

CLAUDIO TOLOMEO

il più grande astronomo dell'antichità.

Il primo grande astronomo che incontriamo al termine di questo intervallo è CLAUDIO TOLOMEO che non è imparentato con la casa regnante omonima. Egli disegnò e compì osservazioni ad Alessandria dal 127 al 151 d. C. e si crede che sia morto nel 168 circa.

Il suo lavoro più noto, *L'Almagesto*, fece per l'astronomia ciò che gli *Elementi* di Euclide avevano fatto per la geometria, e rimase infatti il testo classico in questo campo fino al secolo diciassettesimo.

Come gli *Elementi*, esso consta di tredici libri, e oltre alla matematica contiene molta astronomia. Una parte di questa è originale, ma naturalmente molta è invece presa da scrittori precedenti, e specialmente da Ipparco.

Il libro I, che è un trattato di trigonometria, è notevole per la tavola dei valori naturali dei seni. Il valore



Fig. 1. – Claudio Tolomeo (100 ?-168 ? d. C.), grande astronomo egiziano che riassunse nel suo *Almagesto* le opere di Ipparco e tutte le conoscenze astronomiche del suo tempo. Secondo il sistema da lui ideato, la Terra è al centro dell'Universo e sono considerati come reali i moti apparenti del Sole, della Luna, delle stelle e dei pianeti. Lasciò un trattato di *ottica* in cui tratta della visione, della riflessione e della rifrazione ed espone una teoria degli specchi piani e sferici. Il primo dei tredici libri dell'*Almagesto* può essere considerato come il primo trattato di trigonometria.

di π è dato come $3 + \frac{17}{120}$, ossia 3,14167, che sta ad altri valori come segue:

Limiti assegnati da Archimede:

$$3 + \frac{10}{70} = 3 + \frac{1}{7} = 3,14286; \quad 3 + \frac{10}{71} = 3 + \frac{1}{7 \times \frac{1}{10}} = 3,14084.$$

Valore dato da Tolomeo:

$$3 - \frac{17}{120} = 3 - \frac{1}{7 \times \frac{11}{17}} = 3,14167.$$

Posteriore approssimazione:

$$3 + \frac{16}{113} = 3 + \frac{1}{7 \times \frac{1}{16}} = 3,1415929.$$

Valore reale: 3,1415927....

Altri due libri contengono le posizioni di 1022 stelle mentre altri trattano della teoria dei movimenti planetari. Questi due libri che sono la parte più famosa delle opere di Tolomeo, riportano definitivamente la Terra al centro dell'universo. Eudosso e Callippo avevano immaginato che i pianeti fossero attaccati ad un complicato sistema di sfere mobili, mentre Tolomeo sostituì queste sfere con un sistema di cerchi mobili, la cui disposizione generale è quella mostrata nella fig. 2.

In questo schema il Sole e la Luna si muovono intorno alla Terra lungo orbite circolari, ma i movimenti degli altri pianeti sono più complicati. Oltre l'orbita del Sole, c'è un'altra orbita circolare in cui non si muove niente di reale, ma solo un'astrazione matematica nota col nome di « Marte fittizio ». Mentre questo si muove intorno a un cerchio, il vero Marte si muove lungo un altro cerchio. Il cerchio lungo il quale si muove il Marte fittizio si chiama « deferente di Marte » mentre il cerchio più piccolo in cui si muove il vero Marte si chiama « epiciclo di Marte », perchè esso è un cerchio sovrapposto ad un altro. In alcune fasi di questo movimento Marte si muove nello stesso epiciclo e nella stessa direzione in cui si muove il Marte fittizio nel suo deferente, e quindi i movimenti nell'epiciclo e nel deferente si rinforzano uno con l'altro, e Marte sembra allora muoversi molto rapidamente attraverso il cielo. Ma in altre fasi, quando il movimento nell'epiciclo è in una direzione diversa, si vede Marte muoversi meno rapidamente; a volte il movimento nell'epiciclo sarà in direzione del

tutto opposta a quella del movimento nel deferente, e Marte allora sembrerà muoversi all'indietro. Tutto ciò coincide bene coi movimenti di Marte osservati: esso infatti si muove attraverso il cielo nella stessa direzione del Sole e della Luna; ma a volte sembra quasi esitare nel suo movimento, ed altre volte si muove addirittura per breve tempo nella direzione opposta.

Tolomeo propose simili disposizioni di deferenti e di epicicli per pianeti ancora più lontani dalla Terra, come Giove e Saturno. C'erano anche deferenti ed epicicli per Mercurio e Venere, ma questi erano di tipo diverso, in modo da adattarsi al diverso tipo di moto di questi due pianeti. Infatti mentre Marte, Giove e Saturno in complesso si muovono andando verso l'est rispetto al Sole, Mercurio e Venere oscillano intorno al Sole senza mai scostarsi molto da questo. Tolomeo spiegò tutto ciò supponendo che i deferenti di Mercurio e di Venere fossero fra la Terra e l'orbita solare e che i pianeti fittizi si muovessero nei loro deferenti in modo da star sempre esattamente fra la Terra e il Sole: ciò avrebbe dato l'impressione che i veri pianeti nei loro epicicli si muovessero intorno al Sole. Ma era una trovata troppo artificiosa e sembra strano che Tolomeo non pensasse affatto a far coincidere i deferenti di Mercurio e di Venere con l'orbita del Sole come aveva fatto già Eraclide di Ponto; perfino gli antichi egiziani sembra abbiano creduto che questi pianeti avessero un movimento di rivoluzione direttamente intorno al Sole.

Come rappresentazione di quanto realmente avviene, lo schema di Tolomeo naturalmente era del tutto errato, eppure all'epoca in cui fu proposto può essere stato più utile della realtà. Gli uomini infatti allora si occupavano più dei moti apparenti che di quelli reali, e tale schema forniva una descrizione di questi precisa e che poteva essere ca-

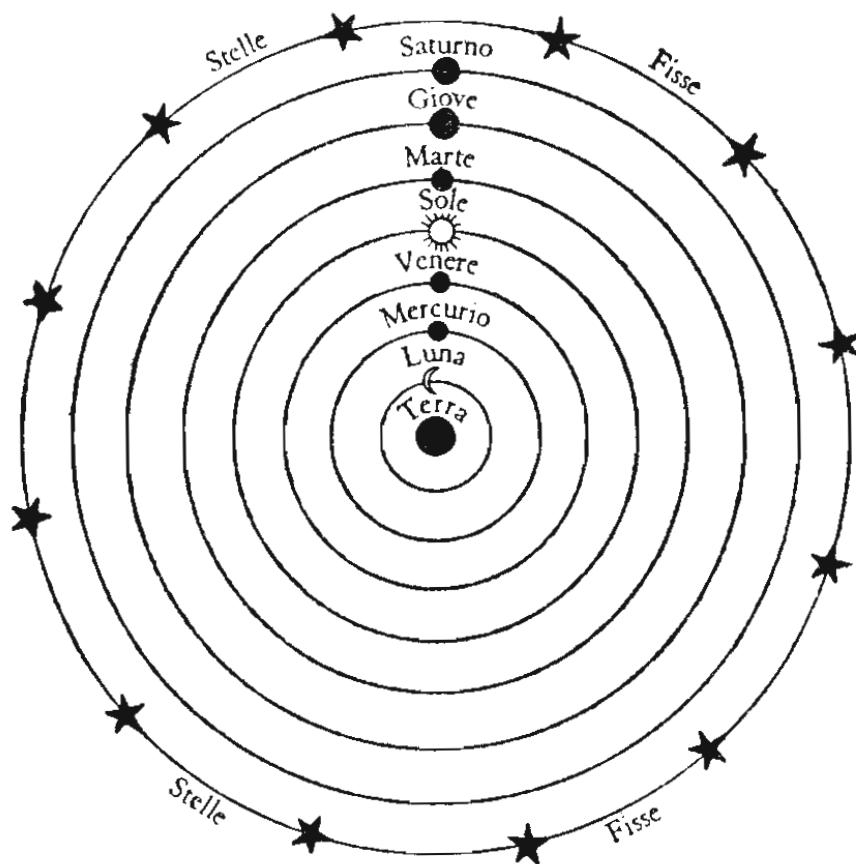


Fig. 2. - Nel suo *Almagesto*, Claudio Tolomeo riassunse tutte le conoscenze astronomiche del suo tempo. Pose la Terra al centro dell'universo, considerò come reali i moti apparenti intorno a noi del Sole, della Luna, dei pianeti e delle stelle. La spiegazione razionale del moto dei corpi celesti veniva dai Greci cercata nell'astrazione, nel rispetto di supposte leggi geometriche e non già in leggi fisiche dedotte in via sperimentale.



Fig. 3. — Secondo il sistema tolemaico la Terra è il centro immobile dell'universo e intorno ad essa ruotano Sole, Luna e stelle.

Negli ultimi cinque volumi egli fa uno studio degli effetti astronomici della rifrazione della luce. Sapeva che quando i raggi di luce pas-

posito. Se avesse anticipato Einstein dicendo che i percorsi dei pianeti erano geodetiche in uno spazio quadridimensionale, la sua affermazione avrebbe avuto meno valore perché incomprendibile a quel tempo. La stessa cosa sarebbe avvenuta se avesse anticipato l'affermazione di Keplero che i pianeti si muovono lungo ellissi intorno al Sole e che percorrono aree eguali in tempi eguali. La verità deve essere spiegata ad ogni generazione mediante concetti che le siano noti. Tolomeo scrisse anche un trattato di ottica in cinque volumi, la maggior parte del quale ci è stata tramandata attraverso una traduzione del secolo XII dall'arabo in latino.

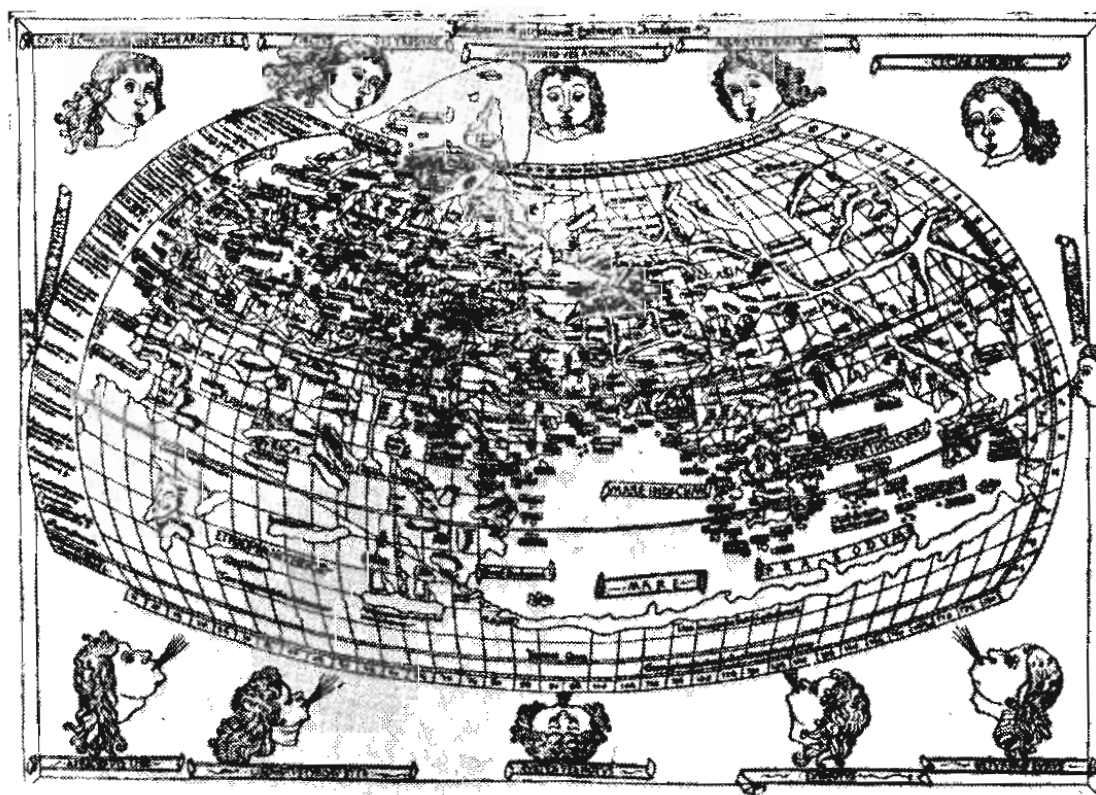


Fig. 4. — La Terra abitata secondo Tolomeo. Questa carta fu preparata da Nicolò Germanico per una delle prime edizioni a stampa della *Geografia* di Tolomeo (Ulma, 1482).

sano da una sostanza all'altra, come per esempio dall'aria all'acqua, essi sono rifratti, o deviati dal loro percorso diretto ed egli vide che i raggi della luce delle stelle sarebbero pure stati piegati passando da

un'atmosfera rarefatta a quella più densa vicino alla Terra. Questo dà luogo al fatto che una stella ci appare più direttamente sulla testa, per così dire, di quello che non sia in realtà così che per esempio il Sole, la Luna e le stelle restano visibili dopo essere realmente passati sotto l'orizzonte. Tolomeo descrive i risultati di esperimenti che aveva eseguito sulla rifrazione della luce passando dal vetro all'acqua, e dà una tavola degli angoli enunciando una legge della rifrazione che è quasi esatta quando l'angolo di rifrazione è piccolo.

Tolomeo ideò anche due nuovi strumenti astronomici, l'*astrolabio* e il *cerchio murale*, che furono molto in uso non solo in quel tempo ma anche molti secoli dopo. Egli discusse anche la geografia da un punto di vista astronomico, spiegando i principî secondo i quali si debbono disegnare le carte geografiche, e concordando con Ipparco nell'affermare che le osservazioni sulla latitudine e sulla longitudine costituiscono il primo passo in questo senso. Ma egli non poteva dimostrare le sue idee e doveva limitarsi a produrre soltanto una quantità di carte geografiche insoddisfacenti mettendo insieme ovvii frammenti di informazioni raccolte da mercanti girovaghi.

Gli sono stati attribuiti altri vari libri, di ottica, di astrologia, sul suono e su altri argomenti, ma la loro paternità è dubbia e in ogni modo non contengono niente che possa dare al loro autore una fama paragonabile a quella che egli raggiunse con l'*Almagesto*. (Da J. JEANS, *Il cammino della scienza*, trad. G. Bompiani, Bompiani, 1953).

NICOLÒ COPERNICO

e il « vero sistema del mondo ».

Tutti noi, appena cominciammo da bambini a guardarci intorno e a formulare le più ingenue riflessioni, credemmo che il Sole si muovesse, con il suo ritmo eterno, da oriente a occidente, e con esso la Luna e le stelle. Nessun dubbio poteva sorgere nelle nostre menti che la Terra non fosse ferma.

Nello stesso modo si è comportata l'umanità dai suoi primi albori fino all'inizio dell'era moderna. Gli antichi Greci, sottili argomentatori e curiosi indagatori dei misteri dell'anima e del creato, spiegarono i movimenti dei corpi celesti nella maniera più immediata, più naturale, secondo l'evidenza dei sensi. Aristotile, nel IV secolo a. C., riassume le dottrine astronomiche del suo tempo e immagina l'universo come una sfera di dimensioni limitate: ogni cosa che esiste si trova dentro questa sfera, al di fuori di essa non c'è nulla, neppure il vuoto. La Terra è al centro dell'universo, come sfera immobile. Attorno ad essa, tutto il cosmo è ordinato in « sfere » che trascinano con sè il Sole, la Luna e i pianeti. Alla maggiore delle sfere sono fissate le stelle.

Queste concezioni, poco modificate nei secoli successivi, costituirono il « sistema tolemaico », sistema che prende appunto nome dall'astronomo Tolomeo vissuto nel II secolo d. C. (p. 55 sgg.). Questo sistema permetteva di spiegare in parte e in maniera molto complicata i fenomeni osservati nel cielo.

È giusto ricordare che non mancarono fra i Greci taluni filosofi ed astronomi che pensarono che nulla sarebbe cambiato se, invece di essere il Sole a girare intorno alla Terra, fosse la Terra a girare intorno al Sole: queste idee apparvero timidamente nel III secolo a. C. per opera soprattutto di Eraclide e di Aristarco ma non incrinarono la concezione tolemaica appoggiata dalla possente autorità di Aristotile.

Ognuno di noi deve ricordare un momento importante della propria fanciullezza: il momento in cui sentì da qualcuno affermare che la Terra si muove ed il Sole sta fermo. L'istintiva tendenza a credere soltanto a ciò che i nostri occhi vedono, subì allora la prima brusca scossa; cominciammo a dubitare dei sensi e ad avvertire che esiste un più alto potere, quello dell'intelligenza, il cui sguardo è più sicuro e più penetrante di quello degli occhi più acuti. La stessa scossa ebbe

l'umanità per opera del Copernico.

Quando, nell'anno 1473, egli nacque a Thorn, in Polonia, il vecchio mondo agonizzava e l'età medievale stava per essere faticosamente sostituita dall'età moderna. Copernico visse a cavallo delle due età. Ebbe la ventura di conoscere popoli diversi, di acquistare profonda cultura in diversi campi, in astronomia, in giurisprudenza, in teologia, in medicina, in economia, in arte della guerra. Conobbe parecchie lingue, comprese quelle classiche, e a lui si deve uno dei primi tentativi di introdurre lo studio della lingua e della letteratura greca in quelle lontane terre.

Nell'autunno del 1496 si recò come studente a Bologna, attratto dalla fama di quell'università, dopo aver studiato a Cracovia. A Bologna ebbe rapporti col matematico Scipione del Ferro e pure, molto amichevoli e proficui, con l'astronomo Domenico Maria da Novara, presso il quale si dice anche che dimorasse. Fu a Bologna che COPERNICO fece la sua prima osservazione personale nello studio del

cielo da lui citata più tardi nella sua opera fondamentale: determinò cioè il tempo preciso in cui la Luna passava davanti alla stella fissa Aldebaran, coprendola alla vista (9 marzo 1497).

Nell'anno 1500, in cui la Chiesa cattolica celebrava il giubileo, Copernico si recò a Roma e si dice fosse presente alla grande cerimonia pomeridiana della domenica di Pasqua quando una moltitudine di persone si inginocchiò all'aperto per ricevere la benedizione del papa. Egli rimase un intero anno a Roma du-

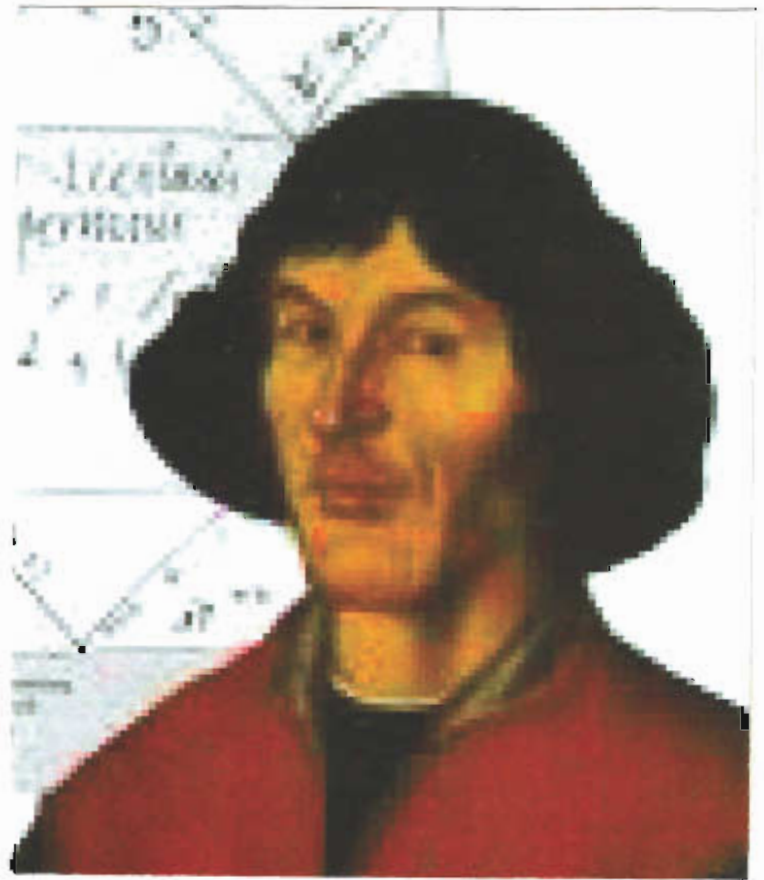
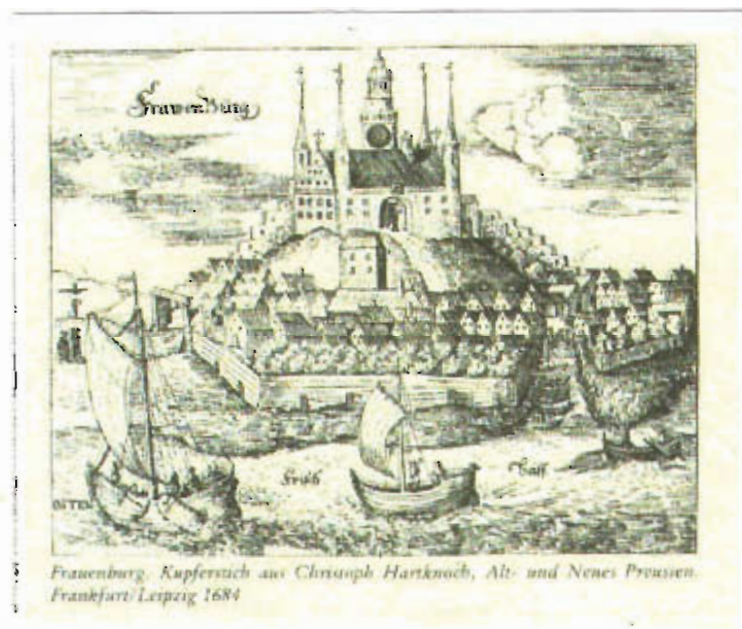


Fig. 1. - Nicolò Copernico (1473-1543) in un ritratto della prima metà del secolo XVII.



Frauenburg. Kupfersuch aus Christoph Hartknöch, Alt- und Neues Preussen. Frankfurt/Leipzig 1684

Fig. 2. - La cittadina di Frauenburg sorge sulla costa della Prussia orientale, affacciata a una laguna che si apre verso il Baltico. Copernico fu nominato canonico di questa cittadina nel 1512.

rante il quale tenne lezioni di matematica e di astronomia ed effettuò altre osservazioni fra le quali l'altra citata nel suo libro relativa all'eclisse di Luna avvenuta il 6 novembre 1500. Dopo una breve visita in patria, Copernico ritornò in Italia e si recò a Padova per seguire gli studi presso quella famosa scuola di giurisprudenza. Nell'anno 1503,

per ragioni che non si conoscono, si trasferì a Ferrara dove presso quella università conseguì la laurea in diritto canonico.

Ritornato a Padova, Copernico si dedicò intensamente allo studio della medicina, certamente anche perchè in quei tempi si riteneva opportuno che un uomo di chiesa (e lui era avviato a divenirlo per volontà dello zio vescovo che provvedeva al suo mantenimento agli studi) conoscesse qualcosa dell'arte di guarire, in modo da potersi dedicare non solo ai bisogni spirituali ma pure alla salute fisica del suo gregge.

Verso la fine del 1505, ad una età di poco superiore alla trentina e con un'istruzione rara per quei tempi, Copernico ritornò in Polonia e risiedette per parecchi anni nel castello di Heilsberg a sessanta chilometri a sud-est di Frauenburg, città nella quale egli si trasferì nel 1512 quando divenne canonico presso quel Capitolo, continuando i suoi studi prediletti.

La cultura di Copernico ebbe vari e vasti orizzonti, in un mondo in fermento per il maggior flusso di idee che l'invenzione della stampa aveva messo in circolazione e per le conseguenze della scoperta dell'America, specie negli studi astronomici sollecitati maggiormente dalla navigazione oceanica che seguì la scoperta del nuovo mondo.

Quando Copernico cominciò a studiare il sistema delle sfere concentriche fu angustiato da quella che gli sembrò una complessità non necessaria del sistema e cominciò subito quella meditazione che doveva durare molti anni e suscitare in lui quella convinzione che gli consentì di affrontare e superare i dogmi aristotelici che anche in



Fig. 3. — Un'antica tradizione designa come « Torre di Copernico », questa che sorge sull'angolo nord-occidentale della cinta della cattedrale di Frauenburg. Questa torre fu scelta come dimora da Copernico anche perchè gli sembrò adatta per osservare il cielo.

astronomia continuavano a dominare nella cultura del tempo. La teoria eliocentrica ebbe nella sua mente una maturazione lenta, sostenuta continuamente dalle osservazioni astronomiche da lui stesso compiute con strumenti rudimentali (fig. 6), specialmente nel periodo in cui visse a Frauenburg. Egli ebbe timori per l'aspetto rivoluzionario del suo sistema ma ricevette molte lodi e incoraggiamenti che lo spronavano a proseguire per la via intrapresa. Nel novembre del 1536 il cardinale Nicola von Schoenberg gli scrisse da Roma: «Ti prego fervidamente, uomo dottissimo, di far conoscere ai sapienti la tua teoria e di mandarmi al più presto il risultato delle tue veglie sulla sfera del mondo, con le tavole e quanto altro avrai raccolto sull'argomento».

Un primo sommario delle sue idee si dice sia stato raccolto e diffuso fra gli amici e si crede fosse noto anche al papa Clemente VII. Ma l'opera sua principale, il *De revolutionibus orbium coelestium*, in cui è raccolto tutto il suo sforzo di ricerche e di riflessioni e al quale deve l'immortalità, in cui illustrò il «vero sistema del mondo» apparve soltanto nell'anno 1543, anno della sua morte. Nella lettera indirizzata a Paolo III e posta come prefazione all'opera di Copernico così descrive la sua teoria:

«Prima e al di sopra di tutto si trova la sfera delle stelle fisse contenente se stessa e tutte le cose, e per tale ragione immobile; costituente invero la cornice dell'universo, a cui si riferisce il moto e la posizione di tutte le altre stelle. Benchè taluni pensino che essa si muova in certo modo, noi vogliamo spiegare in altro modo, nella nostra teoria del movimento della Terra, perchè essa si comporta in tal maniera. Fra i corpi mobili primo viene Saturno che compie il suo circuito in trent'anni. Dopo di lui Giove che si muove con una rivoluzione di dodici anni, e poi Marte la cui rivoluzione è biennale. Quarto per ordine si trova un ciclo annuale, in cui si può dire sia contenuta la Terra

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBVS ORBIVM
COELESTIVM, Libri vii.

Habes in hoc opere iam recens nato, & edito, studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum, quam erratarum, cum ex veteribus, tum etiam ex recentibus observationibus restitutos; & novis insuper ac admirabilibus hypothelibus ornatos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex quibus eisdem ad quodvis tempus quatenus licet tibi calculare poteris. Igitur eme, lege, fructe.

ΑΥΤΟΓΡΑΦΟΝ ΤΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ.

Norimbergae apud Ioh. Petreium,
Anno M. D. XLIII.

Fig. 4. - Fac-simile del frontespizio dell'edizione di Norimberga del *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico (1543).

con l'orbita lunare quale epiciclo. In quinto luogo Venere che ruota in nove mesi, e poi Mercurio che occupa il sesto posto compiendo il suo percorso in otto giorni. In mezzo sta il Sole. Chi invero porrebbe in questo meraviglioso tempio la torcia in un posto diverso o migliore

che in quello in cui essa può illuminare allo stesso tempo il tutto? Non erratamente alcuni lo chiamano la lampada dell'universo, altri la sua mente e altri ancora il suo reggitore. E così giustamente il Sole sedendo su un trono regale governa la circostante famiglia delle stelle.... Noi troviamo pertanto sotto questa ordinata disposizione una meravigliosa simmetria dell'universo e una precisa relazione di armonia nel moto e nella grandezza delle orbite, di un tipo che non si può ottenere in nessuna altra maniera ».

L'ipotesi eliocentrica di Copernico semplificò assai le teorie sui movimenti dei corpi celesti, ma le nuove idee stentaron molto ad essere accolte e ci volle più di un secolo perchè si affermassero pienamente.

Solo dopo i grandi perfezionamenti e le nuove prove apportate ad essa da Galileo e da Keplero, secondo un processo di evoluzione progressiva tipico delle teorie scientifiche, l'ipotesi copernicana si affermò completamente.

Copernico fu un grande pensatore ed è giustamente considerato come il fondatore dell'astronomia moderna. Ebbe audacia per convincere i suoi contemporanei del loro errore, per persuaderli a negare fede ai loro sensi ed attribuirli invece alla ragione, per infrangere un mondo ostinato nel sostenere vecchi e superati principî. Il sapere con lui si orientò verso quel metodo razionale che ha consentito alla

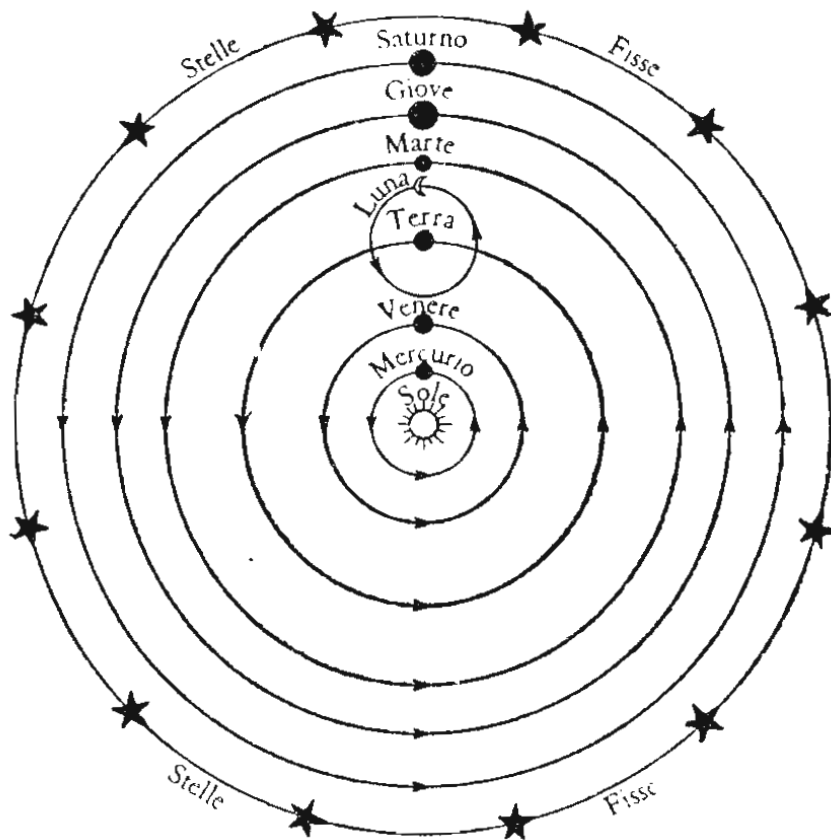
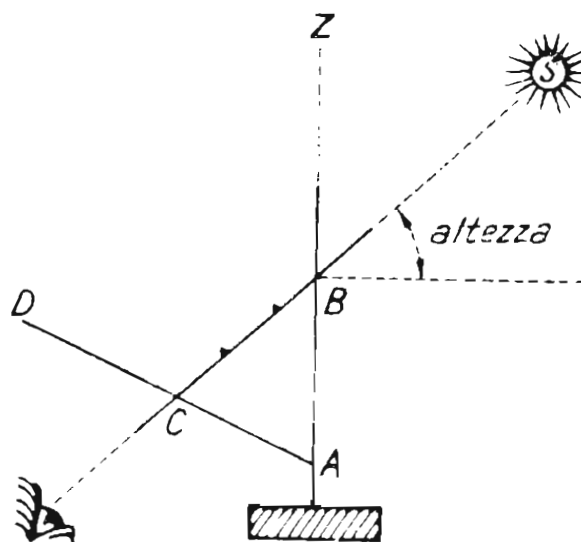


Fig. 5. - Nel sistema copernicano il più lontano pianeta era Saturno. Urano fu casualmente scoperto da W. Herschel nel 1781; prima era stato già osservato ma fu scambiato per una stella. Nettuno, la cui esistenza fu prevista sulla base delle leggi della meccanica celeste, venne scoperto nel 1843 da due giovani astronomi, l'inglese G. Adams e il francese U. G. Le Verrier. Poichè la scoperta di Nettuno non eliminava completamente le discordanze fra la teoria e l'osservazione nei riguardi di Urano, si pensò all'esistenza di un pianeta « transnettuniano » che fu scoperto nel 1930 dall'osservatorio di Flagstaff negli Stati Uniti fondato dall'astronomo Lowell e fu chiamato Plutone.

scienza di raggiungere i fastigi dei tempi presenti. La vicenda che rese difficile il trionfo della dottrina copernicana somiglia a quella che ha angustiato tanti altri geni della scienza, come Galileo quando fu certo delle sue teorie, come Newton che trovò ben pochi disposti e capaci di comprendere il miracolo di unificazione di tanti fenomeni naturali con la sua legge della gravitazione universale, come Einstein quando

Fig. 6. – Copernico costruì uno strumento, che chiamò *triquetrum*, per misurare l'altezza dei corpi celesti situati in un punto qualunque del cielo. Si compone di tre regoli di legno: il primo di essi AB , è fissato verticalmente (Z è lo *zenit* del luogo), il secondo BC è fissato ad AB in B in modo da poter ruotare intorno a B . Il terzo regolo AD ruota intorno ad A ed è graduato; in corrispondenza di ogni gradazione c'è un foro, ad esempio nel punto C , nel quale si può infilare un chiodo. Sul lato BC sono collocati due mirini per poter puntare il regolo BC verso la direzione della stella S . Fissati i regoli BC ed AD , dal numero delle graduazioni si ricava la misura dell'angolo ABC che è il complemento dell'altezza cercata.



abolì l'etere, come Planck quando postulò il quanto di azione: vicenda per la quale la lotta più dura non fu tanto sostenuta per penetrare i segreti della natura, per formulare le concezioni più elevate, quanto per demolire le idee preconcepite, i pregiudizi radicati, i quali avevano tuttavia contribuito, al loro tempo, a far progredire la scienza. (Da R. GIANNARELLI - B. GIANNELLI, *Niccolò Copernico e il « vero sistema del mondo »*, in « La scienza per i giovani », n. 3-4, 1956-57).