



Copernico, Niccolò (1473 - 1543)

Juan Casanovas

Paolo VI, *Lettera al card. Wyszynski nel V centenario della nascita di N. Copernico*, 23.1.1973, *Insegnamenti XI* (1973), pp. 61-63; Giovanni Paolo II, *Discorso alla Pontificia Accademia delle Scienze*, 31.10.1992, *Insegnamenti XV,2* (1992), pp. 456-465; *Lettera al Rettore Magnifico dell'Università di Ferrara per il 450° della pubblicazione del De Revolutionibus*, 20.9.1993, in *"Copernico e la questione copernicana in Italia"*, Firenze 1996, pp. XI-XIII.

I. Introduzione e cenni biografici - II. Il sistema copernicano - III. I rapporti con la filosofia della natura - IV. Diffusione del copernicanesimo.

I. Introduzione e cenni biografici

1. *Genesis e influsso del "De Revolutionibus": la "astronomia" di Copernico e il copernicanesimo.* Niccolò Copernico era già sul punto di morire quando, nel 1543, i suoi amici pubblicarono la sua unica opera: il *De Revolutionibus Orbium caelestium libri VI*, ovvero il trattato «Sulle rivoluzioni degli orbi celesti». L'opera, divisa in sei libri, è dedicata a Papa Paolo III (1534-1549). Il titolo fa riferimento a concetti dell'astronomia antica: per Copernico, il termine *revolutio* denotava le rotazioni costanti e uniformi delle sfere celesti, chiamate anche «orbi», le quali trascinano con sé i pianeti. Ma l'opera di Copernico fu in realtà una vera e propria "rivoluzione": in astronomia, perché spiegò elegantemente una questione fondamentale sul movimento dei pianeti e aprì il cammino alla conoscenza delle dimensioni del sistema solare; in fisica, perché eliminò l'ipotesi di un centro del mondo e cambiò l'idea della gravitazione; in filosofia, perché apriva la mente ad una nuova concezione del mondo, del quale l'uomo non occupava più "il centro", e dell'universo, immenso e difficile di capire. Copernico era cosciente dei grandi cambiamenti che stava per introdurre, ma forse non ne intuì per intero il significato, che trascendeva l'ambito stesso dell'astronomia.

Copernico aveva trascorso molto tempo preparando questo lavoro e, come scrive nella *Prefazione*, era questa «un'opera che indugiava presso di me non già da nove anni soltanto, ma ormai da quattro volte nove anni» (tr. it. Torino 1975, p. 11). Molti anni prima, verso il 1510, Copernico aveva scritto un *Commentariolus*, nel quale proponeva già un sistema planetario centrato sul sole. Questo piccolo commentario non fu stampato, ma rimase sotto forma di manoscritto. Più tardi, nel 1540, mentre si preparava la stampa del *De Revolutionibus*, il suo discepolo Georg Joachim Rethicus (1514-1576) pubblicava la *Narratio Prima*, una sorta di anteprima in forma di lettera nella quale presentava un riassunto del lavoro astronomico di Copernico allo scopo di "sondare" le possibili reazioni che esso avrebbe potuto provocare. Ad istanza di Rethicus, Copernico finalmente approvò la stampa della sua opera, che fu poi pubblicata a Norimberga nella tipografia di Johann Petreius. Si dice che la prima copia arrivò fra le mani di Copernico lo stesso giorno della sua morte, il 24 maggio del 1543. È da notare che, pur essendo Copernico di fede cattolica, ciò non impedì che fosse Rethicus, di confessione protestante, a preparare la stampa del *De Revolutionibus*. Petreius affidò il compito della correzione delle bozze ad Andreas Osiander (1498-1552), pastore protestante e cultore della matematica, che credette opportuno scrivere anch'egli un *Prefazio* in forma di lettera, del quale parleremo più avanti (vedi *infra*, II.3).

Già all'inizio della sua opera, Copernico propone quale fondamento l'ipotesi di un movimento di traslazione della terra intorno al sole, e di conseguenza anche uno di rotazione della terra intorno al proprio asse. Questa concezione è ormai universalmente nota con il nome di «copernicanesimo». Il resto della sua opera è dedicato a dimostrare che era possibile creare un'intera "astronomia", cioè un impianto matematico-descrittivo, basata su questo principio. Conviene notare che, alla fine del Cinquecento, gli astronomi accettarono la proposta di Copernico, pur ritenendo l'ipotesi fondamentale ancora qualcosa di "assurdo". In altre parole, accettarono l'astronomia copernicana, mantenendo però forti reticenze nei riguardi del copernicanesimo. Questa astronomia fu presto abbandonata all'inizio del Seicento, perché ancora fondata su molti concetti antichi, come lo erano ad esempio gli «orbi solidi cristallini» che, girando con velocità uniforme, trascinavano con sé i pianeti. Alla fine del Cinquecento, grazie alle osservazioni del danese Tycho Brahe, vi furono progressi spettacolari che rovesciarono molti vecchi schemi contenuti ancora nella "astronomia" copernicana. In compenso, si fece strada, se pur lentamente, l'idea dell'eliocentrismo. Con gli studi di Johannes Kepler e di Galileo Galilei, il copernicanesimo diventò il centro di un duro scontro soprattutto fra i filosofi tradizionali di eredità aristotelica e la nuova scienza fisico-matematica, allora nascente, fino a richiedere l'intervento del Sant'Uffizio di Roma.

2. *La vita e l'attività di Copernico.* Niccolò Copernico era nato il 19 febbraio 1473 a Torun in Polonia, in una regione sul confine con la Prussia, frequente oggetto di contestazioni territoriali da parte dei cavalieri teutonici e del Regno della Prussia Orientale. Copernico scriveva normalmente in lingua latina, come era usanza ovunque in Europa, però i suoi scritti minori erano redatti anche in tedesco, la lingua parlata in famiglia. Non si conservano scritti in lingua polacca. All'età di sei anni venne a mancare il padre e da quel momento uno zio materno, Lucas Watzenrode (1447-1512), che doveva diventare presto vescovo di Warmia, assunse la responsabilità della sua educazione. Copernico fu inviato all'Università di Cracovia, dove studiò fra il 1491 e il 1495 con la finalità di prepararsi ad una carriera insieme ecclesiastica e civile. A Cracovia fu introdotto per la prima volta alla matematica e all'astronomia. Nel 1495 suo zio gli procurò un canonicato nella cattedrale di Frombork (il canonicato non implicava a quel tempo l'obbligo di ricevere l'ordinazione sacerdotale), e questo gli assicurò una comoda posizione economica, che gli permise, tra l'altro, di fare un viaggio in Italia per completare la sua formazione. Copernico cominciò con lo studio del Diritto Canonico presso la prestigiosa Università di Bologna, fra il 1496 e il 1500, dove aveva studiato prima di lui lo zio Lucas. Tutti i biografi fanno notare che a Bologna egli prese alloggio presso il professore di astronomia Domenico Maria di Novara (1454-1504), con il quale, probabilmente, condivise gli interessi per questa disciplina e che forse aiutò pure nelle sue osservazioni astronomiche e nella preparazione dell'almanacco annuale astrologico. Troviamo Copernico a Padova dal 1501 al 1503 come studente di medicina. I futuri medici di allora dovevano frequentare anche un corso di astronomia, giacché tale disciplina si considerava imprescindibile per conoscere quali fossero le condizioni astrali più favorevoli per le cure e la somministrazione delle medicine (non si trattava di astrologia come la intenderemmo oggi, ma rispondeva semplicemente all'idea, allora diffusa, dell'influsso naturale dei corpi celesti sui fenomeni di generazione, trasformazione e corruzione che avvenivano sulla terra). Senza completare gli studi di medicina, Copernico si trasferì all'Università di Ferrara, dove prese il dottorato in Diritto Canonico e poté così tornare in Polonia con un titolo accademico.

Rientrato in Polonia cominciò ad aiutare suo zio, vescovo della diocesi di Warmia, sulla costa del Mar Baltico, in diversi compiti amministrativi, divenendo anche suo medico personale. Lo zio Lucas pensava di preparare suo nipote a succedergli nel governo e nel ministero della diocesi, ma questi rinunciò e declinò la proposta di essere ordinato sacerdote. Fu allora che tornò alla cattedrale di Frombork per riprendere nel 1510 il suo compito di canonico e lì rimase fino alla morte. Non si conosce il motivo preciso per il quale Copernico non intendesse divenire sacerdote. Forse non ne sentiva la vocazione, o forse avvertiva la necessità di disporre di più tempo per completare il suo libro *De Revolutionibus*. Fu infatti in quegli anni che incominciò a distribuire ai suoi amici il manoscritto, conosciuto con il titolo di *Commentariolus*, nel quale proponeva per la prima volta la sua ipotesi dell'eliocentrismo. A Frombork passò il resto della sua vita fino al 1543, ove la morte lo colse il 23 maggio.

Copernico divideva il suo tempo fra gli impegni di canonico amministratore dei beni della chiesa cattedrale e lo studio necessario alla composizione del *De Revolutionibus*. La sua vita non sembrava quella di un "astronomo professionista". La sua reticenza nel pubblicare la sua opera può indurre a pensare che egli avesse paura di divenire bersaglio della derisione di tutti, come lui stesso confessa nella *Prefazione*: «Mentre, dunque, andavo valutando fra me e me queste cose, il disprezzo, che dovevo temere per la novità e l'assurdità di questa opinione, per poco non mi spinse ad abbandonare affatto l'opera compiuta. Ma gli amici me ne distolsero, sebbene esitassi a lungo ed anche riluttassi: e fra questi primo fu Nicola Schönberg, cardinale di Capua, celebre in ogni campo del sapere; vicino a lui quell'insigne personaggio che tanto mi ama, Tiedemann Gliese, vescovo di Culm, così assiduo nelle lettere sacre e in tutte le buone lettere. Questi, infatti, spesso mi esortò e con rimproveri di quando in quando rivoltimi mi spronò a pubblicare questo libro e a permettere che fosse finalmente data alla luce un'opera che indugiava occulta presso di me non già da nove anni soltanto, ma ormai da quattro volte nove anni» (p. 11).

Ma è probabile che questa paura non fosse dovuta solo alla novità dell'ipotesi eliocentrica, ma anche, forse, al fatto che il *De Revolutionibus* era soprattutto un vero trattato completo di astronomia, con nuove teorie dei movimenti dei singoli pianeti basate sull'eliocentrismo e corredato di tavole numeriche. L'eliocentrismo non bastava proporlo: egli aveva intuito la possibilità che esso spiegasse la «seconda anomalia» del moto dei pianeti (vedi *infra*, II.2), ma ciò doveva ora provarlo. E tentò di farlo con un lavoro gigantesco che probabilmente assorbì tutto il suo tempo; un lavoro del quale, da buon perfezionista, pare non fosse mai soddisfatto.

II. Il sistema copernicano

1. *Lo stato dell'astronomia nel Cinquecento.* Parlare dell'astronomia anteriore a Copernico è lo stesso che parlare di Claudio Tolomeo (100-165): questi scrisse nel II secolo d.C. ad Alessandria di Egitto la sua opera principale, conosciuta con il nome di *Almagestum* (*Almagesto*), corruzione araba del titolo greco *Megale Syntaxis*, cioè «grande composizione». L'*Almagesto* era un trattato quasi completo di astronomia, scritto in un linguaggio altamente geometrico. Tolomeo poté fare uso del trattato di geometria di Euclide (ca. 300 a.C.) e dei lavori di Menelao (ca. 100 d.C.), che aveva fornito le formule per la risoluzione dei triangoli sferici. In più, Tolomeo disponeva dei lavori dell'astronomo Ipparco (190-120 a.C.) e dei dati degli astronomi babilonesi. Per molti secoli nessuno fu in grado di imitare l'*Almagesto*, un'opera che rimase in fondo insuperata fino al *De Revolutionibus*. Dopo la caduta dell'impero romano, l'astronomia, già poco coltivata dai romani, aveva attraversato un lungo periodo di abbandono in Occidente. Le biblioteche erano state distrutte o disperse ed era poco frequente la conoscenza delle opere matematiche e astronomiche scritte in lingua greca.

Ma l'astronomia greca non fu persa perché coltivata dagli arabi. Finalmente, proprio attraverso di loro, questa letteratura astronomica passò in Europa, probabilmente durante l'occupazione della Spagna. A partire dal sec. XII vi fu una grande attività nelle diverse scuole di traduttori dall'arabo al latino, a Siviglia e a Toledo. Così, già nel 1175, Gherardo da Cremona traduceva l'*Almagesto*. Solo nel Quattrocento appare la prima traduzione diretta dal greco, tuttavia assai imperfetta e in alcune parti non comprensibile. Tutta l'astronomia del medioevo restava in gran parte ispirata all'opera di Tolomeo, ma liberamente modificata e aggiornata. Essa era comunque poco studiata, perché opera altamente tecnica, e la sua lettura richiedeva una profonda conoscenza della geometria di Euclide. Tutto ciò, aggiunto al fatto di disporre di traduzioni di scarsa qualità, rendeva l'*Almagesto* una lettura riservata a pochi.

Le cose cambiarono con il Rinascimento umanistico. L'astronomo viennese George von Peurbach (1423-1461) fu pregato di realizzare una traduzione dell'*Almagesto* direttamente dal greco per sostituire le traduzioni allora disponibili, poco soddisfacenti. Peurbach morì prima di terminare il suo lavoro che fu continuato da Johannes Müller, più conosciuto con il nome di Regiomontano (1436-1476). Quello che fu dato alle stampe a Venezia nel 1473 non fu proprio una traduzione dell'*Almagesto*, ma piuttosto un riepilogo-sommario dell'opera, con il titolo di *Epytoma Ioannis a Monteregio in Almagestum Ptolomei*. Quest'opera fu quella che probabilmente ebbe più influenza su Copernico e rappresentò la sua introduzione all'astronomia matematica. Ciò che nell'*Epitome* del Regiomontano richiama l'attenzione, è il rigore scientifico e matematico dell'opera, che la distanziava enormemente dall'ingente letteratura a lui contemporanea dedicata all'astronomia astrologica, priva di contenuto scientifico. Lo scritto del Regiomontano segue Tolomeo anche per il fatto di evitare argomentazioni filosofiche, dando soprattutto importanza alle dimostrazioni geometriche.

2. *Verso l'eliocentrismo.* Era evidente che l'astronomia tolemaica necessitava di una profonda revisione. Al contrario di quanto accadeva nei riguardi della *Fisica* e della *Metafisica* di Aristotele, che per i filosofi del tempo erano ritenute definitive, l'*Almagesto* di Tolomeo non fu mai ritenuto intoccabile. Alcune questioni non erano completamente sviluppate, o addirittura presentavano soluzioni erranee. In particolare, preoccupava la teoria tolemaica del movimento lunare. Tolomeo aveva elaborato una teoria che prediceva abbastanza bene le posizioni della luna, dalla quale seguiva però che la distanza terra-luna doveva variare quando si trovava in opposizione o in quadratura (luna piena o un quarto di luna) con un rapporto di due a uno. In conseguenza, si sarebbe dovuta osservare una variazione del diametro apparente della luna, cosa che, invece, non accadeva. In altre parole, Tolomeo era riuscito a costruire un modello geometrico che rendeva conto delle posizioni della luna, ma non poteva essere una teoria esatta, né completa. Durante il medioevo, gli arabi avevano proposto molte modifiche, con piena libertà, a parecchi punti dell'astronomia tolemaica, sia per i parametri con i quali si ricalcolavano le tavole dei movimenti dei pianeti, ma soprattutto per quanto riguardava la teoria geometrica dei pianeti, della luna e del fenomeno della precessione degli equinozi. L'astronomia era dunque considerata un campo "libero", con numerose possibilità di perfezionamento. Sfortunatamente, pochi possedevano un dominio della geometria e del calcolo della trigonometria sferica necessari per questo tipo di lavoro.

Il modello geometrico più semplice richiedeva che il sole si muovesse uniformemente lungo un circolo avente per centro la terra. Però una più accurata osservazione mostrò che il movimento del sole, ad esempio, non era uniforme lungo le diverse stagioni dell'anno: era questa la cosiddetta «prima anomalia». Questa si poteva spiegare semplicemente spostando il centro del circolo dal centro della terra (eccentrica) o, in modo equivalente, facendo orbitare il sole lungo un piccolo circolo (epiciclo) con centro nel grande circolo (deferente). Ma questo semplice modello non bastava

per i pianeti che mostrano uno strano comportamento intorno al loro «punto di opposizione» (quando cioè si trovavano in direzione opposta, sulla sfera celeste, a quella occupata dal sole). Nella prospettiva tolemaica un pianeta "superiore", nel suo movimento annuale intorno alla terra, prima di trovarsi in opposizione al sole, si ferma sul riferimento del fondo stellare della sfera celeste («prima stazione»), per invertire poi il senso del suo movimento («movimento retrogrado» da est verso ovest); dopo l'opposizione, si ferma una seconda volta («seconda stazione»), per riprendere il suo normale movimento da ovest verso est. Tolomeo, seguendo Ipparco, escogitò per i pianeti uno schema geometrico che spiegava, all'interno della precisione delle osservazioni dell'epoca, questo strano fenomeno conosciuto con il nome di «seconda anomalia».

Copernico non era soddisfatto di questo schema tolemaico. La sua principale obiezione era che il modello di Tolomeo non teneva conto dell'assioma ritenuto fondamentale per l'astronomia antica e cioè che «tutti i movimenti dei cieli devono essere circolari e con velocità uniforme, oppure una composizione di tali movimenti». Si possono addurre diverse teorie filosofiche a sostegno di questo assioma, ma sempre resta il fatto che nessuno immaginava un movimento periodico perpetuo, che non partecipasse del movimento circolare. Semplicemente Copernico non comprese che il movimento periodico dei corpi celesti, perpetuo e senza attrito, non derivava da rotazioni di "orbi celesti" con un moto circolare e uniforme. L'obiezione di Copernico a Tolomeo era dunque un problema di fisica ed egli si propose pertanto di "purificare" l'antica astronomia da questo difetto.

Fu allora che Copernico cominciò a pensare di cercare delle soluzioni alternative. Nella prefazione al *De Revolutionibus*, egli fa notare che sempre fu permesso agli astronomi matematici di immaginare delle costruzioni geometriche; di conseguenza, lui si prendeva ora la stessa libertà, quella di costruire un'astronomia diversa supponendo differenti ipotesi. Da questo breve testo, introduttivo a tutta l'opera, si deduce che Copernico aveva cercato di leggere tutti gli antichi autori di astronomia, e che, come afferma esplicitamente, si era ora deciso a rivederne i trattati. Egli cita alcuni di questi autori, come Icceta (*Nicetum*) di Siracusa (IV sec. a.C.), che proponeva una terra in movimento. Trovò un testo di Plutarco che sosteneva che anche il pitagorico Filolao di Crotone (V sec. a.C.) avrebbe ammesso una terra in moto. È interessante far notare che Copernico conosceva Aristarco di Samo (ca. 310-230 a.C.), del quale Archimede afferma che ammetteva la rotazione della terra attorno al proprio asse e il suo movimento di rivoluzione intorno al sole, ma non si conoscono bene le ragioni per le quali Copernico cancellò poi dal suo manoscritto la menzione ad Aristarco.

Non va dimenticato che lo stesso Tolomeo dedica il capitolo VII del *Libro I* dell'*Almagesto* all'ipotesi dell'eliocentrismo. Afferma esplicitamente che «questa ipotesi può benissimo spiegare tutti i fenomeni celesti dal punto di vista geometrico»; tuttavia, egli non la usa soltanto perché essa va contro la fisica della caduta dei gravi, i quali tendono al centro della terra, ma soprattutto perché una rotazione della terra causerebbe dei grossi disturbi rilevabili sulla sua superficie, a causa delle forze centrifughe che ne deriverebbero. Dunque l'eliocentrismo non era un'ipotesi nuova nella letteratura astronomica, ma non ebbe seguito perché non vi fu nessuno in grado di costruire un'astronomia matematica alternativa a quella di Tolomeo. L'eliocentrismo rimase solo un suggerimento, ma senza sviluppo pratico.

Copernico cominciò probabilmente a cercare diverse combinazioni di "epicicli", "deferenti" ed "eccentricità", per costruire un modello del sistema solare totalmente diverso, che rispettasse però il principio dei moti circolari uniformi. Swerdlow e Neugebauer (1984), basandosi su alcune annotazioni trovate sui libri della biblioteca di Copernico, hanno tentato di ricostruire i passi che sarebbero stati seguiti dal canonico polacco (cfr. p. 56). Non offriamo in questa sede tale verosimile ricostruzione per la sua complicazione tecnica, rimandando il lettore interessato alla consultazione degli studi citati in bibliografia. Qui faremo attenzione soltanto ad alcuni aspetti del problema.

Tolomeo fu obbligato a complicare la sua teoria planetaria con ipotesi che erano difficili da spiegare, come ad esempio la supposizione che il "raggio vettore" del pianeta nell'epiciclo dovesse sempre puntare verso il sole. Come mai, in questa supposizione, il sole entrava in un modo così rilevante? Questo era il mistero che Copernico doveva risolvere. Riuscì a farlo in un modo semplice ed elegante. Egli ridusse ad un effetto di «parallasse» il movimento "retrogrado" mostrato dai pianeti, cioè alla diversa direzione apparente dei pianeti che sarebbe risultata dal movimento di un osservatore che si fosse mosso insieme alla terra. A questa "scoperta" ne seguì immediatamente un'altra, anch'essa di grande portata per lo sviluppo ulteriore dell'astronomia. Copernico fu il primo a dare una precisa informazione sull'"ordine dei pianeti" e sulle loro distanze relative al sole. Era noto che il sistema tolemaico non dava nessuna idea sull'ordine e sulle distanze relative delle varie sfere tra loro. S'immaginavano gli orbi celesti uno contiguo all'altro, con lo spazio appena necessario perché negli interstizi potessero collocarsi gli epicicli. Naturalmente, dal movimento della

terra intorno al sole sarebbe anche seguito che la terra girava intorno all'asse individuato dai due poli terrestri, e che il movimento diurno del cielo era allora, in realtà, un movimento apparente, cioè il riflesso del moto terrestre.

Tutto il resto del *Libro I* dell'opera di Copernico fu un tentativo di dimostrare come si potesse ora costruire un'intera astronomia basata su queste nuove e ardite ipotesi, un'astronomia che fosse pure dello stesso livello matematico di quella tolemaica. Fu questo uno sforzo enorme, che si mostrò però effimero, non riuscendo egli nell'intento di ridare un nuovo assetto teorico al moto di tutti i pianeti, ciascuno di per sé considerato, mediante un opportuno riaggiustamento di tutti i parametri e di tutti i dati osservativi, nuovi o già conosciuti.

3. *Il significato delle "ipotesi" nell'astronomia antica.* Gli astronomi erano abituati a fare complicate costruzioni geometriche, perché i loro calcoli numerici fossero il più possibile vicini alle misure osservate o, come si diceva, perché si potessero «salvare le apparenze». Questa fu una caratteristica generale di tutta l'astronomia antica, che non poche volte era stata oggetto di critica da parte di molti filosofi. Le prove geometriche e matematiche non avevano all'epoca nessun valore argomentativo in «cosmologia» (disciplina che apparteneva alla filosofia, non alla matematica), e quindi le prove addotte dagli astronomi non erano tenute in gran conto ai fini di una costruzione di un "sistema del mondo".

Anche alla luce di tale stato di cose, il *De Revolutionibus* viene preceduto da un breve scritto, una sorta di "avvertenza per il lettore", in forma di lettera intitolata *Ad lectorem de hypothesis huius operis*, per rispondere alle possibili critiche che l'opera avrebbe potuto suscitare. Questo scritto era anonimo e fu ritenuto per molto tempo come uscito dalla penna dello stesso Copernico. Oggi sappiamo, grazie alla testimonianza di → Keplero, che fu invece scritto da Andrea Osiander, che assieme a Rheticus aveva preparato la prima edizione dell'opera di Copernico (vedi *supra*, I.1). Scrive Osiander: «È proprio dell'astronomo mettere insieme con osservazione diligente e conforme alle regole, la storia dei movimenti celesti; poi le loro cause, ossia — non potendo in alcun modo raggiungere quelle vere — escogitare e inventare qualunque ipotesi, con la cui supposizione sia possibile calcolare quei medesimi movimenti secondo i principi della geometria, tanto nel futuro quanto nel passato [...]. Non è infatti necessario che queste ipotesi siano vere, e persino nemmeno verosimili, ma è sufficiente solo questo: che presentino un calcolo conforme alle osservazioni» (tr. it. pp. 3-5). Se Osiander la pensava così, mostrava di non aver capito la portata dell'opera del suo maestro, poiché le sue considerazioni sono in evidente contraddizione con tutto il contesto della *Prefazione* scritta da Copernico e dedicata a Paolo III.

Ben prima di Tolomeo, Apollonio di Perga (262-190 a.C.) aveva dimostrato che, tanto se si usa una teoria basata sull'epiciclo, tanto se si usa un'eccentrica, si ottenevano gli stessi risultati numerici. Consapevole di questo fatto, Tolomeo ritenne che queste costruzioni geometriche servivano per la "spiegazione" dei fenomeni del cielo, senza poter dire nulla sulla vera natura dei corpi celesti o sulla struttura del sistema solare. Tale convincimento nei confronti dell'astronomia era dovuto principalmente ai filosofi della natura. Questi ultimi guardavano all'astronomia matematica come qualcosa di utile, al più, ai soli fini dell'astrologia. Si potrebbe citare in proposito Cesare Cremonini (1550-1631), professore di filosofia della natura a Padova e contemporaneo di Galileo, il quale ebbe a precisare «che l'astronomia al più dice dove si trovano gli astri però non ne sa niente della loro natura o che cosa siano» (possiamo osservare incidentalmente che qualcosa di simile continua ad avvenire anche in parte della scienza contemporanea). Per lo studio della natura degli astri si usava dunque un metodo basato sulla discussione filosofica. Questo è in fondo il senso del prologo di Osiander, il quale vuole rivendicare per l'astronomo la libertà di immaginare i modelli geometrici che ritiene opportuni, e così porsi al riparo dalle possibili critiche dei filosofi. E questa fu l'interpretazione di molti per ovviare le difficoltà filosofiche che incontrava il movimento della terra quando, nel 1616, un decreto del Sant'Uffizio permetteva in astronomia l'uso dell'ipotesi copernicana purché non la si prendesse come la situazione reale (→ GALILEO, II.2).

Tutte le costruzioni geometriche o modelli planetari dell'antichità erano frutto di diverse combinazioni che però lasciavano intatta la fisica di Aristotele, insegnata in tutte le università europee dell'epoca (→ UNIVERSITÀ, I.2). È evidente che per Copernico la parte più fondamentale delle sue ipotesi, la rotazione e la rivoluzione della terra, dovesse essere qualcosa di "reale", cioè doveva trattarsi di ipotesi "fisicamente vere". Perciò il copernicanesimo si presentò, fin dall'inizio, come qualcosa di inaccettabile da parte dei filosofi della natura. Copernico dedicherà per questo parecchio spazio nel *Libro I* della sua opera per mostrare che non vi erano "assurdità filosofiche" nella sua teoria; anzi, egli si preoccupa di rispondere agli argomenti contrari all'eliocentrismo, già elencati da Tolomeo (vedi *infra*, III). Il merito di Copernico fu quello di "intuire" il nuovo sistema

solare e di difenderlo malgrado rimanessero dei punti oscuri, come punti ancora più oscuri erano d'altra parte presenti nella teoria tolemaica.

Copernico non avrebbe mai accettato la visione *ex suppositione* di Osiander. Basta leggere il suo prologo e soprattutto il *Libro I*, dove egli presenta il nuovo ordine dei pianeti. Egli comprende e sostiene che le sue "ipotesi" devono riscontrarsi in natura. Dichiarare la rotazione della terra, eliminare l'idea di un "centro del mondo", sostenere l'orbita della terra intorno al sole, erano affermazioni che, qualificate come assurde dai suoi contemporanei, suscitavano delle obiezioni alle quali però, come abbiamo visto, Copernico tenta di rispondere con argomenti di convenienza ed analogie, non potendo ancora contare su una fisica ed una teoria dinamica. Per il canonico polacco non vi era in sostanza alcun dubbio sulla "realtà" del nuovo sistema planetario. Una situazione simile è forse quella verificatasi, secoli dopo, nella fisica moderna, quando Niels Bohr, nel 1913, presentò un modello dell'atomo di idrogeno che interpretava molto bene le righe spettrali osservate, ma era costretto ad ammettere che la sua teoria risultava in contraddizione con le leggi della radiazione conosciute nella fisica del suo tempo. Dopo pochi decenni, con il progresso della ricerca, si giungerà alla conferma dell'intuizione iniziale.

In sostanza, Copernico rivendica il diritto dell'astronomo di fare "cosmologia", contestato dai filosofi suoi contemporanei. Lo esprimono in modo netto le schiette parole della sua *Prefazione*: «*Mathematica mathematicis scribuntur* — si lasci scrivere ai matematici di matematica». La visione "negativa" circa l'astronomia matematica presente all'epoca si trascinò durante molto tempo. Settanta anni dopo, quando il Sant'Uffizio chiederà un parere ad una Commissione di esperti in merito alla nota questione galileiana, gli interpellati risponderanno che l'affermazione del moto della terra era «falsa e assurda in filosofia»; cioè non era stato ancora compreso che vi era una scienza emergente — una scienza basata su dimostrazioni matematiche, ma che non era più solo matematica — che col passare tempo avrebbe occupato un posto importantissimo. Non c'è dunque da meravigliarsi se il decreto contro il copernicanesimo del 1616 dirà che questo si poteva usare soltanto come ipotesi, ammettendo quindi quelle "ipotesi" di cui parlava la lettera di Osiander.

Segnaliamo infine che questo stato di cose, assieme all'atteggiamento mantenuto da Copernico nei confronti della sua opera, vengono così riassunti in una lettera di Giovanni Paolo II preparata in occasione del 450° anniversario della pubblicazione del *De Revolutionibus Orbium caelestium*: «La sua intuizione fondamentale scaturì dalla scoperta delle contraddizioni inerenti al sistema tolemaico: egli dimostrò che il fatto di porre la terra al centro dei movimenti celesti costituiva un errore matematico. Dai suoi calcoli trasse la convinzione della giustezza della teoria eliocentrica, anche se non gli riuscì di dimostrarla irrefutabilmente con i fatti. Ebbe la prudenza del ricercatore, al quale manca ancora la prova definitiva delle sue tesi, ma rivelò anche il coraggio dello scienziato che sa proporre spiegazioni più soddisfacenti, pur scostandosi dalle rappresentazioni tradizionali del cosmo» (*Lettera al Rettore dell'Università di Ferrara*, 20.9.1993, pp. XI-XII)

III. I rapporti con la filosofia della natura

1. *Il ruolo della matematica*. Alcuni storici della scienza sembrano ignorare il ruolo fondamentale avuto dalla matematica nella scoperta di Copernico. Si insiste più spesso sullo sviluppo del pensiero filosofico e scientifico del Cinquecento quale principale sottofondo dell'eliocentrismo, come se questo ne fosse quasi una conseguenza naturale. Non si può invece ignorare che l'eliocentrismo nacque dall'esigenza di risolvere un problema astronomico e che questo fu risolto con una tecnica matematica (cfr. Swerdlow e Neugebauer, 1984, p. 59; Poppi, 1996, p. 45).

Per capire l'atteggiamento dei filosofi della natura nei confronti dei matematici, si può ricordare che già Tolomeo si sentì obbligato a sottolineare, nel prologo dell'*Almagesto*, l'importanza delle prove matematiche rispetto alle prove desunte dalla filosofia della natura. Questa discussione doveva trascinarsi ancora per molto tempo, con Cristoforo Clavio (1537-1612) e Keplero (1571-1630), per acquistare poi importanza soprattutto al tempo di Galileo (1564-1642). E ciò non tanto perché le novità contraddicevano i principi della fisica di Aristotele, quanto piuttosto perché i filosofi si ritenevano superiori, quanto alla razionalità del loro metodo, per giungere a conclusioni maggiormente attendibili sulla realtà dei modelli astronomici.

Il carattere matematico del *De Revolutionibus* appare con chiarezza in molte sue pagine. Più raramente, come nel capitolo X del *Libro I*, ci troviamo di fronte a riflessioni di carattere "filosofico", quando Copernico tratta dell'ordine dei pianeti e offre un "commento" alla nuova posizione del sole, collocato al centro del mondo di allora: «In mezzo a tutti sta il Sole. Chi, infatti, in questo bellissimo tempio, porrà questa lampada in un altro luogo, migliore di quello da cui può illuminare tutto nello stesso tempo? Per la verità non a caso alcuni lo chiamano lucerna del mondo, altri mente, altri

rettore. Trismegisto [lo chiama] Dio visibile, l'Elettra di Sofocle l'onniveggente. Così certamente, come assiso su un soglio regale, il Sole governa la famiglia degli astri che lo attornia [...]. Troviamo così in questo ordinamento un'ammirevole simmetria del mondo e un sicuro nesso armonico fra il movimento e la grandezza degli orbi, quale altrimenti non è possibile trovare» (tr. it. p. 99-101).

Copernico era cosciente delle difficoltà fisiche incontrate dall'eliocentrismo. Cercherà ad esempio di rispondere a Tolomeo in merito agli "effetti centrifughi" che si sarebbero dovuti avvertire sulla superficie della terra a causa del suo moto di rotazione, osservando che anche le sfere celesti ruotano (e con velocità plausibilmente maggiori) senza disperdersi nello spazio (cfr. lib. I, cap. VIII); ma la forza centrifuga era conosciuta solo da un punto di vista qualitativo, non fisico-dinamico, e quindi non era possibile dare una risposta soddisfacente. La conseguenza più grave dell'eliocentrismo proveniva piuttosto dalla teoria generale del moto aristotelico. Per Aristotele, i corpi gravi o pesanti, tendevano "naturalmente" verso il centro della terra, mentre quelli leggeri, come il fuoco, si dirigevano invece verso l'alto. Questo non era che una descrizione dell'esperienza quotidiana, ordinaria ed immediata: questi movimenti erano naturali, insiti nella materia, e si svolgevano in linea retta. Aristotele intendeva però dare una spiegazione a questo fenomeno. Per lui, i gravi tendevano al "centro del mondo", e non proprio al "centro della terra". La ragione di questa distinzione stava nell'idea che anche la terra, un corpo grave lei stessa, sarebbe caduta al centro del mondo. Dunque il centro della terra giaceva già nel centro del mondo, ma, strettamente parlando, senza identificarsi del tutto con esso. Se una parte della terra, o la terra tutta intera, fosse stata spostata, questa sarebbe comunque nuovamente "caduta" al centro del mondo. Dunque, secondo questa teoria, era l'esperienza a dirci che la terra non poteva essere in movimento, perché si vedevano i gravi cadere sempre verso il centro della terra, e non sarebbe stato così se la terra fosse stata in movimento.

2. *La concezione della Gravità.* Dal fatto che nell'eliocentrismo la terra non si trovava più nel centro del mondo, ne seguiva inevitabilmente una altra conseguenza per l'intero sistema solare, e cioè che la gravità non è più causata dallo spazio, cioè dalla sua particolare "geometria", secondo la quale i gravi tendevano a cadere nel centro del mondo, mentre i leggeri a salire in alto. Ponendo il sole nel centro del mondo e sostenendo il movimento della terra, Copernico fu allora obbligato ad ipotizzare che il fenomeno della gravitazione fosse una proprietà della materia, una sorta di affinità, una reciproca attrazione. Non è più il centro del mondo che attira i gravi verso il basso, ma il loro moto è dovuto ad una "affezione" della materia verso ciò che le è simile. In altre parole, la "materia-grave" attira ed è attirata da materia similmente grave. È vero che già Nicola Cusano (1401-1464) aveva parlato di un universo senza centro, con i corpi celesti in movimento relativo (→ CUSANO, III). Però Cusano, figura prominente dei Concili della sua epoca, legato del Papa e vescovo di Bressanone, aveva affermato questa ipotesi per motivi filosofico-teologici legati al suo sistema di pensiero. Non consta che Copernico fosse a conoscenza delle affermazioni di Cusano, ma, in ogni caso, si vedeva costretto ad arrivare alla medesima conclusione per il fatto di attribuire un movimento di traslazione alla terra intorno al sole. Nel cap. IX del *Libro I*, Copernico spiega la sua idea della gravità terrestre con una sorta di metafora, affermando chiaramente che tutti i corpi celesti sono "centri di attrazione" della materia: «Credo che la gravità non sia altro che una certa brama naturale (*appetentiam quandam naturalem*), attribuita alle parti dalla divina provvidenza dell'artefice di tutte le cose, affinché si uniscano nella loro unità ed integrità congiungendosi in forma di globo. E questa inclinazione è credibile sia insita anche nel Sole, nella Luna e negli altri splendori erranti, cosicché per la sua efficacia essi restano in quella rotondità con cui si presentano, sebbene in molti modi effettuino i loro circuiti» (tr. it. p. 83).

Gli stessi fenomeni che noi osserviamo sulla terra si dovrebbero dunque osservare anche sulla superficie degli altri astri. Ma con queste affermazioni Copernico era inevitabilmente (e prematuramente) obbligato ad entrare in un campo inesplorato della fisica. Egli non sta ancora proponendo una legge di gravitazione universale, ma semplicemente la tendenza di corpi simili a riunirsi: per il momento, inoltre, egli poteva soltanto supporre che gli astri fossero simili alla terra in quanto centro di caduta dei gravi, né poteva comprendere la meccanica del moto che risultava collegato a tale attrazione.

La nuova concezione non conduceva ad una rottura col passato in merito ad una comprensione della gravità, perché si trattava in fondo di estendere i fenomeni di caduta osservati sulla terra anche ad altri astri. Il cambio radicale stava piuttosto nel fatto che la "caduta" non avveniva più "verso il centro del mondo", ma aveva luogo perché i gravi erano attirati dalla massa della terra. Le implicazioni di questa conseguenza andavano al di là del suo programma di rinnovare l'astronomia. Copernico preferì attenersi alla sua soluzione della «anomalia seconda» e alla scoperta delle dimensioni relative del sistema solare, con il nuovo ordine dato ai pianeti, sperando che un giorno si

sarebbero potute dare delle risposte di natura più propriamente fisica. Gli autori che seguirono Copernico dovettero accettare la sua nuova concezione dell'attrazione terrestre senza capirne fino in fondo il motivo e la portata. Solo → Keplero ne parlerà nell'Introduzione della sua opera *Astronomia Nova seu physica coelestis* (1609), andando anche oltre la discussione di Copernico, ma la fisica non era ancora pronta per dare la risposta cercata. Questa fu riservata ad Isaac Newton (1642-1724) con la pubblicazione, nel 1687, dei suoi ben noti *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (→ NEWTON, II).

IV. Diffusione del copernicanesimo

1. *La progressiva accettazione dell'eliocentrismo e la sua definitiva prova fisica nelle osservazioni di parallasse annua.* È interessante considerare quale fu la reazione degli astronomi immediatamente dopo la pubblicazione del *De Revolutionibus*. Questi accettarono con entusiasmo la novità della revisione dell'astronomia operata da Copernico con l'introduzione di moti circolari e uniformi. Anche perché, come prometteva Andrea Osiander nel suo scritto già citato accluso all'opera di Copernico, il libro del canonico polacco conteneva molte nuove osservazioni. Il P. Cristoforo Clavius, astronomo del Collegio Romano (→ SPECOLA VATICANA, I) e autore di un commentario al *De Sphaera* di Giovanni di Sacrobosco (XIII sec.), aveva chiamato Copernico «*Astronomiae Restitutor Egregius*», volendo con ciò indicare che dopo tanti secoli era stato il primo a scrivere un libro di astronomia dello stesso livello dell'*Almagesto*. Non dobbiamo però pensare che una volta pubblicato il *De Revolutionibus* tutti gli astronomi si affrettassero a seguire il nuovo sistema planetario, né che questo fosse un criterio per distinguere i buoni dai cattivi astronomi (un errore di valutazione che commettono molti studiosi di storia dell'astronomia). In realtà le cose andarono diversamente. Se però teniamo conto del fatto che il *De Revolutionibus* era la prima opera astronomica seria dall'epoca di Tolomeo, e che conteneva nuove osservazioni, era ovvio che gli astronomi la accettassero almeno come un libro di astronomia, malgrado certe ipotesi iniziali che ripugnavano alla fisica del tempo.

Erasmus Reinhold (1511-1553) pubblicò appena otto anni dopo la morte di Copernico le *Tavole Pruteniche* (Tubingen, 1551), così chiamate perché dedicate al duca Alberto di Prussia, basate sui dati osservativi del *De Revolutionibus*, per sostituire le *Tavole Alfonsine* (1253) che allora cominciavano ad essere obsolete e non più affidabili. Basta però leggere il prologo delle nuove *Tavole* per vedere che Reinhold accettava pienamente e con entusiasmo l'astronomia copernicana, aggiungendovi tuttavia: "malgrado le ipotesi assurde". Fu questo l'atteggiamento generale, perché la maggioranza degli astronomi credevano nella "astronomia" di Copernico (cioè nella matematica che essa permetteva di ricostruire), ma non nella sua "cosmologia". In altre parole, ritenevano giusto l'avvertimento contenuto nella *Prefazione* di Osiander, che presentava l'opera copernicana come una proposta matematica utile a semplificare i calcoli, ed il sistema eliocentrico come una pura ipotesi geometrico-matematica, non come un nuovo sistema del mondo. Tale fu l'atteggiamento ad esempio della cosiddetta Scuola di Wittenberg. L'astronomo bolognese Giovanni Antonio Magini (1555-1617) espresse giudizi analoghi nelle sue *Effemeridi astronomiche* del 1582. Riteniamo che tale atteggiamento fosse a quel tempo giustificato, perché, sebbene il copernicanesimo spiegava a meraviglia certi fenomeni celesti, lasciava nondimeno molte questioni aperte. È proprio dello scienziato valutare le evidenze delle teorie rimanendo aperto a nuovi, ulteriori contributi, senza vincolarsi ostinatamente ad un sistema che sa non essere ancora né maturo, né pienamente confermato.

L'astronomia di Copernico durò pochi anni, perché verso la fine del Cinquecento il grande astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601) cominciò un programma di osservazioni astronomiche molto accurate dalle quali ne derivarono Tavole assai migliori e precise. Brahe ideò allo stesso tempo un sistema planetario che porta il suo nome, quasi identico a quello di Copernico: i pianeti girano intorno al sole, e questo intorno alla terra, la quale però è fissa nel centro del mondo. Sebbene tale sistema possa oggi apparire un passo indietro, nel bel mezzo delle incertezze dell'eliocentrismo copernicano — incertezze che sussistevano per la mancanza di una fisica che potesse darne ragione — esso aveva il vantaggio di includere nuove e migliori osservazioni. Per altro, lo stesso Brahe avanzò alcune obiezioni nei riguardi del copernicanesimo. Egli notava, ad esempio, che l'assenza di una parallasse annua delle stelle (il movimento periodico annuale che ogni stella avrebbe dovuto mostrare se osservata dalla terra quando questa fosse soggetto di un moto orbitale annuale) obbligava a collocarle ad una distanza in quel momento inimmaginabile. Cosa ci farebbero allora tanti spazi vuoti nel firmamento? Inoltre, con una risoluzione di non più di un minuto primo d'arco corrispondente alle osservazioni ad occhio nudo, ci si riteneva capaci di misurare, entro queste dimensioni, il vero diametro angolare di molte stelle brillanti. Questa misura

(angolare), rapportata alla grandissima distanza cui si sarebbero dovute trovare le stelle, in quanto non mostravano alcuna parallasse nonostante un ipotetico moto terrestre di rivoluzione attorno al sole, avrebbe condotto a dedurre delle dimensioni stellari reali (lineari) così grandi che a quell'epoca diventavano difficili da credersi. Fu questo il motivo per il quale Tycho Brahe propose un sistema analogo a quello di Copernico, ma "rovesciato", nel senso che la terra era ancora fissa (evitando così i problemi di natura fisica cui andava incontro l'eliocentrismo) ed il sole girava intorno alla terra trascinando con sé i diversi pianeti. Questo sistema incontrò il favore di molti astronomi fin dal suo sorgere, ma soprattutto dopo il citato decreto del Sant'Uffizio che nel 1616 vietava di sostenere il copernicanesimo come realtà fisica, permettendone soltanto l'utilizzo *ex suppositione*.

Alla fine del Cinquecento entrò in scena il giovane astronomo tedesco Johannes Kepler, che lavorò con Tycho Brahe fino alla morte di quest'ultimo e poté giovare delle sue osservazioni. Keplero, decisamente copernicano fin dall'inizio, da quelle osservazioni seppe trarre tutte le conseguenze scientificamente più favorevoli, iniziando così una nuova era per l'astronomia. Keplero fu il primo astronomo che comprese il contributo più essenziale dell'eliocentrismo, cioè la possibilità di ottenere la distanza relativa dei pianeti. Egli lasciò da parte l'ipotesi del movimento continuo circolare, sul quale tanto insisteva Copernico in continuità con tutta la filosofia naturale a lui precedente, e prese nuovamente in considerazione l'equante (cioè un punto rispetto al quale il moto del pianeta appare uniforme), reliquia dell'astronomia tolemaica. Keplero abbandonò dunque l'astronomia copernicana, ma ne ritenne soltanto la parte fondamentale dell'eliocentrismo, per iniziare una nuova astronomia (*Astronomia Nova*, 1609) e dedurre le leggi fondamentali del movimento dei pianeti.

Per una dimostrazione fisica definitiva del moto di rivoluzione della terra intorno al sole, come Copernico la suggeriva nel 1543 nel suo *De Revolutionibus*, occorrerà attendere, come è noto, l'osservazione delle parallasse stellari annue, ormai all'inizio del XIX secolo. Se la terra si muove intorno al sole ne seguirebbe, come prima accennato, che le stelle più prossime a noi descriverebbero, come riflesso di questo moto, dei piccoli cerchi o ellissi sullo sfondo delle stelle più lontane, fenomeno appunto conosciuto col nome di «parallasse annua». All'epoca di Copernico e poi di Galileo, il risultato delle osservazioni realizzate per trovare questa parallasse era stato sempre negativo. È vero che J. Bradley nel 1728 aveva osservato dei piccoli movimenti annuali delle stelle, ma non si trattava di moti di parallasse annuali, bensì di un effetto dovuto all'«aberrazione della luce», fenomeno generale collegato alla visione di ogni osservatore in movimento, che forniva però una prova convincente circa l'esistenza di un movimento della terra, non più come luogo di osservazione immobile nel cosmo. Allo stesso tempo, anche la forma "schiacciata" della terra suggeriva fortemente l'idea di una rotazione attorno all'asse dei poli. Si dovette però attendere fino al 1836, quando F. Struve osservò in modo inconfondibile la parallasse della stella Vega (a *Lyrae*), notando il movimento apparente che questa stella, vicina e brillante, aveva rispetto allo sfondo delle stelle più deboli e lontane. Questa fu davvero la prova finale, da tanto tempo cercata, del moto di rivoluzione della terra intorno al sole. A partire da quella data si sono osservate le parallasse di migliaia di stelle.

2. *L'eliocentrismo e il pensiero religioso copernicano*. A Copernico non sfuggì che la rotazione della terra recava con sé un'importante conseguenza. Il moto con cui il sole, la luna e gli astri sembrano sorgere o "alzarsi" sull'orizzonte a est per poi discendere al tramonto ad ovest, doveva essere allora un moto "apparente". Intuendo la portata di questa conseguenza per ambiti che andavano al di là dell'astronomia, egli rispose che quando si parla del "moto" di questi corpi e non di moto della terra, si sta utilizzando «un linguaggio comune, che possa essere compreso da tutti (*consuetum sermone loqui qui possit recipi ab omnibus*)». Per Copernico la soluzione per comporre questa diversità di vedute era ovvia e di senso comune: egli non farà perciò nessun riferimento all'interpretazione letterale delle Sacre Scritture. In realtà, come mostrerà dopo il caso Galileo, l'eliocentrismo non soltanto cambiò radicalmente la fisica di Aristotele, ma anche obbligò l'esegesi biblica ad una riconsiderazione di alcuni dei suoi principi; cosa che avvenne lentamente e non senza travaglio (→ SACRA SCRITTURA, I), e che favorì il recupero di una tradizione ermeneutica già presente in epoca patristica e medievale. Così lo ricordava Giovanni Paolo II in occasione del discorso al termine degli studi della speciale Commissione voluta per la revisione del caso Galileo (1992): «Il capovolgimento provocato dal sistema di Copernico ha così richiesto uno sforzo di riflessione epistemologica sulle scienze bibliche, sforzo che doveva portare più tardi frutti abbondanti nei lavori esegetici moderni e che ha trovato nella Costituzione conciliare *Dei Verbum* una consacrazione e un nuovo impulso» (*Discorso alla Pontificia Accademia delle Scienze*, 31.10.1992, n. 6).

Prima di Galileo, già Keplero nell'Introduzione alla sua *Astronomia Nova* aveva dedicato spazio a discutere le conseguenze della relatività del moto del sole sull'interpretazione delle Sacre Scritture. Ma la questione scoppiò in tutta la sua forza quando Galileo diede inizio, in Italia, alla sua accesa attività in favore dell'eliocentrismo. Con lo scienziato pisano la discussione fu portata fuori dell'ambito accademico e tanto lui, come i suoi avversari, la centrarono in buona parte sul problema dell'interpretazione "letterale" della Bibbia. Ciò che fino quel momento era rimasta una questione confinata nel mondo accademico e scientifico dell'astronomia, prendeva così una piega pericolosa, perché il tema dell'interpretazione delle Sacre Scritture era divenuto per la Chiesa e per la teologia, dopo la Riforma protestante, un terreno assai delicato.

Ma a differenza del Galileo dei *Dialoghi sui massimi sistemi* (1632), per Copernico l'eliocentrismo non assumerà dei toni conflittuali o polemici, non divenendo mai una questione di carattere religioso. Nel *De Revolutionibus*, fra i "motivi" per cui gli antichi hanno ritenuto che la terra giacesse nel centro dell'universo, Copernico non ne menziona alcuno di natura religiosa, ma fa solo riferimento alla fisica di Aristotele (cfr. lib. I, cap. VII). Con Galileo, egli condivide al tempo stesso una visione profondamente religiosa dell'universo, dello studio del → cielo e dunque dell'astronomia come scienza. All'inizio della sua opera egli ne tesse le lodi: «Fra i molti e diversi studi delle lettere e delle arti, con cui si rinvigoriscono gli ingegni umani, stimo si debbano coltivare soprattutto, applicandovisi con somma cura, quelli che concernono le cose più belle e più degne di essere conosciute. E tali sono quelle che trattano delle divine rivoluzioni del mondo e del corso delle stelle, delle grandezze, delle distanze, del sorgere e del tramontare e delle cause degli altri fenomeni celesti, di cui finalmente spiegano l'intera forma. E cosa mai c'è di più bello del cielo, che contiene sicuramente tutte le cose belle?» (*Proemio*, tr. it. p. 29).

I riferimenti a Dio non mancano nel corso dell'opera, introdotti spesso con naturalezza, come in occasione della spiegazione risolutiva dell'ordine dei pianeti intorno al sole quando, come avvertendo la novità e la difficoltà dell'impresa, segnala: «E poiché tutte queste cose sono difficili e quasi inconcepibili e contrarie all'opinione di molti, tuttavia, con l'aiuto di Dio, le faremo più chiare della luce del Sole per coloro che non ignorano l'arte matematica» (lib. I, cap. X, tr. it. p. 97). Copernico studia il cielo con passione e con riverenza e ne vede, in continuità con la grande tradizione filosofica e biblica, una fonte di lode al Creatore ed una strada per giungere alla Sua conoscenza: «Chi, infatti, applicandosi a quelle cose che, costituite nell'ordine più eccellente, vedrà dirette da governo divino, non sarà spinto, dalla loro assidua contemplazione e da una certa consuetudine, alle cose migliori e non ammirerà l'artefice di tutto, in cui è ogni felicità e ogni bene? E non sarebbe stato forse invano che il divino salmista si sarebbe detto diletto dalla creazione di Dio ed esultante per l'opera delle sue mani, se per questi mezzi, quasi mediante un veicolo, non fossimo condotti alla contemplazione del sommo bene?» (*Proemio*, tr. it. pp. 29-31).

L'immagine dell'universo, assai più grande e sconfinata, che va lentamente delineandosi con il lavoro teorico di Copernico, ancor prima delle osservazioni al telescopio di Galileo, non poteva non inaugurare una serie di ricadute sul terreno filosofico e religioso, che dureranno fino ai nostri giorni. Infatti, al non osservarsi alcun moto di parallasse stellare, il modello copernicano postulava implicitamente l'esistenza di un enorme vuoto fra l'ultimo dei pianeti e le prime stelle. Risultava a quell'epoca difficile accettare le enormi distanze e l'allargamento di orizzonti che questo supponeva. Secoli più tardi, la sorpresa fu grande nel rilevare moti parallattici assai più piccoli di quanto si immaginava. Ciò significava che le distanze delle stelle erano enormemente grandi: non era più permesso collocarle a poca distanza dai pianeti del sistema solare. L'uomo doveva inevitabilmente aprirsi all'immensità dell'universo. Oggi siamo più abituati ad accettare le distanze delle galassie misurate in milioni o perfino in miliardi di anni luce, distanze che certamente continuano a sfuggire alla nostra immaginazione (→ COSMO, OSSERVAZIONE DEL). Ma fu in fondo il copernicanesimo, anche sotto il punto di vista della nuova scala di dimensioni di cui permise la graduale configurazione, la grande rivoluzione che aprì il cammino verso l'accettazione della cosmologia moderna. Copernico comprese che l'universo doveva essere straordinariamente grande, ma non volle pronunciarsi se fosse finito o infinito. Con la sua abituale sobrietà di parola, solo diede come risposta che dovevamo ammirare l'immensità dell'universo, «tanto divina è per certo questa fabbrica dell'ottimo e massimo artefice» (*De Revolutionibus*, lib. I, cap. X).

Juan Casanovas

Vedi: ASTRONOMIA; GALILEI, G.; KEPLER, J.

Bibliografia:

Opere di N. Copernico: In lingua italiana esiste l'edizione curata da Francesco Barone, *Opere di Nicola Copernico*, Utet, Torino 1979, con ampia *Introduzione* del curatore, pp. 9-94; contiene: *De hypothesibus motuum caelestium a se constitutis commentariolus* (conosciuta più brevemente come *Commentariolus*, ca. 1510), *Lettera contro Werner sull'ottava sfera* (1543), *De Revolutionibus Orbium Caelestium libri sex* (1543), *Dissertazione sul conio della moneta* (1528), con in Appendice la *Prima esposizione di G.G. Retico dei libri sulle rivoluzioni*, *Lettere di N. Schönberg a Copernico e di T. Giese a G.G. Retico*. Inoltre, per il *Libro I* del *De Revolutionibus*: N. Copernico, *De Revolutionibus Orbium Caelestium. La costituzione generale dell'universo*, testo latino a fronte, con *Introduzione* di Alexandre Koyré, Einaudi, Torino 1975 (da cui riportiamo i testi italiani citati); H. HUGONNARD-ROCHE, E. ROSEN, J.P. VERNET (a cura di), *Introductions a l'Astronomie de Copernic: Le "Commentariolus" de Copernic, la "Narratio prima" de Rheticus*, Blanchard, Paris 1975. L'Accademia Polacca delle Scienze ha curato la pubblicazione dell'*Opera Omnia*, in 3 voll., Polish Scientific Publisher e Macmillan, London-Warsaw, vol. I (1972): *The manuscript of Nicholas Copernicus's "On the revolutions"* (facsimile); vol. II (1978): *On the revolutions*, a cura di J. Dobrzycki e E. Rosen; vol. III (1985): *Minor works*, a cura di P. Czartoriski, E. Rosen, E. Hilfstein.

Fra i principali lavori su Copernico: H. KESTEN, *Copernico e il suo mondo*, Mondadori, Milano 1960; A. KOYRÉ, *La rivoluzione astronomica. Copernico, Keplero, Borelli, Feltrinelli*, Milano 1966; T.S. KUHN, *La rivoluzione copernicana* (1957), Einaudi, Torino 1972; *Conferenze in occasione del V centenario della nascita di N. Copernico*, Torino febbraio-marzo 1972, "Giornale di Fisica" 14 (1973); E. ROSEN, *Copernicus, Nicholas*, in DSB, vol. III, 1972, pp. 401-411; G. DE FLORENTIIS, *Copernico e la riforma dell'astronomia*, Mondadori, Milano 1974; A. BEER, K.A. STRAND (a cura di), *Copernicus Yesterday and Today. Proceedings of the Commemorative Conference held in Washington in honour of Nicolaus Copernicus*, "Vistas in Astronomy" 17 (1975); *Copernico e la cosmologia moderna*, Atti del Convegno internazionale dell'Accademia dei Lincei, maggio 1973, in "Problemi attuali di scienza e di cultura", quad. n. 216, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1975; N. SWERDLOW, O. NEUGEBAUER, *Mathematical Astronomy in Copernicus's de Revolutionibus*, Springer, New York 1984; W.R. SHEA, *Copernico, Galileo, Cartesio. Aspetti della rivoluzione scientifica*, Armando, Roma 1989; O. GINGERICH, *The Eye of Heaven. Ptolemy, Copernicus, Kepler*, The American Institute of Physics, New York 1993; *Copernico a Padova*, Atti della giornata copernicana nel 450° della pubblicazione del *De revolutionibus orbium caelestium*, Padova, 10.12.1993, CLEUP, Padova 1995; E. ROSEN, *Copernicus and his successors*, The Hambledon Press, London 1995; L. PEPE (a cura di), *Copernico e la questione copernicana in Italia dal XVI al XIX secolo*, L. Olschki, Firenze 1996; A. POPPI, *La filosofia naturale del primo Cinquecento nelle Università di Padova, Bologna e Ferrara*, in *ibidem*, pp. 39-67.