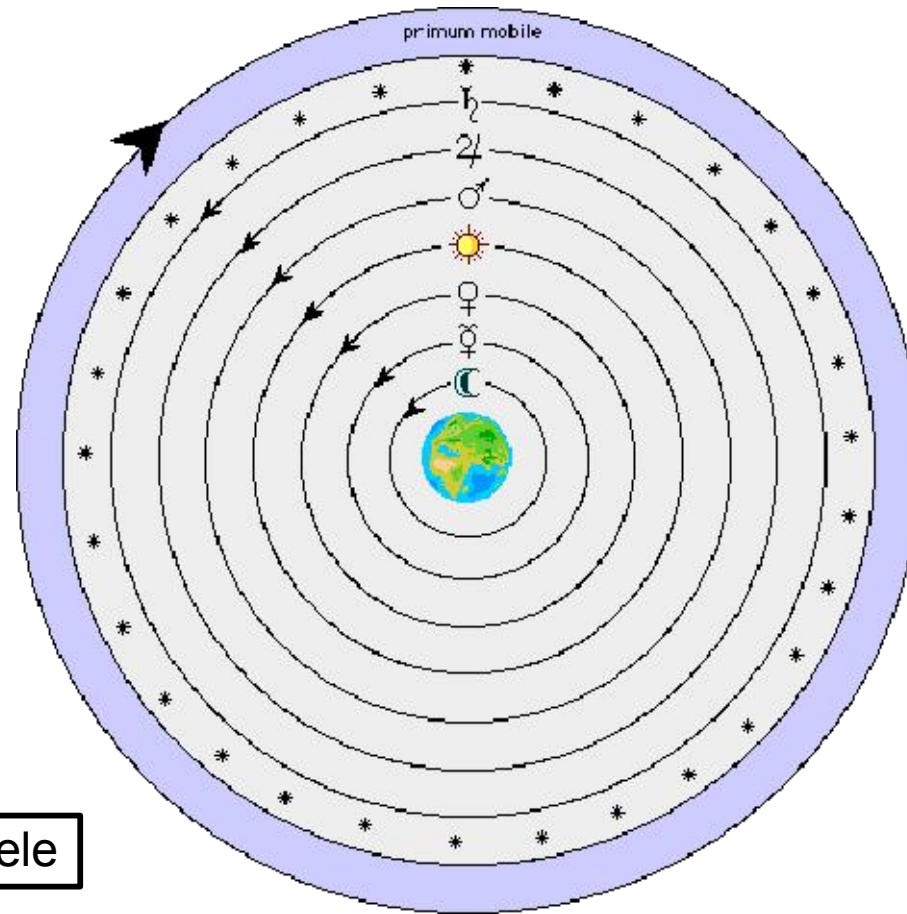


La misura del mondo

3 - “Oltre la Terra”



Il mondo di Aristotele

Bruno Marano
La Misura del Mondo 3

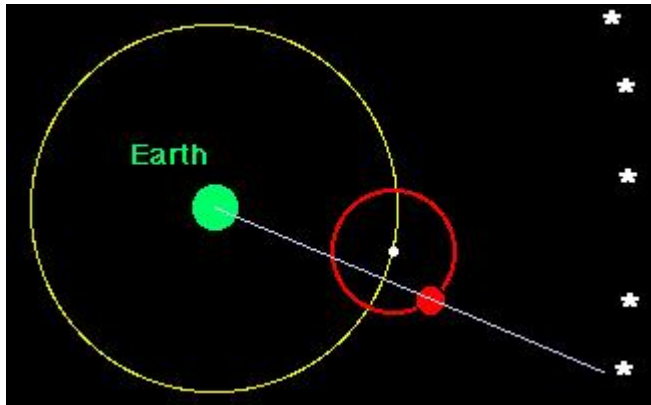
Bruno Marano
Dipartimento di Astronomia
Università di Bologna

Il modello tolemaico

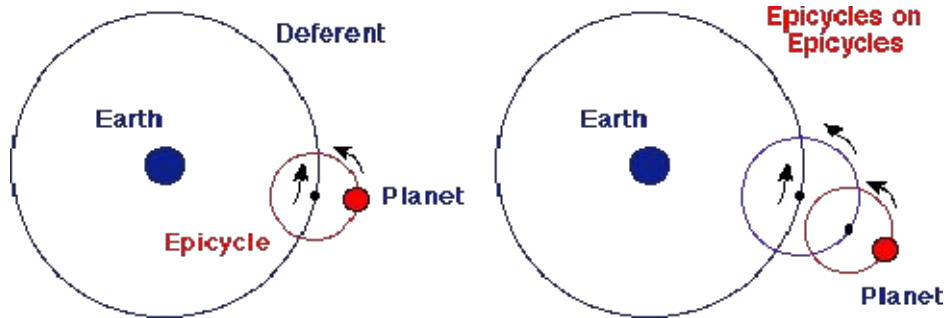
- Lo schema geocentrico elementare rappresentato nella figura precedente non spiega i dettagli dei moti, come il moto retrogrado (a fianco, il moto di Marte all'opposizione), e non consente di calcolare le posizioni dei pianeti.
- Il sistema Tolemaico condensava secoli di osservazioni in una struttura geocentrica molto complessa, frutto di una lunga evoluzione. Esso descriveva ogni orbita con un sistema di moti circolari sovrapposti e ricorreva a diversi accorgimenti (eccentrici, equanti) per modellare le irregolarità dei moti.
- L'ipotesi eliocentrica di Aristarco (III sec a.C.) fu tacciata di empietà e non ebbe sviluppo compiuto nella scienza greca.



Deferenti, epicicli, eccentrici ed equanti nel sistema tolemaico

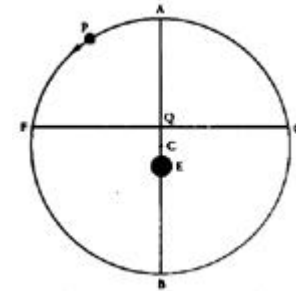


Animazione da McConnell:
<http://faculty.fullerton.edu/cmconnell/Planets.html>



Deferenti e epicicli descrivono il moto retrogrado

Eccentrici ed equanti modellano le irregolarità del moto



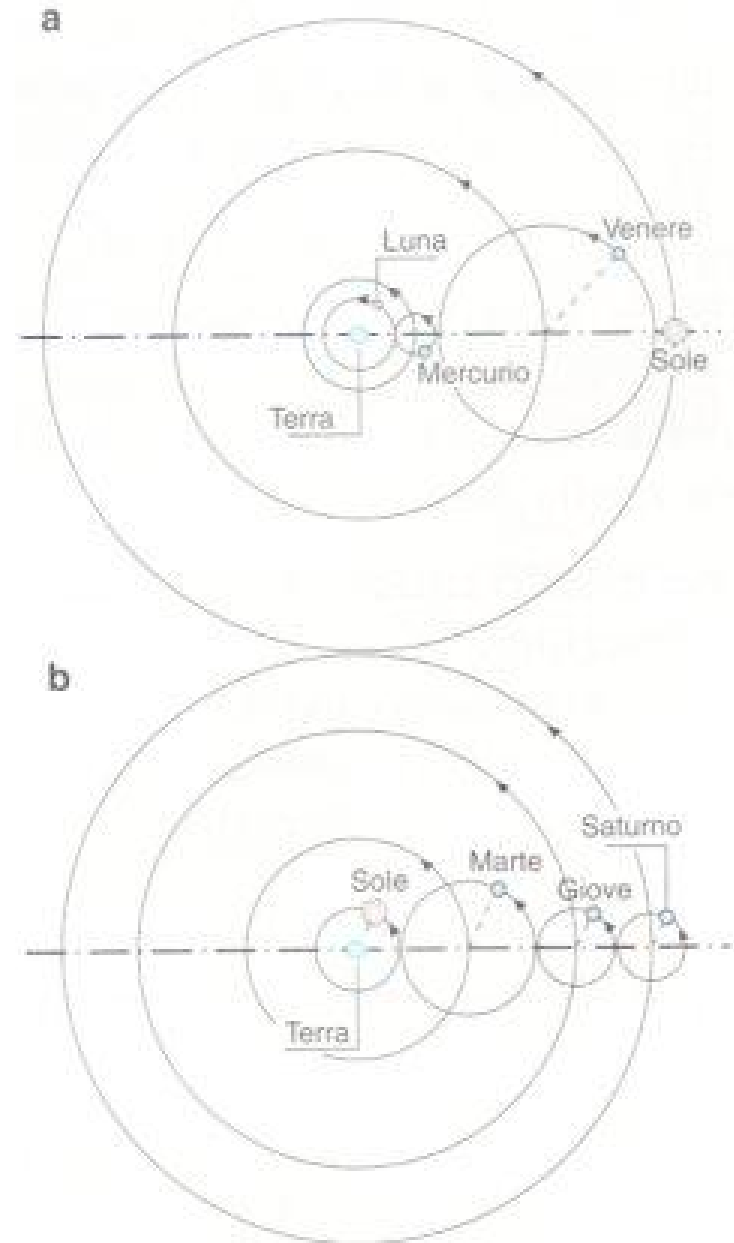
Un esempio di irregolarità del moto è il diverso intervallo di tempo che separa i due equinozi: inverno 179 giorni (23.9-21.3); estate 186 giorni (21.3-23-9). Volendo modellare queste “irregolarità” con soli moti circolari uniformi, fu escogitato l’espedito di separare il centro dell’orbita circolare dal punto di osservazione (la Terra). Matematicamente il metodo era efficace.

Le fasi dei moti nel modello tolemaico

Il sistema Tolemaico pone la terra al centro, ma i moti risultano “regolati” dal Sole:

- il moto sul deferente di Mercurio e Venere era “connesso” al Sole
- I moto sull’epiciclo per Marte , Giove e Saturno era in fase col moto del Sole sul suo deferente.

La terra sta immobile al centro, ma è il Sole il “regista” dei moti.



Copernico :

De Revolutionibus Orbium Caelestium (1543)

Col perfezionarsi delle osservazioni, in epoca araba, il modello Tolemaico si differenziò in una dozzina di modelli diversi, ciascuno costituito da un complesso di più di 40 “sfere”. Erano modelli matematici, che risolvevano le irregolarità dei moti con un sistema di “ipotesi ad hoc”. Il “modello” tolemaico non poteva essere “reale”, era solo uno strumento di calcolo delle posizioni. Il cumularsi di secoli di osservazioni mostrava la difficoltà di spiegare i fatti se non a prezzo di un castello artificioso di moti. Già l’astronomo arabo Averroè (..) affermava che “eccentrici ed epicicli sono impossibili ... noi abbiamo qualcosa che fa tornare i conti ma che non ha senso”.

Copernico si propone di esplorare un nuovo concetto con lo scopo di ottenere un metodo sicuro e univoco di calcolo delle posizioni. La sua posizione iniziale è “matematica”, non filosofica.

Sebbene pochi aspetti del pensiero occidentale siano rimasti immuni dalle conseguenze dell’opera di Copernico, il De Revolutionibus era in se stessa un’opera strettamente tecnica e professionale. Era l’astronomia planetaria, non la cosmologia o la filosofia, che Copernico trovava mostruosa e fu la riforma dell’astronomia matematica che, sola, lo spinse a far muovere la Terra.

(segue)

Copernico : De Revolutionibus Orbium Caelestium (1543)

In Copernico l'ipotesi del moto della Terra nasce come risultato collaterale del tentativo di un astronomo preparato ("matematico") di riformare le tecniche usate nel calcolo della posizione dei pianeti..

"Avendo meditato a lungo su questa incertezza della tradizione matematica nel determinare i moti del mondo delle sfere, cominciai a turbarmi il fatto che i filosofi non potessero fissarsi su nessuna teoria sicura del moto del meccanismo di un universo " ...creato da Dio che è .. "ordine supremo, sebbene facessero osservazioni così accurate ...sui minimi dettagli di quell'universo . Per questo mi sono assunto il compito di cercare se qualcuno avesse mai pensato che le sfere potessero muoversi secondo moti diversi da quelli che propongono gli insegnanti di matematica nelle scuole".

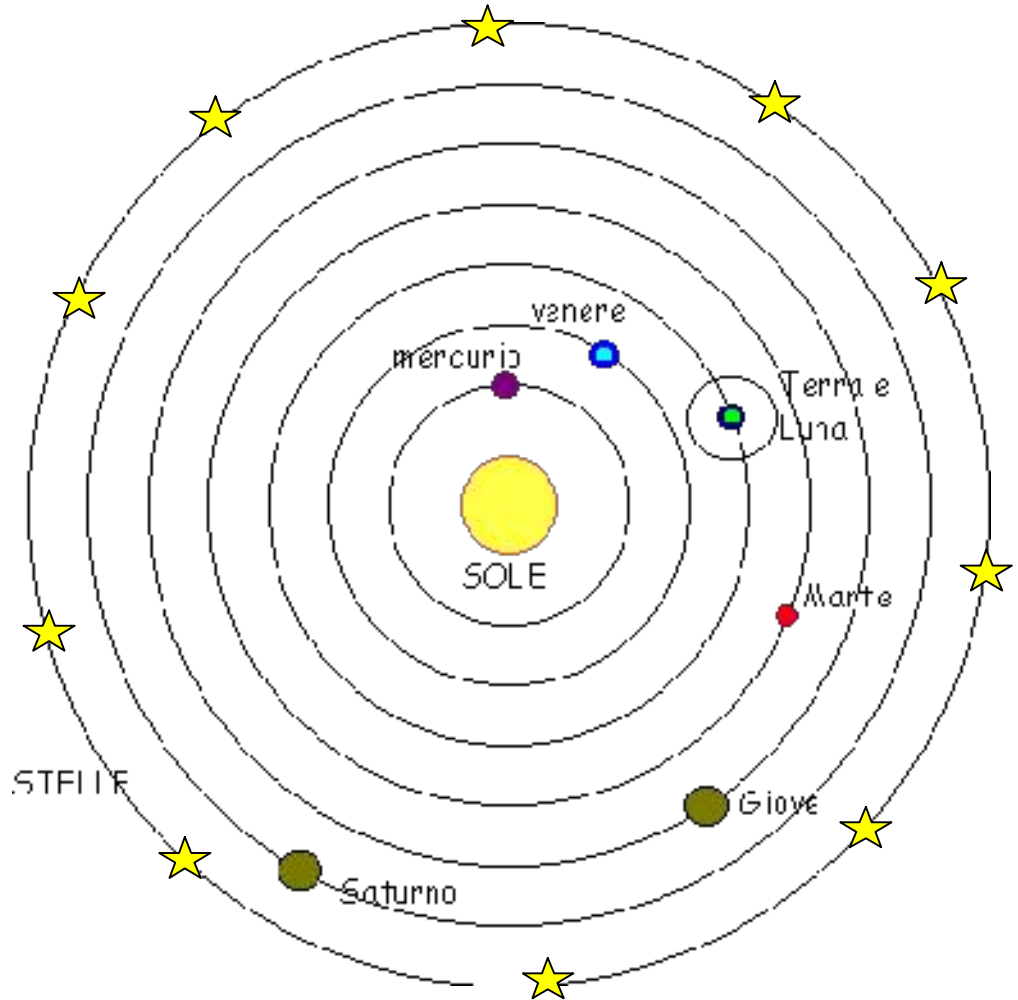
Citati filosofi greci (Aristarco, Iceta, Filolao, Eraclito), che avevano ipotizzato il moto e la rotazione della Terra, prosegue: *"...pensai che anche a me sarebbe stato concesso di ricercare se, assunto per ipotesi un certo moto della terra, fosse possibile trovare dimostrazioni della rivoluzione delle sfere celesti più sicure delle loro".*

Adattato da Kuhn, La rivoluzione Copernicana (Einaudi)

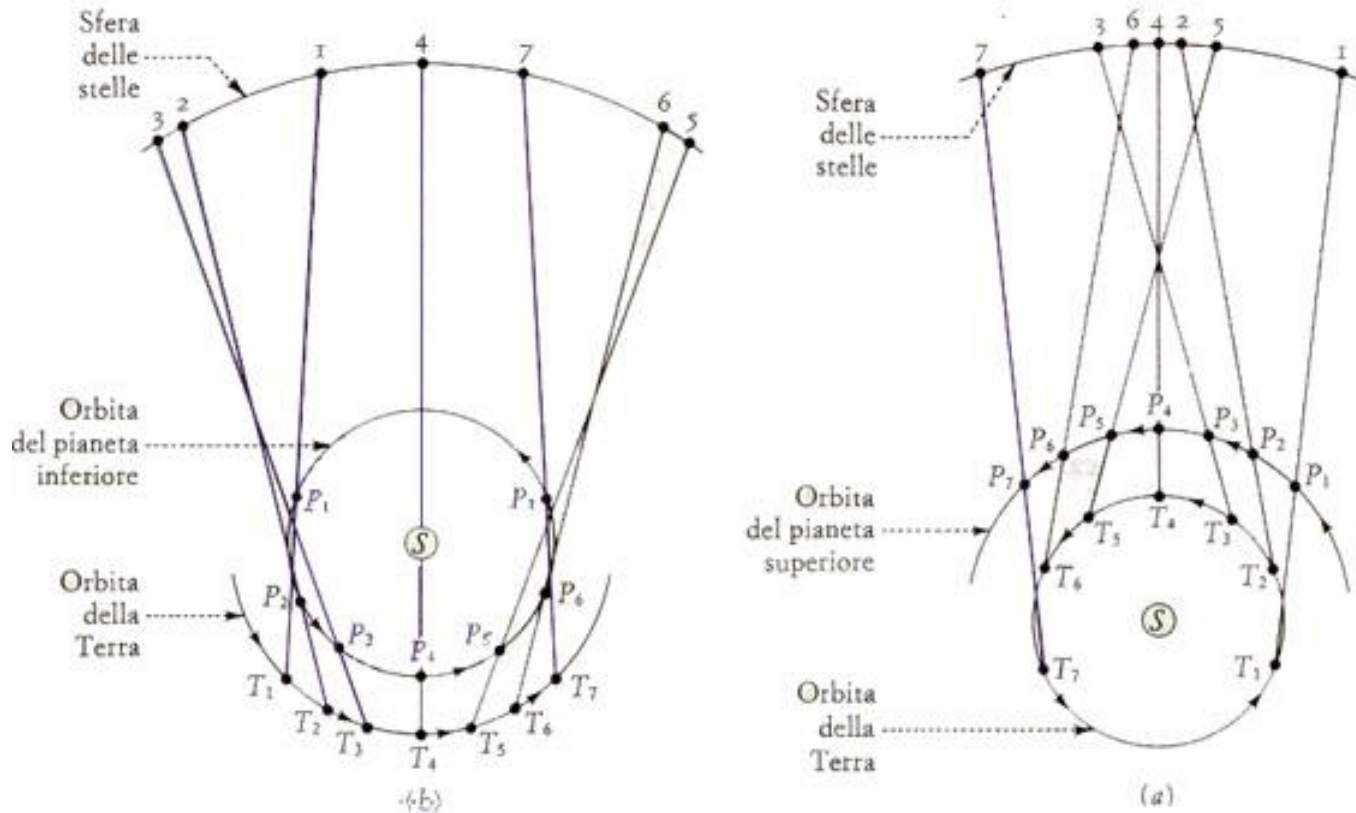
Il sistema copernicano

Due moti:

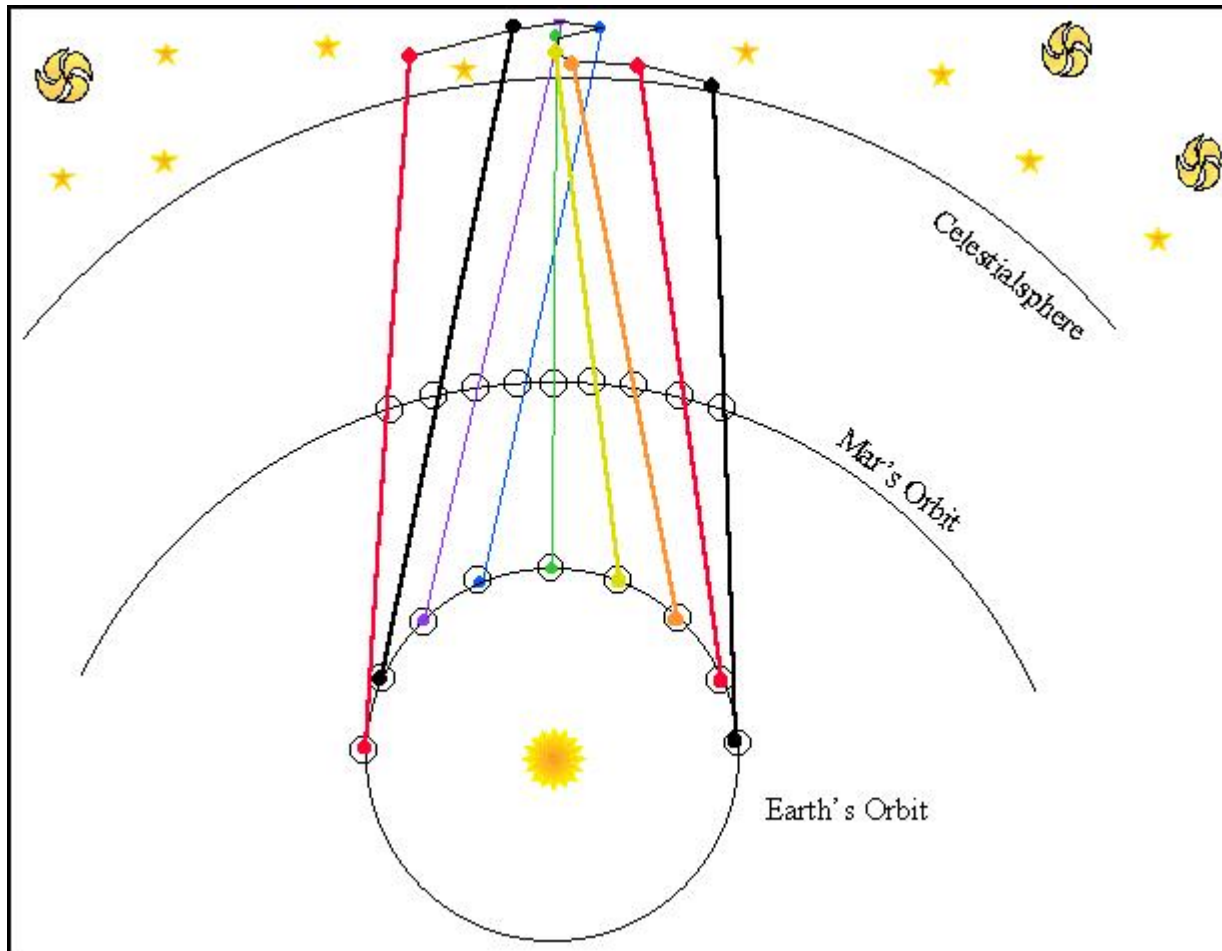
1. La terra intorno a se stessa in un giorno
2. La terra (come gli altri pianeti) intorno al Sole



Spiegazione del moto retrogrado nel modello copernicano



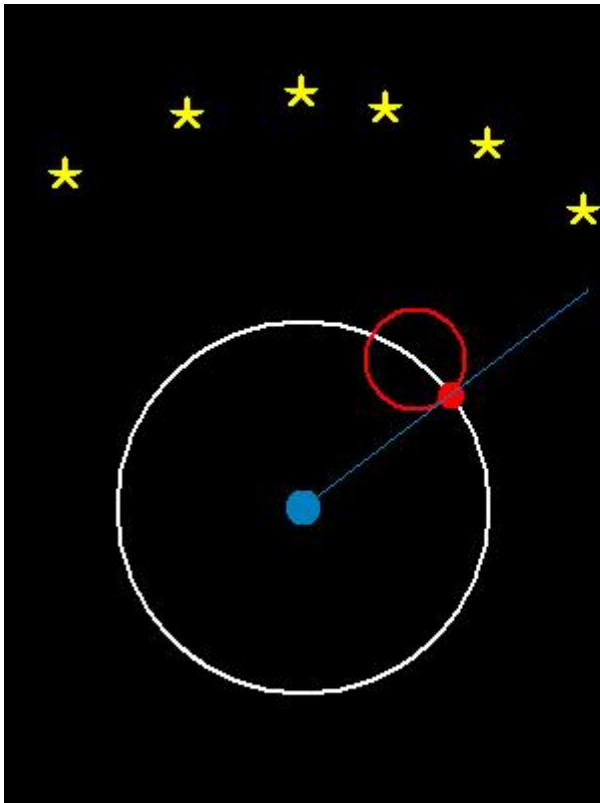
da Kuhn, La rivoluzione Copernicana (Einaudi)



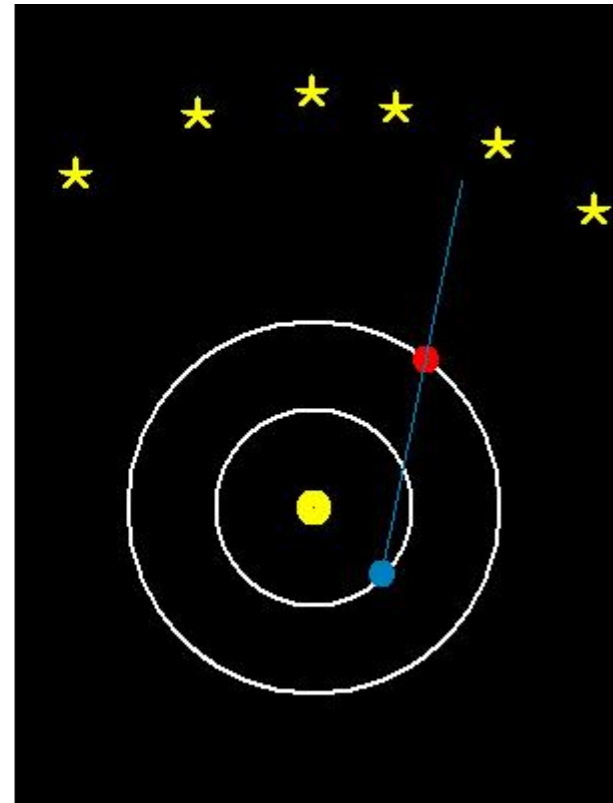
Bruno Marano
La Misura del Mondo 3

Moti retrogradi

Modello Geocentrico



Modello Eliocentrico



Entrambi i modelli riescono a descrivere la cinematica del moto retrogrado, ma il modello eliocentrico spiega in modo semplice e automatico il fatto che l'inversione si manifesta quando il pianeta è opposto al Sole

Animazioni da McConnell: <http://faculty.fullerton.edu/cmconnell/Planets.html>

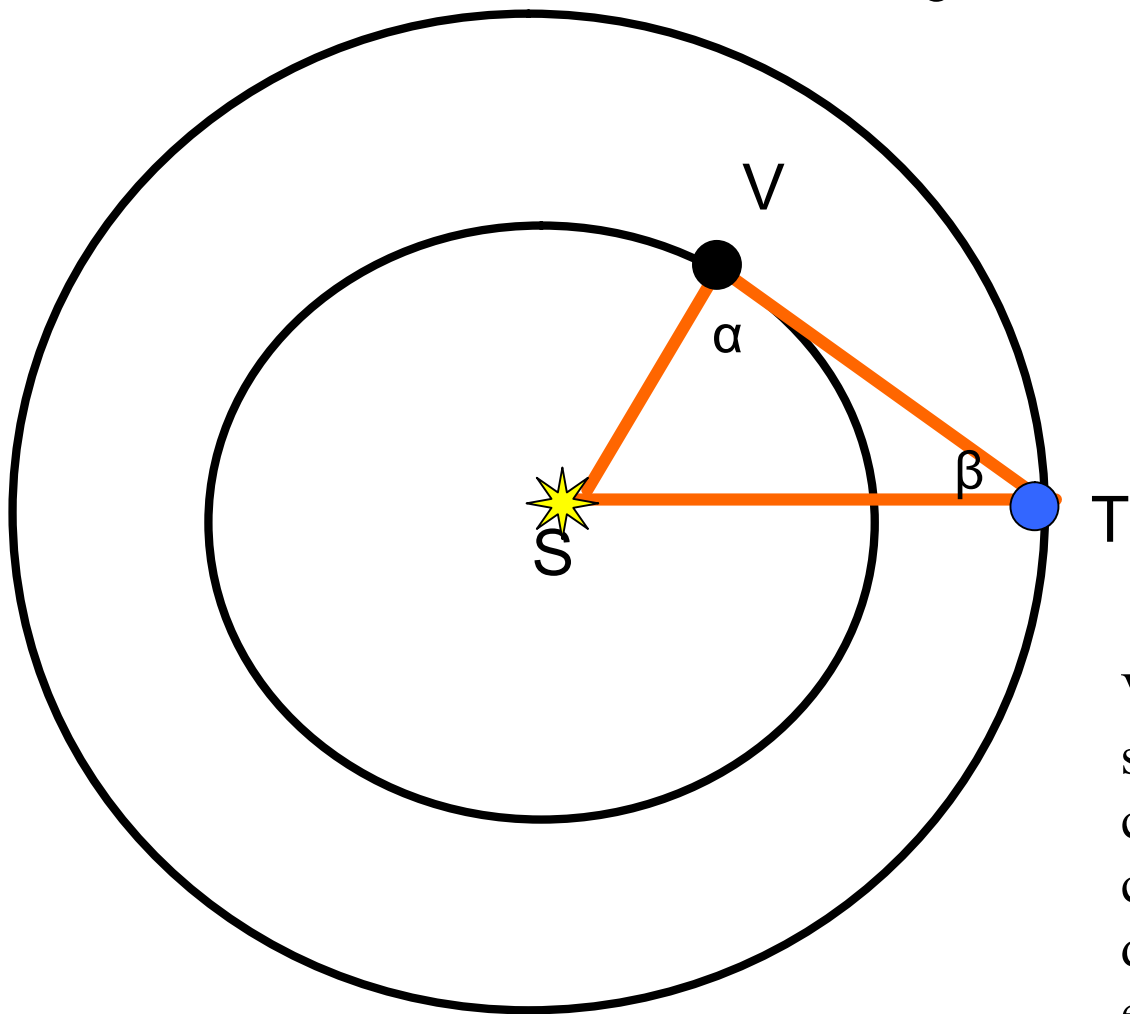
Il modello Copernicano ...

- ..spiegava i moti in uno schema semplice e generale, ma con meno precisione dei modelli Tolemaici, che avevano accumulato, in secoli, un gran numero di elementi correttivi “ad hoc”
- ..aveva ugualmente necessità di orbite eccentriche, per spiegare con orbite circolari le irregolarità dei moti (p.e. del moto della terra, mostrato dal diverso intervallo tra i due equinozi: inverno 179 d; estate 186 d)
- ..consentiva, sulla base di osservazioni semplici, di stabilire le proporzioni tra le distanze all'interno del Sistema Solare (*prossimi due diagrammi*)

Su tutti questi punti interverrà in modo conclusivo Keplero.

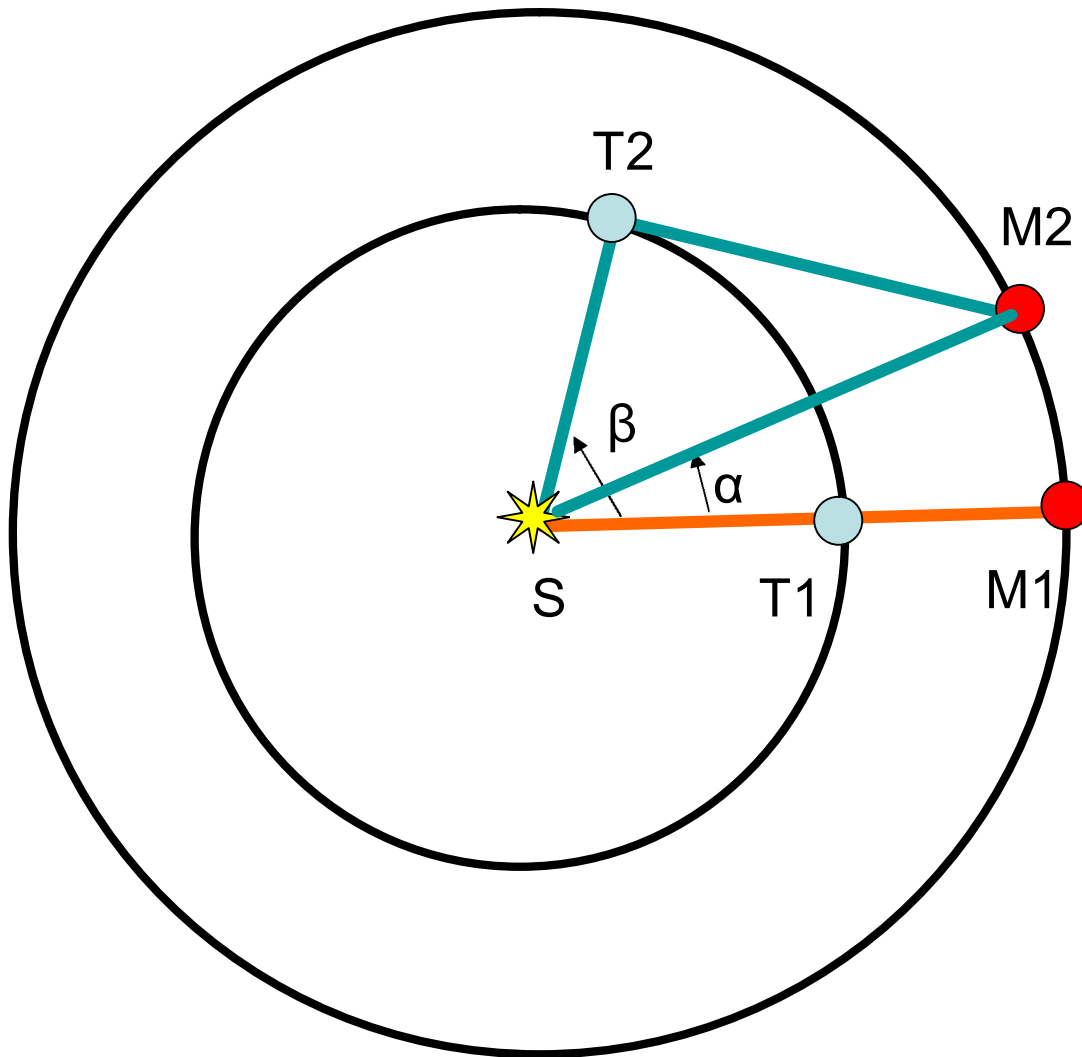
Pianeti interni

Alla massima elongazione $\alpha = 90^\circ$.
Da T si misura β (angolo VTS).
Dalla trigonometria $VT/ST = \text{tang } \beta$.



V = Venere e T = Terra
si trovano nella
configurazione che
corrisponde alla massima
distanza angolare tra Sole
e Venere

Pianeti esterni: osservazione di Opposizione (1) e Quadratura (2)



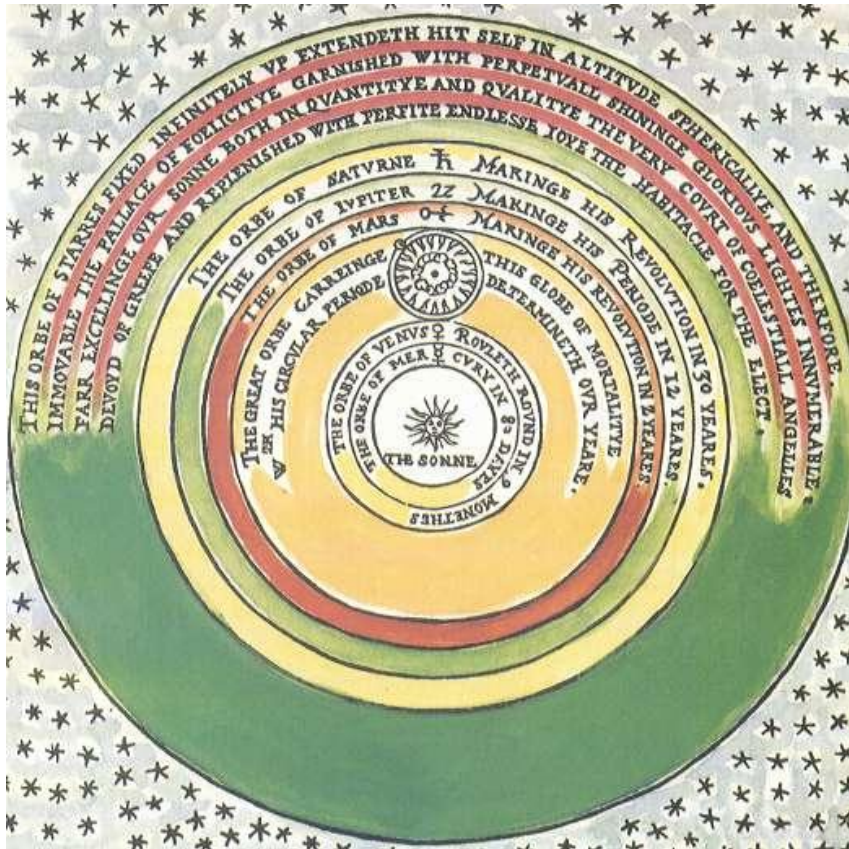
Consideriamo p.e. Marte:

L'intervallo di giorni t tra **opposizione** e **quadratura** determina α (M2-S-M1) e β (T2-S-T1) :

- $\alpha/360 = t/ 687 \text{ gg}$
- $\beta /360 = t/365 \text{ gg}$
(anno di Marte =687 gg)

Del triangolo rettangolo di vertici M2,T2,S si misura l'angolo $\beta-\alpha$, per cui il rapporto tra ipotenusa **SM** e cateto **ST** è noto.

Il passo successivo: infiniti Mondi?



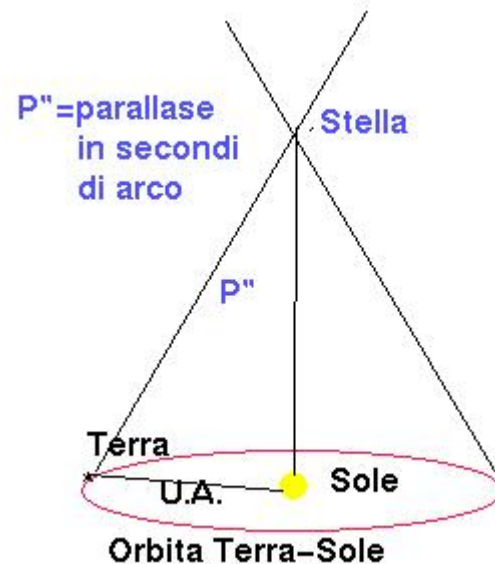
- “Questo orbe di stelle fisse si estende infinitamente e sfericamente in altezza ed è quindi immobile”(Digges, 1576)
- Giordano Bruno (1586): “De l’infinito Universo e mondi”: “son dunque soli innumerevoli e terre che circuiscono questi soli.... Noi vediamo i soli...ma non le terre, le quali , essendo corpi minori, sono invisibili”

La parallasse stellare

Come Copernico stesso notò, il moto della Terra doveva generare uno spostamento (**parallasse**) della posizione delle stelle fisse nel corso dell'anno.

Esso però non era osservato.

La spiegazione data da Copernico fu che le stelle fisse erano troppo lontane per consentire che la loro **parallasse** fosse osservata.



Tycho Brahe : non vediamo le parallassi, quindi ...

Tycho Brahe fu il rifondatore dell'Astronomia osservativa. La sua raccolta trentennale di osservazioni di Marte consentì a Keplero di formulare le sue tre "leggi".

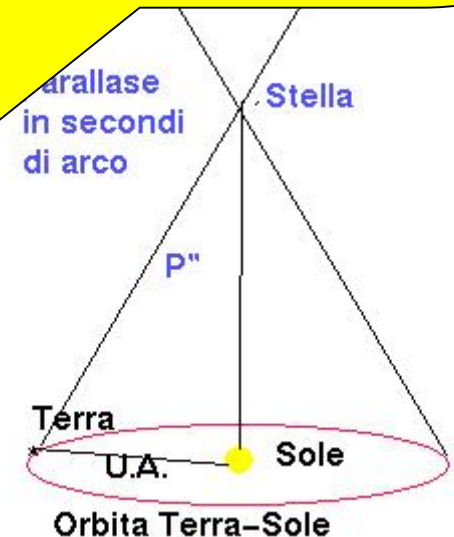
Rifiutò il sistema Copernicano, di cui pur capiva i vantaggi, per un motivo sperimentale.

Seguiamo lo schema del suo ragionamento:

- Il diametro apparente del Sole è 30'
- Il diametro apparente delle stelle è 1'
- Segue che le stelle sono 30 volte più distanti del Sole; di conseguenza devono avere una parallasse annua di circa 2° (1/30 di radiante), che non si osserva.
- Dunque la Terra non può essere mobile rispetto alle stelle fisse

A questo argomento si aggiungevano motivazioni religiose.

L'errore è qui : Il diametro apparente delle stelle osservato dall'occhio nudo non è "reale". (Galileo)



Galileo e la parallasse stellare (Dialogo sui Massimi Sistemi, III):

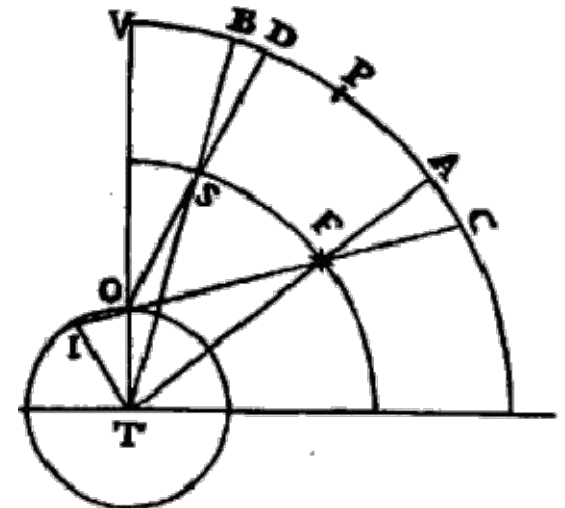
Il diametro angolare delle stelle è più piccolo di quanto non appaia all'occhio; le stelle sono molto più lontane

SIMP. ... quando l'orbe magno della Terra, nel quale il Copernico fa che ella scorra in un anno intorno al Sole, fusse come insensibile rispetto all'immensità della sfera stellata, secondo che l'istesso Copernico dice che bisogna porlo, converrebbe di necessità dire e confermare che le stelle fisse fussero per una distanza inimmaginabile lontane da noi, e che le minori di loro fussero più grandi che non è tutto l'istesso orbe magno, ed alcune altre maggiori assai di tutta la sfera di Saturno; moli veramente pur troppo vaste, ed incomprensibili ed incredibili.

SALV. Io già ho veduto una cosa simile portata da Ticone contro al Copernico, e non è ora che ho scoperta la fallacia E perché il diametro apparente d'una stella fissa della prima grandezza non è più di 5 secondi, cioè 300 terzi, ed il diametro di una fissa della sesta grandezza 50 terzi (e qui è il massimo errore de gli avversarii del Copernico), la distanza sua converrebbe esser 2160 volte maggiore di quella del Sole; che è quanto dire che la distanza delle fisse della sesta grandezza sia 2160 semidiametri dell'orbe magno

Una parentesi: provate a seguire questo calcolo di Galileo e realizzate i progressi fatti dal linguaggio matematico

Trovate queste due cose, prolunghisi la linea C O, e sopra essa caschi la perpendicolare T I, e consideriamo il triangolo T O I, del quale l'angolo I è retto, e l'I O T noto, per esser alla cima dell'angolo V O C, distanza della stella dal vertice; inoltre nel triangolo T I F, pur rettangolo, è noto l'angolo F, preso per la parallasse: notinsi dunque da parte li due angoli I O T, I F T, e di essi si prendano i sini, che sono come si vede notato. E perché nel triangolo I O T di quali parti il seno tutto T O è 100.000, di tali il seno T I è 92.276, e di più nel triangolo I F T di quali il seno tutto T F è 100.000, di tali il seno T I è 582, per ritrovar quante parti sia T F di quelle che T O è 100.000, diremo per la regola aurea: Quando T I è 582, T F è 100.000; ma quando T I fusse 92.276, quanto sarebbe T F? Moltiplichiamo 92.276 per 100.000; ne viene 9.227.600.000: e questo si deve partire per 582; ne viene, come si vede, 15854982: e tante parti saranno in T F di quelle che in T O sono 100.000. Onde per voler sapere quante linee T O sono in T F, divideremo 15.854.982 per 100.000; ne verrà 158 e mezzo prossimamente: e tanti semidiametri sarà la distanza della stella F dal centro T. E per abbreviar l'operazione, vedendo noi come il prodotto del moltiplicato di 92.276 per 100.000 si deve divider prima per 582 e poi il quoziente per 100.000, potremo, senza la moltiplicazione di 92.276 per 100.000 e con una sola divisione del seno 92.276 per il seno 582, conseguir subito l'istesso, come si vede li sotto; dove 92.276 diviso per 582 Ci dà l'istesso 158 e mezzo in circa. Tenghiamo dunque memoria, come la sola divisione del seno T I come seno dell'angolo T O I, diviso per il seno T I, come seno dell'angolo I F T, ci dà la distanza cercata T F in tanti semidiametri T O.



(dal Dialogo sui Massimi Sistemi)