

# Niccolò Copernico.

Cosa ha rappresentato la sua opera nella storia della scienza

Giulio Peruzzi

Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università di Padova

Associazione Nuova Civiltà delle Macchine  
Salone Comunale - Piazza Saffi 8, Forlì  
13 aprile 2019

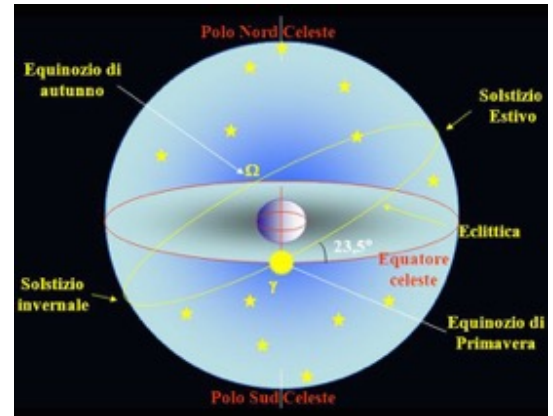
## Indice degli argomenti

- 1 Naturales e Mathematici
- 2 Copernico
- 3 Significati della rivoluzione copernicana

## Naturales e mathematici

Primo modello cosmologico **a due sfere** (quella della Terra circondata da quella delle stelle fisse; fino al IV sec. a.C.).

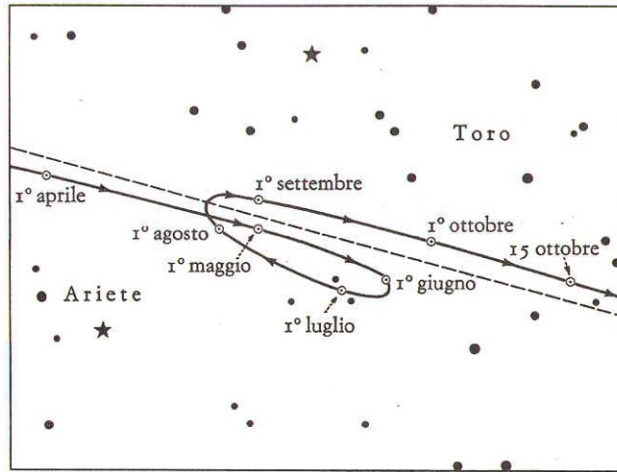
*Una sfera enorme regge le stelle e ruota regolarmente in direzione ovest attorno a un asse fisso, ogni 23 ore e 56 minuti; l'eclittica è un cerchio massimo della sfera inclinato di 23 gradi e 30 secondi rispetto all'equatore terrestre che il Sole percorre in direzione est in 365 giorni e un quarto; Sole e stelle sono osservate da una minuscola sfera fissa posta al centro della gigantesca sfera stellare.*



La concezione a due sfere **non fu la sola teoria cosmologica** dell'antica grecia.

- **Democrito e Leucippo** (V sec. a.C.): universo infinito e vuoto, infiniti atomi, la Terra solo uno dei tanti corpi celesti (aggregato di atomi), non unica, non a riposo, non centrale (spazio infinito).
- **Pitagorici** (V-IV sec. a.C., in particolare Filolao e Iceta): Terra non unica, ma in moto (insieme al Sole e altri corpi celesti) intorno a un fuoco centrale, dentro la sfera delle stelle.
- **Eraclide di Ponto** (IV sec a.C.): Terra al centro ma in rotazione intorno a un asse.
- **Aristarco di Samo** (III sec. a.C.): Sole al centro della sfera delle stelle e Terra in moto intorno al Sole.

L'immagine di un universo con due sole sfere non bastava per spiegare i moti planetari che mostravano un'alternanza di 'moti in una direzione'-'fermata'-'moti in direzione opposta'.

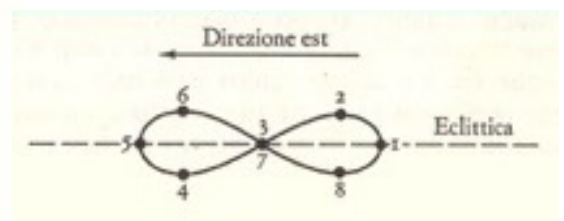
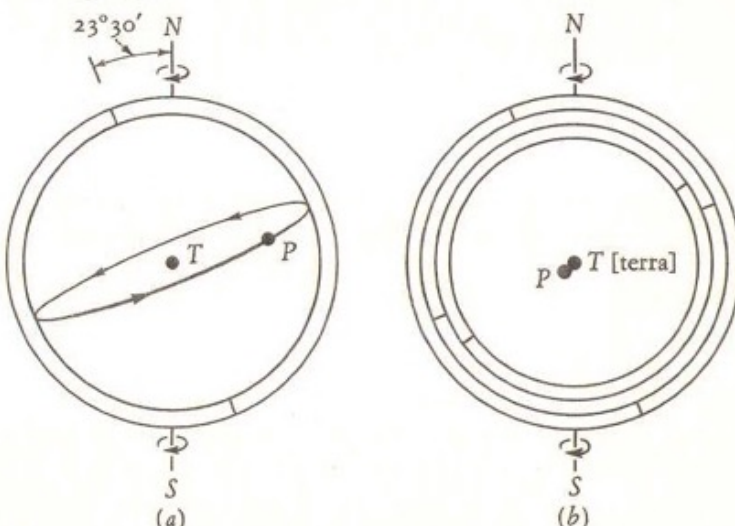


Eudosso di Cnido (408-355 a. C.) aveva allora introdotto l'idea che a ogni pianeta corrispondesse un diverso sistema di sfere omocentriche, che ruotavano di moto uniforme ma con velocità diverse e con diversa inclinazione le une rispetto alle altre.

Eudosso e Callippo (prima metà del sec. IV a. C.) perfezionano il sistema delle sfere o cerchi omocentrici.

Figura 17.

Sfere omocentriche. Nel sistema a due sfere (a), la sfera esterna produce la rotazione giornaliera e la sfera interna muove il pianeta (Sole o Luna) con velocità regolare verso est attorno all'eclittica. Nel sistema a quattro sfere (b), il pianeta P giace fuori del piano del disegno, all'incirca su di una linea che va dalla Terra T all'occhio del lettore. Le due sfere più interne generano il moto a forma di nodo illustrato in figura 18, mentre le due sfere più esterne producono il moto giornaliero e lo scorrimento medio del pianeta in direzione est.



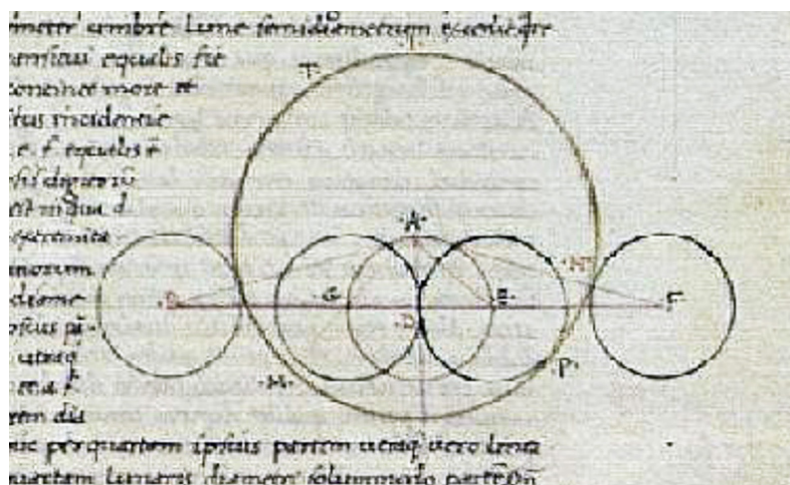
La funzione del sistema era puramente matematica: risolvere il problema del moto anomalo dei pianeti che l'osservazione mostrava essere non circolare né uniforme.

Non contava la causa di queste rotazioni, né se le sfere avessero esistenza reale (e quindi neppure di che cosa fossero fatte, come invece sarà per Aristotele): gli scopi erano puramente cinematici e matematici.

Il procedimento delle sfere omocentriche imponeva però a ciascuno dei pianeti una distanza costante dalla Terra (centro delle sfere).

Con l'intento di fornire una migliore aderenza del sistema di calcolo con i fenomeni osservati, Apollonio e Ipparco, a partire dal III sec. a. C., escogitarono un nuovo tipo di descrizione basato sugli epicicli e sugli eccentrici.

Questo, successivamente (II sec. d. C.), venne migliorato e codificato da Tolomeo nella sua *Syntaxis*, comunemente nota come *Almagesto*.



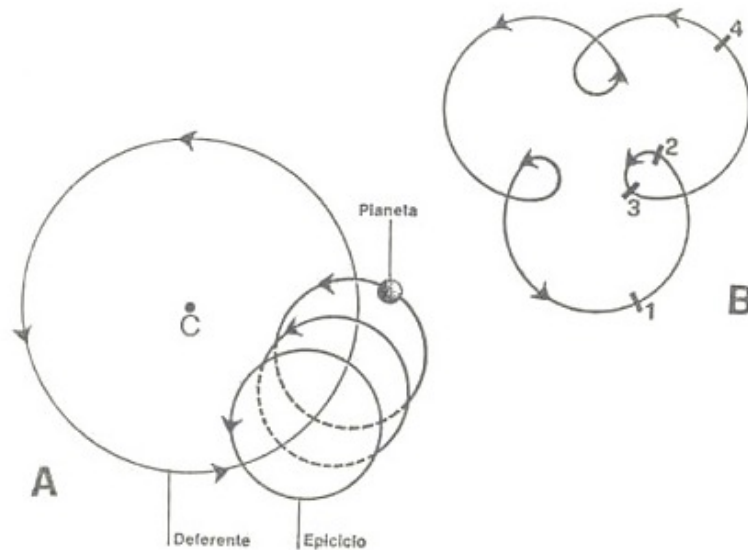


Fig. 3. La teoria degli *epicicli* afferma che i pianeti non ruotano intorno al centro dell'orbita, ma ruotano, a loro volta, intorno all'orbita o *deferente*, cioè intorno ad un centro trasportato esso stesso da un moto di rivoluzione intorno al centro dell'orbita. Epicyclo è quindi il cerchio descritto dal pianeta intorno ad un centro mobile dotato di moto circolare. I pianeti partecipano dunque sia al moto dell'epicyclo sia a quello del deferente: in tal modo si rende ragione e del fatto che a volte il loro moto sembra arrestarsi e del loro moto di retrocessione (quando il pianeta sembra « viaggiare indietro » nel cielo). A è lo schema deferente-epicyclo. B mostra il movimento che la combinazione del moto del deferente e di quello dell'epicyclo generano sul piano dell'eclittica.

Ferma restando l'ipotesi della **Terra immobile al centro dell'universo** e della rotazione intorno a essa della sfera delle stelle fisse, il moto di ciascun pianeta veniva spiegato ricorrendo al **moto uniforme del pianeta lungo la circonferenza di un cerchio (l'epicyclo) il cui centro ruotava, a sua volta uniformemente, lungo la circonferenza di un cerchio (il deferente) eccentrico rispetto al centro dell'universo (la Terra).**

**Matematicamente questo è equivalente** a un deferente concentrico sul quale ruotava un epicyclo, sul quale a sua volta ruotava un altro epicyclo portante il pianeta.



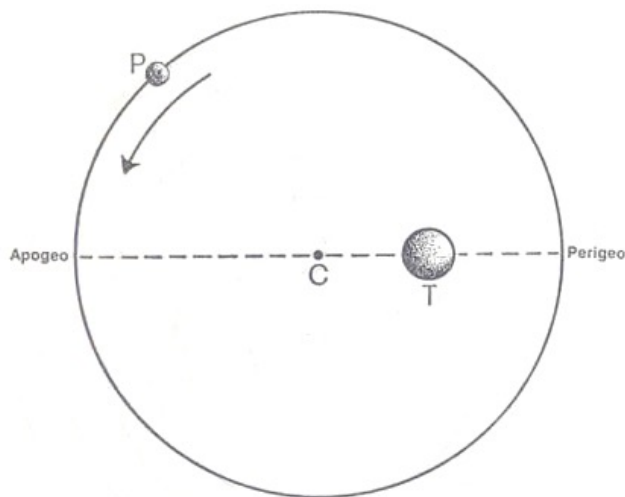
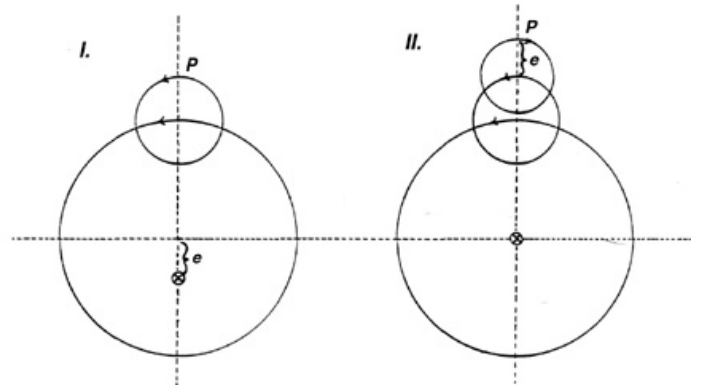


Fig. 2. Eccentrico: la Terra non è esattamente al centro della circonferenza C, ma a qualche distanza da esso, in T. Se il punto F corrisponde ad un pianeta (o al Sole), esso, visto dalla Terra in T, non apparirà muoversi uniformemente in rapporto alle stelle che sono supposte fisse, anche se il suo movimento lungo la circonferenza è uniforme. In tale sistema *eccentrico*, vi sarà un punto in cui il Sole, o un determinato pianeta, sarà a un certo momento a una distanza minima dalla Terra (*perigeo*) e a una distanza massima (*apogeo*). Dobbiamo pertanto attenderci delle variazioni nella luminosità dei pianeti, come è confermato dall'osservazione (da B. Cohen, *The birth of a new physics*, New York 1960, pp. 36-37).



## Equanti

La varietà dei moti era quindi rappresentabile introducendo un opportuno numero di epicicli.

Si faceva talvolta ricorso a un altro tipo di cerchi (gli equanti), che non potevano in alcun modo essere interpretati in senso fisico, ma che servivano come ipotesi ad hoc per salvare il paradigma dell'uniformità dei moti celesti, e spiegare anche la distanza variabile dei pianeti dalla Terra.

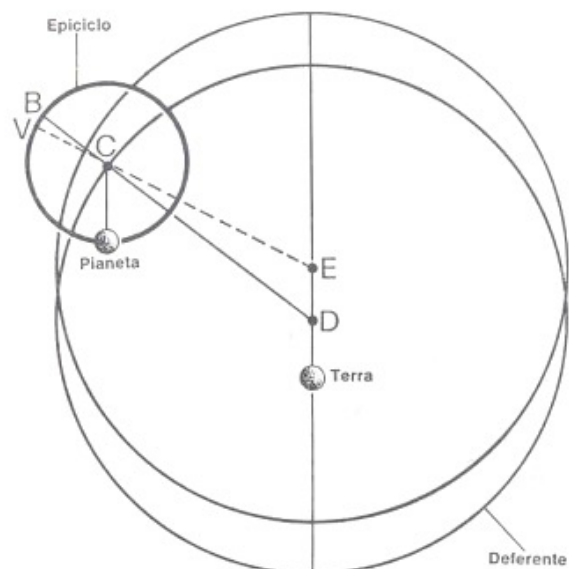


Fig. 4. L'equante: uno degli accorgimenti impiegati nel modello planetario tolemaico (che modificava la cosiddetta regola platonica del moto uniforme) era il punto equante con il suo circolo equante. Il centro dell'epiciclo C non si muove uniformemente sul deferente (non si muove cioè uniformemente rispetto al centro D del deferente). Si suppone invece che il centro C dell'epiciclo (sul quale si muove il pianeta P) si muova uniformemente rispetto ad un altro punto E (punto equante) situato sulla linea degli absidi (ipogeo e perigeo) dalla parte opposta della terra rispetto al centro D. Esprimendosi in termini diversi: non è la retta DB che percorre angoli eguali in tempi eguali, ma la retta EV. E è in tal modo il *punctum aequans* che egualizza e rende uniformi i movimenti, ed ogni circolo tracciato con E come centro è un circolo equante. Nel caso di Mercurio, il modello era ulteriormente complicato mediante l'introduzione di un punto equante mobile (da M. Clagett, *Greek Science in Antiquity*, Collier Books, New York 1963, p. 123).

Questa ricchezza e versatilità del sistema di calcolo dell'astronomia tolemaica giustifica **la sua tenuta e il suo successo per più di mille anni**.

**Molte variazioni furono introdotte** nei dettagli della trattazione tolemaica per cercare di interpretare in modo matematicamente corretto nuovi particolari dei fenomeni (entro i limiti di osservazioni a occhio nudo).

A rimanere inalterata è l'impalcatura complessiva ispirata a **motivazioni tecnico-predittive e non cosmologiche**.

Ma **accanto all'astronomia matematica** si era sviluppata, fin dai tempi delle teorie delle sfere omocentriche, **un'astronomia fisica (o cosmologia)**.

**Aristotele** aveva infatti accettato e incorporato la teoria di Eudosso e Callippo nella sua filosofia della natura.

Ne aveva accettato i meriti tecnici, ma su questi aveva innestato un intento ben diverso: **mirando alla conoscenza della struttura reale dell'universo** cercava una **spiegazione dinamica** e non solo cinematica dei moti celesti.

Inoltre Aristotele voleva un universo e non il pluriverso delle sfere omocentriche. L'obiettivo non era tanto di ricavare una spiegazione dei moti dei singoli pianeti presi separatamente, ma di **fornire un modello del meccanismo fisico del mondo** nel suo complesso.

Per questo:

- aumenta il numero di sfere;
- **trasforma le sfere geometriche in sfere cristalline**, materialmente operanti come parti di un meccanismo.

Il risultato ottenuto da Aristotele è quello di **disegnare un notevole e complesso sistema cosmologico**: senza nulla aggiungere (anzi sottraendo qualcosa) al potere predittivo dell'astronomia, egli offriva un quadro particolareggiato e comprensivo dell'universo.

Tutto questo aveva però come **controaltare l'affermarsi della convinzione di inadeguatezza dello strumento matematico** a dare risposte a questioni fisico-cosmologiche: l'accuratezza delle previsioni passava in secondo piano rispetto alla necessità di soddisfare l'istanza cosmologica (ancorché in modo qualitativo).

Proprio questa diversa opinione del ruolo della matematica rispetto alla fisica, teorizzata da Aristotele e da lui applicata alla cosmologia, **costituisce una delle ragioni per le quali la fisica antica e medievale si attestò su posizioni a-matematiche** (quando non apertamente anti-matematiche).



Anche dopo il tramonto delle tecniche astronomiche delle sfere omocentriche, **i principi della fisica aristotelica continuano a essere di riferimento per la cosmologia.**

**Li si ritrova nelle parti dell'Almagesto** che non riguardano la matematica degli eccentrici, degli epicicli e degli equanti (per esempio là dove si parla della **circolarità e uniformità dei moti celesti** e dell'**immobilità della Terra**).

Cinematica e dinamica rimangono però in tal modo **campi separati.**

L'**astronomia matematica** si limita (con i tolemaici) alla costruzione di spiegazioni cinematiche senza preoccuparsi della loro realizzazione, l'**astronomia fisica** (o cosmologia) deve cercare di ricavare spiegazioni dinamiche dei fenomeni celesti a partire dall'essenza, dalle qualità e dalle potenze dei corpi celesti.

È **sulla base di questa separazione tra astronomo matematico** (scelta di modelli miranti alla spiegazione delle regolarità osservate) e **astronomo fisico** (alla ricerca di raffigurazioni vere/reali) che sorge la contrapposizione tra **strumentalisti** e **realisti** nel campo della metodologia scientifica.

Le sfere di Aristotele erano **enti reali**, gli eccentrici, gli epicicli e gli equanti di Tolomeo sono **astrazioni o pure ipotesi** ("*immaginiamoci un cerchio.*" è l'incipit delle sue esposizioni sui moti planetari).

Ma la **complicata immagine dell'universo**, rimasta ben salda nella sua sostanza fino a Copernico, **non è riducibile solo all'una o all'altra di queste dottrine**: essa derivava da una mescolanza di fisica aristotelica e astronomia tolemaica, entrambe inserite in una cosmologia che attingeva al **misticismo** e alle **correnti neoplatoniche**, all'**astrologia** e al **magismo**, fino alla **teologia** dei Padri della Chiesa e dei **filosofi** della scolastica.

E l'universo di **Tommaso d'Aquino** (1225-1274) o quello descritto da **Dante** (1265-1321) nella Divina Commedia, dove le sfere celesti corrispondono a potenze angeliche, ben esemplificano questo complesso quadro dell'universo.

## Cronologia: personaggi della rivoluzione astronomica

- **Niklas Koppernigk o Nikolaus Kepperlingk (1473-1543)**, latinizzato in Copernicus.
- **Tyge Brahe (1546-1601)**, latinizzato in Tycho .
- **Johannes Kepler (1571-1630)**.
- **Galileo Galilei (1564-1642)**.



## Copernico (1473-1543)

Copernico resta il simbolo di una delle fondamentali “rivoluzioni” del pensiero occidentale, qualunque sia la connessione tra la sua persona e la sua opera, e la reale portata di quest’ultima.

E non si tratta solo dell’astronomia e della fisica, anche se è certo che “finché la Terra stette ferma anche l’astronomia e la fisica stettero ferme”.

Bisogna però evitare di giudicare Copernico alla luce della rivoluzione copernicana: nella letteratura in materia affiorano spesso entusiasmi e unilateralità proprio a causa di questi presupposti interpretativi.



1473 - Nasce a **Torun** sulla Vistola (dal 1466 sotto la sovranità del re Polacco).

1483 - Alla morte del padre viene **adottato dallo zio** materno (dal 1489 vescovo di Warmia), che lo avvia alla **carriera ecclesiastica**.

1491 - Si iscrive alla **Facoltà delle arti dell'Università di Cracovia** dove segue corsi sugli Elementi di Euclide, l’astronomia e l’astrologia.

1496 - **Parte per l'Italia**: lo zio vorrebbe che si addottorasse in diritto a **Bologna**. Copernico continua però i suoi studi scientifici con **Domenico Maria Novara**. Insieme a Novara, Copernico **frequenta a Bologna i matematici Scipion dal Ferro e Luca Pacioli**. Qui acquista e studia l’*Epitome in Almagestum* curata da Peurbach e da Regiomontano (Venezia 1496).

1497 - Grazie allo zio viene **nominato canonico del capitolo di Warmia**. Non è certo se Copernico abbia preso gli ordini sacri, ma **sicuramente aveva ricevuto gli ordini minori**.

1500 - È a **Roma in occasione del giubileo**, dove continua le sue ricerche astronomiche.

1501 - **Rientra in patria** ma nello stesso anno ottiene un permesso per tornare in Italia (tra il 1501 e il 1503): a **Padova** dove **prosegue i suoi studi** in legge e in medicina, e a **Ferrara** dove consegue il dottorato di diritto canonico.

1504 - **Torna definitivamente in Polonia**, inizialmente come segretario e medico dello zio, che muore nel 1512, e in seguito come funzionario politico e amministrativo, senza per questo tralasciare le sue ricerche e i suoi studi.

Si suppone che tra il 1507 e il 1512 Copernico scriva il *De hypothesibus motuum coelestium commentariolus* che contiene le sette *petitiones* che dovevano inaugurare una prima versione della nuova astronomia. **Questo testo circolò come manoscritto** (sembra che una copia arrivò anche a Lutero), ma poi se ne perse traccia fino al 1877.

Partendo da una **critica al sistema tolemaico**, centrata in particolare sull'espedito in esso presente degli **equanti** (“una spiegazione che non appare né sufficientemente compiuta né sufficientemente conforme ad un criterio razionale”), Copernico si serve **nel *Commentariolus* di un modello concentrobiepiciclico**, a differenza di quanto farà nel *De Revolutionibus* (1543) **nel quale compare un modello eccentrepiciclico**. In entrambi il sistema è eliostatico e non eliocentrico.

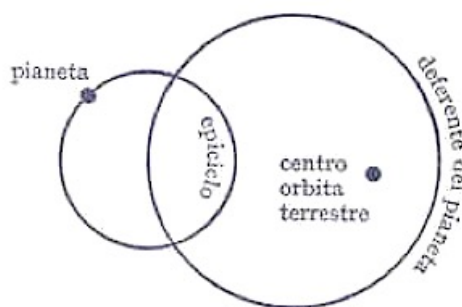


Fig. 1. Schema della teoria planetaria (pian. superiori) nel *De Revolutionibus*.

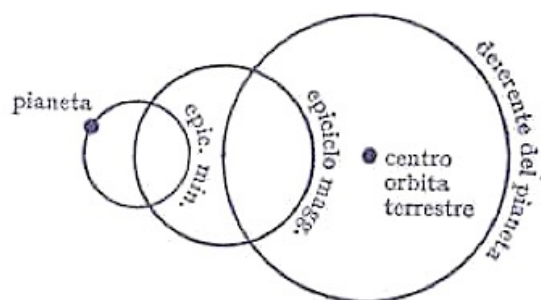


Fig. 2. Schema della teoria planetaria nel *Commentariolus*.





Fig. 1. Il sistema del mondo di Copernico. I. Sfera immobile delle stelle fisse. II. Saturno compie una rotazione in 30 anni. III. Rivoluzione di Giove di 12 anni. IV. Biennale rivoluzione di Marte. V. Rivoluzione annuale della Terra con l'orbe lunare. VI. Venere in nove mesi. VII. Di Mercurio in ottanta giorni. Sole. Lo stesso concetto è espresso usando ogni volta espressioni diverse.

**1523-1532** - Sono questi, probabilmente, gli anni in cui Copernico lavora alla stesura del *De revolutionibus*. **La pubblicazione del testo avvenne solo nella primavera del 1543**. Secondo la tradizione, il primo esemplare giunse a Copernico il 24 maggio del 1543, lo stesso giorno in cui morì.

**La consapevolezza della rivoluzione attuata, nell'ambito di una concezione non strumentalistica ma realistica della ricerca astronomica**, può indicare una delle ragioni del riserbo di Copernico sul *Commentariolus*, e spiegare la lenta elaborazione del *De revolutionibus* e la sua pubblicazione molto tempo dopo la definitiva stesura: **era necessario proseguire l'esame dei vari particolari e portare avanti un programma di osservazioni mirate**.

**Nel maggio 1539**, Georg Joachim von Lauchen (latinizzato in **Rheticus**; 1514-74), giovane professore dell'Università di Wittenberg fa visita a Copernico.

A Retico si deve il primo “riassunto” del *De revolutionibus*, che con il titolo di *Narratio prima* viene pubblicato a Danzica nel 1540 (anonimo) e nel 1541 (firmato) a Basilea, e sempre alle insistenze di Retico si deve la definitiva decisione di Copernico di pubblicare la sua opera.

Copernico e Retico condividono l'idea che il nuovo sistema sia una rappresentazione realistica dell'Universo. Nella lettera di dedica al Papa Paolo III, Copernico sosteneva che il compito dell'astronomo è quello di cercare una rappresentazione vera dell'Universo.

La cura dell'edizione dell'opera viene però affidata al teologo luterano Andrea Osiander che, nonostante le indicazioni di Copernico, scrive un'introduzione alla prima edizione nella quale l'eliocentrismo viene presentato come pura ipotesi per semplificare i calcoli, priva di realtà fisica. Contro Osiander si scagliarono, in particolare, Giordano Bruno e Keplero.

Molti degli elementi della “rivoluzione astronomica” sono assenti in Copernico (per esempio non elimina eccentrici ed epicicli, o la possibile realtà delle sfere solide). Tuttavia la sua opera avvia una rivoluzione: il suo testo verrà letto, anche se in modo approssimativo o parziale, da un numero crescente di specialisti e non, mutando radicate immagini, e aprendo enormi e nuovi problemi e orizzonti.

- Che cosa è la gravità? [Keplero, Galileo, Borelli, Hooke, Newton]
- Perché e come mai i corpi pesanti cadono sulla Terra in linea retta mentre questa è in movimento? [Galileo, Newton]
- Che cosa muove i pianeti sulle loro orbite? Che cosa li trattiene su di esse? [Keplero, Galileo, Borelli, Hooke, Newton]
- Quanto è esteso l'universo? [Keplero, Galileo, Newton]

Toccare un punto problematico di un sistema (come la posizione della Terra) può avere conseguenze di enorme portata in campi anche apparentemente lontani.



Alexandre Koyré ha così classificato le interpretazioni seguite alla proposta Copernicana:

(1) alcuni hanno sottolineato una pretesa **conversione dello spirito umano dalla *theoria* alla *praxis***, dalla *scientia contemplativa* alla *scientia activa et operativa*, che trasformò l'uomo da spettatore in padrone e dominatore della natura;

(2) altri hanno insistito sulla **sostituzione dello schema teleologico ed organicistico di pensiero ed esplicazione con il modello meccanicista e causale**, che portò a quella “meccanizzazione della visione del mondo” che, fondata da Descartes, è dominante nel XVII e XVIII secolo e ancora presente, anche se in forme nuove, nel XIX secolo;

(3) altri ancora hanno semplicemente descritto **la disperazione e la confusione introdotte dalla “nuova filosofia”** in un mondo in cui era sparita ogni coerenza e in cui i cieli non annunciavano più la gloria di Dio;

(4) infine c'è chi riduce questi mutamenti a **due fondamentali azioni strettamente connesse**:

(a) **la distruzione del cosmo**, come sostituzione della concezione del mondo come un tutto finito e ben determinato, la cui struttura spaziale incorporava una gerarchia di perfezione e valore, con quella di un universo indefinito, o anche infinito, **non più unito da una subordinazione naturale**, ma unificato soltanto dalla identità delle sue leggi e delle sue componenti ultime e fondamentali;

(b) **la geometrizzazione dello spazio**, come sostituzione della concezione aristotelica dello spazio (insieme differenziato di luoghi naturali) con quella della geometria euclidea, mera estensione infinita e omogenea, da quel momento considerata identica allo spazio reale del mondo.