

### 3. LA "RIVOLUZIONE" DEL XVI SECOLO

(Dispense per allievi a cura di Mario Bonfadini)

#### a. Un clima di riforma

Lo spostamento del "centro" dell' universo dalla Terra al Sole può apparire una rivoluzione per le riflessioni di natura filosofica o religiosa che si vogliono associare al fatto. In una storia che tenga conto preciso del come sono andate le cose e che dia ai fatti della scienza il loro giusto peso, senza concedere nulla a posizioni retoriche, forse occorrerebbe ridimensionare il termine.

La matematica collegata con lo studio del sistema tolemaico o del sistema aristotelico risultava piuttosto raffinata. Questo creava lamentele e insofferenza in alcuni, dotti e soprattutto meno dotti; in coloro che la studiavano e l'insegnavano poteva invece essere motivo di vanto.

Le idee pitagoriche sul moto della Terra o quelle relative a diversi modelli del sistema non erano state certo dimenticate. In **Giovanni Scoto Eriugena** (810-877) troviamo l'ipotesi della rotazione dei pianeti attorno al Sole e di questo attorno alla Terra. Egli inoltre nega la distinzione aristotelica fra enti sublunari ed enti celesti incorruttibili.

Nel sec. XIII torna a rifiorire in Europa lo studio della astronomia in scuole prestigiose (Parigi, Oxford, università d'Italia). Problemi nuovi sorgono con la esigenza di costruire e diffondere strumenti sempre più precisi e nuovi (orologi e planetari meccanici). Al 1345 risale la prima convocazione ad Avignone di alcuni studiosi da parte del Papa Clemente VI per la riforma del calendario, già caldeggiata da Grossatesta e da Ruggero Bacone (sec. XIII, scuola di Oxford).

L'astronomo **Pietro d'Abano** (sec. XIII) suggerisce l'idea che le stelle non siano portate da una sfera ma che si muovano libere nello spazio. L'idea di un moto inerziale nei corpi celesti (senza l'applicazione continua di una forza motrice) si fa strada con **Giovanni Buridano** (1300-1358), rettore della Sorbona di Parigi; presenta critiche serie alla meccanica di Aristotele; afferma che l'osservazione immediata non può stabilire un criterio per la scelta fra il moto del cielo o quello della terra; accenna alle ipotesi sulla rotazione della terra come "esercitazioni scolastiche", schierandosi a favore della immobilità della terra, presentando vari argomenti basati sulla osservazione.

A **Nicola d' Oresme** (1323-1382), gran maestro del Collegio di Navarra a Parigi, vescovo di Lisieux, pare interessante l'idea della rotazione della Terra per spiegare il moto apparente del Sole. Oresme scrive in francese il "Livre du ciel e du mond", un commento al "De caelo" di Aristotele; in esso fa di tutto il problema l'analisi più acuta e particolareggiata che non sia mai stata fatta dal tempo della classicità fino a Copernico. Espone in forma marcata tutte le ragioni a favore del moto della terra, esclude la necessità di un centro fisso dell'universo e considera la gravità come la tendenza dei corpi a collocarsi al centri delle masse sferiche vicine. Nella sua trattazione accosta questioni di carattere scientifico con quelle di natura filosofica e religiosa e al termine del libro si pronuncia, in forma sbrigativa, a favore del sistema geostatico, richiamandosi all'insegnamento tradizionale e dichiarando in forma esplicita e nello stesso tempo problematica di non voler opporre la ragione alla rivelazione (3). Appare chiaro dallo studio di Oresme che vari sono gli argomenti razionali a favore del moto della terra, ma anche che nessuno di essi è decisivo e che è impossibile dimostrare il contrario.

**Nicola Cusano** (1401-1464), studente a Padova, poi Cardinale a Roma, esercita un notevole influsso sugli studiosi del tempo; egli rifiuta la necessità di un riferimento assoluto per i moti dei corpi celesti e perciò di un "centro", considerando il carattere relativo di ogni moto. Accenna al moto della Terra che può essere avvertito solo "mediante il confronto con altri corpi".

**Domenico Maria Novara** (1454-1504) nato a Ferrara e docente a Bologna, a seguito di uno studio più approfondito dei fenomeni celesti, insegnava che si doveva rinnovare l'astronomia.

**Celio Calcagnini** (1479-1541), professore all'Università di Ferrara, spesso in viaggio per l'Europa con scopi culturali, nel 1520 scrive il saggio "Quod coelum stet et terra moveatur, vel de perenni motu terrae", che è pubblicato a Basilea nel 1544. Egli sostiene il moto diurno di rotazione della Terra, accennando all'illusione del lido che pare allontanarsi dalla nave in viaggio (esempio ripreso da Galileo). Accenna ad una "forza" emanata dal Sole come la causa della circolazione dei pianeti, una forza analoga a quella che attira l'ago magnetico verso il polo o verso il ferro.

Il fermento di idee "copernicane" è già manifesto negli ambienti umanistici italiani (4).

Le traduzioni delle opere degli antichi, effettuata nei secoli XII e XIII, avevano fatto riscoprire ipotesi astronomiche alternative al sistema tolemaico. L'atteggiamento assunto dagli astronomi greci nel confronto delle realtà osservate, ossia la dichiarazione di voler inquadrare "le apparenze" in modelli geometrici, senza l'intenzione di accedere alla vera natura dei fenomeni ( cfr. i Commentari di Simplicio), con molta probabilità fu preso a esempio da alcuni studiosi del XIII secolo per avviare un modo "moderno" di interpretare le affermazioni della scienza; queste sarebbero solo verità provvisorie, adatte a "salvare le apparenze" (5).

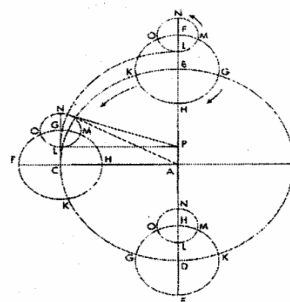
Nel 1445 era stata introdotta la stampa a caratteri mobili; tale innovazione tecnica non poco influì alla diffusione delle conoscenze nuove ed antiche.

E' opportuno ricordare anche che il viaggio di Cristoforo Colombo (1492) e quelli successivi avevano contribuito alla ridefinizione delle conoscenze riguardanti la Terra, al completamento delle mappe stellari e a rilanciare l'esigenza di una più estesa osservazione dei fatti astronomici.

## b. Nicolò Copernico ( 1473-1543)

E' polacco, canonico della Warmia e amministratore della comunità. Si interessa di astronomia; svolge anche mansioni di medico. Inizia gli studi a Cracovia; li prosegue a Bologna e Padova. Si laurea in diritto a Ferrara. E' in casa dell' astronomo Domenico Maria Novara; suo aiutante e collaboratore nelle ricerche.

Riallacciandosi alla lunga tradizione di perplessità e critiche che si muovono al sistema tolemaico, rilancia l'ipotesi del sistema eliocentrico. Colloca il Sole immobile al centro dell'universo ed i pianeti rotanti attorno ad esso su orbite circolari. La Terra è dotata di rotazione diurna e attorno ad essa ruota la Luna. Il sistema è apparentemente semplice e sembra dare spiegazione di tutti i fenomeni astronomici conosciuti.



La complessa costruzione di Copernico per spiegare il moto di Marte

(3) Oresme affronta anche l'interpretazione dell'episodio dell'arresto del sole con Giosuè, descritto dalla Bibbia, dicendo che l'ipotesi del moto terrestre lo renderebbe più ragionevole, se colto in forma letterale. Dice di aver scritto il suo libro per "stimolare, eccitare e muovere i cuori dei giovani di sottile e nobile ingegno e desiderosi di conoscenza, affinché si studino di contraddirmi e correggermi per amore e affetto della verità" ( Cfr. A.C.Crombie, Da S.Agostino a Galileo, Feltrinelli, pp.274-282).

(4) Il filosofo Campanella scriverà a Galileo nel 1614: "Vostra signoria ... scriva nel principio che questa filosofia è d'Italia, da Filolao a Timeo in parte, e che Copernico la rubbò dai suddetti e dal ferrarese suo maestro; perchè è gran vergogna che ci vincan le nazioni che noi avemo di selvagge fatte domestiche". Intemperanza del linguaggio a parte!

(5) Sono atteggiamenti presenti nelle scuole di Oxford e di Parigi. Esponenti di rilievo sono Roberto Grossatesta (superiore generale dei Francescani e Vescovo), Ruggero Bacone, Giovanni Buridano, Nicola di Oresme; ad un nominalismo estremo e generale giunse Okkam. Vari sono gli studiosi di storia della scienza che, al seguito di Pierre Duheme, grande pioniere di ricerche di storia medioevale, vedono nelle manifestazioni culturali del sec. XVI il culmine di forze intellettuali costantemente all'opera a, partire dal tredicesimo secolo. ( Cfr. : E. Grant, La scienza nel medioevo, il Mulino, pp.47-49; E. Grant, Le origini medioevali della scienza moderna, Einaudi, 2001, pag. 302-303; A.C. Crombie, Da S.Agostino a Galileo, Feltrinelli; Stanley Jaki in varie opere e saggi).

In realtà, contrariamente a quanto solitamente è riferito da una divulgazione scientifica molto approssimativa, Copernico complica notevolmente il modello introducendo nuovamente gli epicicli. Deve spiegare la variazione della velocità notata nel moto dei pianeti. Come non bastasse, presenta più schemi geometrici alternativi, senza prendere una posizione decisiva.

Copernico non è un astronomo praticante; non fa interessanti o nuove osservazioni del cielo. E' cosciente che la sua ipotesi non è del tutto nuova; percepisce le difficoltà connesse con una dimostrazione matematica rigorosa. Nonostante abbia concepito il suo sistema da tempo, Copernico esita a renderlo pubblico. Presenta inizialmente solo una sintesi in un piccolo trattato di pochi fogli, il *Commentariolus*. Copernico non compare tra gli invitati speciali al Concilio Laterano per la riforma del calendario, contrariamente a quanto afferma Galileo; invia soltanto una lettera, come risposta a un generico appello fatto da Leone X agli astronomi della cristianità. Le sue idee tuttavia vengono rese note dai suoi amici. Grazie al loro intervento, in particolare alla premura di Retico, il libro "De revolutionibus orbium caelestium" è dato alle stampe in forma completa nel 1543, poco prima della morte dell'autore.

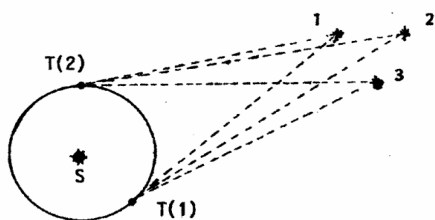
L'ipotesi di Copernico convive abbastanza a lungo accanto a quella tolemaica; è insegnata nelle Università; è usata da alcuni studiosi per la formulazione di nuove tavole astronomiche.

Nella pratica l'accordo fra il sistema copernicano e le osservazioni astronomiche non è migliore di quello che ha il sistema tolemaico. Forti opposizioni vengono dal mondo religioso luterano, dove la teoria è considerata "falsa e del tutto contraria alle Sacre Scritture". Tuttavia, nonostante le inesattezze e l'incompletezza dell'opera di Copernico, nel panorama culturale del tempo l'idea dell'eliocentrismo e del moto della terra è considerata una interessante novità e una ipotesi scientifica da esplorare.

Non mancano obiezioni di carattere scientifico-astronomico, oltre a quelle relative alla complessità e alla arbitrarietà matematica. Le principali riguardano la grande velocità che si deve attribuire ai corpi sulla superficie terrestre, dovuta alla rotazione e soprattutto l'esigenza di trovare una diversità di tale velocità a differenti altezze. Esperimenti condotti in tal senso non portano a risultati evidenti.

Una prova valida a favore della teoria - ne parla lo stesso Copernico - dovrebbe aversi nella verifica di un parallasse stellare o spostamento apparente delle stelle sulla volta celeste dovuto al moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole. Tale prova, nonostante osservazioni effettuate prima, giunge soltanto nel 1725, ad opera di Bradley. L'angolo di parallasse misurato risulta di 20".

Un esperimento che mette in evidenza il moto di rotazione della Terra attorno al suo asse è quello del pendolo di Foucault. E' eseguito per la prima volta a Parigi nel 1851. Se non intervengono forze esterne un pendolo continua ad oscillare su uno stesso piano. Se la terra ruota, tale piano è in movimento rispetto ad essa.



La posizione reciproca assunta dalle tre stelle varia a secondo dei punto di osservazione, ossia al variare della posizione relativa della Terra.

### c. Tycho Brahe ( 1546-1601)

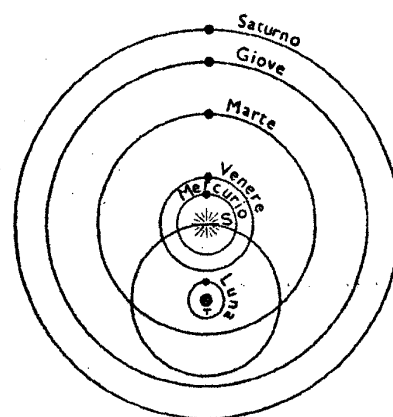
E' un astronomo danese, assai famoso e stimato nel suo tempo; è presente in varie parti dell'Europa per svolgere attività di ricerca e di insegnamento; ha un osservatorio rinomato e ben attrezzato presso la corte di Praga, con una cerchia di validi collaboratori a disposizione. Solide sono le sue conoscenze matematiche.

E' convinto che per decidere sulla scelta di un modello per l'astronomia occorre fare numerose osservazioni.

Cataloga la posizione di un migliaio di stelle così accuratamente che le sue osservazioni risultano valide tuttora. Non trova nessun effetto di parallasse nelle stelle. Per questo e altri motivi rifiuta il sistema di Copernico; neppure ritiene opportuno conservare quello di Tolomeo. Formula un modello intermedio che si rifà in parte a quello di Eraclide, con la Terra ferma e il Sole e i pianeti in moto.

Si deve a lui l'osservazione della comparsa di una stella supernova nel 1572. Ha interessanti studi sulle comete che considera corpi celesti rotanti attorno al Sole, probabilmente su orbite alquanto schiacciate (6).

Fa osservazioni molto accurate sulle posizioni dei pianeti, raccogliendo una grande abbondanza di dati. Non conclude le sue ricerche perchè muore giovane. I suoi collaboratori ne continuano l'opera. Tra essi è Keplero.



Il sistema geocentrico di Tycho

### d. Galileo Galilei (1564-1642)

E' tra i più celebri e convinti sostenitori del sistema copernicano. Ritiene che le sue straordinarie scoperte fatte col cannocchiale da lui stesso costruito (osservazione di una stella Nova, satelliti di Giove, fasi di Venere, forma di Saturno, macchie solari, ... ) siano un valido sostegno della teoria. Le sue scoperte ed idee astronomiche sono raccolte principalmente nelle due opere "Sidereus Nuncius" e "Dialogo dei due massimi sistemi del mondo".

Non mancano in Galileo idee piuttosto azzardate e ambigue, come quelle riguardanti la natura delle comete e dei meteoriti e l'origine delle maree, che sono occasioni di feroci polemiche (7). Queste vengono accentuate dalla presenza in lui di una buona dose di intemperanza e di aggressività.

L'uso del cannocchiale, non accompagnato da una valida teoria ottica, era fatto oggetto di sospetti non privi di una certa giustificazione.

---

(6) Delle comete parla Seneca (I sec. d.C.) nel libro "Naturales Quaestiones", sostenendo le idee di un certo Apollonio di Mindo, che le considerava dei veri corpi celesti. Per Aristotele invece sono delle esalazioni terrestri. Galileo stesso non si stacca definitivamente dalle idee di Aristotele, in durissima polemica coll'astronomo gesuita Grassi, il quale accettava sostanzialmente le idee di Tycho, pur volendo attribuire ad esse un moto circolare; sull'argomento l'opera di Galileo "Il Saggiatore" (1623) contiene affermazioni discutibili e fantasiose.

(7) Gli stoici del I sec. d.C. (Posidonio, Cleomede ed altri), come riferisce Strabone nella sua "Geografia", collegano la causa delle maree alla presenza della luna e parlano di una "tensione fra oggetti terrestri e celesti".

Beda detto "il Venerabile" (prete dell'abbazia benedettina di Jarrow nel territorio inglese della Nortumbria), i cui studi scientifici contribuirono notevolmente alla rinascenza carolingia nell'Europa, accoglie la teoria dell'influsso lunare nel suo libro "De temporum ratione" (723 d.C.) e descrive in forma dettagliata la connessione fra cicli delle maree e le fasi della luna. Le stesse opinioni sono sostenute da Keplero.

Galileo contribuisce a smuovere una certa rigidità nella venerazione delle dottrine dell'aristotelismo, che impedisce l'accoglienza di nuove idee sui corpi celesti. Valido e decisivo per gli studi successivi è il contributo dato con le esperienze e le riflessioni sul moto, raccolte nel suo ultimo libro, a parte il rimprovero da parte di alcuni storici della scienza sulla appropriazione di idee non sue.

La sua impazienza nel voler presentare il sistema copernicano come un dato certo (8), le polemiche sorte con i teologi circa l'interpretazione delle Scritture, gli interventi delle Congregazioni romane, prima con una ammonizione (1616) e poi con il processo (1633), possono essere viste come un ostacolo per l'opera di chiarificazione sulla questione astronomica, ma anche come vivace stimolo ad approfondire gli studi in forma più convincente (9).

---

(8) Paradossalmente si può dire che in questo atteggiamento Galileo è "aristotelico", poiché intende il sistema copernicano non come modello astronomico-geometrico, ma come descrizione della vera natura fisica della realtà.

(9) Il libro di Copernico, che prima non aveva suscitato grandi scandali, fu posto (1616) dalla Congregazione romana nell'indice dei libri proibiti (o da leggersi con prudenti riserve); fu tuttavia ben presto ridata la facoltà di leggerlo per motivi di studio; né si proibiva di presentare la dottrina di Copernico sotto forma di ipotesi scientifico-matematica. Fu ad esempio un abile presentatore del Sistema il matematico Bonaventura Cavalieri, ecclesiastico dell'ordine dei Gesuiti, prima rettore della chiesa di San Benedetto a Parma e poi docente all'università di Bologna.

Troppo spesso si scrive che Galileo "dimostrò" la verità del sistema copernicano. In realtà le sue scoperte potevano ben inquadrarsi anche in un modello geocentrico eventualmente completato. Lascia sconcertati la sua insistenza sulla bontà del sistema copernicano, nonostante le reazioni di astronomi e navigatori, dovute alla poca attendibilità delle previsioni ottenute col suo uso. Lo stesso Copernico era stato costretto ad ammettere la necessità di correzioni ricorrendo nuovamente allo stratagemma degli epicicli. Galileo ignora le correzioni portate da Keplero già dal 1609 (prime due leggi), completate con la terza legge nel 1619.

Il "caso Galileo" da più parti è stato assunto come simbolo di un presunto conflitto fra "scienza e fede" o tra "Chiesa e mondo scientifico" (cfr. le posizioni di Ludovico Geymonat); studiosi più equilibrati e meno propensi ad un uso strumentale del caso lo ritengono piuttosto "una questione politica e di sentimenti personali feriti". (Cfr. "William Shea, Galileo in Rome: the rise and fall of a troublesome genius, 2003")

Non va comunque scusato l'atteggiamento di quegli ecclesiastici, che agirono a nome della Chiesa collocandosi a difesa di una posizione non solo discutibile ma effettivamente sotto discussione; se si può dire che il processo è stato condotto e concluso con correttezza formale e tutto sommato con discreta clemenza, la dichiarazione di "sospetto d'eresia" per aver sostenuto una dottrina "falsa e contraria alle Sacre e divine scritture" va considerata come un errore e come abuso di potere contro una persona che aveva ricoperto spesso il ruolo di avversario fastidioso (Cfr. Discorso di Giovanni Paolo II, 31 ott. 1992).

Troppe restano ancora le incrostazioni di natura filosofica, letteraria, giornalistica, ideologica, depositate nel tempo sul "caso", a scapito di una chiarezza nella analisi dei fatti storici oltre che nella comprensione del fatto scientifico. Tutto questo è parte del "mito di Galileo".