesime stelle che scese in Terra parlassero di se stesse». La realtà dell'universo era stata ampliata dall'uso di uno strumento meccanico che era in grado di aiutare e perfezionare e raffinare i sensi dell'uomo. Le osservazioni astronomiche di Galileo non segnavano soltanto la fine di una visione del mondo. Sembrarono anche ai contemporanei l'atto di nascita di un nuovo concetto di esperienza e di verità. La «certezza data dagli occhi» aveva spezzato il cerchio senza fine delle dispute.

5. *Una grande varietà di creature in ogni piccola particella*

Nelle «macchine più piccole della natura» – scriveva il medico, filosofo e saggista Thomas Browne (1605-1682) – «c'è più curiosa matematica» che nei prodotti più maestosi della natura, come balene, elefanti, dromedari e cammelli (*Religio medici*, 1646, I, 20). Il fascino esercitato

dal piccolo *e* dall'infinitamente piccolo non fu certo minore, nel Seicento e nel Settecento, di quello esercitato dal grande, dalle sterminate distanze, dall'infinità dell'universo. La concezione della natura come un *plenum formarum*, come infinita gerarchia di forme, come una Scala dell'Essere piena e infinitamente graduata (che è una delle grandi idee-forza della cultura filosofica di questi due secoli), sembrava di per se stessa implicare l'esistenza di realtà minute e invisibili, di necessità sfuggenti alle limitate capacità dell'occhio umano. Se quei grandi principi metafisici erano validi, allora «il mondo dei microorganismi non era nulla più di ciò che ci si poteva aspettare». A Henry Power, che pubblica nel 1664 una *Experimental philosophy, containing new experiments microscopical, mercurial, magnetical* le «nuove scoperte della diottrica» suonano conferma della tesi che i corpi più piccoli che siamo in grado di vedere ad occhio nudo sono solo «i medi proporzionali» fra due estremi che sfuggono ai sensi. Anche l'idea che la natura sia spiegabile mediante un esame della sua struttura corpuscolare o particellare implica l'interesse per strumenti capaci di ampliare l'ambito di possibilità che la natura ha concesso ai sensi. Gli abitanti della Nuova Atlantide di Francesco Bacone (1627) possiedono aiuti per la vista migliori delle lenti e degli occhiali «per vedere distintamente e perfettamente i corpi più minuti, come le forme e i colori di piccoli insetti *e* vermi, la grana e la venatura delle gemme e le composizioni dell'urina *e* del sangue, altrimenti invisibili».

In questo caso, ponendo soprattutto mente all'ultima affermazione, l'araldo della nuova scienza non è certo in ritardo sui tempi perché le prime osservazioni al microscopio risalgono, come vedremo, agli anni 1625-1665. Non c'è, nella storia del microscopio e dei suoi rapporti con la scienza, nessuna data drammatica, paragonabile a quella del 1609 per il cannocchiale. Quest'ultimo, come è stato più volte notato, esercita la sua azione all'interno di una scienza già consolidata, che ha un'antica e salda tradizione. Il microscopio sta invece, in qualche modo, agli inizi di un lungo processo che conduce al costituirsi di nuove scienze. Istologia e microbiologia si affermeranno solo nel Settecento. Il nome *microscopium* è usato in una lettera scritta da Johannes Faber (il 13 aprile 1625) al principe Federico Cesi che, appena diciottenne, aveva stretto con tre giovani amici, nel 1603, quel patto scientifico che è all'origine dell'Accademia dei Lincei. Il primo volume «separato» di microscopia è la *Centuria observationum microscopscarum* (1655) di Pierre Borel (1620-1671).

Nei primi decenni del Seicento erano usati «occhialini»

tubolari con la lente a un estremo e l'oggetto posto, dall'altro lato, su una lastra di vetro. L'ingrandimento era di circa dieci diametri. Con strumenti di questo tipo lavorano i primi membri dell'Accademia dei Lincei (e il nome dell'Accademia fa riferimento alla nota acutezza di vista della lince): Federico Cesi (1585-1628), Francesco Stelluti (1579-1651), Fabio Colonna (1567-1650), Johannes Faber di Bamberg (1570-1650). Nel 1625, Federico Cesi aveva aggiunto al suo *Apiarum* una *Tavola dell'ape*, pubblicata nel *Persio tradotto* (Roma, 1630) di Stelluti (uno dei tre amici del patto). Con ogni probabilità è questa la prima illustrazione a stampa di oggetti visti con l'aiuto di un microscopio. Ciò che si vede in quella tavola, insiste con forza lo Stelluti, «era sconosciuto ad Aristotele e ad ogni altro naturalista». All'ape «in atto di camminare» si affiancavano nella tavola (contrassegnati da lettere) le «penne dell'ape», «l'occhio tutto peloso», la «lingua con le sue quattro linguette», le zampe viste dal lato interno e da quello esterno e così via. Nel 1644, a Palermo, Odierna studia l'occhio composto di varie specie di insetti. Due anni dopo, a Napoli, Fontana compie una serie di osservazioni sull'anguillula dell'aceto.

Alla generazione successiva appartengono i cosiddetti microscopisti classici: Robert Hooke (1635-1703), Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), Jan Swammerdam (1637-1680), Marcello Malpighi (1628-1694), Nehemiah Grew (1641-1712). Essi lavorano con strumenti capaci di ingrandire (sia pure con una mediocre risoluzione) fino a 100 diametri. Nel microscopio composto (del quale non fece uso Leeuwenhoek) le lenti erano poste all'estremità di tubi di cartone, il tubo dell'oculare era incastrato in quello dell'obiettivo e l'apparecchio veniva messo a fuoco facendo scorrere i tubi. I microscopi di questo tipo (costruiti in Italia da Campani) ebbero larga diffusione. Quello descritto da Hooke ha un dispositivo a vite per la messa a punto ed è costituito da un grosso corpo cilindrico: l'obiettivo è formato da una lente biconvessa regolata da un diaframma, mentre l'oculare è costituito da una lente piano-convessa e da una piccola lente biconvessa (lo specchio riflettente verrà introdotto solo intorno al 1720). Questi microscopi (così come le stupefacenti, piccolissime lenti di Leeuwenhoek) non si limitavano ad avvicinare e a ingrandire un mondo familiare (come nel caso delle api ingrandite dal Cesi). Si apriva allo sguardo un mondo nuovo e inaspettato di minerali e di tessuti organici strutturati secondo forme, un mondo popolato da invisibili esseri viventi.

Dobbiamo tornare per un momento al tema del significato e dell'importanza delle illustrazioni. Perché proprio

le bellissime incisioni del grande architetto Christopher Wren (1632-1723) che compaiono nella *Micrographia* di Hooke (1665), collocano quest'opera (esattamente com'era accaduto un secolo prima con quella di Vesalio) su un piano diverso da quelle dei suoi contemporanei. E fra i contemporanei c'era Marcello Malpighi, che è certamente assai più «biologo» di Hooke, e che nel 1661 aveva pubblicato il *De pulmonibus*. Le grandi possibilità offerte alla scienza dalle illustrazioni erano chiare da quasi un secolo e mezzo, ma la prima generazione dei microscopisti era rimasta quasi insensibile a questo tema. Le 32 splendide tavole della *Micrographia* (ancora utilizzate in manuali dell'Ottocento) rivelarono cosa poteva essere fatto su questo terreno.

Punte di aghi, pulci, mosche, formiche, pidocchi: più che oggetti non osservati da altri, Hooke descrisse con una precisione e un amore per il dettaglio non consueti ai suoi tempi ciò che vide attraverso il microscopio. L'involucro esterno dell'occhio della mosca è flessibile e trasparente e assomiglia alla sostanza della cornea di un occhio umano. Tolto via il bulbo e la sostanza scura e mucosa che vi è sotto «ho potuto vedere tale involucro trasparente come un sottile frammento di pelle, avente molte cavità all'interno, disposte nel medesimo ordine delle protuberanze esterne». Non c'è da dubitare che questo curioso apparato sia l'organo della vista per le mosche e i crostacei. Quest'organo «è fornito di cornea con un umore trasparente e con un'uvea o retina e la forma di ciascuno dei piccoli emisferi è perfettamente curva e liscia e assai brillante di luce viva e chiara quando l'animale è vivo, flaccida e raggrinzita quando l'animale è morto». Nel corso della diciottesima osservazione che è intitolata «Lo schematismo (che è termine baconiano) o tessuto del sughero e sulle cellule (*cells*) o pori di altri corpi porosi» viene impiegata per la prima volta, in analogia con le celle del favo delle api, il termine *cellula*. Ma non ha alcun senso, su questa base, attribuire ad Hooke la scoperta della cellula.

Hooke, che è uno scienziato baconiano, insiste a lungo sul tema dell'ampliamento del dominio dei sensi. Il cannocchiale ha aperto i cieli allo sguardo, ha rivelato «un vasto numero di stelle nuove e nuovi movimenti che erano completamente sconosciuti agli astronomi antichi». Allo stesso tempo, anche la Terra, un tempo familiare, ci sembra ora cosa nuova ed osserviamo in ogni sua particella di materia «una varietà di creature così grande come quelle che prima avremmo potuto contare nell'intero universo». I nuovi strumenti consentono sia di esaminare il mondo visibile, sia di scoprire mondi sconosciuti: ogni considere-

vole perfezionamento del telescopio e del microscopio «produce nuovi mondi e terre incognite per la nostra vista».

Nel corso di alcune sedute della Royal Society, nell'anno 1677, Hooke dette lettura di una lettera di diciassette pagine che era stata inviata quell'illustre accademia da Antony van Leeuwenhoek. Il suo autore non era un filosofo naturale e non apparteneva al mondo dei dotti. Impiegato in qualità di usciere presso il tribunale di Delft (una cittadina dell'Olanda meridionale) si era costruito da solo varie centinaia di piccolissime lenti biconvesse a breve lunghezza focale e piccole sfere di vetro fuso (di diametro inferiore a mm 2,5) che, inserite in una montatura metallica, funzionavano come microscopi semplici. Assistito dalla sua stupefacente abilità di ottico (una delle sue lenti si è rivelata in questo secolo superiore a qualsiasi altra lente semplice nota) e da una insaziabile curiosità, Leeuwenhoek compì osservazioni sugli spermatozoi e sui globuli rossi del sangue, individuò protozoi e batteri. Il moto degli animaletti presenti in una goccia d'acqua gli appaiono, nel settembre 1674, «veloci e meravigliosi a vedersi e penso che alcune di queste piccole creature siano circa mille volte più piccole che io abbia mai visto in una crosta di formaggio o in una muffa». Anche all'interno del corpo umano vivono piccoli animali. Nell'ottobre 1676 vengono descritti i protozoi: «è proprio come vedere, a occhio nudo, piccole anguille che si contorcono l'una contro l'altra e l'intera acqua sembra viva di questi vari animaletti; e questa è per me, di tutte le meraviglie che ho osservato in natura, la più meravigliosa di tutte».

6. *Piante, animali e uomini di un Mondo Nuovo*

«En las Indias todo es portentoso, todo es sorprendente, todo es distinto y en escala mayor que lo que existe en el Viejo Mundo». Anche Cristoforo Colombo (1451-1506) e Ferdinando Magellano (1480-1521) e gli altri innumerevoli viaggiatori e navigatori degli inizi dell'età moderna, avevano visto con i loro occhi – come più tardi Galilei e Hooke e Leeuwenhoek – cose prima mai viste. Anche la visione di nuove terre aveva contribuito a mettere in crisi l'idea della superiorità degli antichi. «Con l'isperientia e la verità, ritruovate da semplici e diigentissimi nocchieri» si vede il contrario di quanto filosofi greci e Padri della Chiesa hanno affermato circa l'abitabilità delle zone torride, l'esistenza degli Antipodi, la navigazione negli Oceani, la intransitabilità delle colonne d'Ercole.

Nel Nuovo Mondo si trovano piante sconosciute

(mais, manioca, patata, fagiolo, pomodoro, peperone, zucca, avocado, ananas, cacao, tabacco, albero della gomma) e animali mai visti (tacchino, lama, lince, puma, condor, giaguaro, tapiro, vigogna, caimano). Descrizioni di nuovi animali e nuove piante sono presenti nella *Historia general y natural de las Indias* (1526) di Gonzalo Fernandez de Oviedo y Valdès (1478-1557) che fu per più di quarant'anni ispettore per l'oro a Santo Domingo. In carte e in mappe del primo Cinquecento il nuovo continente è popolato di unicorni, cinocefali e uomini con la testa collocata sul petto; Oviedo rinuncia alla descrizione di esseri mostruosi e di entità immaginarie. Pensa che esiste un'unica natura che assume differenti forme nelle diverse parti della Terra: piante nocive in una parte del mondo sono salutari nell'altra, gli uomini possono essere bianchi o nerissimi e le tigri, da noi agili e svelte «sono torpide e pesanti nell'India di Vostra Maestà». Anche il gesuita José Acosta (1539-1600), nella *Historia natural y moral de las Indias* (1590) descrive le caratteristiche del suolo, i minerali, i vulcani, i metalli, le piante, gli animali, i pesci e gli uccelli. Il Nuovo Mondo è popolato di «animali di numero e aspetto mai conosciuto, dei quali non hanno memoria né greci, né latini, né alcun altro popolo del *mundo de acá*». Sugli stessi temi si ferma anche il breve scritto intitolato *A briefe and troue report of the new found land of Virginia* (1588) di Thomas Hariot (1560-1621), uno dei matematici maggiori del suo tempo, ammiratore di Galilei e corrispondente di Keplero. In Italia, Federico Cesi acquisterà il manoscritto del cosiddetto *Tesoro messicano* o *Rerum medicarum Novae Hispaniae thesaurus*, una monumentale raccolta di botanica e zoologia esotiche fondata sulla «relazione» di Francisco Hernández, medico di Filippo II. Dopo varie vicende editoriali, il libro verrà pubblicato da Francesco Stelluti nel 165.1.

Anche sugli uomini del Nuovo Mondo e sui loro costumi Acosta si era fermato a lungo. Il suo libro, tradotto in inglese (1604), in italiano (1606), in olandese (1624) è al centro di una discussione vastissima che investe la cultura europea dalla metà del Cinquecento fino all'età di Vico. Essa ruota intorno ad alcune domande alle quali non era facile dare una risposta. Come si concilia la narrazione biblica con la presenza di uomini in un luogo così lontano dal centro della religione ebraica e cristiana? I selvaggi americani sono discendenti, ricaduti nella barbarie, di popoli un tempo civili? Oppure si danno origini differenti per i diversi popoli e gli uomini comparvero simultaneamente nelle varie regioni della Terra? Come si giustifica la diretta filiazione di tutti gli uomini da Adamo? Il diluvio universale colpì tutte le regioni della Terra? Op-

pure, in caso contrario, esso fu un diluvio locale? E, in questo caso, la storia narrata dalla Bibbia non diventa solo la storia di un popolo particolare? non si risolve nella narrazione di una cronaca locale? Come si spiega l'esistenza di una natura diversa da quella che ci è familiare? Come entrarono nell'Arca di Noè gli animali del Nuovo Mondo, e come ne uscirono? Perché nessun esemplare ne sopravvive nel Vecchio Mondo? Si deve pensare che Dio, dopo i sei giorni della creazione, continuò a creare quel mondo nuovo? Soprattutto: come arrivarono nel mondo nuovo gli uomini del Vecchio Mondo?

Freethinkers, esprits forts e libertini di varia estrazione e natura si erano largamente serviti della scoperta del Nuovo Mondo per esprimere dubbi sulla validità del racconto biblico e per avanzare quel tipo di empie tesi alle quali si faceva riferimento, nel tardo Seicento e nel Settecento, qualificandole come lucreziane, spinoziste, materialiste. Gerolamo Cardano aveva implicitamente affermato la tesi di una generazione spontanea degli uomini dalla materia e l'aristotelico Andrea Cesalpino (1519-1603) aveva esplicitamente sostenuto che «tutti gli animali, compreso l'uomo, possono aver avuto origine dalla materia in putrefazione». Ciò, a suo avviso, poteva più specialmente essersi verificato in luoghi, come il Nuovo Mondo, di clima torrido e di sovrabbondante vegetazione. Per Giordano Bruno, la presenza di animali e uomini del Nuovo Mondo non costituiva un problema. Era, al contrario, la prova che «ogni terra produce ogni genere di animali». Attribuire agli Americani una generazione da Adamo è assurdo «e infatti non vi fu un solo primo lupo o leone o bue da cui tutti i lupi e leoni e buoi furono generati e trasmessi in tutte le isole, ma da ogni parte la terra produsse ogni cosa fin da principio». La disputa fra i difensori del poligenismo e gli assertori del monogenismo (Acosta è fra questi ultimi) era destinata a clamorosi sviluppi.

Paracelso aveva negato agli Americani caratteri umani. Come i giganti, gli gnomi, le ninfe, «essi sono simili agli uomini in ogni cosa eccetto l'anima». Sono «come le api, che hanno un loro re; come le anatre selvatiche, che hanno un capo; e non vivono secondo l'ordine delle leggi umane, ma secondo le leggi della natura innata». Anche l'umanista Juan Ginés de Sepúlveda (1490-1573), fra molti altri scrittori e filosofi e viaggiatori, aveva presentato gli indigeni americani come una sottospecie di uomini, capaci di ogni tipo di «abominevoli scelleratezze». Radicalmente diverse le affermazioni contenute in una celebre pagina degli *Essais* (1580) di Michel de Montaigne (1533-1592) che fa riferimento alle tribù brasiliane: per giudicare i popoli non europei non è possibile né lecito adottare

il punto di vista europeo e cristiano. L'umanità si esprime in una infinita varietà di forme e «ognuno chiama barbarie quello che non è nei suoi usi; sembra che non abbiamo altro punto di riferimento per la verità e la ragione che le opinioni e gli usi del paese in cui siamo; ivi è sempre la perfetta religione, il perfetto governo, l'uso perfetto di ogni cosa».

Le discussioni sul «buon selvaggio» e sul «cattivo selvaggio» si intrecciarono con le vicende della biologia e del pensiero politico. Fino a Buffon, all'abate Corneille de Pauw (1739-1799), ai romantici, per quanto riguarda il continente americano, resta fermo, in quella discussione, il carattere «degenerato», «decaduto» o comunque «inferiore» della *natura* del Nuovo Mondo. La fauna che lo popola, scriverà Hegel nella *Philosophie der Geschichte*, «ha un aspetto più piccolo, più debole, più imbello».

LA RIVOLUZIONE ASTRONOMICA

Paolo Rossi

1. *La tradizione.*

Per rendersi conto del significato della cosiddetta rivoluzione astronomica, delle ragioni stesse per le quali si parla di una rivoluzione scientifica, è opportuno richiamare alcuni aspetti fondamentali di quel millenario *sistema del mondo* alla cui distruzione Copernico, Tycho Brahe, Keplero, Galilei dettero contributi decisivi.

Bisogna rifarsi, in primo luogo, alla distinzione fra *mondo celeste* e *mondo terrestre*, fra *moti naturali* e *moti violenti*. Nella filosofia aristotelica il mondo terrestre o sublunare risulta dalla mescolanza di quattro elementi semplici: Terra, Acqua, Aria, Fuoco. Il peso o la leggerezza di un singolo corpo dipende dalla diversa proporzione secondo la quale sono in essi mescolati i quattro elementi, poiché Terra e Acqua hanno una naturale tendenza verso il basso, Aria e Fuoco verso l'alto. Il divenire e il mutamento del mondo sublunare deriva dalla agitazione o mescolanza degli elementi. Se essi non fossero mescolati, avremmo un universo in riposo: al centro una sfera di Terra, avvolta da una sfera d'Acqua, a sua volta circondata da una sfera d'Aria e il tutto sarebbe racchiuso da una sfera di Fuoco. Il moto naturale di un corpo pesante è dunque diretto *verso il basso*, quello di un corpo leggero *verso l'alto*: il moto rettilineo verso l'alto o verso il basso (concepiti come assoluti e non relativi) dipende dalla naturale tendenza dei corpi a raggiungere il loro luogo naturale, il posto che ad essi è per natura appropriato. L'esperienza quotidiana della caduta di un corpo nell'aria, o del fuoco che sale verso l'alto, o delle bolle d'aria che vengono a galla nell'acqua conferma la teoria. Ma l'esperienza ci pone anche, di continuo, di fronte ad altri movimenti: una pietra gettata in alto, una freccia scagliata dall'arco, una fiamma deviata verso il basso dalla forza del vento. Questi sono i *moti violenti*, dovuti all'azione di una forza esterna, che ripugna alla natura dell'oggetto sul quale agisce. *Cessante causa, cessat effectus*: quando cessa quella forza, l'oggetto tende a riprendere il

posto che per natura gli compete.

Il concetto di movimento, nella fisica degli aristotelici, non coincide affatto con il moto della fisica dei moderni. Il movimento è, in genere, ogni passaggio dell'essere in potenza all'essere in atto. Si configura, per Aristotele, come *moto* nello spazio, come *alterazione* nelle qualità, come *generazione e corruzione* nella sfera dell'essere. Nel «movimento» rientrano fenomeni fisici e fenomeni che noi chiamiamo chimici e biologici. Il moto non è uno *stato* dei corpi, ma un divenire o un processo. Un corpo in moto non muta solo in relazione ad altri corpi: è esso stesso, in quanto in moto, soggetto a mutamento. Il moto è una sorta di qualità che affetta il corpo. In quella fisica, com'è noto, non c'è bisogno di una causa che spieghi la persistenza della quiete, c'è bisogno di una causa che spieghi la presenza e la persistenza del moto.

Il mondo terrestre è il mondo dell'alterazione e del mutamento, della nascita e della morte, della generazione e della corruzione. Il cielo è invece inalterabile e perenne, i suoi moti sono regolari, in esso nulla nasce e nulla si corrompe, ma tutto è immutabile ed eterno. Le stelle, i pianeti (uno di essi è il Sole) che si muovono attorno alla Terra non sono formati dagli stessi elementi che compongono i corpi del mondo sublunare, ma da un quinto elemento divino: l'etere o *quinta essentia*, che è solido, cristallino, imponderabile, trasparente, non soggetto a modificazioni. Della stessa materia sono fatte le sfere celesti. Sull'equatore di queste sfere ruotanti (come «nodi in una tavola di legno») sono fissati il Sole, la Luna, gli altri pianeti.

Al moto rettilineo, difforme e sempre limitato nel tempo (che è proprio dei corpi che si muovono nel mondo terrestre) si contrappone il moto circolare, uniforme e perenne delle sfere e dei corpi celesti. A differenza del rettilineo, il moto circolare è perfetto e di conseguenza adatto alla natura perfetta dei cieli. Esso non ha inizio e non ha fine, non tende verso qualcosa, ritorna perennemente su se stesso e prosegue in eterno. L'etere, fatta eccezione per il mondo terrestre, riempie tutto l'universo. Limitato dalla sfera delle stelle fisse, l'universo è finito. La sfera divina, o primo mobile, trasporta le stelle fisse e produce quel moto che si trasmette, per contatto, alle altre sfere e giunge sino al cielo della Luna che costituisce il limite inferiore del mondo celeste. Alla Terra non può competere, *per natura*, alcun moto circolare. Essa è immobile al centro dell'universo. La tesi della sua centralità e immobilità non è solo confermata dall'ovvia esperienza quotidiana, è uno dei fondamenti o pilastri dell'intera fisica aristotelica, di quella terrestre come di quella celeste.

La grandiosa macchina celeste che Aristotele aveva teorizzato e che andò poi variamente modificandosi e complicandosi nei secoli successivi era in realtà la trasposizione, sul piano della realtà e della fisica, del modello, puramente geometrico e astratto, elaborato da Eudosso di Cnido nella prima metà del IV secolo a.C. Le sfere di cui aveva parlato Eudosso non erano, come poi per Aristotele, enti fisici reali, ma pure finzioni o artifici matematici capaci di dar conto, mediante una costruzione puramente intellettuale, delle apparenze sensibili, capaci cioè di giustificare e spiegare il moto dei pianeti, di «salvare i fenomeni» o giustificare le apparenze.

Questa contrapposizione di un'astronomia concepita come costruzione di ipotesi a un'astronomia che intende presentarsi come una descrizione di eventi reali, avrà, come vedremo, grande importanza. In ogni caso, il divorzio fra la cosmologia e la fisica da un lato e un'astronomia puramente «calcolistica» e matematica dall'altro, andrà accentuandosi nel mondo antico, nell'epoca che vide Alessandria d'Egitto al centro della cultura filosofica e scientifica. La troviamo esplicitamente teorizzata dal maggior astronomo dell'antichità: Claudio Tolomeo, vissuto ad Alessandria nel secondo secolo dell'era cristiana. Per più di un millennio la *Syntaxis*, comunemente nota come *Almagesto*, resta a fondamento del sapere astrologico e astronomico. Attraverso una complicata serie di accorgimenti è possibile dar conto dei moti celesti. L'universo, limitato dalla sfera delle stelle fisse, ha al suo centro la Terra immobile. La sfera del cielo ruota intorno ad un asse fisso, come è dimostrato dal moto delle stelle circumpolari e dal fatto che le altre stelle sorgono e tramontano agli stessi punti dell'orizzonte. I pianeti ruotano attorno al centro dell'universo. Tutti i loro movimenti irregolari (differente distanza dalla Terra, retrogradazione) devono essere ricondotti a moti circolari. Gli eccentrici, gli epicicli, gli equanti (i primi due risalgono ad astronomi greci anteriori a Tolomeo) rispondono precisamente a questo scopo.

Le sfere di Aristotele erano enti reali, solidi e cristallini. Gli eccentrici e gli epicicli di Tolomeo (che inizia sempre l'esposizione dei moti planetari con l'espressione «immaginatoci un cerchio») non hanno realtà fisica. Sono, come afferma Proclo (410-485 d.C.) alla fine delle *Hypotyposes* (o esposizione della teoria planetaria di Tolomeo) solo il mezzo più semplice per spiegare i moti dei pianeti. L'astronomia veniva presentata da Tolomeo come campo di attività per i matematici, non per i fisici. Ma il complicato quadro dell'universo che restò nella sostanza ben saldo fino all'età di Copernico non è riducibile

alle dottrine finora ricordate. Fu in realtà una mescolanza di fisica aristotelica e di astronomia tolemaica, inserita in una cosmologia che attingeva largamente al misticismo delle correnti neoplatoniche, alle vedute dell'astrologia, alla teologia dei Padri della Chiesa e dei filosofi della Scolastica. Basta pensare, per rendersene conto, all'universo di Tommaso d'Aquino (1225-1274) o a quello descritto nella *Divina Commedia* di Dante Alighieri (1265-1321) dove alle sfere celesti corrispondono le varie potenze angeliche.

Semplificando molto le cose, è possibile tentare di elencare i presupposti che fu necessario abbattere ed abbandonare per costruire una nuova astronomia e una nuova fisica:

1) La distinzione di principio tra una fisica del Cielo e una fisica terrestre, che risultava dalla divisione dell'universo in due sfere, l'una perfetta, l'altra soggetta al divenire.

2) La convinzione (che conseguiva da questo primo punto) del carattere necessariamente circolare dei moti celesti.

3) Il presupposto dell'immobilità della Terra e della sua centralità nell'universo che era confortato da una serie di argomenti dall'apparenza irrefutabile (il moto terrestre proietterebbe in aria oggetti e animali) e che trovava conferma nel testo stesso delle Scritture.

4) La credenza nella finitezza dell'universo e in un mondo chiuso che è legata alla dottrina dei luoghi naturali.

5) La convinzione, strettamente connessa alla distinzione fra moti naturali e violenti, che non ci sia bisogno di addurre nessuna causa per spiegare lo stato di quiete di un corpo, mentre, al contrario, ogni movimento deve essere spiegato o come dipendente dalla forma o natura del corpo o come provocato da un motore che lo produce e lo conserva.

6) Il divorzio, che si era andato rafforzando, fra le ipotesi matematiche dell'astronomia e la fisica.

Nel corso di circa cento anni (all'incirca fra il 1610 e il 1710) ciascuno di questi presupposti venne discusso, criticato, respinto. Ne risultò, attraverso un processo difficile (a volte tortuoso), una nuova immagine dell'universo fisico destinata a trovare il suo compimento nell'opera di Isaac Newton, in quella grandiosa costruzione che, dopo Einstein, chiamiamo oggi la «fisica classica». Ma si trattò di un rifiuto che presupponeva un radicale rovesciamento di quadri mentali e di categorie interpretative, che implicava una nuova considerazione della natura e del posto dell'uomo nella natura

2. Copernico: il moto della Terra e la centralità del Sole

L'astronomo polacco Niklas Kepperlingk (1473-1543) latinizzò il suo nome in Copernicus. Quel nome è diventato, nell'età moderna, il simbolo stesso di una grande svolta del pensiero, l'atto di nascita di una nuova età e di una rivoluzione intellettuale. Niccolò Copernico, come è stato più volte sottolineato, non assunse, né nella sua vita né nelle sue opere, alcun atteggiamento pionieristico o rivoluzionario. Ritenne, da buon umanista, che la possibilità stessa di un nuovo metodo di calcolo dei moti delle sfere (capace di porre fine alle incertezze degli astronomi) andasse prima di tutto ricercata nei testi dei filosofi antichi. Presentò la sua dottrina come un tentativo di far rivivere le antiche tesi di Pitagora e di Filolao. Fu estremamente cauto ed esitante. Ebbe preoccupazioni notevoli circa il «disprezzo» che la sua strana e inusitata dottrina sul moto della Terra poteva suscitare nel mondo degli ecclesiastici e dei professori universitari. Scrisse la sua opera maggiore, il *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), in continuo parallelismo con l'*Almagesto* di Tolomeo seguendolo libro per libro e sezione per sezione, tanto che Keplero poté osservare che egli, più che la natura, aveva interpretato Tolomeo.

Copernico era nato a Torun (in tedesco Thom) sulla Vistola, in una città che era passata nel 1466 sotto la sovranità del re di Polonia. Figlio di un mercante, fu adottato da uno zio materno (che divenne vescovo di Warmja nel 1498). Dopo gli studi all'Università di Cracovia (ove gli fu maestro di astronomia Alberto da Bruzdewo) fu spinto dallo zio a un soggiorno nelle Università italiane. Lo troviamo registrato, nel 1496, nei rotoli della *Natio Germanorum* dell'Università di Bologna ove (come afferma Reticus) «fu piuttosto amico e assistente che allievo» dell'astronomo Domenico Maria Novara (1454-1504). Nel 1500 Copernico passò a Roma e, l'anno seguente, fece ritorno in patria per prendere possesso del canonicato di Frauenburg. Ma tornò in Italia nello stesso anno: a Padova, dove continuò a studiare legge e medicina per quattro anni, a Ferrara dove conseguì il dottorato in diritto canonico. Nel 1506, dopo nove anni di soggiorno in Italia, tornò in Polonia come segretario e medico presso lo zio. Dopo la morte di quest'ultimo, nel 1512, si stabilì a Frauenburg dove rimase per più di trent'anni, lavorando fino alla morte al suo capolavoro.

Negli anni fra il 1507 e il 1512 (ma su queste date gli specialisti hanno opinioni contrastanti), Copernico aveva

steso un *De hypothesibus motuum coelestium commeniarius*. In esso venivano presentate le sette petitiones che dovevano dar luogo a una nuova astronomia:

1) Non esiste un solo centro di tutti gli orbi celesti o sfere (ci sono, a differenza che in Tolomeo, due centri di rotazione: la Terra che è il centro di rotazione della Luna, il Sole che è al centro della rotazione degli altri pianeti);

2) Il centro della Terra non coincide con il centro dell'universo, ma solo con il centro della gravità e della sfera della Luna (questa petitio riapriva il problema di una spiegazione della gravità);

3) Tutte le sfere ruotano attorno al Sole (che è dunque eccentrico rispetto al centro dell'universo);

4) Il rapporto fra la distanza Terra-Sole e l'altezza del firmamento è minore del rapporto fra il raggio terrestre e la distanza Terra-Sole. Quest'ultima è pertanto impercettibile in rapporto all'altezza del firmamento (se l'universo ha così grandi dimensioni, non avverrà che il moto della Terra dia luogo ad un moto apparente delle stelle fisse);

5) Tutti i moti che appaiono nel firmamento non derivano da moti del firmamento, ma dal moto della Terra. Il firmamento rimane immobile, mentre la Terra, con gli elementi a lei più vicini (l'atmosfera e le acque della sua superficie) compie una completa rotazione sui suoi poli fissi in un moto diurno;

6) Ciò che ci appare come movimenti del Sole non deriva dal suo moto, ma dal moto della Terra e della nostra sfera con la quale ruotiamo attorno al Sole come ogni altro pianeta. La Terra ha, pertanto, più di un movimento;

7) L'apparente moto retrogrado e diretto dei pianeti non deriva dal loro moto, ma da quello della Terra. Il moto della sola Terra è sufficiente a spiegare tutte le disuguaglianze che appaiono nel cielo (i moti retrogradi dei pianeti diventano moti apparenti, dipendenti dal moto della Terra).

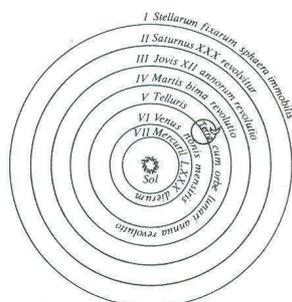


Figura 1. — Il sistema del mondo di Copernico.

Il testo del *Commentariolus* fu conosciuto da molti nel manoscritto. Copernico aveva nel frattempo affidato il

manoscritto del *De revolutionibus* al giovane Georg Joachim Rheticus (1514-1576, il vero nome era Lauschen latinizzato in Rheticus a indicare la provenienza dall'antica provincia romana della Rezia). Discepolo e ammiratore di Copernico, Rheticus pubblicò, nel 1540, la celebre *Narratio prima* che, accanto a una serie di considerazioni astrologiche sulla caduta dell'Impero Romano, la nascita dell'Impero Musulmano e la seconda venuta di Cristo, contiene una limpida esposizione della cosmologia copernicana. Attraverso questo scritto che, non più anonimo, fu ristampato a Basilea l'anno seguente, il mondo dei dotti ebbe più ampia notizia delle idee e dell'opera di Copernico.

Rheticus insisteva, con grande energia, sulla maggiore semplicità e armonia del sistema copernicano rispetto a quello tolemaico. Ogni anno i pianeti mostrano un movimento diretto, stazionario, retrogrado, ci si presentano all'apogeo e al perigeo: tutti questi fenomeni possono essere spiegati mediante il moto uniforme del globo terrestre. Se si pone il Sole fermo al centro dell'universo e la Terra che ruota attorno ad esso su un eccentrico o orbe magno, la vera intelligenza delle cose celesti viene a dipendere dai moti regolari e uniformi del solo globo terrestre. La natura, come insegna Galeno, «non fa niente che sia privo di senso». Se vediamo che «mediante questo solo movimento della Terra trova spiegazione un numero quasi infinito di fenomeni, perché non dovremmo attribuire a Dio, creatore della natura, l'abilità che osserviamo presso i semplici fabbricanti di orologi?». Essi, proseguiva Rheticus, evitano nei loro meccanismi ruote inutili o tali che la loro funzione possa essere adempiuta meglio da un'altra, in virtù di un piccolo mutamento di posizione. Perché Copernico non doveva adottare la «conveniente teoria» del moto terrestre? Adottando quella ipotesi, per la costruzione di una scienza esatta dei fenomeni celesti «bastava la sola ottava sfera immobile, il Sole essendo anch'esso immobile al centro dell'universo, e per spiegare i moti degli altri pianeti bastavano combinazioni di epicicli ed eccentrici, di eccentrici ed eccentrici, di epicicli ed epicicli» (1541, 460-461).

L'attribuzione del movimento alla Terra consentiva di riaffermare la circolarità dei moti celesti. Mentre nel sistema tradizionale il moto di retrocessione veniva spiegato collocando il pianeta su un epiciclo il cui centro ruota a sua volta intorno alla Terra sul deferente del pianeta, nel nuovo sistema i pianeti si muovono di moto continuo e tutti nella stessa direzione (vedi figg. 1, 2).

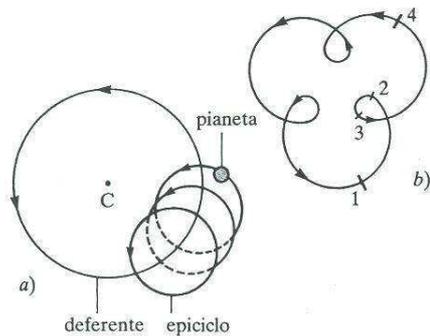


Figura 2. - La teoria degli *epicicli* afferma che i pianeti non ruotano intorno al centro dell'orbita, ma ruotano, a loro volta, intorno all'orbita o *deferente*, cioè intorno ad un centro trasportato esso stesso da un moto di rivoluzione intorno al centro dell'orbita.

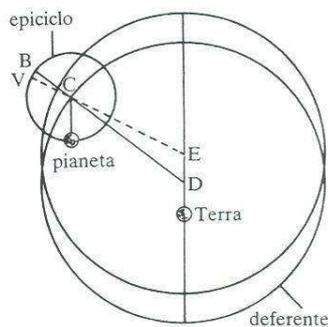


Figura 3. - L'equante: uno degli accorgimenti impiegati nel modello planetario tolemaico (che modificava la cosiddetta regola platonica del moto uniforme) era il punto equante con il suo circolo equante. Il centro dell'epiciclo C non si muove uniformemente sul deferente (non si muove cioè uniformemente rispetto al centro D del deferente). Si suppone invece che il centro C dell'epiciclo (sul quale si muove il pianeta) si muova uniformemente rispetto ad un altro punto E (punto equante) situato sulla linea degli apsidi (i-pogeo e perigeo) dalla parte opposta della Terra rispetto al centro D.

Le irregolarità dei loro moti vengono attribuite al punto di vista, di momento in momento differente, dell'osservatore posto sulla Terra in movimento. Gli astronomi tradizionali, come dirà Copernico nella Dedicazione a Paolo III, «hanno ammesso cose che sembrano contrarie ai primi principi circa l'uniformità del movimento». Le «cose» ingiustamente ammesse erano gli equanti (vedi fig. 3) che violavano il principio della circolarità e costituivano un'offesa al principio della regolarità. E degli equanti non c'era più bisogno nel nuovo sistema. Non solo: «l'ordine e la grandezza delle stelle e di tutti gli orbi e lo stesso cielo diventano un tutto così collegato che in nessuna parte di esso si può spostare qualcosa senza crear

confusione delle restanti parti e di tutto l'insieme» (1949, 5). Non era più possibile, nel nuovo sistema, ridurre o allargare a piacere l'orbita di ogni pianeta, tenendo fissi gli altri.

Il testo del *De revolutionibus* (pubblicato nel maggio del 1543) giunse, così vuole la tradizione, al letto di morte di Copernico. Nelle pagine della *Dedica* anche Copernico, come già aveva fatto Rheticus, insisteva sulla maggiore semplicità e armonia del sistema. Contrapponeva il nuovo all'antico insistendo sui «disaccordi», le «insicurezze», la mancanza di risultati, le contraddizioni dei seguaci della tradizione. Essi non sono stati in grado di trovare o ricostruire «la forma del mondo e la esatta simmetria delle sue parti». Hanno agito come chi volesse dar luogo ad una figura umana mettendo insieme capo, mani, piedi e altre membra di lunghezza differente e niente affatto armoniche fra loro. Incapaci di «tener conto del disegno unitario di un solo corpo» hanno generato «un mostro».

La rivoluzione copernicana non consistette in un perfezionamento dei metodi dell'astronomia, né in una scoperta di nuovi dati, ma nella costruzione di una cosmologia nuova fondata sui dati stessi forniti dall'astronomia tolemaica. Questa cosmologia è fortemente legata ad alcune fondamentali tesi dell'aristotelismo: l'universo copernicano è perfettamente sferico e finito; la sfericità alla quale appetiscono tutti i corpi costituisce una forma perfetta ed è una totalità in sé conchiusa giustamente attribuita ai corpi divini; il moto circolare delle sfere cristalline deriva dal fatto che la mobilità propria della sfera è di muoversi in circolo (*mobilitas sphaerae est in circulum volta*), la condizione di immobilità del Sole (che è immobile come il cielo delle stelle fisse) deriva dalla sua natura divina, la sua centralità dal fatto che questa «lucerna del mondo» chiamata da altri «mente e rettore dell'universo» è collocata nel luogo migliore dal quale «può illuminare ogni cosa simultaneamente» (1949, 25-27).

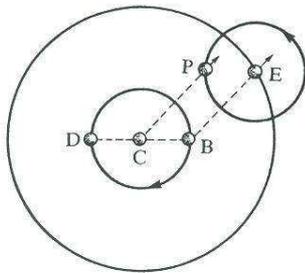


Figura 4. - Confronto dei sistemi copernicano e tolemaico.
Nel sistema copernicano C è il Sole, centro del sistema; B è

la Terra; E un pianeta esterno. Nel sistema tolemaico C è la Terra; D il Sole; E il centro dell'epiciclo del pianeta; P il pianeta. La linea che congiunge la Terra al pianeta, nel secondo caso, sarà parallela alla linea che congiunge la Terra al pianeta nel primo caso. L'angolo fra questa linea e la linea Terra-Sole sarà lo stesso in entrambi i sistemi. Di conseguenza la posizione apparente del pianeta è la stessa.

La semplicità del nuovo sistema era più apparente che reale (vedi fig. 4): per giustificare i dati delle osservazioni, Copernico era costretto, in primo luogo, a non far coincidere il centro dell'universo con il Sole (il suo sistema è stato definito meglio come eliostatico che come eliocentrico), ma con il punto centrale dell'orbita terrestre; in secondo luogo a reintrodurre, come in Tolomeo, una serie di cerchi ruotanti attorno ad altri cerchi; ad attribuire infine alla Terra (oltre al moto di rotazione attorno al suo asse e di rivoluzione attorno al Sole) un terzo movimento di declinazione (*declinationis motus*) per giustificare la invariabilità dell'asse terrestre rispetto alla sfera delle stelle fisse.

La rivoluzione copernicana – anche non volendo tener conto delle valenze ideologiche che verrà assumendo e che verranno da essa ricavate – aveva questo di caratteristico: non si limitava a contrapporre alcune tesi nuove alle tesi tradizionali, riusciva davvero a sostituire Tolomeo, a migliorare l'*Almagesto* sul piano dei calcoli e della costruzione delle tavole planetarie. Le nuove tavole, note come tavole pruteniche (1551), elaborate da Erasmo Reinhold (1511-1553) su basi copernicane, furono accolte anche da strenui avversari del nuovo sistema del mondo, e lo stesso Reinhold non fu mai copernicano. Il sistema presentato nel *De revolutionibus* era fondato su una raffinata matematica pitagorica che poteva essere apprezzata dagli astronomi professionali. Ad alcuni di essi quel sistema apparve non solo più semplice e armonioso del precedente, ma anche più in accordo con il presupposto metafisico (che Copernico mantiene ben saldo) della perfetta circolarità dei moti celesti.

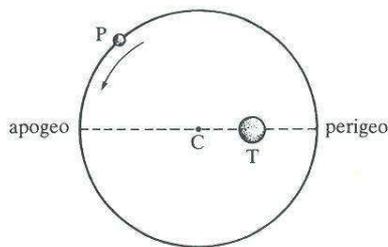


Figura 5. - Eccentrico: la Terra non è esattamente al centro

della circonferenza C, ma a qualche distanza da esso, in T. Se il punto P corrisponde ad un pianeta (o al Sole), esso, visto dalla Terra in T, non apparirà muoversi uniformemente in rapporto alle stelle che sono supposte fisse, anche se il suo movimento lungo la circonferenza è uniforme. In tale sistema *eccentrico*, vi sarà un punto in cui il Sole, o un determinato pianeta, sarà a un certo momento a una distanza minima dalla Terra (*perigeo*) e a una distanza massima (*apogeo*).

Molti fondamentali elementi che costituiscono la «rivoluzione astronomica» (eliminazione degli eccentrici (vedi fig. 5), degli epicicli, della realtà delle sfere solide, infinità dell'universo) sono del tutto assenti in Copernico. Ci sono tuttavia testi che, senza presentarsi come rivoluzionari, provocano grandiose rivoluzioni intellettuali. Questo fu il caso di Copernico, come sarà quello di Darwin. Essi vengono letti, anche se in modo approssimativo, da un numero crescente di non specialisti. Colpiscono non solo l'intelletto, ma l'immaginazione degli uomini, eliminano vecchie e consolidate risposte e aprono una quantità di problemi nuovi. Nel caso di Copernico: che cosa è la gravità e perché i corpi pesanti cadono sulla superficie di una Terra in movimento? Che cosa muove i pianeti e come essi sono trattieneuti nelle loro orbite? Quanto è esteso l'universo e qual è la distanza fra la Terra e le stelle fisse? Ma si aprivano problemi nuovi non solo all'interno delle scienze costituite. L'ammissione del moto terrestre e l'accettazione del nuovo sistema comportavano non solo un rovesciamento dell'astronomia e della fisica e la necessità di una loro ristrutturazione, ma anche una modificazione delle idee sul mondo, una valutazione nuova della natura e del posto dell'uomo nella natura. Ci sono, in ogni sistema in instabile equilibrio (e tale era senza dubbio l'astronomia dei tempi di Copernico) punti problematici, che non si possono toccare. Il moto della Terra era uno di questi.

3. *Il mondo sbriciolato: la grande controversia*

Nei primi decenni del Cinquecento non erano mancati tentativi di sostituire al sistema tolemaico sistemi nuovi. Il cosentino Giovanni Battista Amici, nato nel 1512 e assassinato a Padova a ventisette anni, aveva pubblicato a Venezia, nel 1536, un libretto intitolato *De motibus coelestium iuxta principia peripatetica sine excentricis et epiciclis*. Riprendendo le tesi di Eudosso (370 ca. a.C.) e di Aristotele, vi proponeva un complicato sistema di sfere concentriche o omocentriche (10 per ogni pianeta e 11 per la Luna). Nella stessa direzione, indipendentemente da Amici, si muoveva Girolamo Fracastoro

(1483-1553) negli *Homocentrica* pubblicati a Venezia nel 1538. Il libro, come il *De revolutionibus*, è dedicato a Paolo III e tratta analiticamente del funzionamento di una improbabile macchina dell'universo costituita da 77 sfere. In essa il moto si propaga dalle sfere esterne a quelle interne senza che il moto di queste ultime influenzi le prime e la variazione della luminosità dei pianeti viene fatta dipendere dalla variabile trasparenza delle sfere materiali.

L'indifferenza per questi tentativi, che non erano in grado di porsi in alcun modo come vere e proprie alternative al sistema tradizionale, rende tanto più significative le prese di posizione che immediatamente seguirono (in qualche caso precedettero) la pubblicazione del *De revolutionibus*. Già nel 1539 Lutero, in uno dei *Discorsi a tavola* fa riferimento ad «un astronomo da quattro soldi» che afferma il moto della Terra, che intende sovvertire tutta l'astronomia, che si pone in contrasto con la *Scrittura* ove si dice che Giosuè ordinò al Sole, e non alla Terra, di fermarsi. Sei anni dopo la pubblicazione del capolavoro di Copernico, Filippo Melantone, negli *Initia doctrinae physicae*, ribadisce che coloro i quali credono che l'ottava sfera e il Sole non ruotino attorno alla Terra sostengono argomenti empì e pericolosi contrari all'onestà e alla decenza. Calvino, senza mai citare Copernico, riaffermava energicamente il valore letterale delle Scritture.

Si è molto discusso sull'atteggiamento di protestanti e cattolici di fronte al copernicanesimo. Una delle leggende storiografiche più diffuse (non solo nei manuali) è quella che afferma la sostanziale indifferenza per la questione della Curia Romana e dei teologi scolastici. Solo tre anni dopo la morte di Copernico, nel 1546, il domenicano Giovanni Maria Tolosani, legato a Bartolomeo Spina, maestro del Sacro Palazzo e per l'occasione portavoce quasi ufficiale delle reazioni della Curia, prendeva energicamente posizione contro il nuovo sistema nel *De ventate Sacrae Scripturae* (che è rimasto inedito fino al 1975). Il copernicanesimo, agli occhi di Tolosani, ha un difetto costitutivo ed essenziale: viola il fondamentale e irrinunciabile principio della *subalternatio scientiarum* in base al quale «una scienza inferiore ha bisogno della scienza superiore». Non si tratta di una questione di poco conto. La prima delle scienze, la teologia, offre al cosmologo una descrizione della struttura fisica dell'universo e nessuna scienza può essere in contrasto con la teologia: «Copernico, abile nella scienza matematica e astronomica, è difettoso nelle scienze fisiche e dialettiche, è imperito nelle Scritture». Il testo del Tolosani verrà letto con cura da un altro domenicano, Tommaso Caccini, la cui violenta presa di posizione, espressa nella predica del 20 dicembre

1614 in Santa Maria Novella, è alle radici della condanna del 1616 che dichiarava «stolta ed assurda in filosofia e formalmente eretica» la teoria di Copernico. Nella *Dedica a Paolo III*, Copernico ne aveva invocato l'autorità e il giudizio perché «impedissero il morso dei calunniatori, nonostante sia proverbiale che non c'è rimedio alcuno contro il morso dei sicofanti».

I morsi si faranno, col tempo, molto numerosi, ma, come sempre di fronte al nuovo, non mancarono caute adesioni di specialisti, entusiasmi assai forti anche se tecnicamente poco fondati, sdegnati rifiuti e, soprattutto, manifestazioni di smarrimenti e di incertezze. Il *De revolutionibus* fu ripubblicato a Basilea nel 1556 (tredici anni dopo la prima edizione) con in appendice la *Narratio prima* di Rheticus, il testo che meglio serviva ai lettori non specialisti per intendere il significato del nuovo sistema del mondo. Le *Tavole pruteniche* di Reinhold (1551) furono riviste e ampliate nel 1557. L'anno precedente era stato pubblicato a Londra *The castle of knowledge* del medico e matematico Robert Recorde (1510 ca.-1558). Nel dialogo tra un Maestro e uno Scolaro, il primo afferma che è prematuro discutere del moto della Terra, dato che l'idea della sua immobilità è così fortemente penetrata nelle menti da far apparire folle la tesi opposta; il secondo nega che siano sempre vere le opinioni accolte da molti come tali. La risposta del Maestro rinvia al futuro per una risposta circa la verità, ma si richiama a Copernico come uomo di vasto sapere, grande esperienza ed eccellente capacità di osservazione.

Gli astronomi furono in genere molto cauti nell'accettare una scelta tra la nuova verità e il vecchio errore. Respinsero (con le due grandi eccezioni di Keplero e di Galilei) l'idea stessa di una dichiarazione di superamento del sistema tolemaico. Dopo il successo delle nuove tavole, predominava fra di essi l'atteggiamento di Thomas Blundeville il quale affermava (nel 1594) che con l'aiuto di una falsa ipotesi Copernico era riuscito a dare dimostrazioni più esatte di quanto non fosse mai stato fatto prima. Michael Mastlin (1550-1631), professore di astronomia a Tubinga, inserì nelle ultime edizioni dell'*Epitome astronomiae* (1588) appendici di esposizione del sistema copernicano. Maestro di Keplero, è da presumere istruisse l'allievo sul nuovo sistema. Collaborò anche alla stesura e alla stampa del *Mysterium cosmographicum* di Keplero (1596) che lo ricompensò per il lavoro svolto (che comprendeva anche difficili calcoli) con il regalo di una coppa d'argento dorata e sei talleri d'argento. A quella edizione, non senza un qualche disappunto di Keplero, egli fece aggiungere il testo della quarta edizione

della *Narratio* di Rheticus. Intorno al 1587, Christopher Rothmann, astronomo del Langravio Guglielmo IV di Assia-Cassel, difese con energia, nella sua corrispondenza con Tycho Brahe, la validità del copernicanesimo. In quelle lettere egli confutava le più tradizionali obiezioni contro il moto della Terra e affermava la insostenibilità di una interpretazione letterale delle Scritture che costringerebbe a credere anche all'esistenza delle acque celesti (una questione che era stata, per tutta la cosmologia del Medioevo, di importanza centrale).

Il matematico Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) nel *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (1585) nega valore agli argomenti ricavati dall'aristotelismo contro Copernico. Ai suoi occhi, quest'ultimo «ha spiegato in modo divino la teoria di Aristarco». Tra i filosofi, accanto a Thomas Digges e a Giordano Bruno (sui quali si veda il successivo capitolo), è da ricordare Francesco Patrizi da Cherso (1529- 1597), professore di filosofia platonica prima a Ferrara e poi a Roma, dove venne chiamato da Clemente VIII. Al Pontefice, Patrizi si era rivolto perché, anche in vista di un recupero dei Luterani alla Chiesa, venisse insegnato in tutte le scuole il platonismo ermetizzante al posto della deleteria filosofia aristotelica. Nelle Obiezioni a Telesio, che furono spedite a quest'ultimo nel giugno del 1572, e successivamente nella *Nova de universis philosophia* (1591), Patrizi nega l'esistenza delle sfere celesti alle quali, «come nodi in una tavola», sarebbero infissi le stelle e i pianeti. Anche Copernico, egli afferma, ritiene a torto che i corpi celesti siano trasportati da sfere e siano infissi in esse. Quest'errore di fondo (che Patrizi attribuisce erroneamente anche a Tycho Brahe), insieme alla credenza nella inalterabilità e incorruttibilità dei cieli, ha condizionato negativamente tutta la storia dell'astronomia. Perché non rinunciare a queste tesi e non tornare a pensare, con Pitagora e Platone, che le stelle siano «grandi animali celesti» dotati di anime, di volontà e di appetiti? Gli uomini, trascinati da Aristotele, sono stati finora incapaci di concepire movimenti di corpi celesti entro un cielo liquido. Al cielo non può essere attribuita né solidità, né durezza. Indipendentemente da Tycho, anche Patrizi considera la nuova stella del 1572 un fatto decisivo: proprio come la nuova stella, i pianeti si avvicinano alla Terra e si allontanano da essa; così facendo devono attraversare le immaginarie sfere solide falsamente inventate dagli astronomi. La visione che Patrizi ebbe dell'universo appare, dal privilegiato punto di vista di noi moderni, una mescolanza strana. La Terra, nel suo sistema, è ancora al centro del cosmo e il Sole ruota attorno alla Terra (come nel sistema

di Tycho). La Terra (come vuole Copernico) è in movimento. Ma Patrizi accetta solo uno dei tre movimenti teorizzati da Copernico, quello diurno. Le stelle, come grandi animali, si muovono da sole, non sono fissate a sfere reali (come per Tycho Brahe), ma si muovono a causa di un'anima che è in esse presente (come per il giovane Keplero). Nel cielo non esistono zone separate: esso è unico, continuo e fluido. Il moto delle stelle fisse è apparente e dipende dal moto diurno della Terra attorno al suo asse. Le stelle non sono tutte alla stessa distanza dalla Terra, ma sparse in una infinita profondità.

Proprio come Patrizi, anche William Gilbert (1540-1603) 1) non è un astronomo e non ha alcuna specifica competenza astronomica; 2) è vicino a forme di vitalismo mistico; 3) rifiuta l'esistenza delle sfere celesti; 4) è parzialmente copernicano nel senso che accetta anch'egli il moto diurno, ma non quello annuo della Terra. Nel *De magnete* (1600) Gilbert aveva sostenuto il moto terrestre proprio rifiutando la tesi aristotelica della animazione del Cielo e della non-animazione della Terra: la Terra, dotata di virtù magnetiche e di un impulso motorio, non è meno animata dei corpi celesti. Nel *De mundo nostro sublu-nari philosophia nova* (pubblicato postumo nel 1651, ma che era circolato manoscritto ed era stato letto anche da Francesco Bacone) la forza magnetica della Terra viene estesa fino alla Luna e concepita come la causa non solo delle maree, ma della persistenza della Luna nella sua orbita attorno alla Terra.

La Semaine ou création du monde (1578) di Guillaume du Bartas (1544-1590) è uno dei poemi didascalici più diffusi che ebbe circolazione anche in Inghilterra. La nuova cosmologia vi veniva ridicolizzata:

Si aggirano pel mondo alcuni folli,
spiriti sciocchi, a correre non usi
la quieta acqua dei mari comuni.
Tali sono (nel mio pensiero almeno)
quei dotti che ritengono (quanto assurda
sia questa beffa giudica tu stesso)
che né il Cielo né le stelle attorno al globo
terrestre compiano le loro eterne danze,
ma che la Terra la sua mole enorme
volga in ventiquattr'ore sul suo asse,
simile ai mozzi, che abituati a terra,
iniziano la prima volta a navigare,
e che, mentre la nave prende il largo,
han l'impressione che fugga via la riva.

Le linee di demarcazione fra chi rifiuta o accetta il co-

pernicanesimo, o esprime incertezze di fronte al nuovo, non coincidono affatto con quelle che separano gli astronomi professionali dai filosofi o dai letterati. I primi sostenitori della verità copernicana, in Inghilterra, non sono certo facilmente inseribili fra i «moderni» o gli assertori del meccanicismo e del nuovo metodo scientifico. Robert Recorde, che già abbiamo ricordato, concepisce l'astronomia come ancilla astrologiae; il matematico copernicano John Dee (1527-1608) è autore, oltre che della celebre prefazione a Euclide, della *Monas hieroglyphica* (1564) che intende svelare i segreti delle virtù sovracelesti attraverso i misteri della Cabala, le composizioni numeriche dei Pitagorici e il Sigillo di Ermete; a Ermete Trismegisto, e al poema *Zodiacus vitae* (1534) del ferrarese Palingenio Stellato (Pier Angelo Manzolli, 1503 ca. 1543) si richiama Thomas Digges (1543-1575) che nella *Perfit description of caelestiall orbes* aggiunta nel 1576 al *Prognostication everlasting* del padre Leonhard parla di una immobile orbita delle stelle fisse che si estende infinitamente verso l'alto e che egli concepisce come «il palazzo della felicità e la vera corte degli angeli celesti privi di affanni, che riempiono la dimora degli eletti». Intorno al 1585, Giordano Bruno (1548-1600) si era fatto difensore, in Inghilterra, della visione copernicana del mondo. Nella Cena delle ceneri, nel *De l'infinito, universo e mondi* (1584) aveva presentato la teoria di Copernico sullo sfondo della magia astrale e dei culti solari, aveva associato il copernicanesimo con la tematica presente nel *De vita coelitus comparanda* di Marsilio Ficino, aveva visto nel «diagramma» copernicano il «geroglifico» della divinità: la Terra si muove perché vive attorno al Sole; i pianeti, come stelle viventi, compiono con essa il loro cammino; altri innumerevoli mondi, che si muovono e vivono come grandi animali, popolano l'infinito universo. Nei testi di William Gilbert, come si è visto, non mancavano temi vitalistici né richiami a Ermete, Zoroastro, Orfeo. La teoria eliocentrica venne spesso associata ad alcuni dei temi più caratteristici della tradizione magico-ermetica. Prendendo posizione contro quest'ultima tradizione, non era affatto impossibile coinvolgere i copernicani e Gilbert nel contesto di un più generale rifiuto del platonismo mistico. In questo contesto, così ricco di incertezze e di equivoci, va considerato anche l'atteggiamento assunto da Francesco Bacone, fra il 1610 e il 1623, nei confronti del copernicanesimo (cfr. il successivo paragrafo). Esso è stato più volte utilizzato (per esempio dagli spiritualisti del secondo Ottocento e dai neopositivisti e popperiani del Novecento) per esprimere storiche condanne. Parlare di «arretratezza scientifica» di fronte alle incertezze manife-

state da molti è un non senso. Bacone, che si è entusiasmato nel 1612 per le scoperte di Galileo, muore nel 1626. La «conversione» di Marin Mersenne (1588-1648) al copernicanesimo è degli anni 1630-1634. Nei *Novarum observationum libri* del 1634 il matematico Gilles Personne de Roberval (1602-1675) afferma che non può in alcun modo dirsi quale dei tre sistemi del mondo che si contendono il campo sia quello vero, dato che può darsi «che tutti e tre i sistemi siano falsi e quello vero ci sia sconosciuto».

Molti storici sembrano essersi dimenticati che nel 1632 Galilei non sta polemizzando (nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*) contro dei fantasmi. Combatte contro avversari reali. Nella Università di Salamanca, gli statuti del 1561, stabilivano che il corso di matematica doveva comprendere Euclide, e Tolomeo o Copernico a scelta degli studenti. Sembra che Copernico non venisse mai scelto. E inoltre il caso di Salamanca è davvero eccezionale. Nelle università, anche dei paesi protestanti, i due (o tre) sistemi del mondo vengono insegnati, l'uno accanto all'altro, fino alle ultime decadi del Seicento. Per rendersi conto che la polemica contro la «fabbrica» di Aristotele e di Tolomeo conserva una sua precisa funzione anche oltre la metà del Seicento basta aprire il testo dell'*Academiarum examen* pubblicato a Londra nel 1654 da John Webster (1610-1682) medico e cappellano dell' Armata del Parlamento durante la guerra civile. Uno dei punti discriminanti fra antichi e moderni appare a Webster la credenza o meno nelle sfere celesti. Copernico, Galilei, Brahe, Keplero hanno mostrato che i cieli sono corruttibili. Ma gli entusiasmi per la nuova astronomia si congiungono in quel testo a richiami a Pico della Mirandola, a Giovambattista della Porta, ad esaltazioni della grandezza di Paracelso e del mago Robert Fludd. Nella dura risposta a Webster, intitolata *Vindiciae Academiarum*, Seth Ward (1617-1689), che è uno dei principali esponenti della nuova scienza oxfordiana, ha buon gioco nel fargli rilevare le sue simpatie per la cabala. E vero che a Oxford si insegna Tolomeo. Ma non lo si insegna come «vero» dato che Tolomeo non si è mai «mescolato con la fisica» e si è limitato a «salvare i fenomeni». Da questo punto di vista «non esiste al mondo libro matematico più dotto e utile del suo». Ma a Oxford non esiste studioso capace di calcolare un'eclisse che non abbia ricevuto anche il sistema copernicano, perfezionato da Keplero. «Il metodo osservato in questa università consiste nell'esibire i fenomeni, nel mostrare il modo di osservarli, nell'informare poi delle varie ipotesi mediante le quali si è dato o si può dare conto di essi. Se il signor

Webster propone correzioni a questo metodo e vorrà fornirle ai nostri professori, sono sicuro verrà ringraziato per questo» (Debus 1970, 29-30).

Sulla differenza fra le ipotesi e le verità dell'astronomia avremo modo di ritornare. Ma va ricordato che i negatori della realtà delle sfere celesti (fra il 1600 e il 1610) non appartengono (come è il caso di Gilbert, Brahe, Rothmann) al mondo accademico. Nei manuali di astronomia il numero dei negatori delle sfere aumenta in modo vistoso solo nel corso degli anni Venti del Seicento ed è definitivamente abbandonata solo nel corso degli anni Trenta. L'accettazione, da parte della cultura, del nuovo sistema del mondo comportava la risposta a difficili domande. Che non erano soltanto di carattere astronomico. Fa parte della grandezza di Galilei e di Keplero la loro decisa scelta copernicana. Entrambi riconobbero Copernico come il loro maestro. Entrambi dettero contributi decisivi a confermare la rivoluzione astronomica alla quale egli aveva dato inizio. Ma anche i loro contributi faticarono non poco ad aprirsi una strada. I versi della *Anatomy of the world* (1611) del grande poeta John Donne (1573-1631) sono diventati il simbolo dello smarrimento, che fu condiviso da molti, di fronte al crollo di consolidate e rassicuranti certezze:

La nuova filosofia richiama tutto in dubbio
l'elemento Fuoco è per intero spento,
il Sole è perduto e la Terra; e in nessun uomo
la mente gli insegna più dove cercarla.
Spontaneamente gli uomini confessano
che è consumato questo mondo,
quando nei pianeti e nel firmamento
cercano in tanti il nuovo. E vedono che il mondo
è sbriciolato ancora nei suoi atomi.
Tutto va in pezzi, ogni coerenza è scomparsa,
ogni giusta provvidenza, ogni relazione:
principe, suddito, padre, figlio son cose dimenticate,
perché ogni uomo pensa d'esser riuscito, da solo,
a essere una Fenice ...

A complicare le cose, agli occhi dei non astronomi (e anche a quelli degli astronomi) era intervenuto, accanto a quelli di Tolomeo e di Copernico, un terzo sistema del mondo, Un poeta francese, Maudit, in versi meno drammatici di quelli di Donne, esprimeva, nel 1681, l'incertezza che ne derivava e tentava un elementare riassunto della situazione:

Ognuno ha battezzato a suo modo l'universo. L'uno,

mediante un Cielo che muove tutti i Cieli che racchiude, attorno alla Terra fa ruotare il Sole.

L'altro rende fisso il Cielo e con analogo giro la Terra fa ruotare attorno al Sole. Ora ne giunge un altro: con un ardore estremo forgia, con i due primi, un intermedio sistema.

4. *Il sistema tychonico*

L'autore del «sistema intermedio» era l'astronomo danese Tyge Brahe (1546-1601) che aveva latinizzato il suo nome in Tycho. Era un astronomo autodidatta che aveva studiato a Lipsia (senza seguire regolarmente i corsi dell'Università), che aveva forti interessi per l'alchimia e credeva fermamente in una affinità fra eventi celesti e fenomeni terrestri. Nel frontespizio di una delle sue opere, la *Astronomiae instauratae mechanica* si fece rappresentare curvo su un globo, con in mano un compasso e lo sguardo volto al cielo. Il motto che accompagna la figura è *suspiciendo despicio* (guardo in basso, guardando verso l'alto). L'altra illustrazione lo rappresenta con lo sguardo volto a un apparato chimico e un serpente (simbolo di Esculapio) avvinghiato al braccio. Il motto è *despiciendo suspicio* (guardando in basso, guardo verso l'alto).

Più che un filosofo naturale, Tycho fu un paziente, minuto, acutissimo osservatore. Certamente il più grande degli osservatori a occhio nudo che abbia avuto la storia dell'astronomia. Le sue prime osservazioni risalgono al 1563, quando aveva sedici anni, e furono proseguite per tutto il corso della sua vita raggiungendo una precisione che è apparsa, a molti storici dell'astronomia, quasi incredibile. Brahe si procurò molti strumenti e ne costruì molti altri, di grande raffinatezza. A differenza di molti contemporanei osservava i pianeti in modo continuo e non solo quando essi si presentavano in una congiunzione favorevole.

Quando aveva ventisei anni si verificò l'evento che decise della sua vita, lo trattenne dall'emigrare a Basilea, gli valse, da parte del re di Danimarca, la signoria dell'isola di Hveen dove egli farà costruire lo splendido castello di Uraniborg dotato di osservatori e laboratori, sede di insegnamento per molti giovani astronomi europei. La sera dell'11 novembre 1572, ritornando verso casa, Tycho vide una nuova brillantissima stella nella costellazione di Cassiopea, in diretta opposizione al Gran Carro rispetto al Sole. Luminosa quanto Venere nel periodo del suo massimo splendore, diventerà sempre meno brillante fino a scomparire del tutto agli inizi del 1574. Quella stella, scriverà Keplero, «se non fu segno di null'altro e

null'altro generò, fu tuttavia il segno e generò un grande astronomo». Nel *De stella nova* (1573) Brahe dava conto delle sue osservazioni. Se non si trattava di una cometa, se la nuova stella appariva nella stessa posizione contro la sfera delle stelle fisse, allora nei cieli immutabili si era verificato un mutamento e si potevano avanzare dubbi sul contrasto fra la immutabilità dei cieli e la mutabilità del mondo sublunare. L'osservazione delle comete del 1577 e del 1585 diede conferma a Brahe della sua ipotesi. Egli tentò di misurare la parallasse della cometa del '77: il suo valore era troppo piccolo per riferirsi alle regioni del mondo sublunare. Tutte le comete da me osservate, concludeva, «si muovono nelle regioni eteree del mondo e mai nel mondo sublunare come Aristotele e i suoi seguaci hanno voluto farci credere per tanti secoli». Se le comete erano situate al di sopra della Luna, i pianeti non potevano essere infissi nelle sfere cristalline dell'astronomia tradizionale. Secondo la mia opinione, scriverà a Keplero, «la realtà di tutte le sfere deve essere esclusa dai cieli». Le comete non seguono la legge di nessuna sfera, ma agiscono «in contraddizione con esse». La macchina del cielo non è un «corpo duro e impenetrabile, composto di sfere reali, come fino a questo momento si è creduto da molti, ma il cielo è fluido e libero, aperto in tutte le direzioni, tale da non opporre alcun ostacolo alla libera corsa dei pianeti che è regolata, senza alcun macchinario né rotolamento di sfere reali, in accordo alla sapienza regolatrice di Dio». Le sfere «non esistono» realmente nei cieli, «vengono ammesse solo a beneficio dell'apprendimento».

Era, questa di Brahe, un'affermazione di importanza rivoluzionaria, paragonabile a quella di Copernico sulla mobilità della Terra. Sul terreno dell'astronomia (e non, come era avvenuto per Patrizi, su quello dell'immaginazione filosofica) era caduto uno dei dogmi centrali della cosmologia tradizionale: quello della incorruttibilità ed immutabilità dei cieli. Nel capitolo ottavo del *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus* (il titolo stesso era una sfida alla tradizione!), pubblicato a Uraniborg nel 1588, Brahe esponeva anche le linee essenziali del suo sistema del mondo. Esso traeva vita da un duplice rifiuto: dell'astronomia tolemaica e dell'astronomia copernicana. Copernico ha costruito un elegante sistema del mondo, matematicamente superiore a quello tolemaico. Ma Tycho non crede, come vuole Copernico, che al «corpo pigro ed enorme della Terra» possa essere attribuito il movimento (anzi, tre movimenti). Se la Terra fosse in moto, afferma, una pietra lasciata cadere da una torre, non cadrebbe, come invece avviene, ai piedi della torre. Il sistema di Copernico è inoltre inac-

cettabile perché tra l'orbita di Saturno e le stelle fisse bisognerebbe porre uno spazio enorme, a causa della mancanza di una parallasse osservabile delle stelle. Infine, il sistema di Copernico si oppone alla Scrittura che fa più volte riferimento all'immobilità della Terra. Il nuovo sistema dovrà «accordarsi sia con la matematica sia con la fisica, evitare la censura teologica, essere in completo accordo con quanto si osserva nei cieli».

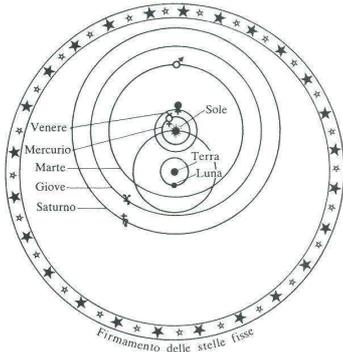


Figura 6. — Il sistema ticonico del mondo.

Nel sistema ticonico (vedi fig. 6) la Terra è immobile al centro di un universo racchiuso da una sfera stellare la cui rotazione quotidiana dà conto dei circoli giornalieri delle stelle. La Terra è anche (come nel sistema tolemaico) al centro delle orbite della Luna e del Sole. Al centro delle orbite degli altri cinque pianeti (Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno) sta invece il Sole. La negazione del carattere materiale delle sfere nasce anche su questo terreno, dato che le orbite si intersecano in più punti. E-picicli, eccentrici ed equanti sono ancora necessari al funzionamento del sistema.

Dal punto di vista dei calcoli, il sistema ticonico era in tutto equivalente a quello copernicano e ne conservava tutti i vantaggi matematici. Escludeva ogni ragione di conflitto con le Scritture e non comportava l'abbandono del principio, così fortemente radicato nel senso comune e nell'opinione dei dotti, della immobilità della Terra e della sua centralità nell'universo. Diventò un punto di convergenza per quanti non accettavano la rivoluzione copernicana e fu prediletto da molti Gesuiti. L'autorità grandissima di Brahe costituì senza dubbio un ostacolo alla diffusione del copernicanesimo. Ma i problemi che la sua grande astronomia aveva posto favorivano senza dubbio la messa in crisi e l'abbandono del sistema tolemaico.

In una lettera a Keplero, Brahe aveva manifestato «orrore» di fronte alla supposizione che i moti celesti potessero non essere circolari. In caso contrario le traiettorie degli astri «non tornerebbero perpetuamente su se stesse e

sarebbero prive di eternità, sarebbero irregolari e non si presterebbero a uno studio scientifico e all'uso del calcolo». Scrivendo a Maestlin, il 20 dicembre 1601 (l'anno stesso della morte di Brahe) Keplero dava una valutazione dell'opera di Brahe e della sua propria opera: «L'opera più importante di Tycho sono le sue osservazioni, altrettanti grossi volumi che annate impiegate in questo lavoro [...]. Puoi vedere in qual modo Dio dispensi i suoi doni. Nessuno può tutto. Tycho ha fatto come Ipparco, ha gettato le fondamenta dell'edificio e ha compiuto un lavoro enorme. Questo Ipparco aveva bisogno di un Tolomeo che edificasse, su quella base, le teorie degli altri cinque pianeti. Io l'ho fatto mentre egli era ancora in vita».

5. *Kepler: la fisica celeste e l'armonia cosmica*

L'astronomo che paragonava se stesso a un nuovo Tolomeo, Johann Kepler (1571-1630) nacque, da famiglia luterana, a Weil, nel Wurttemberg. Con il progetto di diventare un pastore, frequentò l'università protestante di Tubinga dove Maestlin insegnava astronomia presentando sia il sistema tolemaico sia quello copernicano. Nel 1594 accettò un posto di matematico degli stati di Stiria e di insegnante di matematica al seminario protestante di Graz, in Austria. La sua carica lo obbligava a fornire il calendario annuo e alla stesura di alcuni «pronostici». In uno di essi previde con successo un inverno molto freddo, rivolte contadine, la guerra con i Turchi. Non si sottrasse, in seguito, alla stesura di oroscopi alcuni dei quali, come quello di Wallenstein, sono anche ritratti di notevole penetrazione psicologica. A Graz aveva pochi allievi e molto tempo a disposizione. Scrisse nel 1595 e pubblicò nel 1596 (con l'aiuto di Maestlin) il *Mysterium cosmographicum*.

Le opere di Keplero sono un documento straordinario perché, in esse, egli non dà soltanto conto di teorie e di osservazioni, non espone soltanto risultati, narra i motivi per i quali è pervenuto alle sue teorie, racconta i suoi tentativi, le sue incertezze, gli errori che ha compiuto. Ritiene che un'esposizione delle ragioni che lo hanno indotto a scrivere un libro sia essenziale alla comprensione del medesimo da parte del lettore e alla sua propria fama. Sentendo esporre il sistema di Copernico, racconta Keplero, e convinto della insufficienza del tradizionale sistema, fui preso da entusiasmo per esso al punto di difenderlo nelle dispute con i candidati alla licenza e da avviare una ricerca sulle «ragioni fisiche e metafisiche» e non meramente matematiche (come in Copernico) del moto del Sole. Il sistema copernicano è, agli occhi di Ke-

plero, in accordo con i fenomeni celesti, è in grado di dimostrare i moti passati e di predire quelli futuri con un'esattezza maggiore di quella di Tolomeo e degli altri astronomi. Con le ipotesi tradizionali «non si finisce mai di fingere sfere», mentre Copernico «ha liberato la natura di quella onerosa e vana suppellettile» e la natura «ama la semplicità e l'unità, in essa non si trova mai nulla di ozioso e di superfluo».

Ma lo scopo principale dell'opera non è quello di difendere Copernico, bensì di dimostrare che, nella creazione del mondo e nella disposizione dei cieli, Dio «ha guardato a quei cinque corpi regolari che hanno goduto di così grande fama dai tempi di Pitagora e Platone» e che ha accordato alla loro natura il numero, la proporzione e i rapporti dei moti celesti. I cinque solidi regolari o «cosmici» ai quali fa riferimento Keplero hanno una speciale caratteristica: soltanto in essi le facce sono identiche e costituite da figure equilateri. Sono: il cubo, il tetraedro, il dodecaedro, l'icosaedro, l'ottaedro. Keplero si chiede dunque le cause del numero, delle dimensioni e dei moti degli orbi e ritiene che questa ricerca sia fondata sulla mirabile corrispondenza che esiste fra le tre cose immobili nell'universo (il Sole, le stelle fisse, lo spazio intermedio) e le tre persone della Trinità. La ricerca sulla possibilità che un orbe sia il doppio o il triplo o il quadruplo di un altro non dà alcun risultato: nemmeno introducendo tra un'orbita e l'altra pianeti invisibili per la loro piccolezza. I cinque solidi regolari sembrano, dopo una serie di sfortunati tentativi, una via d'uscita e ciò si configura per Keplero come una straordinaria scoperta. Alla grandezza dei cieli, che Copernico ha stabilito essere sei, corrispondono soltanto cinque figure che «fra tutte le infinite figure possibili, hanno proprietà particolari che nessun'altra figura possiede». L'orbe della Terra diventa la misura di tutti gli altri orbi. Se la sfera di Saturno viene circoscritta al cubo in cui risulta inscritta la sfera di Giove e se il tetraedro è inscritto nella sfera di Giove con la sfera di Marte inscritta in esso e così via (nell'ordine delle figure elencato sopra), allora le dimensioni relative di tutte le sfere sarebbero quelle calcolate da Copernico (vedi fig. 7). C'erano, in realtà, alcune differenze.

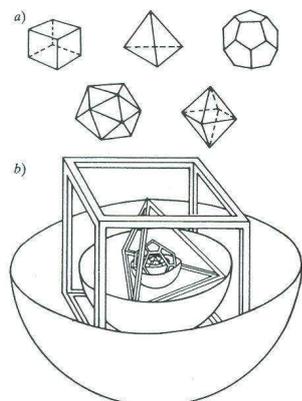


Figura 7. - L'applicazione al cosmo di Keplero dei cinque solidi regolari. La sfera di Saturno è circoscritta al cubo, mentre la sfera di Giove è inscritta in esso. Il tetraedro è inscritto nella sfera di Giove e così via.

Ma Keplero faceva affidamento sulla possibilità di calcoli più accurati e sul lavoro di Tycho Brahe.

Nel *Mysterium* Keplero non ricerca solo le leggi della struttura del cosmo, affronta anche il problema del perché dei moti dei pianeti e della loro velocità (che è tanto minore quanto più i pianeti sono lontani dal Sole). Ritiene che si debba necessariamente accettare una di queste due affermazioni: o le anime motrici dei singoli pianeti sono tanto più deboli quanto più distano dal Sole, oppure c'è una sola anima motrice, posta nel centro di tutti gli orbi, ossia nel Sole, che sospinge ogni corpo: con maggior forza i corpi vicini, con forza minore quelli lontani, in ragione della attenuazione della forza con la distanza. Keplero decide per la seconda ipotesi e ritiene che la forza sia proporzionale al cerchio in cui si diffonde e diminuisca con l'accrescersi della distanza, Dato che il periodo aumenta con l'accrescersi della circonferenza «la maggior distanza dal Sole agisce due volte nell'accrescere il periodo, e, inversamente, la metà dell'aumento del periodo è proporzionale all'aumento della distanza». I risultati dei calcoli non erano troppo lontani da quelli di Copernico e Keplero ha l'impressione di essersi «avvicinato alla verità». Nella sua cosmologia, il Sole è al centro dell'universo (per Copernico il centro dell'universo non coincide con il Sole ma con il centro dell'orbita terrestre). Il Sole si configurava come la sede della vita, del moto e dell'anima del mondo. Le stelle fisse sono in quiete; i pianeti hanno un'attività secondaria di moto. Al Sole, che supera in splendore e bellezza tutte le cose compete quell'atto primo che è più nobile di tutti gli atti secondi. Immobile e fonte di movimento, il Sole è l'immagine

stessa del Dio Padre. Non solo l'universo, ma l'astronomia diventavano eliocentriche. Il Sole era concepito non solo come il centro architettonico del cosmo, ma come il suo centro dinamico.

Il *Mysterium cosmographicum*, grandemente apprezzato da Maestlin, fu inviato dal giovane Keplero a Tycho Brahe. Galilei, che vide il libro, scrisse a Keplero congratulandosi per la sua adesione al copernicanesimo. Ma, molto probabilmente, non lo aveva ancora letto. Quando fu sollecitato da parte di Keplero ad uno scambio epistolare, non rispose. La sua distanza da ogni forma di misticismo lo allontanava dal tipo di scienza praticato da Keplero. La sua immagine della scienza e la sua condanna di quelle che egli qualificava come «fanciullezze» gli impedirono di rendersi conto di tutte le grandi scoperte in seguito effettuate da Keplero. L'incontro con Tycho Brahe assai più simpatetico nei confronti delle posizioni misticheggianti, ebbe invece effetti decisivi.

L'armonia e le proporzioni dell'universo, aveva scritto Brahe a Keplero, devono essere cercate a posteriori e non determinate a priori. Al di là di questa riserva di fondo, Brahe aveva una stima grandissima del lavoro svolto nel *Mysterium*. Aveva lasciato la Danimarca e si era stabilito in Boemia come matematico imperiale. Offrì a Keplero un posto di assistente. Quest'ultimo, con qualche esitazione, accettò (nel 1600) di occuparsi di elaborare una teoria dei movimenti di Marte in vista della preparazione di nuove tavole (che avrebbero dovuto sostituire le *tabulae prutenicae*). Le *tabulae rudolphinae* verranno pubblicate solo nel 1627. Ma la morte di Brahe, nel 1601, aveva creato una situazione nuova. Keplero successe a Brahe nella carica di matematico imperiale ed ebbe il diritto di accedere agli appunti e agli scritti di Tycho.

Oltre ad almanacchi e pronostici, Keplero pubblica, in questi anni, *De fundamentis astrologiae certioribus* (1601); *Ad Vitelionem paralipomena* (che sono un'opera fondamentale nella storia dell'ottica, 1604); *De stella nova* (1606); *De Jesu Christi Salvatoris nostri vero anno natalitio* (1606). Nel 1606 ha anche terminato il suo capolavoro: l'*Astronomia nova seu Physica coelestis* che verrà pubblicata solo nel 1609, l'anno stesso in cui Galilei puntava il suo cannocchiale verso il cielo.

Nell'*Astronomia nova* Keplero dà conto dei settanta tentativi che ha compiuto per far rientrare i dati ottenuti da Tycho relativamente ai moti di Marte nelle varie combinazioni di cerchi ricavabili dall'astronomia tolemaica e da quella copernicana. Il disaccordo fra le previsioni e le osservazioni di Tycho era solo di 8 minuti di grado. Questo risultato sarebbe sembrato accettabile a

tutti gli astronomi dell'epoca. Keplero scartò tutte le soluzioni e, disperando di giungere a una soluzione accettabile, passò a calcolare l'orbita della Terra. La velocità di quest'ultima è maggiore quando essa si avvicina al Sole, minore quando si allontana da esso. Sulla base di una premessa errata (la velocità della Terra è inversamente proporzionale alla sua distanza dal Sole) ed effettuando calcoli che contenevano non trascurabili errori, Keplero giunge a formulare quel risultato che ci è oggi noto come seconda legge di Keplero: in tempi uguali, la linea che congiunge con il Sole il pianeta spazza aree uguali. A differenza di quanto aveva sostenuto l'astronomia antica e lo stesso Copernico, la Terra e gli altri pianeti si muovono di un moto realmente e non solo apparentemente non uniforme.

Una semplice legge geometrica spiega questa non uniformità. La causa fisica della variazione va ricercata ancora una volta nel Sole. Accanto a Copernico e a Tycho Brahe, Keplero riconoscerà in Gilbert uno dei suoi grandi maestri. La filosofia magnetica costituisce lo strumento atto a spiegare quelle variazioni fisiche di velocità. Keplero si era esplicitamente richiamato ad un'anima presente nei corpi celesti. Ma, a differenza di Giordano Bruno e di Francesco Patrizi, non solo aveva effettuato calcoli matematici ed accurate osservazioni astronomiche, si era anche interrogato sui modi di funzionare di quelle anime. All'interno del suo pensiero e della sua unificazione della fisica celeste con la fisica terrestre, sono ancora operanti fondamentali categorie della fisica aristotelica. Per Keplero, in questo aristotelico, solo l'applicazione di una forza consente di spiegare la persistenza del moto. Keplero non conosce il principio d'inerzia né ha la nozione di forza centripeta. La forza che emana dal Sole non esercita un'attrazione centrale: serve a promuovere il moto dei pianeti e a mantenerli in movimento. Anche nel testo dell'*Astronomia Nova*, là dove Keplero ha rinunciato a spiegazioni fondate sull'esistenza di una specifica anima per ogni particolare pianeta, l'attribuzione di un'anima al Sole non si configura affatto come una sorta di «concessione» ad una metafisica animistica che possa venire eliminata dal sistema. I motori propri dei pianeti sono affezioni dei corpi planetari, simili «a quell'affezione che è nel magnete, che tende verso il polo e attrae il ferro». L'intero sistema dei moti celesti è quindi governato «da facoltà meramente corporee, ossia magnetiche». C'è però un'eccezione che è indispensabile al funzionamento del sistema: «Fa eccezione solo la rotazione locale del corpo del Sole, per spiegare la quale appare necessaria la forza proveniente da un'anima». Keplero non attribuisce rota-

zione alla Luna. Ma il Sole, corpo centrale dell'universo, deve ruotare sul proprio asse e trascinare con sé l'intero corpo del mondo: «Il Sole ruota su se stesso come se fosse su una torre ed emette in tutta l'ampiezza del mondo una species immateriale del suo corpo, analoga alla species immateriale della sua luce. Questa species, a causa della rotazione del corpo solare, ruota sotto forma di vortice velocissimo, che si estende in tutta l'immensità dell'universo e trasporta con sé i pianeti».

Quando ritorna a considerare l'orbita di Marte, Keplero, attraverso un'altra lunghissima serie di calcoli, giunse a calcolare la distanza tra il pianeta e il Sole nei vari punti dell'orbita. Si rende conto che il suo principale errore fu «l'aver creduto che la traiettoria del pianeta fosse un cerchio perfetto». Quell'errore pernicioso «che mi portò via tanto tempo, era sostenuto dall'autorità di tutti i filosofi e, in particolare, si accordava perfettamente con la metafisica». Rompendo con una millenaria tradizione, Keplero afferma che l'orbita del pianeta non è un cerchio, ma «a partire dall'afelio si incurva a poco a poco verso l'interno, tornando poi all'ampiezza del cerchio al perigeo: una tale traiettoria è detta ovale». Anche il passaggio dall'ovale all'ellisse fu assai complicato e degli errori di calcolo compiuti, delle vie senza uscita imboccate Keplero dà conto minuziosamente. Solo un'ellisse perfetta, con il Sole ad uno dei fuochi (e questa scoperta gli appare come l'accendersi improvviso di una luce) è in accordo con i dati dell'osservazione e con la legge delle aree. Questa sua conclusione ci è nota come la prima legge di Keplero. Una curva conica è sufficiente a descrivere l'orbita di ogni pianeta. L'abbandono degli eccentrici e degli epicicli, la semplificazione del sistema era ottenuta attraverso l'abbandono del dogma della circolarità. Nel momento stesso in cui Keplero «perfezionava» il sistema copernicano, lo distruggeva.

La dottrina delle cause dei fenomeni celesti era stata presentata ai pochi lettori dell'Astronomia nova («i più poveri, scrive Keplero, furono respinti anche dal prezzo») «tra i rovi dei numeri e di tutto l'apparato astronomico». Keplero progettò un'opera che si presentasse insieme come una summa della nuova astronomia e un manuale (destinato a soppiantare quelli in uso) scritto nella forma della questione-risposta. Nel 1610 pubblicò la *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* e, nel 1611, la *Dioptrice*. Nel 1612, dopo l'abdicazione di Rodolfo II, lasciò Praga e si trasferì a Linz dove rimase per quattordici anni. La guerra lo costrinse ad abbandonare il suo posto di matematico nella città austriaca. Non riuscì mai a far ritorno, come sperò sempre, in Germania. Trovò lavoro presso vari mecenati

(tra i quali il Wallenstein) e morì a Ratisbona nel 1630.

I vari libri della summa-manuale o *Epitome astronomiae copernicanae usitata forma quaestionum et responsionum conscripta* furono pubblicati fra il 1617 e il 1621. Le scoperte astronomiche vengono qui ripresentate nel quadro del pitagorismo e neoplatonismo già teorizzato nel giovanile *Mysterium*. Luce, calore, moto, armonia dei moti sono la perfezione del mondo e sono entità analoghe alle facoltà dell'anima. La sfera delle stelle fisse «trattiene il calore del Sole perché non si disperda e svolge rispetto al mondo la funzione di una parete o pelle o abito». In ragione del suo corpo, il Sole è la causa del moto dei pianeti. La potenza vegetativa dell'etere corrisponde alla nutrizione degli animali e delle piante, alla facoltà vitale corrisponde il calore, a quella animale il movimento, alla sensitiva la luce, alla razionale l'armonia. Un impetus conferito al corpo del Sole da Dio all'atto della creazione non basta a spiegarne il moto: «la sua costanza e perennità, su cui si fonda tutta la vita del mondo, si spiega più convenientemente con l'azione di un'anima».

I temi «pitagorici» si fanno ancora più evidenti negli *Harmonices mundi libri quinque* che vide la luce a Linz nel 1619. Anche in questo caso, si tratta di un progetto molto antico, dato che nel 1600 Keplero aveva scritto a Herwart di Hohenburg: «che Dio mi liberi dall'astronomia, in modo che io possa dedicare tutto il mio tempo al lavoro sulle armonie». Ai rapporti geometrici teorizzati nel *Mysterium* (alle cinque figure Keplero aggiunge più tardi i poliedri stellati) devono affiancarsi – dato che Dio non è solo geometra, ma anche musico – dei rapporti armonici. Keplero trova modo di associare ad ogni pianeta un tono o intervallo musicale. Come risulta dall'indice del libro quinto, i singoli toni o modi musicali sono espressi dai singoli pianeti; i contrappunti o armonie universali dei pianeti sono diversi l'uno dall'altro; nei pianeti sono espressi quattro tipi di voci: soprano, contralto, tenore, basso. Nel terzo capitolo di quello stesso libro, accanto ad una riesposizione delle tesi centrali del *Mysterium* si trova anche una nuova teoria: «E un fatto assolutamente certo ed esatto che la proporzione tra i tempi periodici di due pianeti scelti a piacere è esattamente come la potenza di tre mezzi della proporzione tra le loro distanze medie, e cioè fra le loro stesse orbite». E l'enunciazione di quella che chiamiamo la terza legge di Keplero: i quadrati dei tempi di rivoluzione di qualunque coppia di pianeti sono proporzionali ai cubi delle loro distanze medie dal Sole. Una volta stabilita l'orbita è necessariamente stabilita la velocità e viceversa. Era stata scoperta una legge che non si limitava a regolare i moti dei

pianeti nelle loro singole orbite: essa stabiliva una relazione tra le velocità dei pianeti che si muovono in orbite differenti. La scoperta della cosiddetta terza legge si configura agli occhi di Keplero come una grande scoperta metafisica: *Gratias ago tibi, Creator Domine*. Il libro sarà letto nel presente o dai posteri. Potrà anche attendere cento anni chi lo legga: «Dio non ha forse atteso seimila anni prima che qualcuno contemplasse le sue opere?».

Keplero seguì vie assai tortuose (che solo Alexandre Koyré ha avuto la pazienza di ricostruire in modo analitico): non solo egli derivò la sua seconda legge delle aree da presupposti «errati», ma la stabilì come vera prima di aver determinato il carattere ellittico delle orbite planetarie. Quelle tre leggi, attraverso le quali il nome di Keplero compare ancor oggi nei manuali di fisica, emergono da un contesto che – prendendo come punti di riferimento Descartes o Galilei – è davvero difficile qualificare come «moderno».

Tutti gli storici hanno sottolineato la straordinaria mescolanza di misticismo dei numeri e di passione per l'osservazione che è presente in Keplero. Molti hanno insistito sull'ostinata, incredibile tenacia con la quale egli cerca dati che si adattino a immaginose ipotesi metafisiche e ne costituiscano la conferma. Alcuni hanno avvicinato Keplero al neopitagorismo e alla tradizione ermetica fino a identificarlo con essi. Collocato fra Galilei e Newton, Keplero costituisce senza dubbio un'ingombrante presenza. E tuttavia possibile cercare di determinare alcune differenze. Si è già rilevato che, diversamente da Patrizi e dai maghi e filosofi naturali del tardo Rinascimento, Keplero è fortemente interessato ai modi di funzionare delle anime dei corpi celesti. Al di là della sua adesione fermissima alle prospettive mistiche del platonismo, la sua «modernità» è legata a due temi: 1) la ricerca delle variazioni quantitative delle misteriose forze che agiscono nello spazio e nel tempo; 2) il parziale abbandono del punto di vista animistico in favore di una prospettiva di tipo meccanico. I moti che si verificano nello spazio, la virtus che emana dal Sole e si diffonde attraverso gli spazi del mondo sono «cose geometriche». Quella virtus è sottoposta alle necessità della geometria. La macchina celeste, da questo punto di vista, «può essere paragonata non a un organismo divino, ma piuttosto a un meccanismo di orologeria». Tutti i suoi movimenti si compiono «grazie a una sola forza magnetica molto semplice, così come nell'orologio tutti i moti sono causati da un semplice peso».

L'idea che il mondo non sia un divino organismo è ciò che davvero pone Keplero in insanabile dissidio con il

pensiero magico. La riduzione delle molte anime (dei singoli pianeti) ad un'anima sola (quella del Sole), la identificazione dell'anima con una forza si configurano ai suoi stessi occhi come risultati positivi. Annotando (nel 1625) la nuova edizione del *Mysterium cosmographicum*, afferma di aver già dimostrato, nell'Astronomia Nova, che non esistono specifiche anime per i singoli pianeti e dichiara che, per quanto riguarda il Sole, «se sostituiamo al termine anima il termine forza abbiamo esattamente lo stesso principio che è a fondamento della mia fisica del cielo». Un tempo, scrive, «credevo fermamente che la causa motrice di un pianeta fosse un'anima». Riflettendo sul fatto che la causa motrice si indebolisce in proporzione alla distanza e che lo stesso avviene per la luce del Sole, «giunsi alla conclusione che questa forza era qualcosa di corporeo, anche se corporeo va inteso qui non in senso letterale, ma traslato, allo stesso modo in cui diciamo che il lumen è qualcosa di corporeo».

Il misticismo di Keplero è associato ad una convinzione precisa: che la verità sia avvicinabile non mediante i simboli o i geroglifici, ma attraverso le dimostrazioni matematiche. Senza di esse, scriverà al mago Robert Fludd, «io sono cieco». Non si tratta, come per la magia, «di trovare diletto nelle cose avvolte nell'oscurità, ma di chiarirle». Il primo di questi atteggiamenti «è familiare agli alchimisti, agli ermetici, ai seguaci di Paracelso; il secondo è esclusivo dei matematici».

Era certo difficile, per i contemporanei, rilevare queste differenze, accogliere risultati scientifici presentati come divine rivelazioni, accettare di ripercorrere il tortuoso cammino descritto da Keplero, muoversi all'interno di un sistema di idee che non offriva né le ormai familiari difficoltà dei classici, né la limpida chiarezza dei testi della nuova filosofia. Galilei non solo sottolineò la differenza profondissima tra «il filosofare» di Keplero e il suo proprio, ma ritenne che alcuni pensieri di Keplero fossero «più tosto a diminutione della dottrina del Copernico che a stabilimento». Bacone, per tanti aspetti legato alla tradizione dell'ermetismo, lo ignorò del tutto. In una lettera a Mersenne del 31 marzo 1638, Descartes lo riconosce come «il suo primo maestro in ottica», ma per il resto non lo considera degno di attenzione. Solo Alfonso Bordi (1608-1679) comprese l'importanza dell'astronomia kepleriana. Le leggi di Keplero divennero leggi «scientifiche» solo dopo che se ne servì Newton e vennero accettate dalla maggioranza degli astronomi matematici solo nel corso degli anni Sessanta del Seicento. La fortuna di Keplero continuerà ad essere caratterizzata da contrasti violenti: Hegel, nel *De orbis planetarum*, vedrà in Keplero

l'eroe della vera fisica non ancora disvelata dal formalismo di eredità newtoniana; Comte esprimerà, di fronte alle tesi degli *Harmonices mundi*, l'indignazione di un seguace di Newton e di Laplace.

Il *De revolutionibus orbium caelestium*

Alexandre Koyré

L'anno 1543, in cui apparve il *De Revolutionibus orbium caelestium* e in cui il suo geniale autore, Niccolò Copernico, morì, segna una data importante nella storia dell'umanità. Potrebbe essere proposta come quella della fine del Medioevo e dell'inizio dei tempi moderni, perché assai più profondamente della presa di Costantinopoli da parte dei turchi o della scoperta dell'America da parte di Cristoforo Colombo, essa segna la fine di un mondo e la nascita di un mondo nuovo.

E forse ne misconosceremmo ancora l'importanza: la frattura operata da Copernico non segna soltanto la fine del Medioevo. Essa segna la fine di un periodo che abbraccia insieme il Medioevo e l'Antichità. Dopo Copernico, e solo dopo Copernico, l'uomo non è più al centro del mondo. L'universo non ruota più per lui.

È difficile per noi, oggi, rappresentarci, realizzare appieno lo sforzo e l'ardimento di quello spirito sorprendente. Sarebbe necessario dimenticare tutto ciò che abbiamo appreso a scuola; sarebbe necessario tornare all'ingenua sicurezza con cui il senso comune accetta l'evidenza immediata della percezione dell'immobilità della Terra.

Ora, nemmeno questo sarebbe sufficiente. Su questa evidenza dovremmo ancora innestare un triplice insegnamento: scientifico, filosofico, teologico. Una triplice tradizione, una triplice autorità di calcoli, di ragionamenti, di rivelazione. Soltanto allora potremmo renderci conto dell'inverosimile ardimento del pensiero copernicano, che strappava la Terra dalle sue fondamenta per lanciarla nel cielo.

Se ci è difficile, anzi, a vero dire, impossibile, se non nell'immaginazione, realizzare lo sforzo liberatore di Copernico, ci è altrettanto difficile renderci conto della violenta impressione che alla lettura della sua opera dovettero provare gli uomini del suo tempo. Era il crollo di un mondo che tutto – scienza, filosofia, teologia – rappresentava come centrato intorno all'uomo e creato per l'uomo. Era il crollo della gerarchia che, contrapponendo ai cieli il

mondo sublunare, li univa in questa e mediante questa separazione. Appariva davvero troppo folle per essere vero E anche troppo complicato. «*Mathemata mathematic scribuntur*»: lasciamo tutto ciò ai matematici. Era un'ipotesi nuova e insieme antichissima, una premessa per il calcolo, senza efficacia pratica. Ecco ciò che per lo più si pensò per una cinquantina d'anni.

Solo più tardi, quando fu chiaro che l'opera di Copernico non era solo di competenza dei matematici, e ci si rese conto che il colpo da essa inferto al mondo geo- e antropocentrico era mortale, quando la dottrina copernicana ebbe il tempo di sviluppare le sue conseguenze metafisiche e religiose (in particolare, negli scritti di Giordano Bruno), sopraggiunse la reazione: la condanna di Galileo e il tentativo di confutazione di Pascal.

Sarebbe d'incalcolabile interesse per la storia e la fenomenologia del pensiero umano poter ricostruire e ricostituire i procedimenti attraverso i quali è passato il pensiero copernicano. Ma diciamolo subito: questo ci appare quasi impossibile. Copernico non ci ha lasciato un'autobiografia intellettuale: le poche indicazioni che dà nella sua bella lettera-prefazione a papa Paolo III sono magre e per di più non sono molto attendibili; la sua opera, poi, ci si presenta in uno stato di perfezione disperante.

Se dobbiamo rinunciare al desiderio di potere scrivere la storia del pensiero copernicano, è necessario, almeno cercare di coglierla nella sua realtà storica, evitando di modernizzarla e di avvicinarla troppo a noi. E per questo, la prima precauzione da prendere consiste nel non vedere in Niccolò Copernico un precursore di Galileo e di Keplero, e di non interpretarlo attraverso loro.

L'impresa, a nostro giudizio, è particolarmente importante e curiosamente trascurata finora in modo singolare. Perché, se le esposizioni dell'astronomia copernicana non mancano, se per di più sono stati profusi tesori d'ingegnosità e d'erudizione per stabilire l'esatta etimologia del suo nome o per determinare la sua nazionalità – o meglio per provare il suo «germanesimo» o la sua «polonità» compito quant'altri mai ridicolo – si è invece completamente trascurata la sua fisica. Eppure, come ha ben visto con la sua consueta penetrazione Schiaparelli, si trattava innanzi tutto di fisica e di cosmologia.

Niccolò Copernico nacque a Torun, in Pomerania, il 19 febbraio 1473. Suo padre era originario di Cracovia, sua madre di Torun. Rimasto orfano dodicenne, fu in qual-

che modo adottato dallo zio materno, Lucas Watzenrode, di. venuto in seguito vescovo di Varmia. Era polacco o tedesco? Devo dire che la questione mi sembra non solo priva d'interesse, ma anche priva di senso. Copernico – fortunatamente per lui! – viveva in un'età che ignorava il sentimento nazionale, ignorando l'esistenza stessa delle nazioni. Credo che se la domanda fosse stata rivolta allo stesso Copernico, non l'avrebbe capita: era suddito del re di Polonia, e canonico di Frauenburg. Scriveva in tedesco biglietti che trattavano cose della vita quotidiana; le cose serie, le pensava e le scriveva in latino. A parte questo, era un buon cattolico. Ecco, penso, tutto ciò che avrebbe potuto rispondere.

Nel 1491, lo troviamo all'università di Cracovia, a quel tempo molto famosa. Possiamo supporre che abbia seguito il normale curriculum di studi della facoltà delle Arti. Ma studiò anche medicina e diritto. Sembra che si legasse allora all'astronomo Alberto di Brudzewo (Brudzewski), che, nel 1482, aveva steso per i suoi discepoli un commento alle *Theoricae novae planetarum* di Peurbach e che, dal 1490, vi insegnava filosofia, ossia commentava il *De Caelo* di Aristotele.

Alberto di Brudzewo lasciò l'università di Cracovia nel 1494, e si pensa – gratuitamente, a parer mio – che anche Copernico l'abbia allora lasciata, per fare ritorno a casa. In ogni modo, nel 1496 parte per l'Italia, e il 6 gennaio 1497 viene iscritto all'università di Bologna fra i membri della «natio germanorum». Vi passò circa tre anni e mezzo, apprendendovi il greco e studiando Platone. Per quel che riguarda l'astronomia, sembra che ne sapesse già abbastanza da essere accolto dall'astronomo Domenico Maria da Novara «come aiutante e collaboratore, più che come discepolo».

Nel 1500 Copernico si recò a Roma, dove – secondo Retico – fece un corso di «matematiche»; disgraziatamente Retico non precisa che cosa abbia insegnato. Copernico – sembra – avrebbe prolungato volentieri il suo soggiorno in Italia; invece dovette fare ritorno in patria per prendere possesso del suo canonicato di Frauenburg, al quale suo zio, Lucas Watzenrode, vescovo di Varmia, lo aveva fatto eleggere tre anni prima. Lo troviamo, dunque, nel 1501, a Frauenburg, dove viene insediato il 27 luglio; dopo di che, munito di un nuovo congedo, riparte per l'Italia. Si reca a Padova, dove resta quattro anni per studiare medicina e diritto; tuttavia, nel 1503, va a Ferrara, dove il 31 maggio consegue il dottorato in diritto canonico. Ricevuto il cappello, ritorna a Padova.

Sembra che Copernico non avesse alcun desiderio di tornare in patria. Ma il capitolo di Frauenburg si impazientiva: la sua assenza era davvero troppo lunga per un canonico, anche se questo canonico era nipote del vescovo. Nel 1506 Niccolò Copernico rientra nella sua diocesi, che non lascerà più fino alla morte.

La vita di un canonico – e del resto Copernico non risiedeva nel capitolo, ma a Heilsberg, presso lo zio, al quale fungeva da medico – lasciava parecchio tempo per lo studio, la meditazione, i calcoli. A poco a poco andava elaborando la sua opera immortale.

Ho detto: meditazione, calcoli. In effetti, Copernico non è un astronomo praticante: non fece che assai poche osservazioni del cielo. D'altra parte, il suo sistema non va d'accordo con i fenomeni più di quello tolemaico, che egli pretese di sostituire. Negli ambienti che si interessavano alle «buone lettere» sembra che non si sia ignorato che il capitolo di Frauenburg possedeva in Copernico uno studioso di vaglia. Così, nel 1514, quando venne sollevata la questione della riforma del calendario nel concilio del Laterano, Paolo di Middelburg, vescovo di Fossombrone, chiese il suo parere. Copernico, però, si astenne dal darlo. L'idea centrale del suo sistema sembra gli sia venuta assai presto: forse ancora in Italia. Ma Copernico aveva capito che non serviva enunciare un'idea, peraltro nemmeno nuova. Occorreva qualcosa di diverso: una teoria dei movimenti planetari, elaborata, completa, tecnica – con tavole e calcoli – e utilizzabile quanto quella di Tolomeo.

Verso il 1530 Copernico terminò la redazione del *De revolutionibus*. Il fatto che Copernico avesse elaborato un nuovo sistema del mondo non restò ignorato a lungo. Del resto, Copernico non lo nascondeva. Sembra, anzi, che dopo avere terminato la redazione del *De revolutionibus*, mettesse in circolazione fra i suoi amici una breve esposizione – il *Commentariolus* – delle linee generali del suo sistema.

Copernico vi osserva innanzi tutto che l'astronomia di Eudossio non era riuscita a spiegare le variazioni nelle distanze dei pianeti; che Tolomeo dovette risolversi a introdurre nel suo sistema astronomico gli equanti, soluzione, a suo giudizio, repressibile, cosicché era necessario trovare altro.

Sette assiomi o *petitiones* precisano poi le caratteristiche del nuovo sistema. Finalmente sette brevi capitoli espongono l'ordine degli orbi, il triplice movimento della Terra, il vantaggio di riferire i movimenti, anziché all'equinozio, alle stelle fisse, indicano il meccanismo dei

movimenti della Luna, dei pianeti superiori, di Venere e di Mercurio, e assegnano alle orbite e agli epicicli dimensioni determinate. Tutto ciò senza prove né dimostrazione alcuna.

Il *Commentariolus* sembra avere avuto una diffusione piuttosto larga. È probabile che arrivasse fino a Roma, dove già nel 1533 Johann Albrecht von Widmanstadt poté esporre a papa Clemente VII le basi della nuova astronomia. A Roma non ci si emozionò molto per questo. Anzi, tre anni dopo il cardinale arcivescovo di Capua, Niccolò Schönberg, scrisse a Copernico – il 1° novembre 1536 – esortandolo a pubblicare le sue scoperte e pregandolo di far fare (a spese del cardinale) una copia di tutti i suoi lavori.

Tuttavia Copernico non aveva alcuna intenzione di pubblicare la sua opera: temeva il «calumniatorum morsus». Tutti i suoi amici, e prima di tutti il suo «carissimo Tiedemann Giese, vescovo di Culm», potevano ben esortarlo e mostrargli il suo dovere verso il mondo dei dotti. A sessant'anni passati, niente gli era caro quanto la sua tranquillità.

Nel 1539, Georg Joachim Retico, un giovane professore dell'università di Wittenberg, si reca a Frauenburg. Vuole sapere a che punto è arrivato Copernico. Questi lo accoglie cordialmente, e Retico rimane due anni a studiare il manoscritto del *De revolutionibus* e a lavorare con colui che ormai chiama soltanto «dominus doctor praeceptor».

Retico è immediatamente convinto e conquistato: conquistato dalla personalità dello scienziato, convinto dalla bellezza dell'opera. Affinché la luce non resti più a lungo nascosta sotto il moggio, egli redige un riassunto dell'opera, che invia al suo maestro, Johannes Schoner, e che questi fa subito stampare a Danzica, nel 1540. In questo rapporto – la famosa *Narratio prima* – oltre a una succinta esposizione del sistema di Copernico e ad alcune indicazioni biografiche su di lui, troviamo una curiosa interpretazione astrologica del ruolo delle variazioni dell'eccentricità dell'orbe terrestre. In particolare Retico – ma per suo tramite quasi sicuramente parla Copernico stesso – spiega che quando l'eccentricità era al suo massimo la repubblica romana si trasformò in monarchia. Quando l'eccentricità fu in diminuzione, l'Impero romano del pari declinò, e quando essa di nuovo raggiunse il suo valore medio, nacque l'Islam e un altro grande impero, che da allora è continuato a crescere. Quando però l'eccentricità giungerà al minimo, questo impero si sfascerà rapidamente. Finalmente, quando l'eccentricità ritroverà nuovamente il suo valore medio, si potrà attendere il ritorno di Cristo in terra, perché allora il centro dell'orbe

terrestre sarà nello stesso luogo in cui si trovava al momento della creazione del mondo, Questo calcolo – prosegue *Retico* – non differisce molto dalla profezia di Elia, secondo la quale il mondo durerà seimila anni, un lasso di tempo nel quale questa «rota fortunae» avrà il tempo di compiere due giri. Non sorridiamone: ancora Keplero crederà fermamente all'astrologia e Campanella è pieno di predizioni del genere.

La *Narratio prima* ebbe grandissimo successo. Nel 1541 una nuova edizione venne pubblicata a Basilea a cura del fisico Achilles Gasser. Il mondo dei dotti era in possesso degli elementi della dottrina. Le prime reazioni furono anche assai favorevoli. Così, Erasmo Reinhold – che nel 1542 ristampa il manuale di Peurbach – esprime la speranza di vedere restaurata l'astronomia da colui che chiama «nuovo Tolomeo». Non aveva più senso il rifiuto di pubblicare il *De revolutionibus*. E Copernico finisce con l'acconsentire. Il manoscritto consegnato a Giese venne trasmesso per suo tramite a Retico, che lo fece stampare a Norimberga. Tiedemann Giese racconta che Copernico ricevette un esemplare a stampa il giorno stesso della sua morte, il 24 maggio 1543.

Tutto questo è noto. Si sa anche che Retico, chiamato nel 1542 alla cattedra di Lipsia, lasciò la cura di sorvegliare la stampa dell'opera al suo amico Andrea Osiander, un celebre teologo luterano piuttosto eterodosso. Sappiamo anche che Osiander – conoscendo gli ortodossi meglio di ogni altro e rendendosi conto della fondatezza dei timori di Copernico – credette di doversi premunire contro la «rabies theologorum» col prendere alcune precauzioni. D'altra parte, l'ardire di Copernico lo aveva turbato. La nuova teoria era evidentemente in contrasto con le Scritture e, sebbene eretico, era abbastanza buon luterano da non dubitare della loro ispirazione divina. Così, fin dal 1541 immaginò una soluzione assai elegante per superare tale difficoltà, adottando una teoria fenomenistica della scienza.

La scienza, e in particolare l'astronomia – pensa Osiander – ha per scopo e dovere di «salvare i fenomeni». L'astronomo non ha il compito di ricercare le cause sconosciute o i movimenti reali dei pianeti, bensì quello di collegare le sue osservazioni mediante ipotesi, che permettano di calcolare le posizioni (visibili) degli astri. Tali ipotesi – e quella di Copernico non più delle altre – non hanno la pretesa di essere vere, né verosimili e nemmeno probabili: la migliore è semplicemente la più comoda o la più semplice. Questo viene spiegato da Osiander in una lettera posta a guisa di prefazione, rivolta «al lettore sulle

ipotesi di quest'opera», aggiunta – senza firma – all'edizione del *De revolutionibus*.

Questa bellissima esposizione, che l'autore avrebbe potuto firmare senza esitazione, estremamente curiosa per la storia dell'astronomia, venne nondimeno giudicata molto severamente dagli amici di Copernico. Tiedemann Giese attribuisce questa prefazione al desiderio di chi, non volendo abbandonare le proprie credenze tradizionali, preferisce commettere un vero e proprio falso, e per di più un abuso di fiducia.

Giese avrebbe preteso una formale smentita. Chiese alla magistratura di Norimberga di ordinare la soppressione della «lettera al lettore». Avrebbe voluto anche che venissero ristampate le prime pagine dell'opera, annunciando che quella prima edizione era apocrifia. Joachim Retico – pensava Giese – avrebbe dovuto incaricarsi di questi passi: gli inviò dunque la sua denuncia al magistrato.

Probabilmente Retico, da Lipsia, vedeva le cose in modo affatto diverso da come apparivano a Giese, a Culm, e sembra che non ne facesse niente. La «lettera al lettore» fu conservata, e la seconda edizione del *De revolutionibus* (Basilea 1566) non faceva – come la prima – alcuna menzione di Osiander. D'altronde, benché si credesse che la lettera fosse opera di Copernico, la dichiarazione di fede fenomenistica non ingannò gli iniziati: si disse, al più, che Copernico aveva preso le sue precauzioni.

In realtà, Copernico si cautelò assai poco. Aveva fatto aggiungere all'edizione dell'opera la lettera scrittagli dal cardinale di Capua. Aveva dedicato il libro a papa Paolo III. Ma nella bellissima e nobile lettera di dedica, egli rivendica altamente i diritti della scienza e della filosofia. «*Mathemata mathematicis scribuntur*», proclama: gli ignoranti devono solo tacere. E l'allusione a Lattanzio, copertosi di ridicolo col rifiutarsi di credere alla sfericità della Terra è chiara: non basta essere buon cristiano e nemmeno teologo per immischiarsi di astronomia.

In quella stessa lettera di dedica, Copernico spiega perché ha intrapreso l'elaborazione di una nuova teoria dei movimenti planetari. A causa del disaccordo esistente fra i matematici, della molteplicità dei sistemi astronomici (Copernico enumera i sistemi di sfere omocentriche, di epicicli, di eccentriche), come pure del loro fallimento (nessuno di essi ha potuto rappresentare esattamente i movimenti apparenti, né restare fedele al principio del movimento circolare degli astri), era stato spinto a pensare che i «matematici» avessero o trascurato qualche principio essenziale, o, al contrario, introdotto nelle loro costruzio-

ni qualche principio inutile. Questo potrebbe spiegarne il fallimento. Ma dove stava il loro errore?

Copernico asserisce che – per trovare tale errore – aveva letto tutti gli scritti dei filosofi che trattavano la questione. Scoprì così che alcuni di loro credevano nel movimento della Terra, e ciò gli diede il coraggio di provare lui stesso a formulare tale ipotesi per vedere se essa non dava una spiegazione migliore dei fenomeni celesti. Trovò che accadeva proprio così, e per di più che in tal modo si otteneva un universo perfettamente ordinato. L'errore dei matematici era dunque consistito nel fare della Terra il centro dei movimenti celesti.

Dreyer, autore di una delle migliori storie dell'astronomia esistenti, scrive a questo proposito: «Copernico dapprima osservò quanto fosse grande la divergenza d'opinioni tra i dotti sui moti planetari; quindi notò che alcuni avevano attribuito qualche moto alla Terra, e infine considerò se un'ipotesi di questo genere potesse essere utile a risolvere il problema». E conclude melanconicamente: «È quanto noi stessi avremmo potuto supporre, anche se egli non ce lo avesse dichiarato esplicitamente».

Dreyer, che ha evidentemente poca fiducia nella sincerità di Copernico quando scrive al papa, giudica le indicazioni dateci insufficienti a rispondere alle seguenti domande: in che modo Copernico giunse a porre il Sole al centro del mondo? Fu influenzato forse dalla lettura degli antichi filosofi? Dovette ad Aristarco di Samo la prima idea del suo sistema astronomico? Oppure elaborò in un primo momento l'astronomia eliocentrica (partendo direttamente da Tolomeo) e nelle sue letture trovò soltanto incoraggiamento e conforto?

Senza dubbio, il racconto di Copernico è pieno di reticenze. Credo, tuttavia, che se esso non ci offre la storia del pensiero copernicano, ci dà comunque alcune preziose indicazioni sulle cause e i moventi di quel pensiero. Copernico ci dice – e lo dice molto nettamente – quello che rimprovera a Tolomeo, come pure a tutti gli altri sistemi dell'astronomia antica e medievale: nessuno di essi può rimanere fedele al principio del movimento circolare. Il che – nel pensiero di Copernico – equivale a dire che sono fisicamente impossibili.

Nel decimo capitolo del primo libro, Copernico – esponendo le difficoltà inerenti alla teoria dei movimenti di Mercurio e di Venere – riferisce la concezione, riportata da Marziano Capella, secondo cui quei due pianeti avrebbero il centro dei loro movimenti nel Sole. Egli aggiunge che chi approfittasse dell'occasione per riferire al

medesimo centro i movimenti di Saturno, di Giove e di Marte, troverebbe la spiegazione reale dei loro movimenti. Si tratta forse di una reminiscenza della via effettivamente seguita dal suo pensiero?

Nella *Narratio prima* Retico racconta che la differenza di splendore del pianeta Marte nel suo levarsi al mattino e nel suo levarsi la sera aveva mostrato a Copernico che quel pianeta non si muoveva attorno alla Terra, poiché il suo epiciclo non poteva spiegare tanto variare di distanza. Anche questo sembra rivelare lo stesso procedimento di pensiero. Tuttavia, se Copernico avesse così ragionato, avrebbe costruito non l'astronomia di Copernico, bensì quella di Tycho Brahe.

Forse egli era stato colpito dal fatto che il movimento del Sole sullo zodiaco e quello dei centri degli epicicli dei pianeti inferiori si compiono nello stesso periodo, ossia in un anno, mentre il periodo di rivoluzione dei tre pianeti superiori sui loro epicicli è eguale al periodo sinodico, ossia a quello dei tempi fra due successive opposizioni al Sole. Questo curioso rapporto fra i pianeti e il Sole poté forse fargli concepire l'idea che i deferenti dei due pianeti inferiori e gli epicicli dei tre pianeti superiori non fossero se non la proiezione dell'orbita della Terra muoventesi attorno al Sole. Forse... Come ho già detto, non sappiamo niente su questo punto.

All'astronomia del suo tempo Copernico rimprovera la sua estrema complicazione. Meglio accettare il movimento terrestre, per quanto assurdo possa sembrare, che lasciarsi lacerare e scompaginare dalla molteplicità quasi infinita dei cerchi. In effetti, quando scorgiamo l'immagine schematica del sistema copernicano del mondo, siamo colpiti dalla sua semplicità e dalla sua bellezza estetica. Eppure l'impressione è ingannatrice: il numero dei cicli non era tanto elevato nell'astronomia tolemaica quanto asserisce Copernico, ne essi mancavano nella sua. In realtà, egli ne conserva trentaquattro. Sei movimenti: ecco tutto quello che si guadagna. Chi pensò che, sotto questo riguardo, non valesse la pena di accettare il rivolgimento proposto da Copernico, non era poi tanto da biasimare.

Un'altra obiezione di Copernico, filosofica in questo caso, non è di maggior peso. Egli osserva – e ha perfettamente ragione – che è assurdo voler muovere il luogo e non il localizzato. Per conseguenza il cielo, luogo dell'universo, dev'essere immobile. Per conseguenza, bisognava concludere, il cielo mobile non è il luogo dell'universo. Bisogna ammettere un cielo immobile.

Le prove che Copernico allega per la sua dottrina sono assai *curiose*. Propriamente parlando, non provano assolu-

tamente niente. Dal punto di vista dell'avversario, non reggono. Le sue controbiezioni fisiche sono – sempre dal punto di vista dell'avversario – altrettanto deboli.

Copernico mostra che, dal punto di vista ottico, non è possibile decidere se in movimento è l'osservatore o l'osservato. Benissimo – potrebbe replicare un suo avversario – la relatività ottica del movimento (ben nota, peraltro) implica senza dubbio che il movimento della Terra è possibile (otticamente); ma implica anche che l'ammissione di questo movimento – sempre dal punto di vista ottico – non presenta alcun vantaggio nei riguardi della teoria avversa.

All'obiezione fisica che il movimento rotatorio della Terra provocherebbe una forza centrifuga immensa, che farebbe volare la Terra a pezzi, ecc. ecc., Copernico risponde che lo stesso ragionamento potrebbe applicarsi al movimento dei cieli. In nessun modo, poiché il movimento dei cieli, concepiti come non pesanti, non potrebbe affatto produrre simili forze; e poiché, per di più, i cieli dotati di movimento circolare «per natura» non farebbero, nella loro rivoluzione, che esprimere e realizzare la loro natura, e ciò non può dar luogo ad alcun disturbo.

Non sorridiamo: molto seriamente Copernico applica per parte sua tale ragionamento; concordando pienamente con la fisica peripatetica, oppone il movimento naturale al movimento violento. È questo uno dei fondamenti, o più esattamente il fondamento stesso di tutta la sua dinamica. Il movimento circolare – pensa – è naturale, mentre il movimento rettilineo è contro natura. Per conseguenza, solo il movimento circolare può essere impiegato in meccanica celeste. Solo una meccanica celeste che faccia uso soltanto di movimenti circolari può essere vera.

La dinamica di Copernico – come si vede – non ha nulla di «moderno». Eppure un abisso la separa dai suoi contemporanei. In effetti, spontaneamente e senza esitazioni applica all'universo un punto di vista estetico: di un'estetica geometrica. Per di più, forse senza notarlo e in ogni modo senza dirlo espressamente, Copernico elabora una fisica geometrica, o più esattamente una fisica della geometria ottica. In tal modo, doppiamente, trasforma la nozione di forma: dove la fisica antica parlava di forma sostanziale, Copernico intende forma geometrica. Le conseguenze – ci se ne renderà conto – sono gravi: se per la fisica antica proprio la natura specifica della forma (e della materia corrispondente) sostanziale determinava il movimento circolare dei corpi celesti, per Copernico questa funzione sarà svolta ormai dalla loro forma geometrica, dalla sfericità. Ora, se la sfericità – la forma geometricamente più perfetta, e per questo ricercata da tutti i corpi –

comporta di per se, naturalmente, il movimento più perfetto – naturale – ossia il movimento circolare, è evidente al tempo stesso

a) che tale ragionamento costringe ad attribuire alla Terra lo stesso movimento circolare degli astri (e per questa ragione Copernico insiste così a lungo sulla forma sferica della Terra, di cui nessuno dubitava al suo tempo e che poteva quindi – non fosse stato per la sua importanza cardinale – essere presentata con minore abbondanza di argomenti);

b) che le stesse leggi di movimenti si applicano agli astri e alla Terra;

c) che, partecipando della stessa forma circolare, sottoposta alle stesse leggi di movimenti, la Terra non si oppone più agli astri come un mondo a parte, ma forma con essi un solo universo.

La geometrizzazione della nozione della forma reintegrava la Terra fra gli astri e, per così dire, la trasportava nei cieli. Si comprende, dunque, perché Copernico attribuisse tanta importanza alla regola – al principio – del movimento uniformemente circolare. Era per lui il solo mezzo per mettere in moto la «machina mundi». Nella dinamica di Copernico il movimento (circolare) si effettua in virtù della forma (circolare) dei corpi.

I corpi ruotano perché sono rotondi. Senza altra ragione. Senza motore esterno. Ponete un corpo rotondo nello spazio: esso ruoterà. Ponetevi un orbe: ruoterà su se stesso e descriverà rivoluzioni senza avere bisogno né di motore che ne intrattenga il movimento. né di centro fisico che lo sostenga. Ed è questa la ragione dinamica per cui Copernico può, dopo avere espulso la Terra dal centro dell'universo, lasciare questo vuoto. Perché, come è noto, se Copernico pone il Sole al centro dell'universo, non lo pone affatto al centro dei movimenti. Il Sole, si può dire, non ha ruolo alcuno nella meccanica celeste di Copernico. La sua parte è del tutto diversa: è ottica. Rischiara l'universo. E questo è tutto.

Ho torto, d'altronde, a dire: e questo è tutto. Perché la funzione assolta dal Sole – illuminare e rischiarare il mondo – è per Copernico di estrema importanza. Questa, appunto, assicura al Sole il posto che occupa nell'universo: primo per dignità e centrale per la posizione. Perché proprio per rischiarare il mondo il Sole ne è posto al centro. La posizione è evidentemente propizia allo scopo. Questa è la ragione – e la sola – che Copernico ha. E non è una ragione puramente scientifica; anzi, non è affatto una ragione scientifica.

Vecchie tradizioni, la tradizione della metafisica della luce (che per tutto il Medioevo accompagna e sostiene lo studio dell'ottica geometrica). reminiscenze platoniche e neoplatoniche (il Sole visibile che rappresenta il Sole invisibile) possono da sole – a mio giudizio – spiegare l'emozione, il lirismo di Copernico quando parla del Sole. Lo adora e quasi lo divinizza. Lo splendido luminare che illumina il mondo diventa il centro ontologico e, a causa di ciò, il centro geometrico dell'universo. Così il Rinascimento che dalla rivoluzione copernicana ha derivato una specie di eliolatria, che ha visto nel Sole una manifestazione divina e che d'altra parte si è sentito lanciato nei cieli con la Terra, è rimasto fedele all'ispirazione stessa: del grande astronomo.

Copernico, come ha osservato Dreyer, non è copernicano. Non è nemmeno un uomo moderno. Il suo universo non è lo spazio infinito. È limitato quanto quello di Aristotele. Certo, è più grande, ma è finito, interamente compreso nella e dalla sfera delle stelle fisse. Il Sole è al centro. E intorno al Sole sono disposti l'uno dopo l'altro gli orbi che portano i pianeti, orbi non meno solidi e non meno reali di quelli dell'astronomia medievale. Gli orbi ruotano per virtù della loro forma, trasportando gli «erranti», che vi sono incastonati. È un ordine splendido, una geometria luminosa, cosmo-ottica che sostituisce l'astro-biologia degli antichi.

L'assimilazione dell'astronomia copernicana

Thomas Kuhn

La fortuna dell'opera di Copernico.

Copernico morì nel 1543, l'anno stesso in cui fu pubblicato il *De Revolutionibus*, e la tradizione racconta che egli ricevette la prima copia a stampa dell'opera che lo aveva impegnato tutta la vita sul letto di morte. Il libro dovette quindi combattere le sue battaglie senza poter contare sull'ulteriore aiuto dell'autore. Ma per quelle battaglie Copernico aveva fabbricato un'arma pressoché ideale. Egli infatti aveva scritto il libro in modo che risultasse incomprendibile a tutti fuorché agli astronomi eruditi del suo tempo. Al di fuori del loro mondo, il *De Revolutionibus* sollevò inizialmente ben poco fermento. Quando poi cominciò a svilupparsi la massiccia opposizione laica ed ecclesiastica, gran parte dei più eminenti astronomi europei, ai quali era indirizzato il libro, avevano già trovato che non si poteva fare a meno dell'uno o dell'altro procedimento matematico di Copernico. Risultò quindi impossibile sopprimere completamente l'opera, tanto più che si trattava di un libro stampato e non di un manoscritto, com'era stato invece il caso dell'opera di Nicola di Oresme e Buridano. Fosse o non fosse nelle intenzioni del suo autore, la vittoria finale del *De Revolutionibus* fu ottenuta per infiltrazione.

Infatti già da vent'anni prima della pubblicazione della sua opera principale, Copernico era riconosciuto da tutti uno fra i più eminenti astronomi d'Europa. Informazioni sui suoi lavori di ricerca, concernenti anche la sua nuova ipotesi, erano cominciate a circolare all'incirca dal 1515. L'uscita del *De Revolutionibus* era vivamente attesa. Quando apparve il libro, i contemporanei poterono manifestare scetticismo sulla sua ipotesi fondamentale e sentirsi sconcertati dalla complessità della sua teoria astronomica, ma furono costretti a riconoscere nel libro di Copernico il primo testo astronomico europeo in grado di rivaleggiare con l'*Almagesto* in profondità e completezza. Molti testi astronomici ad alto livello scritti nei cinquant'anni successivi alla morte di Copernico si riferirono a lui con gli epiteti di «secondo Tolomeo» oppure «l'eminente artefice della nostra epoca»; in misura sempre maggiore questi libri adottarono dati, calcoli e diagrammi tratti dal *De Re-*

volutionibus, o almeno da quelle parti del libro non legate al principio del moto della Terra. Durante la seconda metà del secolo XVI il libro divenne un punto di riferimento per tutti coloro che s'interessavano a problemi d'ordine superiore nel campo della ricerca astronomica.

Tuttavia il successo ottenuto dal *De Revolutionibus* non implica il successo della sua tesi centrale. In un primo momento la credenza della maggior parte degli astronomi nell'immobilità della Terra non venne scossa. Gli stessi autori che plaudivano all'erudizione di Copernico e usavano i suoi diagrammi oppure citavano il suo calcolo della distanza fra Terra e Luna ignoravano di solito il moto della Terra o ne respingevano l'idea come assurda. Persino i pochi testi che menzionavano con rispetto l'ipotesi di Copernico raramente la difendevano o se ne servivano. Salvo alcune notevoli eccezioni, le più favorevoli fra le prime reazioni ai principi innovatori di Copernico possono essere rappresentate dal commento dell'astronomo inglese Thomas Blundeville, il quale scrisse: «Copernico... afferma che la Terra gira e che il Sole se ne sta fermo nel centro dei cieli, e con l'aiuto di questa falsa ipotesi egli è riuscito a dare dimostrazioni più esatte di quanto non sia mai stato fatto prima dei movimenti e delle rivoluzioni delle sfere celesti». Il commento del Blundeville comparve nel 1594 in un trattato elementare sui cieli che dava per scontata la stabilità della Terra. Tuttavia il tenore della ripulsa del Blundeville deve aver rimandato senz'altro i suoi lettori più attenti e capaci al *De Revolutionibus*; un libro che, in ogni caso, nessun astronomo di valore avrebbe ormai potuto ignorare. Il *De Revolutionibus* fu dunque molto letto fin dall'inizio; ma fu letto nonostante, piuttosto che in forza della sua nuova ipotesi cosmologica.

Malgrado questo, la grande diffusione assicurò al libro un piccolo ma crescente numero di lettori in grado di scoprire le armonie del sistema copernicano e disposti a riconoscerle come prove di verità. Ci fu dunque un modesto numero di convertiti e la loro opera contribuì, in diversi modi, a diffondere la conoscenza del sistema copernicano. La *Narratio Prima* del più antico discepolo di Copernico, Giorgio Gioacchino Retico (1514-76), rimase, per molti anni dopo la prima edizione del 1540, la migliore descrizione tecnica riassuntiva dei nuovi principi astronomici. La popolare e semplice difesa delle dottrine copernicane pubblicata nel 1576 dall'astronomo inglese Thomas Digges contribuì parecchio a diffondere il concetto del moto della Terra oltre la cerchia ristretta degli astronomi. Anche l'insegnamento e le ricerche di Michael Maestlin (1550-1631), professore di astronomia all'Università di Tubinga, convertirono alla nuova astronomia un piccolo

numero di adepti, fra i quali Kepler. Grazie dunque all'insegnamento, agli scritti e alle ricerche di uomini come questi, la dottrina copernicana guadagnò inevitabilmente terreno, sebbene gli astronomi che ammettevano la loro adesione al concetto di una Terra in movimento rimanessero una modesta minoranza.

Tuttavia il numero dei copernicani dichiarati non costituisce un indice adeguato del successo ottenuto dai principi innovatori di Copernico. Molti astronomi ritennero possibile sfruttare il sistema matematico copernicano e contribuire al successo della nuova astronomia, pur negando il moto della Terra o non pronunciandosi. L'astronomia ellenistica forniva loro un precedente. Tolomeo stesso non aveva mai preteso che tutti i circoli usati nell'*Almagesto* per calcolare la posizione dei pianeti rispondessero a precise realtà fisiche; erano utili espedienti matematici e non dovevano essere altro che quello. Analogamente, gli astronomi rinascimentali potevano prendersi la libertà di trattare il circolo che rappresentava l'orbita della Terra come una finzione matematica, utile soltanto per i calcoli; essi avrebbero potuto calcolare, e qualche volta lo fecero, posizioni planetarie *come se* la Terra si muovesse, senza impegnarsi sulla realtà fisica di quel moto. Andreas Osiander, il teologo luterano che si occupò della stampa del manoscritto di Copernico, aveva in effetti incoraggiato i lettori ad avvalersi di questa possibilità in una prefazione anonima allegata al *De Revolutionibus* senza il benestare di Copernico. Non furono molti, con ogni probabilità, gli astronomi che vennero ingannati da tale prefazione apocrifa; ma un certo numero fece tesoro della possibilità che essa suggeriva. L'adozione del sistema matematico copernicano senza sostenere la causa del moto fisico della Terra fornì una soluzione di comodo al dilemma posto dal contrasto fra le armonie celesti e i problemi terrestri del *De Revolutionibus*. Tale soluzione inoltre modificò a poco a poco la convinzione iniziale degli astronomi che il moto della Terra fosse assurdo.

Erasmus Reinhold (1511-53) fu il primo astronomo a rendere un importante servizio ai copernicani, pur senza dichiararsi favorevole alla teoria del moto della Terra. Nel 1551, otto anni soltanto dopo il *De Revolutionibus*, egli pubblicò una nuova serie completa di tavole astronomiche, compilate con i sistemi matematici sviluppati da Copernico; e queste tavole divennero ben presto indispensabili ad astronomi e astrologi, quali che fossero le loro opinioni sulla posizione e sul moto della Terra. Le *Prutenicae tabulae* di Reinhold, così denominate in omaggio al duca di Prussia, protettore dell'astronomo, furono le prime tavole complete compilate in Europa per tre secoli, e le vec-

chie tavole, che fin dall'inizio avevano contenuto alcuni errori, erano ormai assolutamente superate: l'orologio aveva camminato troppo a lungo. Il lavoro estremamente accurato di Reinhold, basato su dati sperimentali alquanto più numerosi e precisi di quelli a disposizione dei compilatori delle tavole del secolo XIII, si concretò in una serie di tavole che, per la maggior parte delle applicazioni pratiche, risultarono sensibilmente superiori alle vecchie. Esse non erano, è ovvio, rigorosamente esatte; il sistema matematico di Copernico, in sé e per sé, non era più preciso di quello di Tolomeo; errori di un giorno nella previsione delle eclissi lunari erano normali, e la lunghezza dell'anno, determinata sulla base delle *Prutenicae tabulae*, risultava di fatto leggermente meno esatta di quella calcolata con le tavole precedenti. Tuttavia la maggior parte dei confronti poneva in chiara evidenza la superiorità dell'opera di Reinhold e le sue tavole diventarono uno strumento sempre più necessario della cultura astronomica poiché era noto che esse derivavano dalla dottrina astronomica del *De Revolutionibus*, il prestigio di Copernico inevitabilmente ne guadagnò. Tutti coloro che usavano le *Prutenicae tabulae* davano per lo meno un'adesione implicita alle teorie copernicane.

Durante la seconda metà del secolo XVI gli astronomi non poterono più fare a meno del *De Revolutionibus* né delle tavole basate su di esso. La soluzione copernicana guadagnava terreno lentamente ma con evidente irresistibilità. Le successive generazioni di astronomi, sempre meno predisposte dall'esperienza e dagli studi a dare per scontata l'immobilità della Terra, trovavano nelle armonie della nuova costruzione copernicana un argomento sempre più convincente per la teoria del moto. Inoltre, attorno alla fine del secolo, i primi adepti avevano cominciato a scoprire nuove prove. Pertanto, se la scelta fra l'universo tradizionale e l'universo copernicano fosse stata una questione concernente soltanto gli astronomi, con ogni probabilità la soluzione copernicana avrebbe tranquillamente e gradualmente conseguito la vittoria. Tale scelta, invece, non era esclusivamente, e neppure principalmente, di competenza degli astronomi; e quando la disputa si estese al di fuori dei circoli astronomici, essa divenne in sommo grado tempestosa. Alla maggior parte di coloro che non avevano dimestichezza con lo studio approfondito dei moti celesti, la rivoluzione di Copernico parve cosa assurda ed empia. Le tanto esaltate armonie della visione copernicana, anche quando venivano apprezzate, non parvero affatto una prova. Il clamore che ne seguì fu vasto, esplicito e aspro.

Ma tale clamore prese consistenza con una certa lentezza. Inizialmente pochi, fuori della cerchia degli astronomi, ebbero notizia della rivoluzione copernicana o seppero vedere in essa qualcosa di più di una delle tante aberrazioni individuali e transitorie che erano apparse e scomparse prima d'allora. La maggior parte dei testi e dei manuali elementari d'astronomia usati durante la seconda metà del secolo XVI erano stati compilati molto tempo prima dell'epoca in cui era vissuto Copernico: per gli studi elementari l'abecedario astronomico di John of Holywood (secolo XIII) era ancora un testo fondamentale ed i nuovi manuali scritti dopo la pubblicazione del *De Revolutionibus* di solito non menzionavano Copernico oppure, in poche righe, liquidavano la sua rivoluzione dottrinale. I libri popolari di cosmologia che descrivevano l'universo ai profani restavano ancora più esclusivamente fedeli, nel tono e nella sostanza, alle ipotesi aristoteliche: Copernico era sconosciuto ai loro autori o, se era conosciuto, veniva di solito ignorato. Ad eccezione forse di pochi centri di cultura protestante, non pare che nei primi decenni dopo la morte di Copernico il copernicanesimo abbia costituito una questione cosmologica. Al di fuori dei circoli astronomici e fino all'inizio del secolo XVII, solo in rari casi esso divenne una questione di grande importanza,

Nel secolo XVI ci furono alcune reazioni di non astronomi, che, essendo di solito inequivocabilmente negative, forniscono un saggio della vastissima discussione che sarebbe seguita. Copernico e i suoi seguaci venivano ridicolizzati per l'assurdità del loro concetto di una Terra in movimento, sia pure senza il tono acre o la dialettica elaborata che si svilupparono quando cominciò ad esser chiaro che il copernicanesimo stava diventando un antagonista tenace e pericoloso.

[...]

Tali argomenti, tuttavia, non costituiscono le armi più potenti dello schieramento anticopernicano e neppure quelle che fecero più rumore. Queste armi erano di natura religiosa e, in particolare, basate sulle Sacre Scritture.

Già prima della pubblicazione del *De Revolutionibus* erano apparsi richiami alle Sacre Scritture contro Copernico. Si dice che Martin Lutero, in uno dei suoi *Discorsi a tavola*, tenuto nel 1539, abbia affermato:

La gente ha prestato orecchio ad un astrologo da quattro soldi, il quale s'è dato da fare per dimostrare che è la Terra che gira, e non i cieli e il firmamento, il Sole e la Luna...

Questo insensato vuol sovvertire l'intera scienza astronomica; ma la Sacra Scrittura ci dice [*Giosuè* 10.13] che Giosuè ordinò al Sole, e non alla Terra, di fermarsi.

Il primo discepolo di Lutero, Melantone, unì presto la sua voce alla crescente opposizione del mondo protestante contro Copernico. Sei anni dopo la morte di Copernico, egli scrisse:

Gli occhi ci sono testimoni che i cieli compiono una rivoluzione nel giro di ventiquattr'ore. Tuttavia certi uomini, per amor di cose nuove o per dar prova d'ingegno, hanno stabilito che la Terra si muova; e sostengono che tanto l'ottava sfera quanto il Sole non ruotano... Orbene: è una mancanza d'onestà e di dignità sostenere pubblicamente tali concetti, e l'esempio è pericoloso. È compito di ogni mente sana accettare la verità come ci è stata rivelata da Dio e sottomettersi ad essa.

Melantone si incaricò quindi di raccogliere un certo numero di citazioni bibliche anticopernicane, mettendo in evidenza i famosi versi dell'*Ecclesiaste* 1.4-5, che affermano: «la Terra rimane sempre al suo posto» e «il Sole sorge e tramonta e torna al luogo dal quale s'è levato». Infine egli propone che vengano prese severe misure per porre un freno all'empietà dei copernicani.

Altri capi protestanti si unirono presto all'azione di ripulsa della dottrina copernicana. Calvino, nel suo *Commento alla Genesi*, citò il versetto iniziale del Salmo XCIII: «resa stabile è anche la Terra, che non vacillerà» e si domandò: «Chi avrà l'ardire di porre l'autorità di Copernico al di sopra di quella dello Spirito Santo?» La Bibbia diventava sempre di più una delle fonti preferite di argomenti anticopernicani. Nei primi decenni del secolo XVII, ecclesiastici di diverse convinzioni si dedicarono ad esaminare la Bibbia riga per riga, per scoprire qualche nuovo passo che potesse mettere in crisi i sostenitori del moto della Terra. Con crescente frequenza i copernicani vennero definiti «infedeli» e «atei» e quando, dopo circa il 1610, anche la Chiesa cattolica si aggregò ufficialmente alla lotta contro il copernicanesimo, l'accusa diventò di formale eresia. Nel 1616 il *De Revolutionibus* e tutti gli altri scritti che sostenevano il moto della Terra furono posti all'Indice. Ai cattolici fu vietato di imparare o persino di leggere le dottrine copernicane, se non nelle versioni censurate di ogni accenno al moto della Terra e alla centralità del Sole.

Il brano precedente pone in evidenza le armi più popolari e potenti dell'arsenale apprestato contro Copernico e i suoi seguaci; ma è ben poco indicativo delle effettive ragioni della guerra. La maggior parte dei personaggi menzionati sono così decisi nel respingere il moto della Terra

in quanto assurdo oppure in contrasto con l'autorità, che dimenticano di rilevare, e forse senza rendersene pienamente conto in un primo tempo, che il copernicanesimo era in realtà il potenziale demolitore di un'intera costruzione di pensiero. Il loro stesso dogmatismo maschera i loro motivi: ma non li elimina. Era in gioco ben più che una rappresentazione dell'universo o qualche versetto della Scrittura. La visione cristiana della vita e le leggi morali che erano state stabilite in funzione di essa non avrebbero potuto essere rapidamente adattate a un universo in cui la Terra fosse soltanto uno fra diversi pianeti. Nella tradizionale costruzione del pensiero cristiano descritta da Dante all'inizio del secolo XIV, cosmologia, morale e teologia erano state profondamente intrecciate. L'energia e l'animosità manifestatesi quando, tre secoli più tardi, la controversia copernicana toccò il suo acme testimoniano della forza e della vitalità della tradizione.

Quando fu presa sul serio, la proposta di Copernico suscitò nel cristiano militante molti enormi problemi. Se, ad esempio, la Terra fosse semplicemente uno fra sei pianeti, come potrebbero esser considerate ancora valide le storie della caduta e della salvezza, con il loro immenso peso sulla vita cristiana? Se vi fossero altri corpi sostanzialmente simili alla Terra, in conseguenza logica della bontà di Dio, dovrebbero anch'essi essere abitati. Ma se esistessero uomini su altri pianeti, come potrebbero discendere da Adamo ed Eva e aver ereditato il peccato originale, il quale spiega il travaglio dell'uomo, altrimenti incomprendibile, sopra una Terra creata appositamente per lui da una divinità onnipotente e buona? E ancora: come potrebbero gli abitanti di altri pianeti essere a conoscenza del Salvatore, il quale ha aperto anche ad essi le porte della vita eterna? E se la Terra è soltanto un pianeta e quindi un corpo celeste fuori dal centro dell'universo, che succede della posizione dell'uomo, intermedia ma focale fra i diavoli e gli angeli? Se la Terra, in quanto pianeta, partecipa della natura dei corpi celesti, non può essere quel ricettacolo di male da cui l'uomo desidera ardentemente fuggire verso la divina purezza dei cieli. E i cieli stessi non possono costituire una dimora degna di Dio, se partecipano del male e dell'imperfezione così chiaramente visibili sul pianeta Terra. E, più grave di ogni altra cosa: se l'universo è infinito, come ritenevano molti fra i più recenti seguaci di Copernico, dove può collocarsi il trono di Dio? In un universo infinito, come può l'uomo trovare Dio e Dio l'uomo?

A queste domande si può rispondere. Ma non era facile giungere alle risposte: esse non erano irrilevanti e contribuivano a modificare l'esperienza religiosa dell'uomo co-

mune. Il copernicanesimo esige una trasformazione della prospettiva in cui l'uomo vedeva il suo rapporto con Dio e i fondamenti della sua legge morale. Una tale trasformazione non poteva esser condotta a termine in un breve arco di tempo e non fu quasi neppure iniziata finché le prove a sostegno della dottrina copernicana rimasero incerte come nel *De Revolutionibus*. Finché non si giunse a questa trasformazione, gli osservatori sensibili poterono ben trovare i valori tradizionali incompatibili con la nuova cosmologia, e la frequenza con cui l'accusa di ateismo venne lanciata contro i copernicani è la prova della minaccia dell'ordine stabilito che, secondo molti osservatori, il concetto di una Terra planetaria veniva a costituire.

L'accusa di ateismo, tuttavia, è soltanto una prova indiretta. Ben più efficace testimonianza proviene da uomini che si sentirono costretti a prendere sul serio l'innovazione copernicana. All'inizio del 1611 il poeta e teologo inglese John Donne diceva ai copernicani che «quelle vostre opinioni potrebbero benissimo esser vere... [In ogni caso esse stanno ora] insinuandosi nella mente di ogni uomo»; ma egli poteva scorgere ben poco fuorché il male nella trasformazione che incombeva. Durante lo stesso anno in cui ammise con riluttanza la probabilità del moto della Terra, egli espresse il suo sconforto di fronte all'incombente dissoluzione della cosmologia tradizionale ne *L'anatomia del mondo*, un poema in cui «viene descritta la fragilità e la decadenza di tutto questo mondo».

[...]

Cinquantasei anni dopo, quando gli scienziati, almeno, avevano pienamente accettata la teoria del moto della Terra e del suo nuovo stato di pianeta, il copernicanesimo presentò lo stesso problema di morale cristiana al poeta inglese John Milton, sebbene questi lo abbia risolto in modo diverso. Milton, come Donne, pensava che l'innovazione di Copernico potesse benissimo rispondere alla realtà. Nel *Paradiso perduto* egli incluse una prolissa descrizione dei due contrastanti sistemi cosmologici, il tolemaico e il copernicano, e rifiutò di prender posizione su quella che definiva l'astrusa controversia tecnica fra di essi. Tuttavia nel suo poema, il cui oggetto era «svelare all'uomo la Provvidenza eterna», egli fu costretto ad usare una struttura cosmologica tradizionale. L'universo del *Paradiso perduto* non è propriamente l'universo di Dante; Milton fa derivare la posizione del paradiso e dell'inferno da una tradizione ancor più antica di quella dantesca. Tuttavia la scenografia terrestre su cui Milton descrive la caduta dell'uomo è ancora necessariamente un corpo uni-

co, stabile e posto nel centro dell'universo, creato da Dio per l'uomo. Sebbene fosse passato più di un secolo dalla pubblicazione del *De Revolutionibus*, la visione cristiana della vita e le leggi morali che erano state stabilite in funzione di essa non potevano ancora essere adattate ad un universo in cui la Terra fosse un semplice pianeta ed in cui nuovi mondi potessero essere continuamente scoperti «nei pianeti e nel firmamento».

L'inquietudine di Donne e la scelta cosmologica di Milton pongono in luce gli aspetti extra scientifici che, durante il secolo XVII, furono parte integrante della controversia sul copernicanesimo. Questi aspetti, ancor più dell'apparente absurdità o del conflitto con sperimentate leggi del moto, spiegano l'ostilità che la proposta copernicana incontrava al di fuori dei circoli scientifici. Ma non possono spiegare del tutto né l'intensità di quell'ostilità né la tendenza dei capi, tanto protestanti quanto cattolici, a fare dell'anticopernicanesimo una dottrina ufficiale delle chiese, che potesse giustificare la persecuzione dei copernicani. È facile capire l'esistenza di una forte resistenza all'innovazione di Copernico (la manifesta absurdità e la potenzialità distruttiva non erano controbilanciate da prove vere e proprie), ma è difficile capire gli eccessi cui giunse quella resistenza in alcune occasioni. Prima della metà del secolo XVI la storia della cristianità offre pochi precedenti della rigidità con cui i capi ufficiali delle maggiori comunità religiose si valsero del testo letterale della Scrittura per proibire una teoria scientifica e cosmologica. Persino durante i primi secoli della Chiesa cattolica, allorché illustri padri della Chiesa come Lattanzio si erano serviti delle Scritture per distruggere la cosmologia classica, non c'era stata nessuna posizione ufficiale cattolica sul piano cosmologico alla quale i fedeli fossero tenuti ad aderire.

L'asprezza dell'opposizione ufficiale protestante è, in realtà, molto più facile da capire che non quella cattolica, poiché l'opposizione protestante può essere plausibilmente ricollegata a una controversia più fondamentale sorta nella frattura fra le chiese. Lutero e Calvino e i loro seguaci volevano il ritorno ad una cristianità primitiva, quale poteva essere scoperta nelle parole di Gesù e dei primi padri della Chiesa. Per i capi protestanti la Bibbia costituiva la sola fonte del sapere cristiano. Essi respingevano con veemenza le sottigliezze rituali e dialettiche che i successivi concili della Chiesa avevano autoritariamente frapposto fra ogni credente e la sorgente del suo credo. Essi detestavano l'elaborata, metaforica e allegorica interpretazione della Scrittura, e la loro formale fedeltà alla Bibbia in tema di cosmologia non trova riscontro dai tempi di Lat-

tanzio, Basilio e Cosma. Copernico era forse loro sembrato un simbolo di tutte quelle tortuose rielaborazioni che, durante il tardo Medioevo, avevano separato i cristiani dai fondamenti del loro credo. Per questo la violenza dell'anatema che il protestantesimo ufficiale scagliò contro Copernico sembra quasi naturale. Tollerare il copernicanesimo poteva significare tollerare proprio quell'atteggiamento verso la Sacra Scrittura e il problema della conoscenza in generale che, secondo i protestanti, aveva condotto la cristianità fuori strada.

Il copernicanesimo venne così indirettamente coinvolto nella più grande guerra di religione fra le due chiese, protestante e cattolica; e questo spiega in parte l'eccessiva asprezza raggiunta dalla controversia copernicana. Capi protestanti come Lutero, Calvino e Melantone diedero l'esempio nel citare la Scrittura contro Copernico e nell'incoraggiare la repressione del movimento copernicano. Poiché i protestanti non ebbero mai un apparato poliziesco come quello a disposizione della Chiesa cattolica, le loro misure di repressione furono raramente efficaci come le misure prese più tardi dai cattolici, e furono revocate con maggior prontezza quando le prove a favore del copernicanesimo divennero schiaccianti. Cionondimeno i protestanti costituirono la prima opposizione effettiva e istituzionalizzata. Il silenzio di Reinhold sulla validità fisica del sistema matematico che egli aveva adottato per compilare le *Prutenicae tabulae* è solitamente interpretato come un indice dell'opposizione ufficiale al copernicanesimo nell'università protestante di Wittenberg. Osiander, che all'inizio del *De Revolutionibus* aveva aggiunto la prefazione apocrifia, era pure un protestante. Protestante era anche Retico, primo aperto difensore dell'astronomia di Copernico; ma la sua *Narratio Prima* fu scritta mentre egli si trovava lontano da Wittenberg e prima che apparisse il *De Revolutionibus*. Dopo il suo ritorno a Wittenberg, egli non pubblicò più alcuno scritto su Copernico.

Per sessant'anni dopo la morte di Copernico, non ci fu un equivalente da parte cattolica all'opposizione protestante contro il copernicanesimo. Singoli ecclesiastici cattolici espressero la loro incredulità o avversione alla nuova concezione della Terra; ma la Chiesa, di per se stessa, non si pronunciò. Il *De Revolutionibus* venne letto e, almeno in qualche occasione, insegnato in importanti università cattoliche. Le *Prutenicae tabulae* di Reinhold, basate sul sistema matematico copernicano, furono usate per la riforma del calendario promulgato nel 1582 per il mondo cattolico dal papa Gregorio XIII. Copernico stesso era stato uomo di Chiesa e di grande reputazione, e la sua opinione

su problemi astronomici e di altra natura era stata largamente ricercata. Il suo libro venne dedicato al papa e, fra gli amici che lo spinsero a pubblicarlo, ci furono un vescovo cattolico e un cardinale. Durante i secoli XIV, XV e XVI la Chiesa non aveva imposto ai suoi membri nessun conformismo sul piano cosmologico. Lo stesso *De Revolutionibus* era frutto della larghezza di vedute permessa agli uomini della Chiesa in tema di scienza e filosofia secolare, e prima del *De Revolutionibus* la Chiesa aveva lasciato uscire dal suo seno, senza convulsioni teologiche, concetti cosmologici ancor più rivoluzionari. Nel secolo XV l'eminente cardinale e legato papale Nicola da Cusa aveva proposto una cosmologia neoplatonica di rottura e non s'era neppure dato cura del contrasto fra i suoi concetti e la Scrittura. Sebbene egli descrivesse la Terra come una stella in moto, similmente al Sole e alle altre stelle, e sebbene le sue opere fossero largamente lette e avessero una grande influenza, egli non venne condannato e neppure criticato dalla sua Chiesa.

Pertanto, allorché nel 1616 e più esplicitamente nel 1623 la Chiesa vietò che s'insegnasse o si credesse che il Sole era al centro dell'universo e la Terra vi si muoveva attorno, essa mutò radicalmente un atteggiamento che per secoli era stato implicito nella pratica cattolica. Il mutamento turbò profondamente un certo numero di cattolici, in quanto comprometteva la Chiesa nell'opposizione a una teoria fisica a favore della quale, quasi ogni giorno, si andavano scoprendo nuove prove e in quanto c'era stata chiaramente per la Chiesa la possibilità di assumere un atteggiamento alternativo. Gli stessi accorgimenti che, nei secoli XII e XIII, avevano permesso alla Chiesa di abbracciare le dottrine di Tolomeo e di Aristotele, avrebbero potuto, nel secolo XVII, essere applicati alla tesi di Copernico. In misura limitata lo erano già stati. La discussione di Nicola di Oresme, nel secolo XIV, sul moto quotidiano di rotazione della Terra non aveva ignorato i riferimenti delle Scritture all'immobilità della Terra. Egli aveva citato due dei brani biblici già ricordati e aveva quindi replicato:

All'argomentazione concernente la Sacra Scrittura, la quale affermi che il Sole ruota, ecc., si potrebbe obiettare che questo è conforme al comune modo di esprimersi degli uomini, proprio com'è fatto in parecchi [altri] passi: ad esempio dov'è scritto che Dio è pentito e che è in collera e in pace e tutte quelle altre cose che non sono esattamente come suonano. Pertinente inoltre al nostro problema: noi

leggiamo che Dio copre il cielo di nuvole,... mentre nella realtà è il cielo che copre le nuvole.

La reinterpretazione richiesta dal copernicanesimo sarebbe stata ben più radicale e costosa: tuttavia il medesimo tipo di argomentazioni sarebbe potuto bastare. Durante i secoli XVIII e XIX si ricorse ad argomentazioni di questo genere, e persino nel secolo XVII, proprio quando veniva presa la decisione ufficiale di proibire il copernicanesimo, alcuni eminenti cattolici ammettevano che sarebbe stata presumibilmente necessaria qualche rielaborazione di tal genere e di grande portata. Nel 1615 il cardinale Bellarmino, capo dei dignitari della Chiesa che un anno dopo condannarono le idee di Copernico, scriveva al copernicano Foscarini:

Se ci fosse una prova reale che il Sole è al centro dell'universo, che la Terra è nel terzo cielo, e che non è il Sole a girare attorno alla Terra ma la Terra attorno al Sole, noi dovremmo allora procedere con grande cautela nello spiegare brani della Scrittura che sembrano insegnare il contrario ed ammettere che noi non li abbiamo capiti piuttosto che dichiarare falsa un'opinione provata vera.

Con ogni probabilità il liberalismo del Bellarmino è più apparente che reale. La successiva frase della sua lettera dice: «Ma, per quanto mi riguarda, non crederò che esistano tali prove fino a quando non mi siano mostrate» e questa frase fu scritta ben conoscendo le scoperte fatte al telescopio, con le quali Galileo aveva portato nuove solide conferme a favore dell'innovazione copernicana. Potremmo chiederci quale sorta di conferma il Bellarmino avrebbe mai considerato «prova reale» contro la lettera della Scrittura. Tuttavia, almeno in linea di principio, egli si rendeva conto della possibilità di una conferma così evidente da rendere necessaria una reinterpretazione della Scrittura. Solo che, verso il secondo decennio del secolo XVII, le autorità cattoliche andavano attribuendo una maggior importanza alla testimonianza della Scrittura e concedevano al dissenso speculativo meno spazio di quanto non avessero fatto per secoli.

In notevole misura la posizione sempre più rigida che è alla base della condanna cattolica di Copernico deve essere considerata, a mio parere, una reazione alle pressioni che la rivolta protestante esercitava sulla Chiesa. E infatti le teorie copernicane furono condannate durante la Controriforma, proprio quando la Chiesa era maggiormente sconvolta da riforme interne destinate a far fronte alle critiche del protestantesimo. Almeno in parte, l'anticopernicanesimo sembra essere una di queste rifor-

me. Un'altra causa della maggior sensibilità della Chiesa per il problema copernicano dopo il 1610 fu forse una ritardata presa di coscienza delle più gravi implicazioni teologiche del moto della Terra. Durante il secolo XVI, di rado queste implicazioni erano state rese esplicite. Tuttavia, nell'anno 1600, esse furono evidenziate, con un clamore che raggiunse tutta l'Europa, dall'esecuzione del filosofo e mistico Giordano Bruno, mandato al rogo a Roma. Egli non venne condannato perché aderente al copernicanesimo, ma per una serie di eresie teologiche facenti capo alla sua dottrina della Trinità: eresie per cui altri cattolici prima di lui erano stati condannati a morte. Egli non è, come spesso è stato definito, un martire della scienza. Tuttavia Bruno aveva trovato la soluzione copernicana congeniale alla sua visione neoplatonica e democritea di un universo infinito contenente un'infinità di mondi generati da una feconda divinità. Aveva propagandato il copernicanesimo in Inghilterra e sul continente e gli aveva dato un significato che il *De Revolutionibus* non possedeva. Di certo la Chiesa temeva il copernicanesimo di Bruno e questo timore forse ne sollecitò la reazione.

Quali che fossero le cause, nel 1616 la Chiesa fece del copernicanesimo una questione di dottrina e tutti i peggiori eccessi della lotta contro il principio del moto della Terra – condanna delle idee copernicane, ritrattazione e incarcerazione. di Galileo, messa al bando di eminenti cattolici copernicani – si verificarono a partire da quell'anno. , Una volta messo in moto contro il copernicanesimo l'apparato dell'inquisizione, era difficile tornare indietro. Fino al 1822 la Chiesa non permise la stampa di libri che trattassero il moto della Terra come una realtà fisica, e a quell'epoca tutti ormai, ad eccezione delle sette protestanti più rigidamente ortodosse, si erano da tempo convinti. L'impegno ufficiale della Chiesa sulla dottrina della stabilità della Terra danneggiò irrevocabilmente la scienza cattolica e, più tardi, il prestigio stesso della Chiesa. Nella storia della letteratura cattolica, nessun episodio è stato citato tanto spesso e tanto a proposito contro la Chiesa quanto la patetica ritrattazione imposta al vecchio Galileo nel 1633.

La ritrattazione di Galileo segna il culmine della lotta contro il copernicanesimo e, per ironia della sorte, essa venne fatta in un momento in cui il risultato finale della lotta poteva già essere previsto. Prima del 1610, quando l'opposizione alla dottrina di Copernico stava organizzandosi, ad eccezione dei più fanatici sostenitori del moto della Terra, tutti sarebbero stati costretti ad ammettere che le prove a favore del copernicanesimo erano deboli e le prove contro molto convincenti. Forse l'ipotesi fonda-

mentale del *De Revolutionibus* avrebbe dovuto essere abbandonata. Ma nel 1633 non era più così. Durante i primi decenni del secolo XVII furono trovate nuove e più convincenti prove, e mutò la natura della lotta. Ancor prima della ritrattazione di Galileo, le nuove prove avevano trasformato l'opposizione al copernicanesimo in un'azione di retroguardia senza speranza. Il resto di questo capitolo prende in esame queste nuove prove che tre immediati successori di Copernico trassero dai cieli.

Tycho Brahe.

Se Copernico fu il più grande astronomo europeo della prima metà del secolo XVI, Tycho Brahe (1546-1601) fu l'autorità preminente in campo astronomico della seconda metà. E, giudicato soltanto in base alla competenza tecnica, Brahe fu senz'altro il più illustre. Ma il paragone ha ben poco valore, perché essi hanno differenti qualità e debolezze che non si sarebbero facilmente fuse in una sola persona e le qualità di entrambi risultarono essenziali per la rivoluzione copernicana. Come teorico di cosmologia e astronomia, Brahe rivelò una struttura mentale relativamente tradizionale. Fu, in realtà, per tutta la sua vita, un avversario del copernicanesimo e il suo immenso prestigio contribuì a ritardare la conversione degli astronomi alla nuova dottrina.

Ma sebbene Brahe non sia stato un innovatore dei concetti astronomici, a lui si devono trasformazioni di enorme importanza nelle tecniche di osservazione astronomica e nel grado di precisione richiesto ai dati astronomici. Egli fu il migliore fra tutti gli osservatori ad occhio nudo. Disegnò e costruì molti nuovi strumenti più grandi, più stabili e meglio tarati di quelli in uso prima d'allora. Con notevole ingegnosità ricercò e corresse numerosi errori rivelati dall'uso di questi strumenti, stabilendo un'intera serie di nuovi procedimenti per la raccolta di accurate informazioni sulla posizione dei pianeti e delle stelle. Ma soprattutto fu il promotore della pratica di osservare regolarmente i pianeti mentre si muovevano attraverso i cieli invece di osservarli soltanto quando si trovavano in qualche configurazione particolarmente favorevole. L'osservazione fatta coi telescopi moderni mostra che, quando Brahe mise una particolare attenzione nel determinare la posizione di una stella fissa, i suoi dati risultarono in conformità approssimati fino a 1 primo o anche di più. un risultato eccezionale per osservazioni ad occhio nudo.

Il contributo fondamentale dato da Brahe alla soluzione del problema dei pianeti è costituito dall'attendibilità, dalla vastità e dalla modernità dei suoi dati sperimentali. Ma egli ha un altro e maggior ruolo nella rivoluzione copernicana, in quanto è l'autore di un sistema astronomico che sostituì rapidamente il sistema tolemaico nella funzione di punto di convergenza di quegli astronomi competenti, che, come lo stesso Brahe, non potevano accettare il moto della Terra. La maggior parte dei motivi addotti da Brahe per respingere la proposta di Copernico sono dello stesso genere, sebbene egli li abbia sviluppati più dettagliatamente di quasi tutti i suoi contemporanei. Ma Brahe diede particolare rilievo all'immenso spazio deserto che la teoria copernicana apriva fra la sfera di Saturno e le stelle al solo scopo di spiegare l'assenza di un moto parallattico osservabile. Egli stesso aveva cercato la parallasse coi suoi nuovi grandi strumenti. Non avendone rilevato alcuna, si sentì costretto a respingere il moto della Terra. L'unica alternativa compatibile con le sue osservazioni avrebbe presupposto una distanza fra la sfera stellare e Saturno pari a settecento volte la distanza fra Saturno e il Sole.

Ma Brahe era essenzialmente un esperto astronomo. Sebbene respingesse il moto della Terra, non poteva ignorare le armonie matematiche introdotte nell'astronomia dal *De Revolutionibus*. Queste nuove armonie non riuscirono a convertirlo (esse non costituivano per lui una prova abbastanza evidente per controbilanciare le difficoltà intrinseche del moto della Terra), ma incrementarono, con ogni probabilità, la sua insoddisfazione per il sistema tolemaico, che egli pure abbandonò in favore di un terzo sistema di sua invenzione. Il sistema di Brahe, detto «ticonico», è illustrato in figura 1. La Terra è di nuovo ferma nel centro geometrico di una sfera stellare, la cui rotazione quotidiana spiega i circoli giornalieri delle stelle. Come nel sistema tolemaico, il Sole, la Luna e i pianeti sono fatti quotidianamente ruotare con le stelle in direzione ovest dalla sfera esterna e possiedono inoltre un loro proprio moto orbitale in direzione est. Nel disegno questi moti orbitali sono rappresentati da circoli.

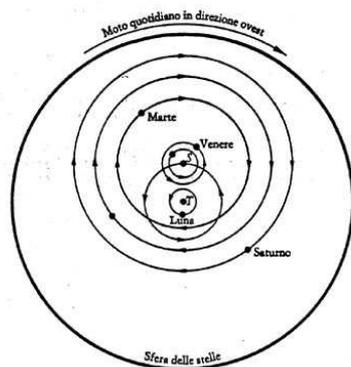


Figura 1. Il sistema ticonico. La Terra è di nuovo nel centro di una sfera stellare in rotazione, e la Luna e il Sole si muovono nelle loro vecchie orbite tolemaiche. Gli altri pianeti invece sono fissati su epicicli, il cui centro comune è il Sole.

I cerchi della Luna e del Sole sono centrati sulla Terra: fino a questo punto il sistema è ancora tolemaico. Ma il centro delle altre cinque orbite planetarie è trasferito dal centro della Terra al Sole. Il sistema di Brahe rappresenta un ampliamento, per quanto forse inconsapevole, del sistema di Eraclide, che attribuiva a Mercurio e a Venere orbite centrate sul Sole.

La caratteristica più notevole e storicamente significativa del sistema ticonico è la sua funzionalità come soluzione di compromesso dei problemi sollevati dal *De Revolutionibus*. Poiché la Terra è stazionaria e centrale, tutte le argomentazioni più importanti addotte contro la proposta di Copernico perdono la loro validità. La Scrittura, le leggi del moto, l'assenza della parallasse stellare, tutto viene rimesso d'accordo dal sistema proposto da Brahe e questa riconciliazione è effettuata senza sacrificare alcuna delle principali armonie matematiche di Copernico. Il sistema ticonico risulta in effetti, dal punto di vista matematico, esattamente equivalente a quello copernicano. La determinazione delle distanze, le anomalie apparenti nel comportamento dei pianeti inferiori, queste e le altre nuove armonie che avevano convinto Copernico del moto della Terra, sono tutte salvaguardate.

Le armonie del sistema ticonico possono essere studiate singolarmente e dettagliatamente con gli stessi procedimenti adottati nella discussione del sistema copernicano.

[...]

Il sistema ticonico ha le sue proprie incongruenze: gran parte dei pianeti sono troppo lontani dal centro; il centro geometrico dell'universo non è più il centro della maggior parte dei moti celesti; ed è difficile concepire un qualsiasi meccanismo fisico in grado di produrre moti planetari simili, sia pure approssimativamente, a quelli di Brahe. Di conseguenza il sistema ticonico non convinse quei pochi astronomi neoplatonici che, come Kepler, erano stati attratti verso il sistema di Copernico dalla sua grande simmetria. Ma convinse in effetti la maggior parte degli astronomi non copernicani e tecnicamente esperti dell'epoca, poiché offriva una soluzione a un dilemma molto sentito: conservava i vantaggi matematici del sistema di Copernico senza gli inconvenienti fisici, cosmologici e teologici. Questa è la vera importanza del sistema ticonico. Esso costituì un compromesso quasi perfetto e, esaminato retrospettivamente, sembra dovere la sua esistenza al bisogno che si avvertiva di un compromesso del genere. Il sistema ticonico pare essere un prodotto immediato e indiretto del *De Revolutionibus*.

Brahe avrebbe negato la verità di questa affermazione. Egli sosteneva di non aver preso nulla nel suo sistema da Copernico. Tuttavia aveva potuto rendersi ben poco conto delle forze che premevano su di lui e sui suoi contemporanei. Di certo, prima di ideare il suo sistema, conosceva profondamente sia l'astronomia tolemaica sia quella copernicana ed era chiaramente consapevole in anticipo della particolare situazione che il suo sistema doveva risolvere. Il successo immediato riscosso dal sistema è un indice dell'intensità e del prevalere del bisogno che se ne avvertiva. E il fatto che due altri astronomi contestassero la priorità di Brahe e sostenessero di avere progettato essi stessi soluzioni di compromesso del medesimo tipo fornisce un'ulteriore dimostrazione dell'importanza che il *De Revolutionibus* e il fermento di idee da esso provocato nel mondo astronomico ebbero nella genesi del sistema ticonico. Brahe e il suo sistema costituiscono il primo esempio pratico di una delle affermazioni generali di maggior rilievo con cui si chiudeva l'ultimo capitolo: il *De Revolutionibus* mutò le condizioni dell'astronomia in quanto pose problemi nuovi a tutti gli astronomi.

Le critiche fatte da Brahe a Copernico e la sua soluzione di compromesso del problema dei pianeti mostrano che, come gran parte degli astronomi del suo tempo, egli fu incapace di abbandonare i tradizionali schemi di pensiero sul moto della Terra. Fra i successori di Copernico, Brahe appartiene all'immensa schiera dei conservatori. Ma la sua opera non ebbe un effetto conservatore. Al contrario, tanto il suo sistema quanto le sue osservazioni costrinsero i

suoi successori a ripudiare aspetti importanti dell'universo aristotelico-tolemaico e, in questo modo, li indirizzarono a poco a poco verso il campo copernicano. In primo luogo, il sistema di Brahe contribuì a far conoscere agli astronomi i problemi matematici dell'astronomia copernicana, in quanto, dal punto di vista geometrico, i sistemi ticonico e copernicano erano identici. Più importante è il fatto che il sistema di Brahe, con il sostegno delle sue osservazioni delle comete di cui discuteremo più avanti, obbligò i suoi seguaci ad abbandonare le sfere cristalline che, nel passato, avevano portato i pianeti attorno alle loro orbite. Nel sistema ticonico, come è illustrato in figura 1, l'orbita di Marte interseca l'orbita del Sole. Sia Marte che il Sole non possono quindi essere incorporati in sfere che li facciano ruotare, poiché le due sfere penetrerebbero l'una nell'altra e si muoverebbero l'una attraverso l'altra in ogni istante. Allo stesso modo la sfera del Sole passa attraverso le sfere di Mercurio e di Venere. Tuttavia l'abbandono delle sfere cristalline non basta per diventare copernicani: lo stesso Copernico aveva utilizzato delle sfere per spiegare i moti planetari. Ma le sfere erano state, in una fra le tante versioni, una componente essenziale della tradizione cosmologica aristotelica che costituiva il principale ostacolo al successo del copernicanesimo. Qualsiasi rottura con la tradizione lavorava a favore dei copernicani, e il sistema ticonico, per tutti i suoi elementi tradizionali, costituì una rottura di grande importanza.

Le efficaci osservazioni di Brahe ebbero un'importanza ancor maggiore del suo sistema nel guidare i suoi contemporanei verso una nuova cosmologia. Esse fornirono le basi essenziali all'opera di Kepler, il quale trasformò l'innovazione di Copernico nella prima soluzione veramente adeguata del problema dei pianeti. E anche prima che fossero usati per correggere il sistema di Copernico, i nuovi dati sperimentali raccolti da Brahe posero la necessità di un altro distacco di rilievo dalla cosmologia classica: essi sollevarono degli interrogativi intorno all'immutabilità dei cieli. Verso la fine del 1572, quando Brahe era agli inizi della sua carriera di astronomo, un nuovo corpo celeste apparve nella costellazione Cassiopea, in diretta opposizione al Gran Carro rispetto al polo. Quando venne osservato per la prima volta apparve brillantissimo, luminoso quanto Venere nei suoi momenti di massimo splendore; durante i diciotto mesi successivi il nuovo corpo celeste diventò a poco a poco sempre meno brillante sino a scomparire del tutto agli inizi del 1574. Fin dalla sua apparizione il nuovo corpo suscitò l'interesse di scienziati e non scienziati in tutta l'Europa. Non poteva essere una cometa, l'unico tipo di apparizione celeste

largamente nota ad astronomi e astrologi, perché non aveva coda e appariva sempre nella stessa posizione contro la sfera delle stelle. Si trattava evidentemente di un evento portentoso; l'attività degli astrologi si moltiplicò; e dovunque gli astronomi dedicarono le loro osservazioni e i loro scritti alla «stella nuova» dei cieli.

La parola «stella» è la chiave del significato astronomico e cosmologico del nuovo fenomeno. Se si trattava di una stella, allora i cieli immutabili avevano subito un cambiamento e il contrasto fondamentale fra la regione superlunare e la Terra corruttibile veniva ad essere posto in dubbio. Se si trattava di una stella, diventava più facile concepire la Terra come un pianeta, in quanto il carattere transitorio delle cose terrestri poteva ora essere scoperto anche nei cieli. Brahe e i migliori astronomi fra i suoi contemporanei conclusero in effetti che il nuovo corpo era una stella. [Utilizzando il metodo della parallasse si dimostrava] che essa non poteva essere posta sotto la sfera della Luna o anche in prossimità della regione sublunare. Con ogni probabilità si trovava fra le stelle, poiché la si osservava muoversi con esse. Era stato scoperto un altro motivo di sconvolgimento della tradizione cosmologica.

La scoperta fatta nel secolo XVI della mutevolezza dei cieli sarebbe forse stata relativamente poco efficace se la sola prova della possibilità di cambiamenti nelle regioni superlunari fosse stata quella dedotta dalla nuova stella, o *Nova*, del 1572. Si trattò di un fenomeno passeggero; quelli che scelsero di respingere i dati sperimentali di Brahe non poterono essere confutati; nell'epoca in cui i dati vennero pubblicati, la stella era già scomparsa; ed era sempre possibile trovare qualche osservatore meno attento il quale aveva rilevato una parallasse sufficiente a porre la nuova stella al di sotto della Luna. Tuttavia, per fortuna, una catena ininterrotta di nuove prove dei cambiamenti nelle regioni superlunari venne fornita dalle comete che Brahe osservò attentamente nel 1577, 1580, 1585, 1590, 1593 e 1596. Anche in queste osservazioni non fu rilevata alcuna parallasse misurabile e le comete quindi furono pure poste al di là della sfera lunare dove esse si muovevano nella regione occupata precedentemente dalle sfere cristalline.

Come le osservazioni della nuova stella, così le dissertazioni di Brahe sulle comete non riuscirono a convincere tutti i suoi contemporanei. Nelle prime decadi del secolo XVII Brahe venne spesso attaccato, e talora con la stessa acrimonia usata contro Copernico, da coloro i quali ritenevano che altri elementi di informazione provassero che le comete e le stelle nuove erano fenomeni sublunari e che quindi l'inviolabilità dei cieli potesse essere salvaguardata.

Ma Brahe convinse in effetti un gran numero di astronomi che nella visione aristotelica del mondo esisteva un'incrinatura fondamentale e, cosa più importante, sviluppò un tipo di argomentazione con cui gli scettici potevano continuamente controllare le sue conclusioni. Le comete brillano abbastanza da poter essere viste apparire ad occhio nudo ad intervalli di pochi anni. Dopo che la loro appartenenza alla regione superlunare era stata dedotta dall'osservatore e quindi largamente discussa, la prova che le comete fornivano della mutevolezza dei cieli non poté più essere indefinitamente ignorata o camuffata. Ancora una volta i copernicani furono i vincitori.

In un modo o nell'altro, nel secolo successivo alla morte di Copernico, tutte le novità dell'osservazione e della teoria astronomica, fossero o meno fornite dai copernicani, si trasformarono in prove a favore della teoria copernicana. Si può dire che questa teoria stava quindi dimostrando la sua efficacia. Tuttavia, almeno per quanto concerne le comete e le stelle nuove, la dimostrazione è alquanto strana, poiché le osservazioni di comete e stelle nuove non hanno assolutamente nulla a che vedere con il moto della Terra. Esse avrebbero potuto essere fatte e spiegate senza difficoltà tanto da un astronomo tolemaico quanto da un copernicano. Non sono, in alcun senso diretto, prodotti secondari del *De Revolutionibus*, come lo era stato il sistema ticonico.

Tuttavia esse non possono neppure esser considerate del tutto indipendenti dal *De Revolutionibus* o almeno dal clima ideale in cui l'opera era nata. Di comete ne erano state viste parecchie prima delle ultime decadi del secolo XVI. Qualche *Nova*, sebbene ne apparissero meno frequentemente delle comete a chi osservava i cieli ad occhio nudo, deve pure esser stata di tanto in tanto visibile dagli osservatori prima dell'epoca di Brahe: ne apparve una seconda nell'anno antecedente la sua morte ed una terza nel 1604. Non era neppur necessario usare gli strumenti perfezionati di Brahe per scoprire l'appartenenza delle *Novae* e delle comete alle regioni superlunari: una deviazione parallattica di 1° poteva essere misurata senza tali strumenti ed un certo numero di contemporanei di Brahe giunsero in effetti separatamente alla conclusione che le comete appartenevano alle regioni superlunari facendo uso di strumenti noti da secoli. Al copernicano Maestlin bastò un pezzo di filo per stabilire che la *Nova* del 1572 si trovava al di là della Luna. In breve: le osservazioni con cui Brahe ed i suoi contemporanei accelerarono la caduta della cosmologia tradizionale e il sorgere del copernicanesimo avrebbero potuto esser fatte in qualsiasi epoca fin dall'antichità più remota. Per due millenni prima della

nascita di Brahe, i fenomeni e gli strumenti necessari per osservarli erano stati a disposizione degli astronomi; ma le osservazioni non vennero fatte oppure, quando vennero fatte, non furono interpretate adeguatamente. Durante l'ultima metà del secolo XVI, fenomeni di antica data mutarono rapidamente di significato e importanza. Tali cambiamenti sembrano incomprensibili se non si inquadrano nel nuovo clima del pensiero scientifico, uno dei cui più eminenti rappresentanti è Copernico. Come abbiamo scritto, il *De Revolutionibus* segnò una svolta e non ci doveva esser nessun ritorno all'antico.

Johannes Kepler

L'opera di Brahe mostra che, dopo il 1543, gli oppositori del copernicanesimo, o almeno i più capaci ed onesti, non poterono esimersi dal promuovere riforme di maggior rilievo in campo astronomico e cosmologico. Fossero o non fossero d'accordo con Copernico, il loro campo d'azione era stato da lui mutato. Tuttavia l'opera di un anticopernicano come Brahe non illustra a sufficienza la portata di tali cambiamenti. Un quadro migliore dei nuovi problemi che si presentarono all'astronomia dopo la morte di Copernico è fornita dall'opera di ricerca del più famoso collega di Brahe, Johannes Kepler (1571-1630). Kepler fu copernicano per tutta la sua vita. Pare sia stato convertito al sistema da Maestlin quand'era studente all'università protestante di Tübingen, e la sua fede in esso non vacillò mai dopo i giorni di scuola. Durante tutta la sua vita egli si riferì alla pertinenza del ruolo che Copernico aveva attribuito al Sole con i toni entusiastici propri del neoplatonismo rinascimentale. Il suo primo libro importante, il *Mistero cosmografico*, pubblicato nel 1596, si apriva con una lunga difesa del sistema copernicano [...]. Le argomentazioni di Kepler sono le stesse di Copernico, per quanto più numerose, ma Kepler, contrariamente a Copernico, sviluppa le argomentazioni per esteso e con disegni particolareggiati. Per la prima volta veniva dimostrata la piena efficacia delle argomentazioni matematiche per la nuova astronomia.

Ma sebbene Kepler fosse pieno di elogi per la concezione di un sistema planetario centrato sul Sole, egli ebbe un atteggiamento assolutamente critico nei confronti del particolare sistema matematico che Copernico aveva elaborato. Gli scritti di Kepler misero ripetutamente in rilievo che Copernico non aveva mai saputo riconoscere i lati da valorizzare della sua opera e che, dopo il primo coraggioso passo, lo scambio di posto fra il Sole e la Terra, era rima-

sto troppo vicino a Tolomeo nello sviluppare i dettagli del suo sistema. Kepler si rese conto, acutamente e con dispiacere, dei residui arcaici incongruenti del *De Revolutionibus* e si assunse l'incarico di eliminarli sfruttando integralmente la nuova condizione della Terra vista come pianeta governato dal Sole al pari degli altri pianeti.

Copernico non aveva avuto pieno successo nel trattare la Terra come un qualsiasi altro pianeta in un sistema a Sole centrale. A differenza dello schema qualitativo del libro I del *De Revolutionibus*, la spiegazione matematica del sistema planetario sviluppata nei libri successivi attribuiva alla Terra parecchie funzioni speciali.

[...]

Kepler che si sforza di adattare i procedimenti matematici eccessivamente tolemaici di Copernico alla visione copernicana di un universo dominato dal Sole e fu proprio proseguendo in questo sforzo che Kepler riuscì finalmente a risolvere il problema dei pianeti, trasformando il macchinoso sistema di Copernico in una tecnica estremamente semplice e precisa per calcolare la posizione dei pianeti. Le sue scoperte più essenziali vennero fatte studiando il moto di Marte, un pianeta la cui orbita eccentrica e la cui vicinanza alla Terra generano irregolarità che avevano da sempre messo alla prova l'ingegnosità degli astronomi matematici. Tolomeo non era stato in grado di spiegare il suo moto esaurientemente come per gli altri pianeti e Copernico non aveva fatto passi avanti rispetto a Tolomeo. Brahe aveva tentato di arrivare ad una soluzione nuova, intraprendendo una lunga serie di osservazioni dedicate a questo particolare scopo ma abbandonando poi il problema quando s'era trovato di fronte a tutte le sue difficoltà. Kepler, che aveva lavorato con Brahe negli ultimi anni della vita di Brahe, ebbe in eredità le nuove osservazioni e, negli anni successivi alla morte di Brahe, si mise egli stesso a studiare il problema.

Fu un lavoro enorme che occupò gran parte del tempo di Kepler per quasi dieci anni. C'erano da calcolare due orbite: l'orbita dello stesso Marte e l'orbita della Terra da cui Marte viene osservato. Kepler fu più volte costretto a cambiare la combinazione dei cerchi usati per il calcolo di queste orbite. Un sistema dopo l'altro venne provato e poi abbandonato perché non corrispondeva alle brillanti osservazioni di Brahe. Tutte le soluzioni intermedie risultarono migliori dei sistemi di Tolomeo e Copernico e alcune davano errori di non più di 8 primi, ben meno quindi dei campi d'errore dell'osservazione antica. Gran parte dei sistemi che Kepler scartò avrebbero soddisfatto tutti gli astronomi matematici precedenti. Ma essi eran vissuti

prima di Brahe, i cui dati sperimentali arrivavano ad una approssimazione di 4 primi. A noi, diceva Kepler, la bontà divina ha dato con Tycho Brahe un osservatore di estrema diligenza, ed è quindi giusto che noi facciamo uso di questo dono con animo grato per scoprire i veri moti celesti.

Una lunga serie di tentativi senza successo portò Kepler alla conclusione che nessun sistema basato sulla combinazione di cerchi avrebbe potuto risolvere il problema. Qualche altra figura geometrica, egli pensò, deve fornire la soluzione. Provò, con vari tipi di figure ovali, ma nessuna riusciva a eliminare le discordanze fra la sua teoria sperimentale e l'osservazione. Poi, per caso, notò che le discordanze stesse variavano con una legge matematica familiare e ricercando questa legge scoprì che teoria e osservazione potevano andar d'accordo se i pianeti si muovevano in orbite ellittiche con velocità variabili secondo una semplice legge che egli pure enunciò. Questi sono i risultati che Kepler annunciò nel suo libro *Il moto di Marte* [la *Nuova Astronomia*], pubblicato per la prima volta a Praga nel 1609. Un procedimento matematico più semplice di tutti quelli usati dai tempi di Apollonio e Ipparco dava previsioni di gran lunga più precise di tutte quelle fatte prima. Il problema dei pianeti era stato infine risolto e risolto in un universo copernicano.

Le due leggi che costituiscono la soluzione finale del problema dei pianeti valida per Kepler sono le seguenti. I pianeti si muovono in semplici orbite ellittiche e il Sole occupa uno dei due fuochi di ciascuna orbita ellittica: questa è la prima legge di Kepler. La seconda legge segue immediatamente e completa la descrizione del moto fatta dalla prima legge: la velocità orbitale di ciascun pianeta varia in modo tale che una linea retta che congiunge il Sole ed il pianeta spazza, in eguali intervalli di tempo, uguali porzioni di superficie dell'ellisse. Quando alle orbite circolari fondamentali dell'astronomia di Tolomeo e Copernico si sostituiscono le ellissi e quando alla legge del moto uniforme attorno ad un punto posto nel centro o vicino al centro si sostituisce la legge delle superfici uguali, vien meno ogni bisogno di eccentrici, epicicli, e quanti ed altri espedienti *ad hoc*. Per la prima volta una singola curva geometrica, non combinata con altre curve, e una singola legge di moto sono sufficienti per poter prevedere la posizione dei pianeti e per la prima volta queste previsioni risultano precise quanto le osservazioni.

Il sistema astronomico copernicano ereditato dalla scienza moderna è quindi il prodotto congiunto dell'opera di Kepler e di Copernico. Il sistema a sei ellissi di Kepler fece funzionare l'astronomia a Sole centrale e contemporane-

amente rivelò l'economia e la fecondità implicite nell'innovazione di Copernico. Dobbiamo cercar di scoprire che cosa si rese necessario per questo passaggio del sistema copernicano alla sua forma moderna kepleriana. Due dei presupposti necessari all'opera di Kepler risultano già evidenti. Un uomo che iniziasse la sua opera di ricerca di nuove orbite più adeguate trattando la Terra come un semplice pianeta e che facesse passare i piani di tutte le orbite planetarie per il centro del Sole doveva essere un convinto copernicano. Inoltre aveva bisogno dei dati di Brahe. I dati usati da Copernico e dai suoi predecessori europei erano viziati da troppi errori per poter essere spiegati da qualsiasi serie di orbite semplici e, anche corretti di tutti gli errori, sarebbero stati insufficienti. Osservazioni meno precise di quelle di Brahe avrebbero potuto essere spiegate, come dimostrò lo stesso Kepler, da un sistema classico di circoli composti. Tuttavia il processo attraverso il quale Kepler giunse alle sue famose leggi dipende da altri fattori, oltretutto dalla disponibilità di precisi elementi d'informazione e da una fede aprioristica nell'idea della terra planetaria. Kepler era un fervente neoplatonico. Egli credeva che le leggi matematicamente semplici fossero alla base di tutti i fenomeni naturali e che il Sole fosse la causa fisica di tutti i moti celesti. Sia i suoi contributi più duraturi all'astronomia che quelli di minor consistenza mostrano questi due aspetti della sua fede neoplatonica che ha spesso un carattere mistico.

In un passo riportato alla fine del capitolo IV Kepler descrisse il Sole come il corpo «che appare il solo adatto, in virtù della sua dignità e potenza... [a muovere i pianeti nelle loro orbite], e degno di diventare la dimora di Dio stesso, per non dire il primo motore». Questa convinzione, unitamente a talune incongruenze intrinseche di cui s'è parlato prima, fu il suo motivo per respingere il sistema ticonico. Essa ebbe anche un ruolo di enorme importanza nella sua opera di ricerca e in modo particolare nella scoperta della seconda legge da cui dipende la prima. L'origine della seconda legge è legata solo al tipo più elementare di osservazione. Fu infatti dovuta più che altro all'intuizione fisica di Kepler che i pianeti siano spinti lungo le loro orbite dai raggi di una forza motrice, l'*anima motrix*, che si sprigiona dal Sole. Questi raggi, pensò Kepler, dovevano limitarsi ad operare nel piano dell'eclittica, in cui o presso cui tutti i pianeti si muovevano. Pertanto il numero dei raggi che arrivavano ad urtare un pianeta e la loro forza corrispondente che guidava il pianeta attorno al Sole dovevano diminuire con il crescere della distanza fra il pianeta e il Sole. Ad una distanza doppia dal Sole, il numero dei raggi dell'*anima motrix* che cadevano sul pia-

neta sarebbe stato la metà e la velocità del pianeta nell'orbita sarebbe risultata, di conseguenza, la metà della velocità orbitale che esso aveva alla primitiva distanza dal Sole.

[...]

Molto tempo prima che cominciasse a lavorare sulle orbite ellittiche o enunciasse la legge delle superfici nella forma moderna, che ci è familiare, Kepler aveva escogitato questa legge della velocità inversamente proporzionale alla distanza per sostituire sia l'antica legge del moto circolare uniforme che la sua variante tolemaica, la quale ammetteva il moto uniforme relativamente ad un punto equante. Questa prima legge della velocità fu una vera trovata da illusionista, dovuta ad una strana intuizione delle forze che devono governare un universo dominato dal Sole: intuizione che venne ben presto abbandonata dai suoi successori. Per di più questa prima formulazione non è del tutto corretta. La successiva legge delle superfici, la cosiddetta seconda legge di Kepler, non è proprio equivalente alla legge della proporzionalità inversa alla distanza e fornisce risultati alquanto migliori. Tuttavia quando sono usate per calcolare la posizione dei pianeti, le due formulazioni della legge della velocità conducono pressoché ai medesimi risultati. Malgrado tutti i suoi aspetti irrazionali, la prima legge neoplatonica della velocità si dimostrò di fondamentale importanza nella più feconda opera di ricerca di Kepler.

A differenza del modo con cui egli ricavò la legge della velocità, il lavoro di Kepler sulle orbite ellittiche fu integralmente compiuto sulla base del più diligente e completo studio delle migliori osservazioni astronomiche disponibili. Innumerevoli orbite di prova dovettero successivamente essere abbandonate in quanto, dopo laboriosi calcoli, non concordavano del tutto con i dati sperimentali forniti da Brahe. Lo scrupoloso tentativo di Kepler di far concordare le sue orbite con obiettivi elementi di informazione è citato spesso come il primo esempio del miglior metodo scientifico. Eppure anche la legge delle orbite ellittiche, la prima legge di Kepler, non fu ricavata soltanto dall'osservazione e dal calcolo. A meno che non si supponga che le orbite planetarie siano esattamente incurvate verso il centro (come risultarono dopo l'era di Kepler, ma non prima), per calcolare la forma delle orbite dai dati sperimentali ricavati ad occhio nudo si rende necessaria una legge della velocità. Nell'analizzare le osservazioni di Brahe, Kepler fece costantemente uso della sua precedente ipotesi neoplatonica

Nelle nostre precedenti discussioni sulla dottrina astronomica, la correlazione esistente fra orbita, legge di velocità e osservazione è rimasta nascosta, in quanto gli astronomi antichi e medievali sceglievano in anticipo una legge della velocità semplice. Prima di Kepler gli astronomi supponevano che ciascuno dei circoli composti che facevano muovere un pianeta lungo la sua orbita dovesse ruotare con velocità uniforme rispetto a un punto situato nel suo centro o vicino al centro. Senza una qualche supposizione del genere essi non sarebbero stati in grado di cominciare l'elaborazione di orbite che potessero concordare con le osservazioni, poiché, in assenza di una legge della velocità, la determinazione di un'orbita dice poco o nulla sul punto in cui un pianeta deve, in un particolare istante, apparire fra le stelle. Né la legge della velocità né l'orbita possono essere, indipendentemente l'una dall'altra, ricavate dall'osservazione oppure controllate sull'osservazione. Pertanto, quando Kepler ripudiò l'antica legge del moto uniforme, egli doveva sostituirla oppure abbandonare del tutto i calcoli relativi ai pianeti. In effetti egli ripudiò l'antica legge soltanto dopo che (e probabilmente perché) ne aveva elaborato una propria, che il suo intuito neoplatonico gli diceva esser più adatta a regolare i moti celesti in un universo dominato dal Sole. La deduzione della legge della velocità inversamente proporzionale alla distanza mostra come egli credesse nelle armonie matematiche e avesse fede nella funzione causale del Sole. Dopo aver elaborato la concezione dell'*anima motrix*, Kepler sostenne che essa doveva operare nel modo più semplice compatibile con l'osservazione sommaria. Egli sapeva, ad esempio, che i pianeti si muovono a velocità massima quando sono nel perielio, ma aveva pochi altri elementi d'informazione, nessuno dei quali quantitativo, su cui basare una legge di proporzionalità inversa alla distanza. Ma la fede di Kepler nelle armonie matematiche e la funzione di questa fede nella sua opera sono espresse più vigorosamente in un'altra delle leggi che l'astronomia moderna ha ereditate da lui. Si tratta della cosiddetta terza legge di Kepler, annunciata nel 1619 nelle *Armonie del mondo*. La terza legge costituì un nuovo tipo di legge astronomica. La prima e seconda legge, come le corrispondenti leggi antiche e medievali, regolano soltanto i moti di singoli pianeti nelle loro singole orbite. La terza legge invece stabiliva una relazione tra le velocità di pianeti che si muovono in orbite differenti. Essa afferma che se T_1 e T_2 sono i periodi necessari a due pianeti per completare un circuito delle loro orbite e se R_1 e R_2 sono le rispettive distanze medie fra i pianeti e il Sole, il rapporto fra i quadrati dei periodi orbitali è uguale al rapporto fra i cubi delle distan-

ze medie dal Sole. Ossia $(T_1/T_2)^2=(R_1/R_2)^3$. Si tratta di una legge piena di fascino, perché stabilisce una regola mai prima d'allora osservata nel sistema planetario. Ma, almeno al tempo di Kepler, fu tutto quello che fece. La terza legge non mutò, in se stessa, la teoria dei pianeti e non permise agli astronomi di calcolare nessun valore quantitativo che fosse precedentemente sconosciuto. Le dimensioni e i periodi relativi a ciascuna orbita planetaria erano già noti in precedenza.

Ma sebbene avesse ben poca utilità pratica immediata, la terza legge è proprio il tipo di legge che esercitò su Kepler il massimo fascino durante tutta la sua carriera. Egli era un neoplatonico matematico o un neopitagorico il quale credeva che tutto nella natura riproducesse semplici regole matematiche, che era compito degli scienziati scoprire. Per Kepler ed altri della sua corrente di pensiero una regola matematica semplice costituiva essa stessa una giustificazione. Per lui la terza legge, in se stessa e di per se stessa, spiegava perché le orbite planetarie fossero state tracciate da Dio in quel loro particolare modo, e tale tipo di spiegazione, derivato dall'armonia matematica, è quello che Kepler cercò continuamente nei cieli. Egli propose numerose altre leggi dello stesso genere; leggi che abbiamo poi abbandonate perché, sebbene siano armoniche, non concordano con l'osservazione in misura sufficiente da sembrare che abbiano qualche valore. Ma Kepler non fu così esigente. Ritene di aver scoperto e dimostrato un gran numero di queste regole matematiche ed esse furono le leggi astronomiche da lui predilette.

Nella sua prima opera importante, il *Mistero cosmografico*, Kepler argomentò che il numero dei pianeti e la dimensione delle loro orbite potevano essere capiti in funzione della relazione esistente fra le sfere planetarie e i cinque solidi regolari o «cosmici». Essi sono i solidi illustrati in figura 2a, i quali soli hanno la caratteristica che le facce di ciascun solido sono identiche e costituite unicamente da figure equilateri. Nell'antichità era stato dimostrato che ci potevano essere soltanto cinque solidi del genere: il cubo, il tetraedro, il dodecaedro, l'icosaedro e l'ottaedro. Kepler affermò che se la sfera di Saturno fosse circoscritta al cubo in cui risultasse inscritta la sfera di Giove e se il tetraedro fosse esattamente inscritto nella sfera di Giove con la sfera di Marte inscritta in esso, e così via per i tre rimanenti solidi e le tre rimanenti sfere, allora le dimensioni relative di tutte le sfere risulterebbero esattamente quelle che Copernico aveva misurate.

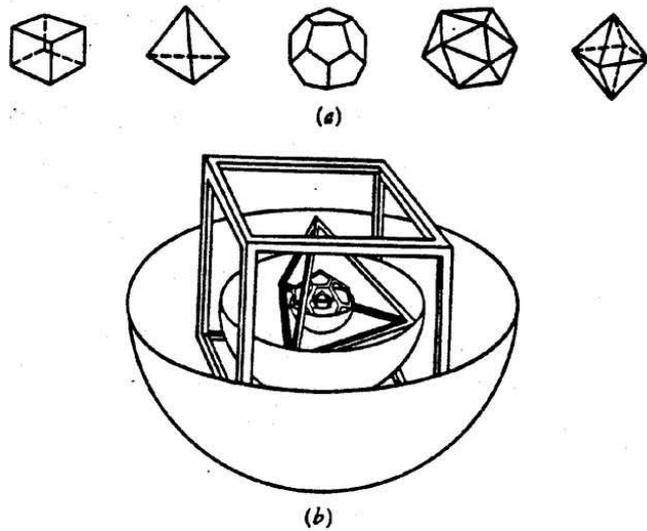


Figura 2. L'applicazione pratica data da Kepler ai cinque solidi regolari. Il disegno (a) mostra i solidi stessi. Essi sono, da sinistra a destra: il cubo, il tetraedro, il dodecaedro, l'icosaedro e l'ottaedro. Il loro ordine è quello che Kepler ha elaborato per giustificare le dimensioni delle sfere planetarie. Il disegno (b) mostra i solidi in questa loro applicazione. La sfera di Saturno è circonscritta al cubo, mentre la sfera di Giove è inscritta in esso. Il tetraedro è inscritto nella sfera di Giove e così via.

La costruzione è illustrata in figura 2b. Se viene messa in pratica ci possono essere soltanto sei pianeti e quando viene messa in pratica risultano determinate le dimensioni relative ammissibili delle sfere planetarie. Ecco, diceva Kepler, perché ci sono soltanto sei pianeti e perché sono ordinati in quel determinato modo. La natura di Dio è matematica.

Quest'uso che Kepler fa dei solidi regolari non fu semplicemente una stravaganza giovanile, oppure, se lo fu, egli non diventò mai adulto. Una versione modificata della stessa legge apparve trent'anni più tardi nelle *Armonie del mondo*, il libro che propose la terza legge. Anche in questo libro Kepler elaborò una nuova serie di regole neoplatoniche che ponevano in relazione i valori massimi e minimi delle velocità orbitali dei pianeti con gli intervalli armonici della scala musicale. Oggi questa intensa fede nelle armonie dei numeri sembra strana, ma ciò avviene almeno parzialmente perché oggi gli scienziati sono preparati a trovare le loro armonie più astruse. L'applicazione pratica che Kepler fa della fede nelle armonie può apparire ingenua, ma questa stessa fede non è sostanzialmente diversa da ciò che stimola certe fasi della miglior ricerca contem-

poranea. Certamente l'atteggiamento scientifico espresso da Kepler in quelle «leggi minori» che noi abbiamo adesso abbandonato non può essere distinto dall'atteggiamento che lo guidò alla formulazione delle tre leggi maggiori ancor oggi ben valide. Entrambe le serie di leggi, minori e maggiori, son dovute alla medesima rinnovata fede nell'esistenza di quell'armonia matematica che ebbe un ruolo così importante nel portare Copernico alla rottura con la tradizione astronomica e nel convincerlo che la Terra si muoveva effettivamente. Ma nell'opera di Kepler e, in modo particolare, nelle parti che noi abbiamo ora abbandonato, l'ispirazione neoplatonica a scoprire le recondite armonie matematiche, incorporate nella natura dello Spirito divino, è espressa in una forma più chiara e definita.

GALILEO GALILEI

Paolo Rossi

1. *La giovinezza: interessi per la fisica e per le tecniche*

Galileo Galilei nacque a Pisa il 15 febbraio 1564 da Vincenzo Galilei, mercante fiorentino, maestro di canto e teorico della musica, e da Giulia Ammannati, di Pescia. Nel 1581 (la famiglia si era trasferita a Firenze nel 1574) il giovane Galileo fu iscritto allo Studio di Pisa, fra gli «scolari artisti», per seguire gli studi di medicina. Si avviò invece ben presto a studi di matematica sotto la guida di un allievo di Niccolò Tartaglia: Ostilio Ricci da Fermo. Nel 1585, senza aver conseguito alcun titolo, abbandona lo studio pisano. In quello stesso anno scrive i *Theoremata circa centrum gravitatis solidorum* che rappresentano il primo frutto dei suoi interessi per la fisica e per il metodo di Archimede. L'anno successivo pubblica il suo primo lavoro, *La bilancetta*, nel quale illustra la bilancia idrostatica che ha progettato sulla base delle indicazioni di Archimede. Lo strumento serve a dimostrare che il metodo archimedeo è in grado di risolvere il problema della corona preparata per il re Gerone da un artigiano, insieme abile e disonesto, che ha impiegato una lega di metalli invece che oro puro.

La passione per la fisica non escludeva interessi di carattere letterario. Nel 1588, all'Accademia fiorentina, Galilei tiene due lezioni *Circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante*. In esse il problema viene affrontato da un punto di vista esclusivamente matematico. Scriverà, poco più tardi, le celebri *Considerazioni sul Tasso* e un capitolo, in terza rima, *Contro il portar la toga*, che non è solo una satira contro l'uso accademico della toga, ma anche l'espressione di una rivolta, che non verrà mai meno nel suo animo, contro la «pedanteria» dei professori:

Pare una gatta in una via maestra
che sbalordita fugga le persone
quando è caduta giù dalla finestra,
che se ne corre via carpon carpone
tanto che la s'imbuchi e si difenda
perché le spiace la conversazione.

È certo il ritratto di un collega. Perché nel 1589, per intercessione di Guidobaldo del Monte, che lo aveva appoggiato presso il Granduca Ferdinando, Galilei aveva ottenuto la nomina a lettore di matematiche nello Studio di Pisa. Al periodo pisano appartengono anche i manoscritti del *De Motu* (scritti intorno al 1592) nei quali Galilei afferma contro Aristotele che tutti i corpi sono intrinsecamente pesanti e che la leggerezza è solo una proprietà relativa: il fuoco sale verso l'alto non perché possieda la qualità della leggerezza, ma perché è meno pesante dell'aria. Il problema che Galilei qui affronta non è quello della velocità come tale, ma della velocità di corpi diversi nello stesso mezzo, o dello stesso corpo in mezzi differenti, o di corpi diversi in mezzi differenti. Non intende dimostrare che tutti i corpi cadono con la stessa velocità, ma che la velocità di caduta di un grave è proporzionale alla differenza tra il suo peso specifico e la densità del mezzo attraverso il quale esso cade. Oggetti della stessa materia e densità cadrebbero nell'aria, indipendentemente dal loro peso, con la stessa velocità. Nel caso di oggetti di materia diversa e aventi lo stesso peso cadrebbe con maggiore velocità il più denso. Il moto nel vuoto (attraverso la progressiva diminuzione della densità del mezzo) diventa, a differenza di quanto ritiene Aristotele, possibile: oggetti di differenti materie cadono in esso con differenti velocità.

E questo l'inizio di un lungo cammino che condurrà Galilei al rifiuto, sempre più consapevole, dei quadri mentali dell'aristotelismo e al passaggio dalla fisica dell'impetus alla fisica matematica. Le ricerche sul moto occuperanno infatti Galilei per tutta la vita: dal periodo pisano fino ai *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* (1638), scritti negli anni della vecchiaia, dopo la tragedia del secondo processo e la pubblica sconfessione della dottrina copernicana. Nel corso di cinquant'anni, Galilei elabora una serie vastissima di ricerche e affronta una quantità di problemi: l'isocronismo delle oscillazioni del pendolo; la caduta dei gravi; il moto dei proietti; la coesione; la resistenza dei solidi; la «percossa». In questo lungo periodo di tempo, egli andrà assumendo, anche relativamente a questioni di fondo, posizioni diverse che risultano da approfondimenti, correzioni, in qualche caso da vere e proprie svolte concettuali. E tuttavia rintracciabile, in questo lungo periodo di tempo, un elemento di salda continuità. Esso è costituito dalla consapevole adesione alle impostazioni e al metodo del «divino Archimede».

Gli interessi per i problemi della tecnica, già presenti ne *La bilancetta*, appaiono evidenti anche dopo il passaggio alla cattedra di matematica dello Studio di Padova (26

settembre 1592). Fra il 1592 e il 1593 compone la *Breve istruzione all'architettura militare*, il *Trattato sulle fortificazioni*, le *Mecaniche* (che verranno pubblicate solo nel 1634 nella versione francese di Mersenne). Fa lezione sugli *Elementi* di Euclide e *sull'Almagesto* di Tolomeo. Nel 1597, ad uso degli scolari, compone il *Trattato della Sfera o Cosmografia* che è una limpida esposizione del sistema geocentrico. Ma è già su posizioni ben differenti. In una lettera di quello stesso anno, indirizzata a Keplero, scrive di essere giunto già da molti anni alla dottrina di Copernico anche se, spaventato dalla sorte del comune maestro, non ha osato finora pubblicare le sue dimostrazioni e le confutazioni degli argomenti degli avversari. Accanto al suo studio sorge un'officina nella quale vengono costruiti gli apparecchi dei quali si serve nelle sue lezioni pubbliche e private. Siamo, anche in questo caso, in presenza di un interesse che non verrà più abbandonato: non solo l'architettura militare e le fortificazioni, ma i problemi della balistica, dell'ingegneria idraulica, della canalizzazione e del sollevamento delle acque, le ricerche sulla resistenza dei materiali, la costruzione del compasso geometrico-militare, del cannocchiale, del termobaroscopio, infine una passione per l'osservazione, la misura, il disegno e gli strumenti, una infinita curiosità per gli esperimenti prodotti dalla sottigliezza dell'ingegno. Del 1606 è l'opuscolo che illustra *Le operazioni del compasso geometrico militare*. Dell'anno successivo la *Difesa contro le calunnie et imposture di Baldessar Capra* il quale aveva sostenuto, a torto, di essere l'inventore del cannocchiale.

2. *Le scoperte astronomiche*

Il 1609, che segnò un nuovo orientamento nella vita di Galilei, è anche (come si è visto nel cap. IV) un anno di importanza decisiva nella storia della scienza. Le grandi scoperte astronomiche (il *Sidereus Nuncius* è del 1610) non solo mettevano in crisi la tradizionale immagine del mondo, ma facevano anche cadere alcune obiezioni, che a molti erano apparse decisive, contro il sistema del mondo di Niccolò Copernico. La Luna ha una *natura terrestre* e tuttavia *si muove* nei cieli: da questo punto di vista il moto della Terra non appare più un'assurdità, né, per negare il moto della Terra, si può più far ricorso ad una differenza di nature. Giove, con i satelliti che gli ruotano attorno, sembra fornire una sorta di modello, in scala ridotta, dell'universo copernicano. Le osservazioni compiute sulle stelle fisse mostrano come esse siano ad una distanza incomparabilmente più grande di quella dei pianeti e non siano affatto, come vuole la tradizione, immediatamente

dietro il cielo di Saturno. Una delle obiezioni più forti avanzate contro il sistema di Copernico era l'assenza di una parallasse osservabile delle stelle. Il fenomeno della parallasse si fonda sul cambiamento di posizione che si verifica quando lo stesso oggetto è osservato da luoghi diversi (se si osserva una matita tenendo un occhio chiuso e poi lo si apre chiudendo invece l'altro occhio, sembrerà che la matita si sia mossa). Quanto maggiore è la distanza, tanto minore risulterà lo spostamento. L'obiezione (della quale si servì anche Tycho Brahe) era: se la Terra si muove nello spazio, l'aspetto delle costellazioni dovrebbe mutare di stagione in stagione. L'impossibilità di determinare la parallasse viene ora spiegata con l'immensa distanza delle stelle (figg. 1, 2).

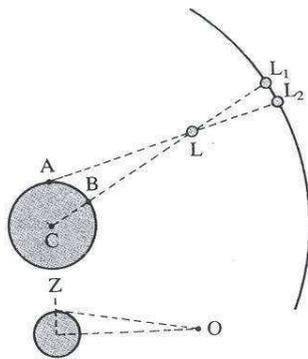


Figura 1. - La parallasse: supponiamo che la Luna L sia osservata dal punto A situato sulla superficie terrestre. La Luna è più vicina a noi delle stelle fisse e la linea che va dall'occhio dell'osservatore alla Luna può essere prolungata fino a raggiungere il firmamento in L_1 . Si tracci ora una retta dal centro della Terra C alla Luna e si collochi un secondo osservatore in B. La direzione della Luna vista da quest'osservatore sarà L_2 . La differenza tra la direzione della Luna vista da A e vista dal centro della Terra (o da B) è detta parallasse (*diversitas aspectus, parailaxis, conzmutatio*) ed è misurata dall'angolo ALC. È ovvio che la parallasse lunare varia essendo maggiore quando la Luna è all'orizzonte O e nulla quando è allo zenit Z.

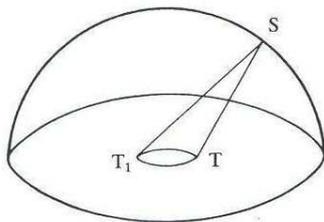


Figura 2. - In modo analogo si dice che le stelle fisse hanno una parallasse annuale. TT, rappresenta il moto di rivoluzione annuale della Terra attorno al Sole. Se la direzione di una stella S è osservata quando la Terra è in T, e poi sei mesi più tardi quando è in T_1 , vi sarà una piccola differenza tra le due direzioni. Questo spostamento nella posizione apparente di S è dovuto al moto orbitale della Terra e assomiglia allo spostamento dell'apparente posizione della Luna causato dal mutamento della posizione dell'osservatore sulla su-

perficie terrestre. Ma la parallasse stellare fu scoperta almeno tre secoli dopo la morte di Copernico. Egli fu costretto ad assumere che tutte le stelle fisse erano enormemente distanti dalla Terra: in questo caso il loro moto annuo apparente, provocato dal moto reale della Terra, sarebbe stato così piccolo da risultare impercettibile. Se l'universo di Copernico era tanto grande quanto è richiesto dall'assenza di parallasse stellare — era l'obiezione di Brahe — allora le stelle dovrebbero essere incredibilmente grandi, grandi quanto l'intera orbita terrestre. Ma il telescopio non fa aumentare la grandezza delle stelle, le fa apparire come punti luminosi e non come dischi, e mostra che il diametro apparente delle stelle era stato immensamente sopravvalutato dall'osservazione ad occhio nudo.

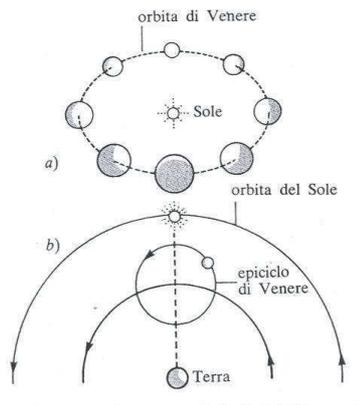


Figura 3. - In A si può vedere come l'esistenza delle fasi di Venere (osservate da Galilei) si accordi con il sistema di Copernico e come il cambiamento del diametro apparente di Venere confermi la concezione di un'orbita solare per il pianeta. In B si può vedere perché questo fenomeno sarebbe impossibile nel sistema di Tolomeo: il centro dell'epiciclo dell'orbita di Venere si trova infatti sempre sulla linea retta che congiunge il centro della Terra a quello del Sole e ruota attorno alla Terra in un anno, esattamente come il Sole. In tale circostanza la serie completa delle fasi di Venere non potrebbe mai essere osservata (riprodotto da B. Cohen, *The birth of a new physics*, New York 1960, pp. 76, 78).

Nuovi argomenti per l'abbandono del sistema tolemaico e in favore di quello copernicano vengono anche forniti dalle scoperte astronomiche che Galileo compie poco prima della sua partenza da Padova e del suo trasferimento a Firenze con il titolo di «Filosofo e matematico primario del Granduca» (settembre 1611). Si tratta dell'aspetto «tricorporeo» di Saturno (il cosiddetto *anello* è inaccessibile al cannocchiale di Galilei); dell'osservazione delle macchie solari; della scoperta delle fasi di Venere. L'osservazione che Venere «va mutando le figure nell'istesso modo che fa la Luna o appare giustamente a Galilei di importanza decisiva. Essa dimostra la somiglianza tra Venere, la Luna, la Terra; consente di affermare anche che la luce di Venere è riflessa; rivela infine (ed è la cosa più importante) una realtà di fatto che non è in alcun modo inseribile nel quadro tolemaico del mondo né è spiegabile adottando quel punto di vista (cfr. fig. 3).

La «novità» delle macchie solari appare a Galilei (co-

me egli scrive al Cesi nel maggio del 1612) «il funerale o piuttosto l'estremo e ultimo giudizio della pseudofilosofia». Il prodursi e il dissolversi delle macchie sulla superficie stessa del Sole — scriverà più tardi nella *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (1612) — non creano alcuna difficoltà ai «liberi ingegni» che non hanno mai creduto che il mondo posto al di sopra della sfera della Luna non sia soggetto ad alterazioni e a mutazioni (*Opere*, V, 129).

L'adesione galileiana alla dottrina copernicana risale, come si è visto, a quasi quindici anni prima delle scoperte astronomiche. Essa non nasce sul terreno dell'accettazione di un'ipotesi, ma su quello, ben diverso, dell'accoglimento di una nuova visione del mondo reale. Dopo le grandi scoperte astronomiche del 1610, Galilei abbandona ogni atteggiamento di cautela. «Abbiamo sensate e certe dimostrazioni — scrive a Giuliano de' Medici nel gennaio del 1611 — di due gran questioni state sin qui dubbie tra' maggiori ingegni del mondo» (*Opere*, XI, 12). L'una è che i pianeti sono tutti corpi opachi; l'altra che essi ruotano attorno al Sole. Ciò era stato «creduto», ma non «sensatamente provato» dai Pitagorici, da Copernico, da Keplero, dallo stesso Galilei. Keplero e gli altri copernicani potranno ora gloriarsi «di havere creduto et filosofato bene, sebbene ci è toccato e ci è per toccare ancora ad esser reputati dall'universalità dei filosofi *in libris* per poco intendenti e poco meno che stolti» (*Opere*, XI, 12).

Pochi mesi dopo la pubblicazione del *Sidereus Nuncius*, mentre rivendicava per sé, accanto al titolo di matematico, quello di filosofo, Galilei esponeva al segretario del Granduca i suoi progetti per il futuro: due libri sul sistema e la costituzione dell'universo (e concetto immenso e pieno di filosofia, astronomia e geometria); tre libri sul moto locale («scienza interamente nuova e ritrovata da me sin dai primi principi»); tre libri sulla meccanica; infine trattati sul suono, le maree, le quantità continue, il moto degli animali. La nuova fisica e la nuova astronomia non dovevano solo mostrare la verità copernicana, dovevano anche fondare una nuova scienza della natura. Ai filosofi dei libri e ai professori, alla loro «ostinazione da vipere» Galilei contrappone ora, orgogliosamente, una sua propria filosofia e afferma «di havere studiato più anni in filosofia che mesi in matematica pura» (*Opere*, X, 353). E (come vedremo) assai significativa, da questo punto di vista, la contrapposizione, che è presente nel discorso sulle macchie solari e che verrà più volte ripresa, dei «puri astronomi» agli «astronomi filosofi».

La sicurezza di Galilei è legata anche alle vicende successive al suo trasferimento a Firenze. A Roma, dove si era

recato nel 1611, aveva ricevuto accoglienze quasi trionfali: era stato chiamato a far parte dell'Accademia dei Lincei; autorevoli cardinali, gli ambienti gesuitici, lo stesso Pontefice Paolo V avevano manifestato comprensione e consenso. Nel dicembre del 1612 Galilei è pieno di fiducia e di ottimismo. A confermare la verità copernicana, scrive, «veggonsi propizi venti indirizzarsi con tante lucide scorte, che ormai poco ci resta da temere di tenebre o traversie».

Si andava invece, proprio in quel giro d'anni, addensando la tempesta. Galileo scrive lettere tutte rivolte ad un'opera di persuasione e di convinzione alle nuove verità. Le dirige ai discepoli entusiasti ed attenti, agli avversari in tono ironico e tagliente, cerca di procurarsi nuovi e più autorevoli appoggi. Il pericolo, tuttavia, non proveniva dalla pedanteria dei professori che Galilei aveva satireggiato durante il suo soggiorno a Pisa, e non proveniva neppure dagli ambienti dell'aristotelismo. La controversia sulla verità copernicana aveva una portata culturale e «politica» enormemente ampia, tale da sfuggire all'ottimismo fiducioso e sanguigno di Galilei. In questi anni egli appare convinto della possibilità di una vittoria a breve scadenza. Vede di fronte a sé solo l'ignoranza e la presunzione di singoli. Non si rende conto né delle posizioni che andavano maturando in taluni ambienti ecclesiastici, né delle implicazioni di carattere generale che sono presenti nella sua stessa posizione. Oscilla fra un eccesso di sicurezza e una non mai spenta disposizione alla requisitoria polemica, all'artificio retorico, alla capziosità. Si lascia trascinare in una disputa della quale finisce per smarrire il senso e la portata reali.

3. *La fede e l'autonomia della ragione*

Non erano mancati gli espliciti avvertimenti né le caute raccomandazioni: non ho trovato né filosofi né astronomi (gli scrive Paolo Gualdo) disposti a sottoscrivere le vostre opinioni; ancor meno vorranno farlo i teologi, «pensi dunque bene, prima che pubblichi questa sua opinione per vera, perché molte cose si possono dire per modo di disputa, che non è bene asseverarle per vere». In una predica tenuta nel convento fiorentino di San Matteo il giorno dei morti del 1612, il domenicano Niccolò Lorini aveva accusato di eresia i copernicani. Alla fine dell'anno seguente, a Pisa, davanti al Granduca e alla Granduchessa madre Cristina di Lorena, Benedetto Castelli, discepolo affezionato e fedele, difende la dottrina della mobilità della Terra contro le obiezioni di Cosimo Buscaglia. La risonanza che ebbe la disputa, il timore di perdere il favore

della famiglia dei Medici spinsero Galilei a un intervento diretto. La lettera al Castelli del 21 dicembre 1613 (che ebbe larga circolazione) affronta esplicitamente il problema dei rapporti fra la verità delle Scritture e la verità della scienza.

Il testo *dell'Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* che il principe Federico Cesi aveva fatto stampare a Roma in quello stesso anno 1613, era stato sottoposto ad alcuni significativi interventi della censura. Galilei aveva scritto che la «divina Bontà» lo aveva mosso alla diffusione delle sue teorie. I censori gli fecero sostituire l'espressione con «propizi venti». A proposito della tesi della corruttibilità dei cieli, Galilei aveva scritto che la opposta tesi della incorruttibilità era opinione non solo falsa, ma «erronea e repugnante alle indubitabili verità delle Sacre Lettere, le quali ci dicono i cieli e tutto il mondo ... esser generati e dissolubili e transitori». I revisori ecclesiastici, gli aveva fatto sapere il Cesi, «liavendo approvato tutto il resto, non ci vogliono questo in modo alcuno» (*Opere*, V, 238; XI, 428-429). Nel testo che, dopo vari tentativi, fu finalmente approvato, Galilei aveva dovuto eliminare ogni riferimento alla Scrittura.

I decreti della Scrittura, scrive Galilei nella lettera al Dini, sono di assoluta e inviolabile verità. Essa non può in nessun caso errare. Possono tuttavia errare i suoi interpreti: soprattutto relativamente a quelle proposizioni la cui forma dipende dalle necessità di adattamento alle capacità di comprensione del popolo ebraico. Quanto «al nudo senso delle parole», molte proposizioni hanno dunque «aspetto diverso dal vero», sono accomodate alla capacità del volgo ed è necessario che saggi interpreti ne chiariscano il senso. Natura e Scrittura procedono entrambe dal Verbo di Dio: la prima come «dettatura dello Spirito Santo», la seconda come «osservantissima esecutrice degli ordini di Dio». Ma mentre il linguaggio della Scrittura è accomodato all'intendimento degli uomini e le sue parole hanno significati diversi, la Natura è invece «inesorabile e immutabile» e non si cura che le sue ragioni e i suoi modi di operare «sieno o non sieno esposti alla capacità de gli uomini». Nelle discussioni che hanno per oggetto la Natura, la Scrittura «dovrebbe esser riserbata nell'ultimo luogo». La Natura ha in sé una coerenza e un rigore che sono assenti nella Scrittura: «non ogni detto della Scrittura è legato ad obblighi così severi come ogni effetto di Natura». Gli «effetti naturali» che l'esperienza sensibile ci pone dinanzi non possono in alcun modo «esser revocati in dubbio per luoghi della Scrittura ch'avesser nelle parole diverso sembiante». Compito dei «saggi espositori del testo sacro» (dato che Natura e Scrittura non possono mai

contrariarsi) è quello di «affaticarsi per trovare i veri sensi de' luoghi sacri» che siano in accordo con le conclusioni scientifiche accertate dal senso o dalle dimostrazioni. Inoltre, dato che le Scritture ammettono una serie di esposizioni lontane dalla lettera e dato che non siamo affatto sicuri che tutti gli interpreti siano ispirati da Dio, sarebbe prudente non permettere a nessuno di impegnare i luoghi della Scrittura per appoggiare come vere conclusioni naturali che potrebbero, in futuro, essere dimostrate false. La Scrittura tende a persuadere gli uomini di quelle verità che sono necessarie alla loro salvezza e che solo per questa via potevano essere comunicate agli uomini. Ma non è affatto necessario credere che le notizie che possono essere conseguite mediante i sensi e l'intelletto (di cui Dio ci ha dotati) ci siano fornite dalla Scrittura che, per esempio nel caso dell'astronomia, fa ad essa scarsi riferimenti in proposizioni isolate. La seconda (molto più breve) parte della lettera tende a dimostrare che le parole del testo sacro secondo le quali Dio fece fermare il Sole e prolungò la durata del giorno (Giosuè, X, 12) dietro preghiera di Giosuè, si conciliano perfettamente con il sistema copernicano e *non* invece con quello aristotelico tolemaico (*Opere*, V, 281-288).

Il pezzo di bravura con cui Galilei cercava di dividere i suoi avversari sostenendo la maggiore vicinanza della dottrina copernicana al testo sacro non eliminava certo l'esistenza di difficili domande. Se la Bibbia contiene solo proposizioni necessarie alla salvezza, che senso ha affermare che il passo di Giosuè «ci mostra manifestamente la falsità e l'impossibilità del mondano sistema aristotelico e tolemaico»? Nel momento in cui il linguaggio rigoroso della natura veniva contrapposto al linguaggio metaforico della Bibbia, i filosofi naturali non diventavano autorevoli interpreti di quel linguaggio? In quanto lettori e interpreti del libro della natura che è scritto da Dio non devono anche indicare agli interpreti della Scrittura quei «sensi» che si accordano con le verità naturali? Non finiscono allora di necessità per invadere il campo riservato ai teologi? In che senso (si chiederà Galilei nella lettera a Madama Cristina del 1615) la teologia è la «regina» delle scienze? Perché comprende dentro di sé tutto ciò che viene insegnato dalle altre scienze? Oppure perché il suo oggetto supera in dignità quello di tutte le altre scienze? La «regia preminenza» della teologia dipende, secondo Galilei, da questa seconda ragione: dal fatto che essa offre agli uomini verità che concernono «l'acquisto della divina beatitudine». Il limite di sovranità della teologia viene identificato con l'impossibilità di una violazione degli elementi costitutivi del discorso scientifico: è impossibile comandare di non

vedere ciò che si vede, di non intendere ciò che si intende, di trovare il contrario di ciò che si è trovato. La teologia non deve curarsi «delle più basse e umili speculazioni delle inferiori scienze» in quanto queste ultime non concernono la beatitudine e la salvezza. Assumendo una posizione diversa, la teologia sarebbe simile a un principe assoluto che non si accontentasse di governare, tua volesse «non essendo egli medico né architetto, che si fabbricasse e si medicasse a modo suo» (*Opere*, V, 325).

Galilei si muoveva su un terreno minato. La saldatura tra teologia e filosofia naturale, che da secoli sembrava garantire alla Chiesa la sua funzione di guida delle coscienze e della cultura, apparve a molti irrimediabilmente spezzata. Nella denuncia presentata il 7 febbraio 1615 Niccolò Lorini, che pure traduceva in un linguaggio rozzo e approssimativo le tesi copernicane e galileiane, coglieva con precisione alcuni punti: nella sua lettera al Castelli, «corrente per le mani di tutti», Galilei ha affermato che nelle controversie sugli effetti naturali «la Scrittura tenga l'ultimo luogo», che i suoi espositori errarono spesso, che la Scrittura «non si deve impicciar d'altra cosa che delli articoli concernenti la fede», che nelle cose naturali «abbia più forza l'argomento filosofico o astronomico che il sacro e il divino» (*Opere*, XIX, 297-298). Anche il Cardinale Bellarmino, nel 1615, insisterà sul fatto che le conclusioni del Concilio di Trento proibiscono di esporre le Scritture «contra il commune consenso de' Santi Padri». Tutti i Padri e tutti i commentari moderni sul Genesi, i Salmi, l'Ecclesiaste, Giosuè «convengono in esporre *ad literam* ch'il Sole è nel cielo e gira intorno alla Terra con somma velocità e che la Terra è lontanissima dal cielo e sta nel centro del mondo immobile». La Chiesa non può sopportare che si dia alle Scritture un senso «contrario ali Santi Padri et a tutti li espositori greci e latini» (*Opere*, XIII, 171-172).

Galilei, come la maggioranza degli interpreti hanno sottolineato, lottava certo per la distinzione fra scienza e teologia, per la separazione fra le verità della fede e quelle ricavate dallo studio della natura. Ma non va dimenticato che Galilei si mosse, o fu costretto a muoversi, anche sul terreno, molto più difficile e scivoloso, della ricerca di una conferma, *nella* Scrittura, delle verità della nuova scienza. Abbiamo visto come, nella lettera al Castelli, fosse presente la tesi che il celebre luogo di Giosuè non si conciliasse con il sistema tolemaico. In una lettera scritta a Piero Dini il 23 marzo 1614 Galilei si cimenta con il testo del Salmo 18 che lo stesso Dini gli aveva segnalato come uno dei passi considerati «più repugnanti» al sistema copernicano (*Opere*, V, 301). «Dio pose nel Sole il suo tabernaco-

lo...»: commentando questo testo e indicando significati «congruenti» con le parole del profeta, Galilei avanza tesi tipicamente neoplatoniche e “ficiniane”. Una sostanza «spiritosissima, tenuissima e velocissima», capace di penetrare dovunque senza contrasto, ha la sua sede principale nel Sole. Di qui si diffonde per tutto l’universo e riscalda, vivifica e rende feconde tutte le creature viventi. La luce, creata da Dio nel primo giorno, e lo spirito fecondante si sono uniti e fortificati nel Sole, posto perciò al centro dell’universo, e di qui nuovamente si diffondono. Il Sole è «un concorso nel centro del mondo del calore delle stelle» e, come fonte di vita, viene paragonato da Galilei al cuore degli animali che continuamente rigenera gli spiriti vitali (*Opere*, V, 297-305).

Offrendo una sua interpretazione del luogo di Giosuè e dei versetti del Salmo 18, Galilei intende dunque dimostrare che in quei testi sono presenti alcune verità del sistema copernicano. Nella Bibbia sarebbe racchiusa la conoscenza che il Sole è al centro dell’universo e che la rotazione che esso compie su se stesso è la causa del moto dei pianeti. Il salmista usa del sistema eliocentrico e conosce una verità fondamentale dell’astronomia moderna: non gli era occulto, scrive Galilei, che il Sole «fa raggirarsi intorno tutti i corpi mobili del mondo» (*Opere*, V, 304).

Galilei non tendeva solo, nel corso del tentativo effettuato in questi anni, a *scindere* l’interpretazione della Scrittura dalle interpretazioni tradizionali, tendeva anche a *ricondurla* a una lettura fondata sulle prospettive aperte dalla nuova scienza (Banfi 1962, 137-138). Nel momento stesso in cui fa uso di tutta la sua sottigliezza ed abilità dialettica per rintracciare *nel testo sacro* una conferma della nuova cosmologia, egli rischia di compromettere, fin dall’inizio del suo discorso, il valore della sua tesi di carattere generale di una rigorosa distinzione e separazione fra il campo della scienza e quello della fede, fra l’indagine di come «vadia il cielo» e di come «si vadia al cielo» (*Opere*, V, 319). La stessa tesi per la quale il testo sacro contiene solo verità concernenti la salvezza esce indebolita da questi suoi tentativi di farsi, anche se per poche pagine, «espositore» della Bibbia. Su questo punto la posizione di Galilei è ambigua. Egli resterà però sempre consapevole della differenza, di natura qualitativa, fra il suo “piccolo parto» di interprete dei sacri testi e il suo gigantesco lavoro di indagatore del mondo fisico: «Queste cose per me sanano dormite sempre, parlo dell’entrare nelle Scritture Sacre nelle quali non è mai entrato astronomo nessuno né filosofo naturale che stia dentro i suoi termini» (*Opere*, XII, 184).

4. *Le ipotesi e la verità*

Vanno rilette le parole di una circolare inviata da Roberto Bellarmino agli Inquisitori provinciali il 26 luglio del 1614: «Non si straccando gli heretici... di seminar continuamente i loro errori et heresie nel campo della Christianità con tanti e tanti libri perniciosi... è necessario che non si dormi, ma che si affatichino di estirpargli almeno in quei luoghi dove potiamo». Negli ultimi tempi, in realtà, non si era dormito molto. Nel 1592 Francesco Patrizi era stato condannato per aver sostenuto l'esistenza di un solo cielo, la rotazione della Terra, la vita e l'intelligenza degli astri, l'esistenza di uno spazio infinito (riempito dal *lumen*) al di sopra del mondo sublunare. Nell'arco di dieci anni (durante il pontificato di Clemente VIII) erano state condannate all'indice la *Nova philosophia* dello stesso Patrizi, il *De rerum natura* di Telesio, l'opera omnia di Bruno e di Campanella, erano state effettuate le inchieste contro Giambattista della Porta, Nicolò Stigliola e Cesare Cremonini, era stato condannato a morte Francesco Pucci, imprigionato Tommaso Campanella, arso sul rogo Giordano Bruno.

La limitazione del sapere scientifico al piano delle cose naturali, il rispetto, profondissimo in Galilei, per una verità non interamente riconducibile a dimensioni umane, il riconoscimento di un loro autonomo significato alle verità della fede: tutto ciò non bastò ad impedire reazioni violente e aspre prese di posizione. Il 20 dicembre del 1614 il domenicano Tommaso Caccini, in una predica a Santa Maria Novella, qualificò come eretica l'opinione di Copernico e di coloro che pretendevano di correggere la Bibbia. Si scagliò contro «l'arte diabolica della matematica» e contro quei matematici fautori d'eresie che avrebbero dovuto essere banditi da ogni stato cristiano. Nei primi mesi del 1615, dopo che Galilei era già stato formalmente denunciato al Sant'Uffizio per affermazioni «sospette e temerarie» contenute nella lettera al Castelli, usciva a Napoli una *Lettera del R.P.M. Paolo Antonio Foscarini Carmelitano sopra l'opinione de' Pitagorici e del Copernico* nella quale si sosteneva la tesi di un perfetto accordo tra il sistema copernicano e le verità della Bibbia. La reazione del Cardinale Bellarmino a questo tentativo costituisce un documento di grande importanza. Foscarini e Galilei, afferma Bellarmino, dovranno prudentemente accontentarsi di muoversi sul piano delle ipotesi. E pienamente legittimo affermare («è benissimo detto e non ha pericolo nessuno») che, *supposto* che la Terra si muova e il Sole stia fermo, si «salvano le apparenze» o si dà conto di ciò che appare meglio che con il sistema tradizionale, ma afferma-

re che *realmente* il Sole stia al centro del mondo e la Terra si muova «è cosa pericolosa non solo d'irritar tutti i filosofi e theologi scolastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede con render false le Scritture Sante» (*Opere*, XII, 171).

Il gesuita Roberto Bellarmino (1542-1621), che era stato creato cardinale da Clemente VII nel 1598 e che era uno dei più colti e autorevoli personaggi della Chiesa del tempo, riprendeva qui la tesi, già presente in Simplicio, in Giovanni Fiopono, in Tommaso d'Aquino, dell'astronomia come pura «matematica» e puro «calcolo», come escogitazione di ipotesi delle quali non importa dire se siano o meno «vere» e corrispondenti al mondo reale. Nei tempi moderni questa tesi era stata ripresa da Andrea Osiander nella sua anonima prefazione al *De revolutionibus* di Copernico. A queste affermazioni già si era ribellato con violenza Giordano Bruno: nella *Cena delle ceneri* (1584) aveva qualificato la prefazione di Osiander «una epistola superliminare attaccata da non so chi asino ignorante et presuntuoso». Copernico, aggiungeva, «la intese come la disse e con tutto suo sforzo la provò..., non solo fa ufficio di mathematico che suppone, ma anco da physico che dimostra il moto della Terra» (Bruno 1958, 87-90). Non diversamente, Keplero, aveva affermato essere «falsi» i principi di Tolomeo e «veri» quelli di Copernico.

Su questo punto, Galilei è d'accordo con Bruno e con Keplero. La sua posizione è nettissima e non lascia spazio ad equivoci. Alla pura astronomia egli contrappone la filosofia, all'ipotesicismo la descrizione della realtà delle cose. La ricerca di Copernico gli appare non un mezzo per giungere a calcoli che siano conformi all'osservazione, ma come un discorso che concerne «la costituzione delle parti dell'universo *in rerum natura*» e la «vera costituzione delle parti del mondo». Copernico, afferma Galilei, ritenne il sistema tolemaico non rispondente alla realtà e ritenne «che il problema della vera costituzione fusse degno d'esser ricercato». Le conclusioni erano assai nette: «Il voler persuadere che '1 Copernico non stimasse vera la mobilità della Terra, per mio credere, non potrebbe trovar assenso se non forse appresso chi non l'avesse letto... Egli, per mio avviso, non è capace di moderazione, essendo il principalissimo punto di tutta la sua dottrina e l'universal fondamento la mobilità della Terra e stabilità del Sole: però, o bisogna dannarlo del tutto o lasciarlo nel suo essere» (*Opere*, V, 299).

5. *La condanna di Copernico*

Nel dicembre del 1615 Galilei è a Roma e riprende a discutere, a combattere, a polemizzare. Nella lettera a

Madama Cristina di Lorena ha ripreso, in forma più ampia, gli argomenti contenuti nella lettera al Castelli. Sotto forma di lettera al cardinale Alessandro Orsini scrive, nel 1616, il *Discorso sopra il flusso e il reflusso del mare* che verrà più tardi rifiuto nella quarta giornata del *Dialogo sui massimi sistemi*. Ma i suoi progetti, le sue speranze, le sue illusioni verranno presto interrotti. Il 18 febbraio i teologi del Sant'Uffizio presero in esame la dottrina copernicana nella rudimentale formulazione che ad essa era stata data dal Caccini. Una prima proposizione «che il Sole sii centro del mondo, et per conseguenza immobile di moto locale» veniva dichiarata dal Sant'Uffizio «stolta et absurda in filosofia e formalmente eretica, in quanto contraddice espressamente alle sentenze della Sacra Scrittura». Una seconda proposizione «che la Terra non è al centro del mondo né immobile, ma si muova secondo sé tutta etiam di moto diurno» appariva meritare «dal punto di vista filosofico, la medesima censura della prima; quanto alla verità teologica essa è almeno erronea riguardo alla fede».

Paolo V aveva disposto che Galilei venisse *ammonito* ad abbandonare la dottrina copernicana. Nel caso di un suo rifiuto, gli sarebbe stato impartito *l'ordine* (o *precetto*), davanti a un notaio e a testimoni, di rinunciare alla dottrina censurata e di astenersi dal trattarne. La distinzione fra *ammonizione* o *precetto* è molto importante perché su di essa si fonderanno l'accusa e la condanna del 1633. Il 26 febbraio Galilei veniva convocato dal cardinale Bellarmino. Il verbale di quella seduta, che non reca le firme dei convenuti ed ha l'aspetto di una minuta, riferisce che Galilei fu *ammonito* e che subito dopo (*successive et incontinenti*), a nome del Pontefice e dell'intera Congregazione del Sant'Uffizio, gli fu *ordinato* di «abbandonare completamente detta opinione, non accoglierla, difenderla e insegnarla in alcun modo (*quovis modo*) con parole e con scritti». Questi termini appariranno a Galilei, nelle tragiche giornate del secondo processo, «novissimi et come inauditi». Molti storici concordano nel ritenere quel verbale non rispondente alla realtà e lo attribuiscono allo zelo del Padre Commissario, particolarmente accanito nei confronti di Galilei.

Il 3 marzo, dopo la sottomissione di Galilei, usciva il decreto di condanna della Sacra Congregazione dell'Indice che sospendeva, fino a che non fossero stati corretti, i libri di Copernico e quelli del teologo Diego de Zúñiga che aveva sostenuto, nel suo commento al libro di Giobbe, che il testo sacro non contraddiceva le tesi di Copernico. Lo stesso decreto condannava inoltre e proibiva l'opera del padre Foscarini, proibiva tutti i libri nei quali la dottrina di Copernico venisse sostenuta. Era così

giunto a termine il processo iniziato con la denuncia del Lorini. La persona di Galilei non era stata colpita. I suoi scritti non erano stati menzionati. Nel maggio, di fronte a insinuazioni malevole e alle dicerie di una sua abiura, Galilei chiese al Bellarmino una dichiarazione. In essa si certificava che Galilei non aveva mai abiurato, né aveva ricevuto penitenze di sorta: gli era stata soltanto notificata la dichiarazione pubblicata dalla Sacra Congregazione affermando che la dottrina copernicana era contraria alle Sacre Scritture e pertanto non si poteva «né difendere né tenere».

I benpensanti, come di solito avviene in questi casi, si sentivano soddisfatti e pacificati col mondo: «Le dispute del Sig.r Galilei son risolte in fumo d'alchimia». Sono finite «le girandole del cervello» e siamo di nuovo fermi «senza volar con la terra come tante formiche sopra un pallone che andasse per aria».

6. *Le comete, il mondo oggettivo, il libro della natura*

Nel 1623 Galilei pubblicò *Il Saggiatore*, che è uno dei grandi capolavori della letteratura barocca, un'opera scintillante di ironia e di forza polemica. Essa era nata sul terreno di una disputa con il padre Orazio Grassi, del Collegio Romano, relativa alla natura delle comete. In uno scritto intitolato *Libra astronomica et philosophica*, pubblicato nel 1619, quest'ultimo aveva risposto alle tre lezioni del *Discorso sulle comete* del galileiano Mario Guiducci, Console dell'Accademia Fiorentina. Il testo del Guiducci era, in realtà, opera dello stesso Galilei. Sia nel *Discorso* sia ne *Il Saggiatore* Galilei assunse, a proposito del fenomeno delle comete, le posizioni caratteristiche dell'ormai declinante aristotelismo. Sulla base del fatto che la cometa del 1577 presentava una parallasse assai più piccola di quella della Luna, Tycho Brahe ne aveva correttamente inferito che essa si trovava al di sopra del cielo della Luna. Galilei riconosce che si possono misurare le distanze col metodo della parallasse, ma nega che questo metodo si possa applicare ad oggetti apparenti come «reflessioni di lumi, immagini e simulacri vaganti» (*Opere*, VI, 66). Egli pone le comete nelle categoria di oggetti apparenti come i fasci dei raggi solari che filtrano attraverso le nubi o si presentano quando si osserva il cadere del Sole sul mare. Le comete sono, per Galilei, *fenomeni ottici* e non *oggetti fisici*: sono la rifrazione della luce solare sulle esalazioni terrestri.

Per sostenere questa tesi, Galilei attaccò aspramente l'astronomia di Tycho Brahe che aveva interpretato le comete come corpi reali. Ritenendo che anche le comete seguissero orbite circolari attorno al Sole, Tycho si era

servito dell'osservazione che esse non si muovono mai in direzione retrograda come gli altri pianeti per confermarsi nella sua opinione dell'immobilità della Terra. Come è stato giustamente scritto, Galilei sperò di cancellare le comete dal cielo, demolendo la reputazione di Tycho sulla Terra. Per questa sua offensiva contro il maggiore astronomo del suo tempo pagò un prezzo molto alto: fu costretto a interpretare la parte di un aristotelico conservatore e si inoltrò in una selva di incoerenze.

Nelle pagine del *Saggiatore* sono però presenti due fra le più celebri dottrine filosofiche di Galilei: quella relativa alla distinzione fra le qualità soggettive e quelle oggettive dei corpi; quella che fa riferimento alla struttura geometrico-matematica del gran libro della natura. [...]

La seconda, celebre dottrina galileiana contenuta ne *Il Saggiatore* esprime la ferma convinzione galileiana che la natura, pur essendo «sorda e inesorabile ai nostri vani desideri», pur producendo i suoi effetti «in maniere inescogitabili da noi», rechi al suo interno un ordine ed una struttura armonica, di tipo geometrico: «la filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intender se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, ei caratteri sono triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto» (*Opere*, VI, 232).

I caratteri in cui è scritto il libro della natura (e Galilei tornerà su questi concetti in una lettera a Fortunio Liceti del gennaio 1641) sono diversi da quelli del nostro alfabeto, e non tutti sono in grado di leggere in quel libro. Non si tratta affatto di un semplice «canone metodologico». Su questo presupposto Galilei fonda la sua certezza nella verità copernicana e soprattutto la fermissima, quasi ostinata convinzione di tutta la sua vita, che la scienza non si limita a formulare ipotesi, a formulare discorsi coerenti, a «salvare i fenomeni», ma che è in grado di dire qualcosa di vero sulla costituzione delle parti dell'universo *in rerum natura*, di rappresentare la struttura fisica del mondo. Nella lettera al Liceti, scritta un anno prima della morte, non c'è alcuna contrapposizione ai libri dei poeti dominati dalla fantasia. E esplicitamente presente (come nel passo del *Saggiatore*) l'affermazione della possibilità di una lettura che è fondata sulla conoscenza di quei particolari caratteri in cui è scritto il libro che si vuol leggere. Nella pagina de *Il Saggiatore* che segue quella contenente la celebre frase sopra citata, Galilei afferma di desiderare,

con Seneca, la «vera costituzione dell'universo» e qualifica questo suo desiderio come «una domanda grande e da me molto bramata».

Queste affermazioni galileiane hanno un senso preciso. Il loro significato fu inteso assai bene da quanti, in quel secolo, considerano empia e pericolosa l'idea di una conoscenza matematica fondata sulla struttura obiettiva del mondo e capace di conseguenza di eguagliare in qualche modo la conoscenza divina. La posizione del cardinale Maffeo Barberini (1568-1644), dal 1623 papa Urbano VIII, quale risulta dal memoriale Buonamici, dai riferimenti galileiani alla «angelica dottrina... alla quale è forza quietarsi» è su questo punto assai chiara: poiché per ogni effetto naturale può darsi una spiegazione diversa da quella che a noi sembra la migliore, ogni teoria deve muoversi sul piano delle ipotesi e consapevolmente rimanere su questo piano. Nel *Dialogo*, proprio in opposizione a questa tesi, Galilei sosterrà la possibilità, per la conoscenza matematica, di eguagliare quella divina. Con un ragionamento che appare «molto ardito» all'aristotelico Simplicio, Salviati afferma: «*extensive*, cioè quanto alla moltitudine degli intellegibili, che sono infiniti, l'intendere umano è come nullo ... ma pigliando l'intendere *intensive*, in quanto cotal termine importa intensivamente, cioè perfettamente alcuna proposizione, dico che l'intelletto umano ne intende alcune così perfettamente, e ne ha così assoluta cenezza, quanta se n'abbia l'istessa natura; e tali sono le scienze matematiche pure, cioè la geometria e l'aritmetica, delle quali l'intelletto divino ne sa ben infinite proposizioni di più, perché le sa tutte, ma di quelle poche intese dall'intelletto umano credo che la cognizione agguagli la divina nella certezza obiettiva» (*Opere*, VII, 128-129).

Il contrasto fra l'ipotesicismo di Urbano VIII e la posizione galileiana era espressione della forte resistenza, opposta dal pensiero tradizionale, alla rinascita di Archimede, all'idea (che a quella rinascita è saldamente collegata) di una matematica che non è una scienza astratta che esplora le relazioni di un modello della realtà fisica. L'idea che i corpi della fisica noti si conformino ai canoni della geometria «tendeva a suggerire che il ragionamento matematico può essere vero solo per condizioni di impossibile semplicità».

È indubbio, come è stato tante volte sottolineato, che nella «filosofia» di Galilei confluiscono temi che si richiamano ad antiche e differenti tradizioni. E non ha neppure molto senso chiedersi se Galilei fu fondamentale un platonico, un seguace del metodo aristotelico, un discepolo di Archimede, o un ingegnere che riusciva a generalizzare specifiche esperienze. Verso ciascuna di

quelle tradizioni Galilei ebbe un debito profondo: la sua visione dell'universo come entità matematicamente strutturata è ceno legata al platonismo; la distinzione da lui effettuata fra metodo compositivo e metodo risolutivo è certo legata all'aristotelismo; l'applicazione dell'analisi matematica ai problemi della fisica gli derivava certo da Archimede; la sua costruzione e il suo uso del cannocchiale e la sua valutazione delle arti meccaniche e dell'Arsenale dei Veneziani è certo legata alla tradizione intellettuale degli "artigiani superiori" del Rinascimento. Come, si è visto, egli non esitò a richiamarsi alla metafisica della luce dello Pseudo-Dionigi e alla tradizione ermetica e ficiniana quando, per un breve periodo, tentò di farsi espositore delle Scritture per mostrare che in esse sono contenute alcune delle verità copernicane.

E indubbio che Galilei utilizzò ciascuna di queste tradizioni. Ma non si trattò solo di una mescolanza occasionale. L'idealismo matematico, combinato con l'eredità del «divino Archimede» e con una concezione di tipo corpuscolare, era destinato ad avere, nella storia dell'Occidente, una forza esplosiva.

7. 1 *Massimi Sistemi*

Quando fu eletto al soglio pontificio il cardinale Maffeo Barberini, che aveva in più occasioni manifestato simpatia e ammirazione per l'opera di Galilei, quest'ultimo si aprì a nuove speranze. Il pontificato di Urbano VIII sembrava caratterizzato da notevole tolleranza. Nel 1626, tre anni dopo la sua elezione, il nuovo Pontefice farà liberare Tommaso Campanella assegnandogli una pensione. In questo nuovo clima Galilei scrisse la *Risposta* alla confutazione del sistema copernicano scritta dal giurista ravennate Francesco Ingoli e progettò la pubblicazione di un *Dialogo sopra il flusso e il riflusso del mare*. Questo titolo apparirà più tardi a Galilei troppo audace ed impegnativo. Per ragioni di prudenza giungerà alla scelta di un titolo dall'apparenza più neutrale: *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*. Fin dal titolo veniva escluso da una seria considerazione il cosiddetto "terzo sistema del mondo" di Tycho Brahe che era stato accolto con particolare favore nell'ambiente dei Gesuiti.

Nel proemio *Al discreto lettore* e nelle parole conclusive dell'opera, Galilei mostrava di aderire all'ipotesi matematica di Urbano VIII: «ho presa nel discorso la parte copernicana procedendo in pura ipotesi matematica», scrive Galilei nel proemio, e prosegue affermando che la condanna pronunciata dalla Chiesa nel 1616 era nata non da ignoranza scientifica ma dalle ragioni della pietà e della reli-

gione. Per tali ragioni è stata assenta «la fermezza della Terra» e la tesi contraria è stata identificata con un «capriccio matematico». La argomentazione capziosa, la cautela del proemio, il riferimento, nella conclusione alla «angelica dottrina» non saranno sufficienti ad evitare a Galilei la tragedia della sconfitta e dell'umiliazione. Il tono del *Dialogo* è in realtà assai lontano da questi atteggiamenti di diplomazia cautelata.

Il colloquio si svolge a Venezia nel palazzo del patrio veneziano Giovan Francesco Sagredo (1571-1620) che impersona la parte dello spirito libero e spregiudicato, disposto ad accogliere il nuovo, pronto all'entusiasmo e all'ironia. Il secondo personaggio è il fiorentino Filippo Salviati (1583-1614) che ha la parte del convinto copernicano e che appare come uno scienziato calmo e misurato, che unisce alla saldezza delle convinzioni la disposizione al dialogo pacato e la pazienza nell'argomentare. Il terzo interlocutore è il fittizio Simplicio, l'aristotelico difensore del sapere costituito, non ingenuo né sprovveduto, talvolta borioso, ma legato in ogni caso alla venerazione per l'autorità, alla difesa di un ordine che gli appare non modificabile e gli fa considerare pericolosa ogni tesi che ceda quell'ordine si discosti: «questo modo di filosofare tende alla sovversione di tutta la filosofia naturale ed a disordinare e mettere in conquasso il cielo, la terra e tutto l'universo». Salviati rappresenta anche il pubblico al quale il *Dialogo* si rivolge. Scritta in volgare, l'opera non è certo indirizzata a persuadere i «professori» raffigurati da Simplicio. Il pubblico che Galilei vuol convincere è quello delle corti, della borghesia e del clero, dei nuovi ceti intellettuali. Di qui il tono in apparenza leggero della conversazione, le continue digressioni, il disordine apparente del dibattito, l'alternarsi di pacati discorsi a critiche taglienti. Delle quattro giornate che compongono il *Dialogo*, la prima è rivolta alla distruzione della cosmologia aristotelica, la seconda e la terza rispettivamente al moto diurno e annuale della Terra, la quarta alla *prova fisica* del moto terrestre che Galilei ritiene di aver raggiunto con la teoria delle maree.

Il *Dialogo* non è un libro di astronomia nel senso che non espone un sistema planetario. Tutto rivolto a dimostrare la verità della *cosmologia* copernicana ed a chiarire le ragioni che rendono insostenibile la *cosmologia* e la *fisica* aristotelica, esso non affronta i problemi dei moti dei pianeti e di una loro spiegazione. Del sistema copernicano viene offerta una rappresentazione semplificata, priva di eccentrici e di epicicli. A differenza di Copernico, Galilei fa coincidere il centro delle orbite circolari con il Sole e non si occupa di dar ragione delle osservazioni sul moto

dei pianeti. Come è stato detto giustamente, Galilei aveva molta più fiducia nel suo principio di meccanica per il quale i corpi hanno la tendenza a perseverare in moto circolare uniforme che nella accuratezza di quelle misurazioni alle quali, in quegli stessi anni, si era dedicato con inesauribile pazienza Keplero. A questo atteggiamento è anche da ricondurre la nessuna considerazione di Galilei per i problemi della cinematica planetaria risolti da Keplero (la teoria ellittica era stata annunciata *nell'Astronomia Nova* del 1609).

Alla insostenibilità della “fabbrica del mondo” aristotelica è dedicata la prima giornata. Quel mondo non è un *tini-verso*, ha una *struttura duplice*, è fondato sulla divisione fra l'incorruttibile mondo celeste e il mondo degli elementi, soggetto al mutamento e alla corruzione. Aristotele stesso ha affermato che le testimonianze dei sensi vanno anteposte ad ogni discorso. Per questo, obietta Salviati a Simplicio, filosoferete più aristotelicamente dicendo che il cielo è alterabile perché così mi mostrano i sensi, che se direte che il cielo è alterabile perché così ha “discorso” Aristotele. Quella «lontananza dai sensi» che rendeva impossibile l'osservazione delle cose celesti è stata vinta dal cannocchiale. Ma non sono soltanto le montagne sulla Luna che costringono ad abbandonare l'immagine tradizionale dell'universo. Essa, in apparenza organica e stabile, mostra al suo interno falle e contraddizioni: muove per esempio dalla perfezione dei moti circolari per affermare la perfezione dei corpi celesti e si serve poi di quest'ultima nozione per affermare la perfezione di quei moti. Gli attributi di generabile e ingenerabile, alterabile e inalterabile, divisibile e indivisibile «convengono a tutti i corpi mondani, cioè tanto ai celesti quanto agli elementari». Questa espressione è molto importante: afferma che il cielo e la Terra appartengono allo stesso sistema cosmico e che esiste *una sola fisica*, una sola scienza del moto valida e per il mondo celeste e per il mondo terrestre. La distruzione della cosmologia di Aristotele comporta necessariamente una distruzione della sua fisica.

8. *La distruzione della cosmologia aristotelica*

Ciò appare particolarmente evidente nella seconda giornata, che è tutta dedicata ad una minuziosa, paziente confutazione di tutti i principali argomenti, antichi e moderni, solitamente addotti contro il moto della Terra: una pietra lasciata cadere dall'alto di una torre non dovrebbe toccare il suolo al piede della perpendicolare, ma in un punto lievemente spostato verso Occidente; le palle di un cannone sparate verso Occidente dovrebbero avere una

gittata più lunga di quelle sparate verso Oriente; se correndo a cavallo si sente l'aria che ci sferza il viso, dovremmo sempre avvertire (concesso che la Terra si muova) un vento impetuoso proveniente da Oriente; le case e gli alberi posti sulla superficie della Terra dovrebbero venir sradicati e gettati lontano dalla forza centrifuga provocata dal moto terrestre. Come afferma Galilei in una nota privata «è meraviglia che altri possa ornare, correndo noi così velocemente dietro all'orina; o almanco, ci dovremmo ornare giù per le ginocchia» (III, 1, 255).

In una nave ferma, argomenta Simplicio servendosi di una tesi della quale si era servito anche Tycho Brahe, se si lascia cadere una pietra dall'alto dell'albero, la pietra scende a perpendicolo. Invece, in una nave in movimento, la pietra cade secondo una linea obliqua, lontano dalla base dell'albero, verso la poppa della nave. Lo stesso fenomeno, ammesso che la Terra si muova velocemente nello spazio, dovrebbe verificarsi lasciando cadere una pietra da una torre. Su un punto Simplicio ha inconsapevolmente mentito: l'esperienza sulla nave non è mai stata compiuta. L'atteggiamento assunto da Galilei è molto significativo: chiunque farà quell'esperienza troverà accadere il contrario di ciò che Simplicio ha affermato. Ma compiere quell'esperienza non è in realtà necessario: «anche senza esperienza l'effetto seguirà... perché così è necessario che segua». Agli argomenti anticopernicani Galilei contrappone, per bocca di Salviati e di Sagredo, il principio della relatività dei movimenti. I moti celesti esistono solo per un osservatore terrec - non è affatto assurdo attribuire alla Terra un moto diurno di Lie. Poiché il movimento produce una variazione nelle apparenze, tale variazione ha luogo nello stesso modo sia che si assuma la mobilità della terra e l'immobilità del Sole oppure la tesi contraria. Qualunque moto venga attribuito alla Terra è necessario che a noi «come abitatori di quella ed in conseguenza partecipi del medesimo ci resti del tutto impercettibile come s'è non fusse». L'esempio addotto da Salviati come «ultimo sigillo» della vanità di tutti gli argomenti contro il moto terrestre ricavati dall'esperienza quotidiana è rimasto giustamente assai celebre: in una stanza posta sottocoperta in una nave, se ci sono mosche e farfalle e un vaso d'acqua con dentro dei pesci e un secchiello da cui cade goccia a goccia acqua dentro un altro vaso dalla bocca piccola e se la nave si muove a qualunque velocità «pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là, voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina o pure sta ferma».

L'affermazione della relatività dei movimenti ha con-

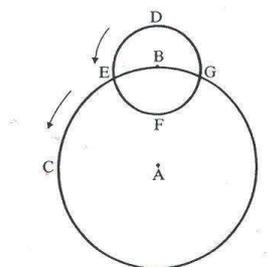
sequenze di grande rilievo. Nella meccanica degli aristotelici si dà un legame necessario fra il movimento e l'essenza dei corpi. In quella prospettiva non solo si può stabilire quali corpi sono necessariamente mobili e quali immobili, si può anche spiegare perché non tutte le forme del movimento convengono a tutti i corpi. Nella prospettiva aperta da Galilei quiete e movimento non hanno nulla a che fare con la natura dei corpi, non ci sono più corpi di per sé mobili o immobili e non si può decidere a priori, di fronte al movimento, quali corpi si muovono e quali sono immobili. Nella fisica degli aristotelici la localizzazione delle cose non è indifferente né per le cose né per l'universo. Il movimento si configura come *moto* se avviene nello spazio, come *alterazione* se concerne le qualità, come *generatio* e *interitus* se riguarda l'essere. Il moto non è uno *stato*, ma un *divenire* e un *processo*. Attraverso quel processo le cose si costituiscono, si attualizzano, si compiono. Un corpo in moto non muta solo nella sua relazione con altri corpi: è esso stesso soggetto ad un mutamento. Nella fisica galileiana l'idea di moto di un corpo viene separata da quella di un mutamento che affetta lo stesso corpo. E la fine della concezione (che è comune alla fisica aristotelica e alla teoria medioevale *dell'impetus*) di movimento che ha bisogno di un *motore* che lo produca e che lo *conservi in moto* durante il movimento. Quietè e movimento sono entrambi due *stati persistenti* dei corpi. In assenza di resistenze esterne, per arrestare un corpo in moto è necessaria una forza. La forza produce non il moto, ma l'accelerazione. Attraverso il capovolgimento di quadri mentali consolidati, Galilei ha aperto la strada che condurrà alla formulazione del principio di inerzia.

[...]

9. *La teoria delle maree*

Dal trattatello del 1616 sopra il flusso e il riflusso del mare al *Dialogo sui massimi sistemi*, per quasi vent'anni, Galilei vide nel moto delle maree e nella sua spiegazione di quel moto una *prova fisica* decisiva e difficilmente confutabile della verità copernicana. Arricchì di nuove osservazioni la sua dottrina, la espose ad amici ed avversari, ricercò dati che potessero suffragarla, pensò ad essa come al nucleo portante del *Dialogo* tanto da progettare, come si è visto, un titolo che facesse riferimento al flusso anziché ai massimi sistemi. La spiegazione galileiana (che nella quarta giornata del *Dialogo* è arricchita dalla considerazione delle variazioni annuali e mensili delle maree) assume come causa del flusso e del reflusso il duplice movimento

della Terra: la rotazione diurna dell'asse terrestre da Occidente verso Oriente e la rivoluzione annua della Terra attorno al Sole, procedente anch'essa da Occidente verso Oriente. La *combinazione di questi due moti*, per Galilei, fa sì che ogni punto della superficie terrestre si muova di "moto progressivo non uniforme" e «cangi di velocità con accelerarsi talvolta e talaltra ritardarsi». Tutte le parti della Terra si muovono quindi «di moto notabilmente difforme» benché nessun movimento non regolare e non uniforme sia stato assegnato alla Terra. Il modello che Galilei introduce è familiare agli astronomi del suo tempo. BC è l'orbita della rivoluzione annua della Terra attorno al Sole. Il cerchio DEFG è la Terra. Il centro della Terra B percorre la circonferenza BC da B verso C. La Terra ruota su se stessa attorno al suo centro B in 24 ore nell'ordine DEFG. La composizione di questi due moti, ciascuno dei quali è uniforme, genera per ogni parte della Terra un moto difforme. Il moto di tutto il globo e di ciascuna delle sue parti, conclude Galilei, «sarebbe equabile ed uniforme quando elle si muovessero d'un moto solo, o fusse il semplice annuo o fusse il solo diurno, così è necessario che mescolandosi tali due moti insieme, ne risultino per le parti di esso globo movimenti difformi, ora accelerati ed ora ritardati, mediante gli additamenti o sottrazioni della conversione diurna alla circolazione annua» (*Opere*, VII, 453).



È stato più volte sottolineato che la "falsità" della spiegazione galileiana (per la quale le maree dovrebbero verificarsi solo ogni 24 ore) non è relativa agli ulteriori sviluppi o progressi della scienza. Quella spiegazione è difficilmente conciliabile con i risultati che lo stesso Galilei ha acquisito alla fisica e all'astronomia. Dopo aver introdotto nella fisica il principio classico della relatività, Galilei (come ha notato Ernst Mach) integra illecitamente due diversi sistemi di riferimento. Tutta la seconda giornata del *Dialogo* tende a provare che su una Terra in movimento tutto accade come su una Terra in quiete. Perché

solo gli Oceani risentirebbero delle variazioni di velocità della superficie terrestre? e non tutti i corpi non rigidamente legati alla Terra? La Terra, mossa da un moto diurno, non si configura più, nella quarta giornata, come un sistema inerziale.

Galilei ricerca una soluzione al problema delle maree esclusivamente in termini di movimenti e di composizione dei movimenti, rifiutando ogni dottrina degli «influssi» lunari e muovendosi sul piano del più intransigente meccanicismo. La situazione ha qualcosa di paradossale: in base ad una forte avversione alla dottrina degli influssi e delle qualità occulte, Galilei è indotto a respingere come priva di significato ogni teoria delle maree che faccia in qualche modo riferimento alla «attrazione» fra la massa acquosa degli Oceani e la Luna. Quella dottrina non è una ipotesi alternativa ad altre possibili ipotesi, non è né incoerente né falsificabile da osservazioni: viene semplicemente «scartata» come manifestazione di una mentalità magica. Non vale la pena di spendere parole per confutare simili leggerezze, afferma Galilei per bocca di Sagredo. Che il Sole o la Luna entrino in qualche modo nella produzione delle maree è cosa «che totalmente repugna al mio intelletto... il quale non può arrecarsi a sottoscrivere., a predominii per qualità occulte ed a simili vane immaginazioni». Galilei esprime anche la sua alta meraviglia per il fatto che un uomo come Keplero, di «ingegno libero ed acuto», che si era reso conto della verità copernicana «ed aveva in mano i moti attribuiti alla Terra», abbia invece inspiegabilmente «dato orecchio ed assenso a predominii della Luna sopra l'acqua ed a proprietà occulte, e simil fanciullezze» (*Opere*, VII, 470, 486).

10. *La tragedia di Galilei*

Con la polemica de *Il Saggiatore* Galilei si era definitivamente alienato la simpatia degli ambienti gesuitici. I nemici di Galilei non dovettero faticare molto a convincere Urbano VIII che il riferimento alla «angelica dottrina» (secondo la quale di ogni effetto naturale può darsi una spiegazione diversa di quella che ci appare la migliore e dobbiamo di conseguenza muoverci solo sul piano delle ipotesi) messa nel *Dialogo* in bocca a Simplicio indicava la precisa volontà da parte di Galilei di farsi beffe dell'autorità del Pontefice e di screditarne il prestigio. L'Inquisitore di Firenze dette ordine di sospendere la diffusione dell'opera e il primo ottobre del 1632 fu intimato a Galilei di trasferirsi a Roma mettendosi a disposizione del Commissario Generale del Sant'Uffizio. Galilei riuscì a rinviare la partenza fino al gennaio dell'anno seguente.

Minacciato di essere condotto a Roma «legato anco con i ferri», si mise in viaggio il 20 gennaio. Dopo una lunga sosta a Ponte a Centina, a causa della quarantena resa necessaria dalla peste, giunse a Roma il 13 febbraio. Il 12 aprile, fisicamente e moralmente prostrato, Galilei si presentò al Sant'Uffizio. L'accusa non era quella di aver fatto pubblicare il *Dialogo*, ma di aver estorto fraudolentemente l'*imprimatur* senza far presente a chi doveva concederlo l'esistenza del *precetto* del 1616 che vietava di insegnare e difendere *quovis modo* la dottrina copernicana. Durante gli interrogatori, Galilei si richiama alla *notifica* del Bellarmino e al documento che lo stesso Bellarmino gli aveva successivamente rilasciato; afferma di non ricordare che gli sia stato intimato alcun *precetto* davanti a testimoni; conclude affermando che il *Dialogo* aveva in realtà lo scopo di dimostrare la non validità e la inconcludenza delle «ragioni» di Copernico. Quest'ultima frase, dettata dalla paura, mise Galilei nelle mani dei giudici, gli tolse ogni reale possibilità di difesa. Ai consultori dell'Inquisizione fu facile mostrare che egli cercava di ingannare i suoi giudici: «non solo arma l'opinione copernicana di argomenti nuovi, mai proposti da alcun oltramontano, ma lo fa in italiano, lingua., la più indicata per trascinare dalla sua il vulgo ignorante fra cui l'errore fu più facilmente presa». Galilei ha inoltre preteso di uscire dai confini stabiliti per i matematici: «L'autore sostiene di aver discusso un'ipotesi matematica, ma le conferisce una realtà fisica, ciò che i matematici non faranno mai».

Nel memoriale scritto, preparato in sua difesa, Galilei riaffermò con energia (10 maggio) che i termini presenti nel verbale del 1616 gli erano giunti «novissimi e come inauditi». Dopo un mese e dopo un nuovo interrogatorio fu emanata la sentenza. Nello stesso giorno, il 22 giugno 1633, Galilei in abito di penitenza e in ginocchio davanti ai cardinali della Congregazione, pronuncia una pubblica abiura: «con cuore sincero e fede non finta abiuro, maledico e detesto li suddetti errori et heresie... e giuro che ~er l'avvenire non dirò mai più né asserirò, in voce o in scritto, cose tali per le quali si possa haver di me simil sospitione, ma se conoscerò alcun heretico o che sia sospetto d'heresia, lo denuntiarò a questo 5. Offizio» (*Opere*, XIX, 406-407).

La condanna, che fu firmata da sette giudici su dieci, non colpiva soltanto Galilei, non troncava solo le sue speranze e le sue illusioni. Dava un colpo mortale anche alle speranze di quanti, all'interno della Chiesa, avevano creduto non solo alle verità della nuova astronomia, ma anche alla possibilità, per la stessa Chiesa, di esercitare una funzione positiva nel mondo della cultura. Nella storia

delle idee e in quella della scienza, il 1633 resta comunque un anno decisivo. Pochi mesi dopo la condanna (il 10 gennaio del 1634) Descartes scriveva a Mersenne di rinunciare a pubblicare il suo trattato sul mondo perché gli era giunta notizia della condanna di Galilei. Assumeva come sua divisa *bene vixit qui bene latuit* (bene visse chi bene si nascose) e confessava di avere la tentazione di «bruciare tutte le sue carte». Dieci anni dopo, nell'*A reopagitica*, John Milton rievocava la sua visita a Galilei (1639): i dotti italiani «lamentavano lo stato di servitù in cui la scienza era stata ridotta nella loro patria; era la ragione per cui lo spirito italiano, tanto vivo, si era spento e per cui da molti anni tutto ciò che si scriveva non era che adulazione e banalità».

La sentenza condannava Galilei al carcere formale. Il primo luglio del 1633 ottenne il trasferimento a Siena, dove l'arcivescovo Antonio Piccolomini lo accolse con amicizia sincera. Nel dicembre fu autorizzato a trasferirsi nella sua villa di Arcetri, presso Firenze, a patto che vivesse ritirato, senza frequentare molte persone «né a discorrere né a mangiare». 112 aprile 1634 moriva la figlia prediletta Suor Maria Celeste e Galilei fu gettato «in una tristizia e melanconia immensa: inappetenza estrema, odioso a me stesso, et insomma mi sento continuamente chiamare dalla mia diletta figliola» (*Opere*, XVI, 85). Alla fine del 1637 sopravviene una progressiva cecità: «quel mondo e quello universo», scrive Galilei all'amico Diodati, «che io con le mie meravigliose osservazioni e chiare dimostrazioni aveva ampliato per cento e mille volte più del comunemente veduto da' sapienti di tutti i secoli passati, ora per me si è sì diminuito e ristretto ch'è non è maggiore di quel che occupa la persona mia» (*Opere*, XVII, 247).

