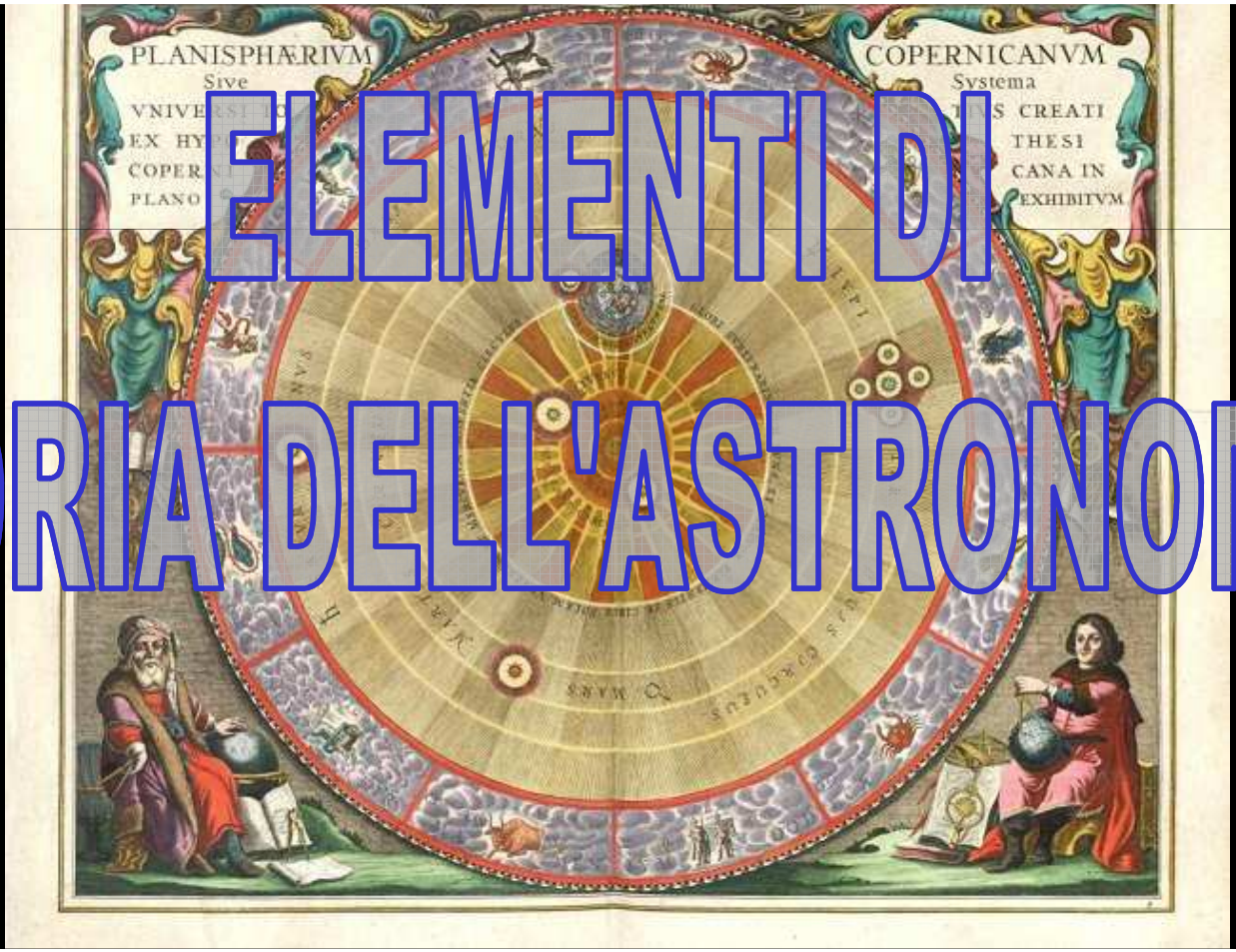
UNICAM
Università di Camerino
1336

PLS

Museo delle Scienze
Camerino

ASSOCIAZIONE ASTROFILI CRAB NEBULA

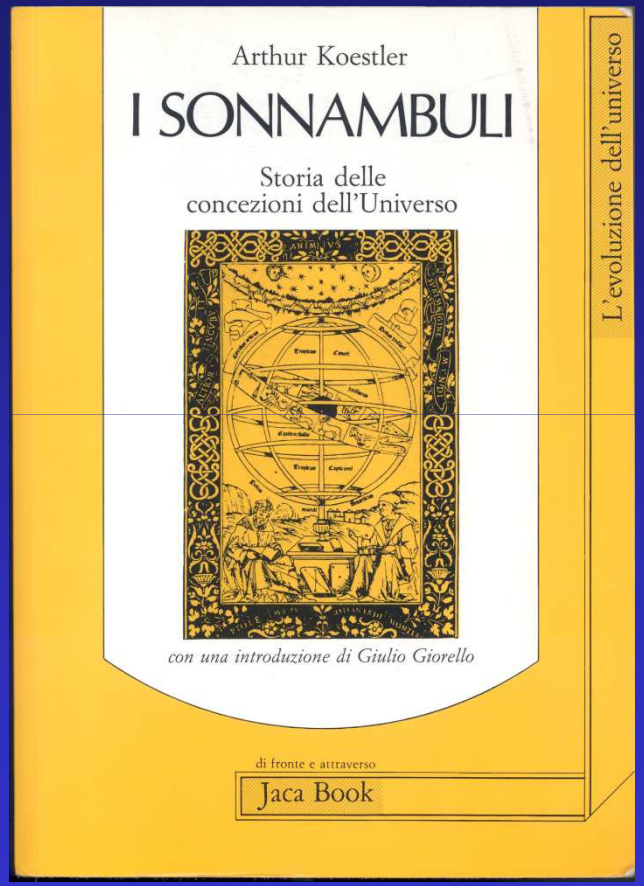
ELEMENTI DI STORIA DELL'ASTRONOMIA

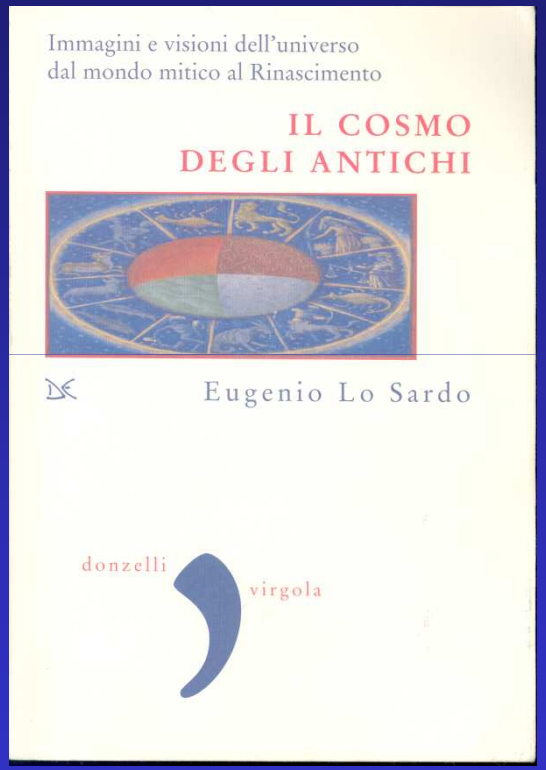


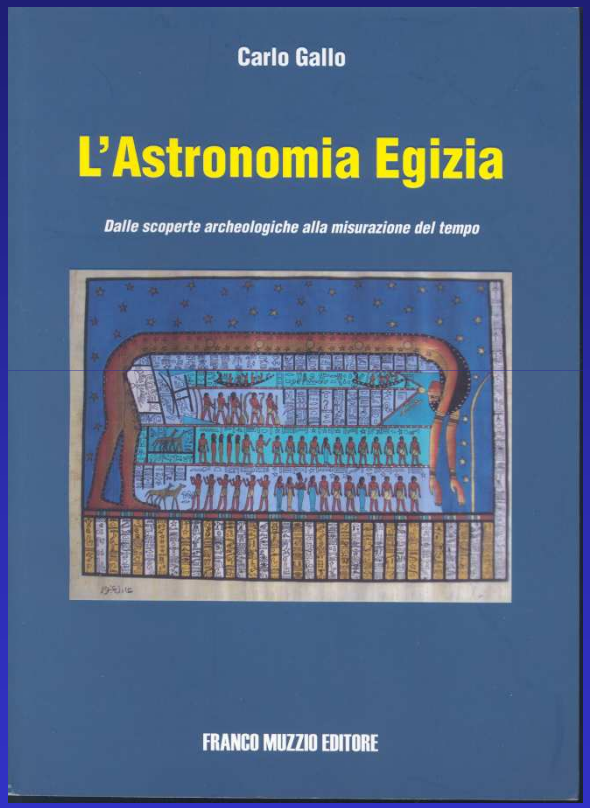
CAMERINO
16 febbraio
2011

Angelo
Angeletti

ALCUNI LIBRI







I PRIMORDI

Tutte le grandi civiltà antiche hanno tenuto in grandissimo conto lo studio del cielo.

L'interpretazione del moto dei corpi celesti rispondeva sia ad esigenze di carattere metafisico, sia a ragioni pratiche ben precise.

Tutte le attività umane sono più o meno direttamente collegate ai moti periodici dei corpi celesti (Sole, Luna, ecc.).

Nella concezione di tutti i popoli dell'antichità l'astronomia è stata strettamente legata alla tradizione religiosa, spesso confondendole tra di loro.

I PRIMORDI

L'impulso dato all'astronomia da sacerdoti ed astrologi è stato molto utile per il suo progresso generale.

L'origine dell'astronomia è avvolto nel mistero.

Caldei, Egiziani, Fenici, Cinesi ed altri popoli hanno sviluppato autonomamente le loro esperienze astronomiche.

La maggior parte degli sforzi di questi popoli è stata dedicata al computo del tempo utilizzando le lunazioni, il sorgere e il tramontare del Sole e, a volte anche i movimenti dei pianeti.

Per molti popoli il punto cardinale Est era ritenuto sacro per il fatto che vi sorge il Sole.

I PRIMORDI

Stonehenge è un sito neolitico che si trova in Inghilterra. È composto da un insieme circolare di grosse pietre, conosciute come megaliti.

C'è dibattito circa l'età della costruzione, ma la maggior parte degli archeologi ritiene sia stato costruito tra il 2500 a.C. e il 2000 a.C..

Il terrapieno circolare e il fossato sono stati datati al 3100 a.C.

I PRIMORDI

Ci sono molte testimonianze che indicano come in molte popolazioni antiche si usasse riunire le stelle in gruppi, le costellazioni (ai quali furono dati nomi legati a miti, leggende e dèi), per poterle riconoscere più facilmente.

Secondo alcuni studiosi la costellazione dell'Orsa Maggiore era nota già 40-50.000 anni fa.

I PRIMORDI

Si hanno poche notizie sulle osservazioni dei pianeti.

Si trova spesso menzionato Venere, il più appariscente dei pianeti, che per la sua alternanza nell'apparire all'alba o al tramonto veniva spesso scambiato per due oggetti diversi.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Nella pianura fra Tigri ed Eufrate vissero numerosi popoli che diedero grande impulso all'astronomia:
Sumeri, Accadi, Caldei, Babilonesi e Assiri.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Tavolette di argilla risalenti al 4.000 a.C. fanno supporre che i Caldei fossero la casta sacerdotale dei Babilonesi alla quale erano affidate mansioni di osservazione del cielo per fini astrologici e religiosi.

Fra queste tavolette ne sono state rinvenute alcune raffiguranti il cielo stellato su cui erano tracciate le figure di alcune costellazioni. Sembra che gli Accadi conoscessero già le due Orse, Orione e Cassiopea.

Tavoletta babilonese "Mulapin" con catalogazione delle costellazioni circumpolari

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Intorno al 1.800 a.C., con la dinastia di re Hammurabi, gli astronomi iniziarono a calcolare la rotazione apparente diurna del cielo.

Il calendario babilonese era regolato dal novilunio, con 12 mesi lunari (indicati dal sorgere eliaco di 12 stelle) in un anno solare ed un tredicesimo mese in aggiunta di tanto in tanto, quando lo si riteneva opportuno.

Questo calendario lunisolare era ulteriormente suddiviso in periodi più brevi corrispondenti alle nostre settimane.

L'istante del tramonto del Sole segnava l'inizio del giorno, costituito da dodici intervalli detti *Kaspu*.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Attorno al 1350 a.C. a Babilonia per far rispettare i confini delle varie proprietà cominciarono ad essere usate delle pietre chiamate Kudurrus su cui erano incise maledizioni che avrebbero colpito chi non rispettava questi confini ma erano decorate con simboli divini che corrispondevano a pianeti (Marduk-Giove, Nabu-Mercurio, Nergal-Marte e Ninurta-Saturno) e costellazioni (Toro, Leone, Scorpione, Sagittario, Capricorno, Acquario, probabilmente Ariete e Vergine e precursori dei Pesci e dei Gemelli). Gli originali di questi kudurrus venivano conservati nei templi come una sorta di ex-voto per avere la benedizione dei vari dei e quindi un buon raccolto.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Intorno al I millennio a.C. iniziarono le osservazioni sistematiche della volta celeste.

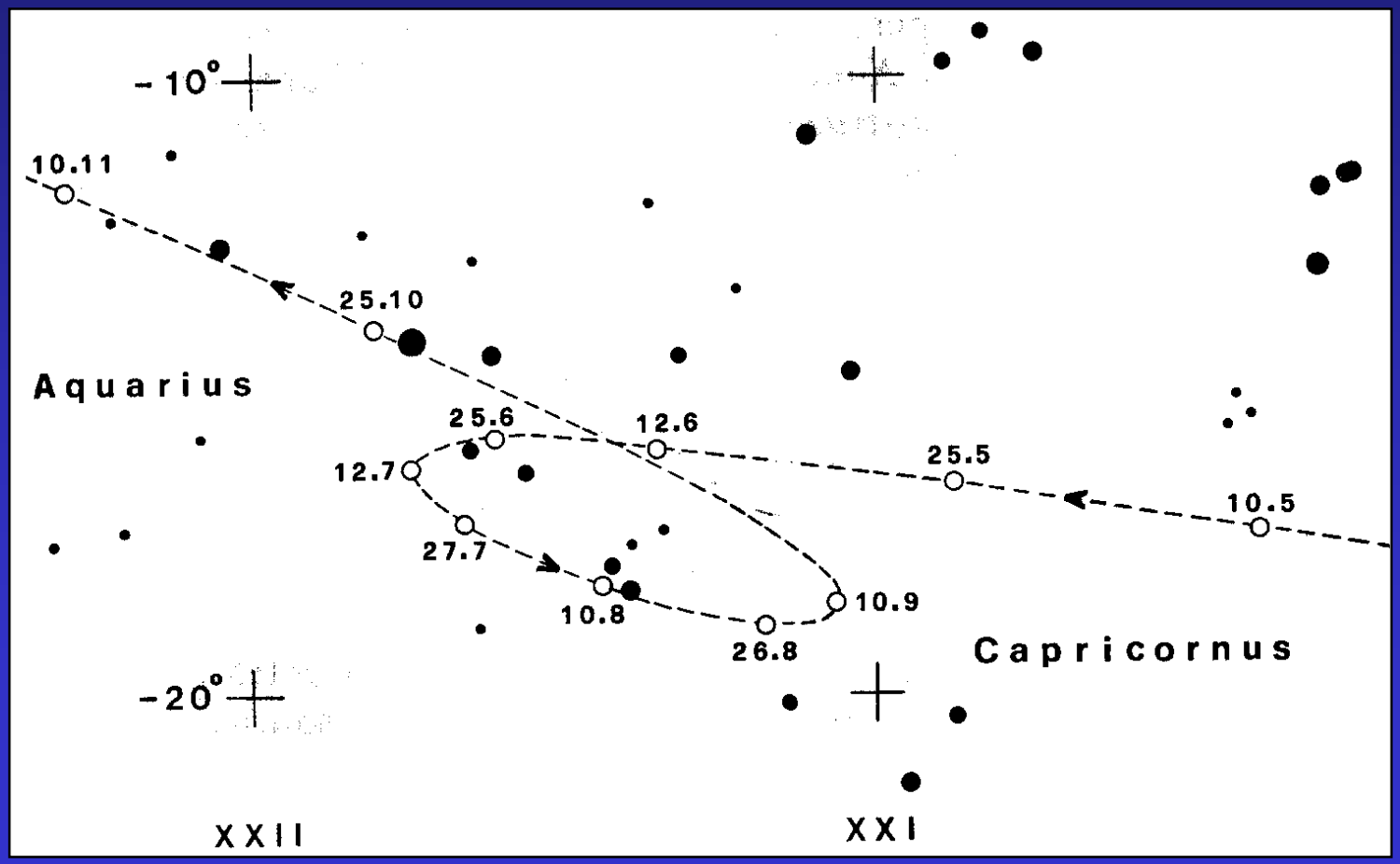
Particolare attenzione era riservata al pianeta Venere.

Gli astronomi babilonesi sapevano che le eclissi di Sole potevano verificarsi solo al novilunio e che le eclissi di Luna potevano verificarsi solo al plenilunio.

Durante il regno di Nabucodonosor II (il distruttore di Gerusalemme nel 587 a.C.), tra il VII e il VI secolo a.C., fu redatto un almanacco che riportava i movimenti della Luna e dei pianeti e dove venivano annotate le loro congiunzioni con le stelle fisse.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Le osservazioni dei moti dei pianeti portarono allo studio in dettaglio delle stazioni e delle retrogradazioni lungo quella che essi chiamavano *via del Sole*, il nostro Zodiaco.



L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

È di questo periodo la prima suddivisione del cerchio in 360 gradi, come conseguenza del cammino percorso dal Sole nel cielo.

L'uso di strumenti più precisi portò ad osservazioni sistematiche e fondate sul calcolo di fenomeni celesti come le eclissi, la prima delle quali è stata registrata il 19 marzo 721 a.C..

Questa ed altre osservazioni di eclissi lunari vengono usate ancor oggi per i calcoli sul moto della Luna.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Veniva poi data una enorme importanza astrologica alle comete, alle meteore ed ai bolidi.

Pur essendo il loro studio rivolto a previsioni astrologiche, a questi popoli va il grande merito di essersi basati su osservazioni celesti sistematiche ed accurate, estese per un gran numero di anni alla ricerca di una certa periodicità per ogni fenomeno.

Essi non giunsero mai ad una conoscenza approfondita della geometria e della trigonometria, che li avrebbe portati a soluzioni più rigorose dei vari problemi astronomici.

L'Astronomia fra il Tigri e l'Eufrate

Lo zodiaco circolare del tempio di Hathor a Dendera (Egitto)

È l'unica mappa completa del cielo antico che abbiamo e risale ai primi secoli a.C. in Egitto.
Esso mostra lo zodiaco classico circondato dalle altre costellazioni egizie, ma le figure non sono quelle tipiche della tradizione greco-latina, bensì sono identiche alle pittografie delle pietre di confine mesopotamiche risalenti a circa 2000 anni a.C.

Gli antichi Egizi

Nei ventitré secoli di storia di questo popolo tutte le branche della scienza ebbero il tempo di svilupparsi e prosperare: fra queste anche l'astronomia.

Per gli Egizi l'universo era sagomato come un grande parallelepipedo; sulla faccia in basso si trovava la Terra, mentre su in alto si trovava il cielo che in alcune rappresentazioni era una mucca appoggiata con le zampe sui quattro angoli della Terra, in altre una donna appoggiata sui gomiti e sulle ginocchia oppure sui piedi e sulle mani.

Attorno alle pareti interne di questa sorta di scatola cosmica vi era una galleria sospesa e invisibile lungo la quale scorreva un fiume, su cui gli dèi Sole e Luna facevano scivolare le proprie barche.

Gli antichi Egizi

Una rappresentazione della dea del cielo NUT

Gli antichi Egizi

Gli astri del cielo erano immaginati come lampade sospese alla volta celeste, oppure spostate dagli dèi.

I pianeti navigavano su proprie imbarcazioni lungo canali che fluivano dalla Via Lattea, considerata la controparte celeste del fiume Nilo.

Per le fasi lunari ritenevano che nel giorno del plenilunio il dio Luna subiva l'attacco di una scrofa famelica, che in due settimane lo divorava completamente.
Egli poi rinasceva, per andare ancora incontro al proprio terribile destino.

Quando la scrofa riusciva a inghiottire interamente il dio si verificava un'eclisse di Luna.

Gli antichi Egizi

Le eclissi di Sole erano invece causate da un grande serpente che lo ingoiava.

Utilizzavano un calendario solare basato sul cammino della Sole sulla volta celeste, lungo il cerchio dell'eclittica.

L'anno egizio iniziava con la levata eliaca di Sirio ed era formato da dodici mesi di trenta giorni, più cinque supplementari.

Gli antichi Egizi

Gli Egizi si erano accorti dei ritardi nella levata di Sirio (dovuti alla precessione degli equinozi) e avevano calcolato un ciclo completo di 1460 anni affinché l'astro più luminoso del firmamento sorgesse di nuovo insieme con il Sole in un preciso giorno.

Questo ciclo era detto *anno sotiaco* da Sothis, nome della stella Sirio. Il periodo della levata eliaca di Sirio veniva indicato con l'appellativo di *canicola*, successivamente passato ad indicare il caldo torrido della stagione della stella del Cane.

Per la misura del tempo in frazioni più brevi di un intero anno gli Egizi usavano meridiane durante il giorno e clessidre (a sabbia o acqua) durante la notte.

I Greci

I primi greci ritenevano che la Terra fosse costituita da un disco circolare circondato dal Fiume Oceano e che sopra vi fosse la conca emisferica del cielo.

Questo modello appare nelle opere di Omero ed è probabile che fosse universalmente accettato fino al VI secolo a.C.

I Greci

Il modello di Terra piatta poneva alcuni problemi:

- il moto degli astri dopo il tramonto
- la diversa altezza delle stelle

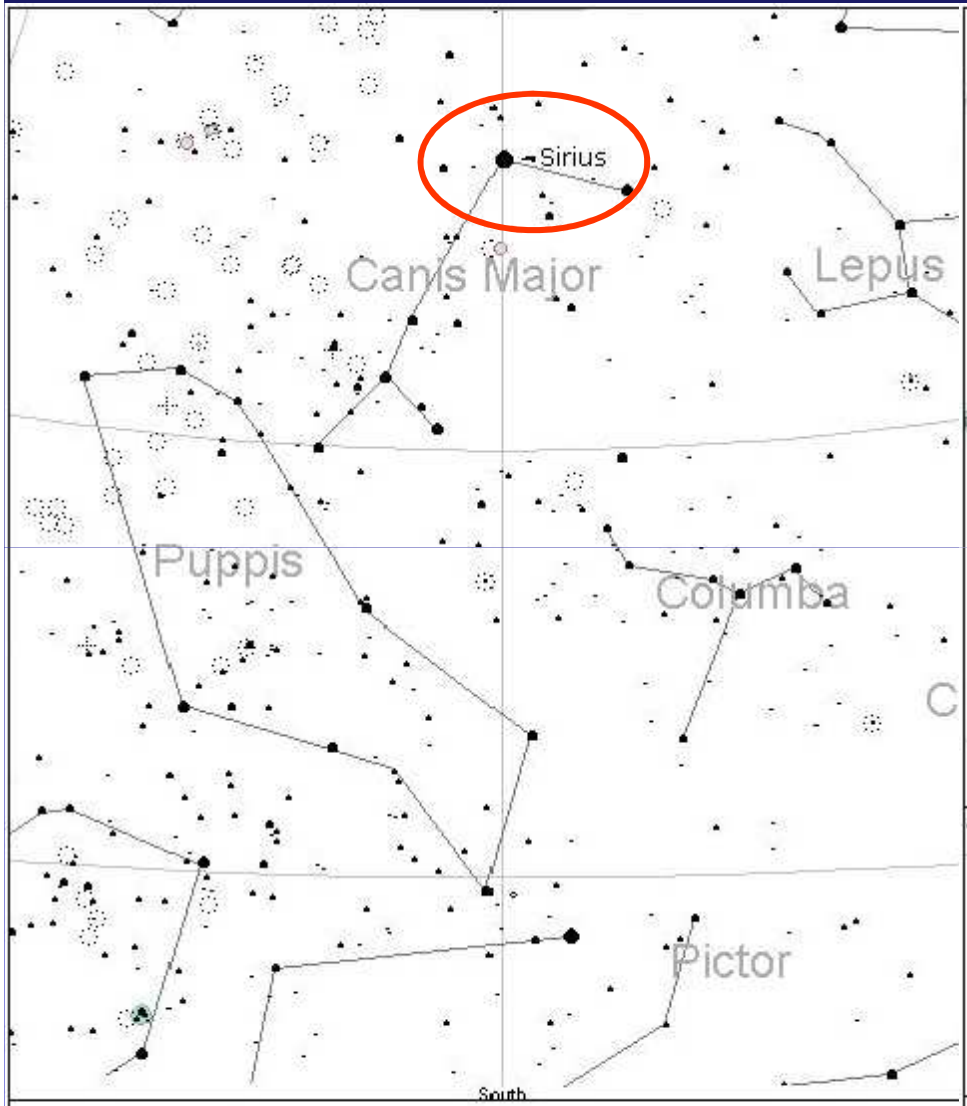
I Greci

Il primo problema veniva anticamente risolto ritenendo che tutti i corpi celesti, dopo aver compiuto il loro percorso sulla semisfera celeste, si immergessero nei flutti di Oceano e girassero in qualche modo intorno all'orizzonte verso nord, riapparendo più tardi ad est al momento del loro sorgere.

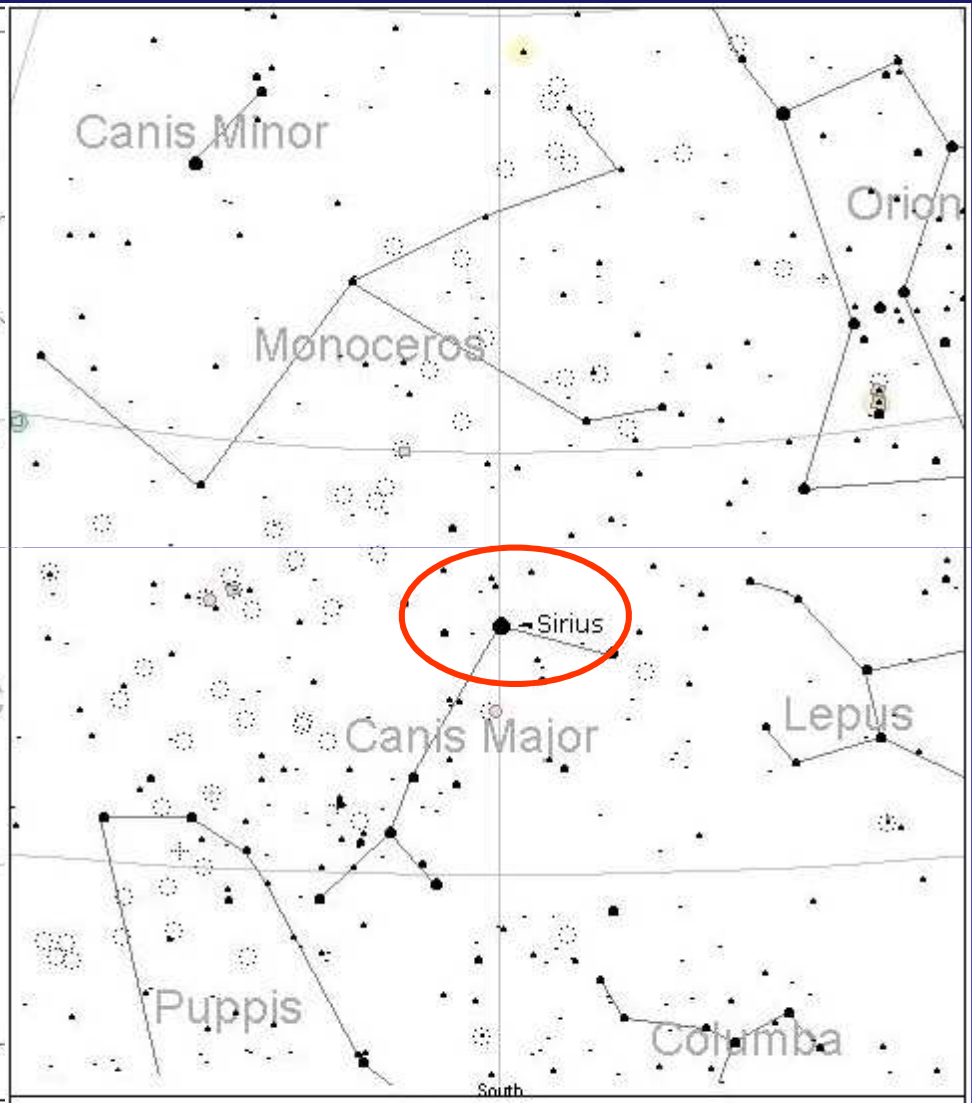
Il secondo fu risolto …

… ammettendo che la Terra NON fosse piatta!

ALTEZZA DELLE STELLE

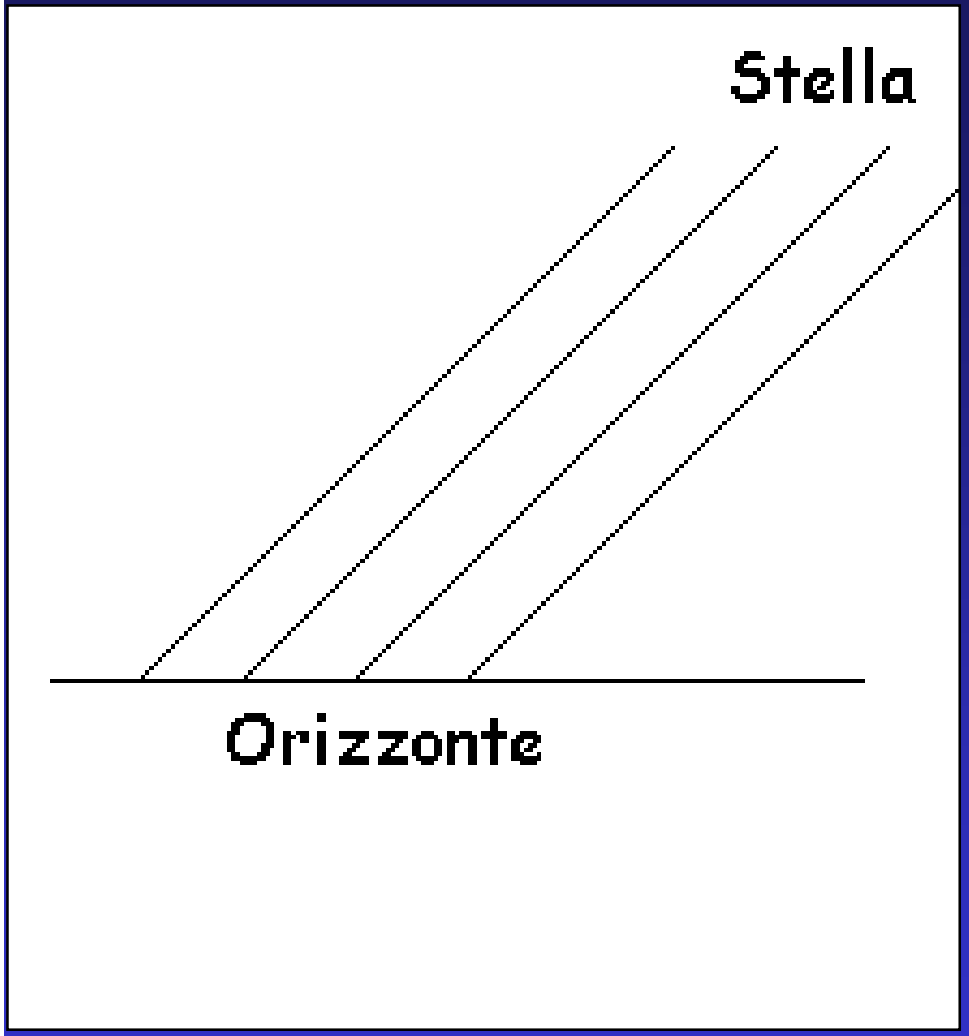


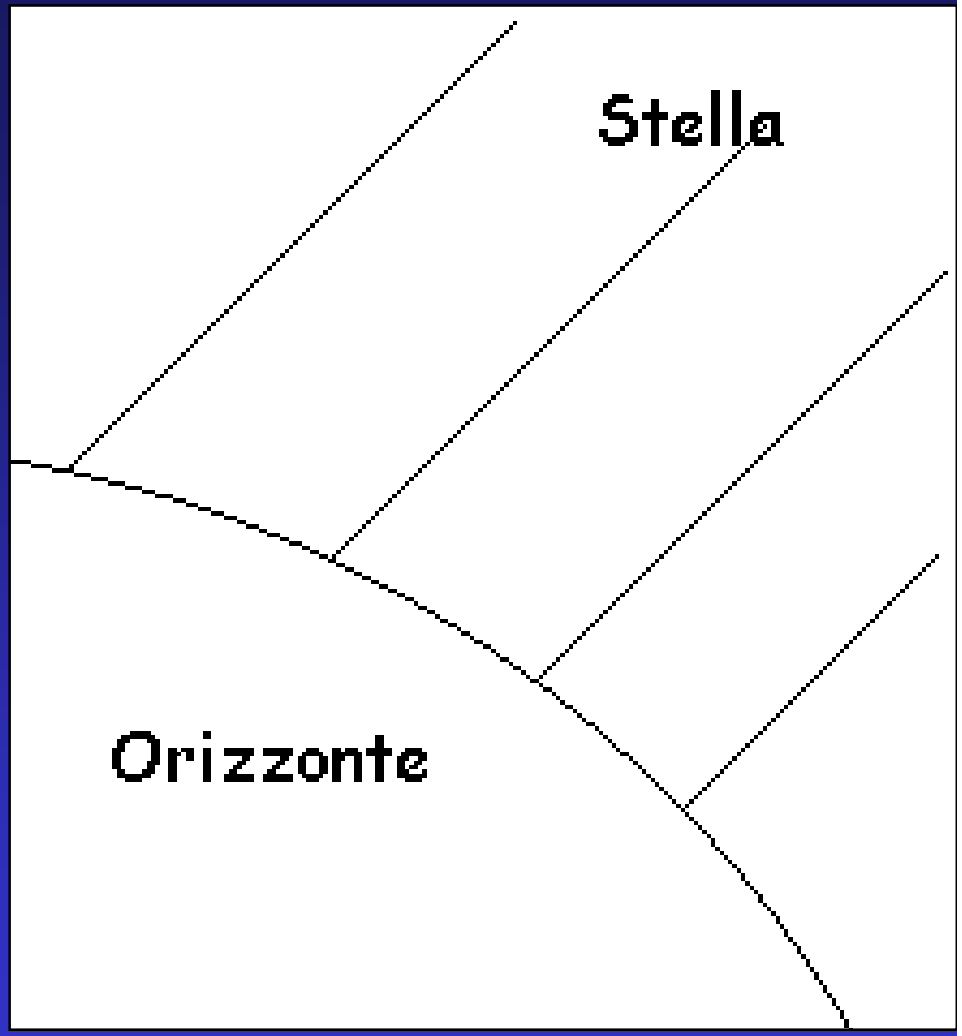
Altezza di Sirio vista dal Cairo



Altezza di Sirio vista da Londra

ALTEZZA DELLE STELLE



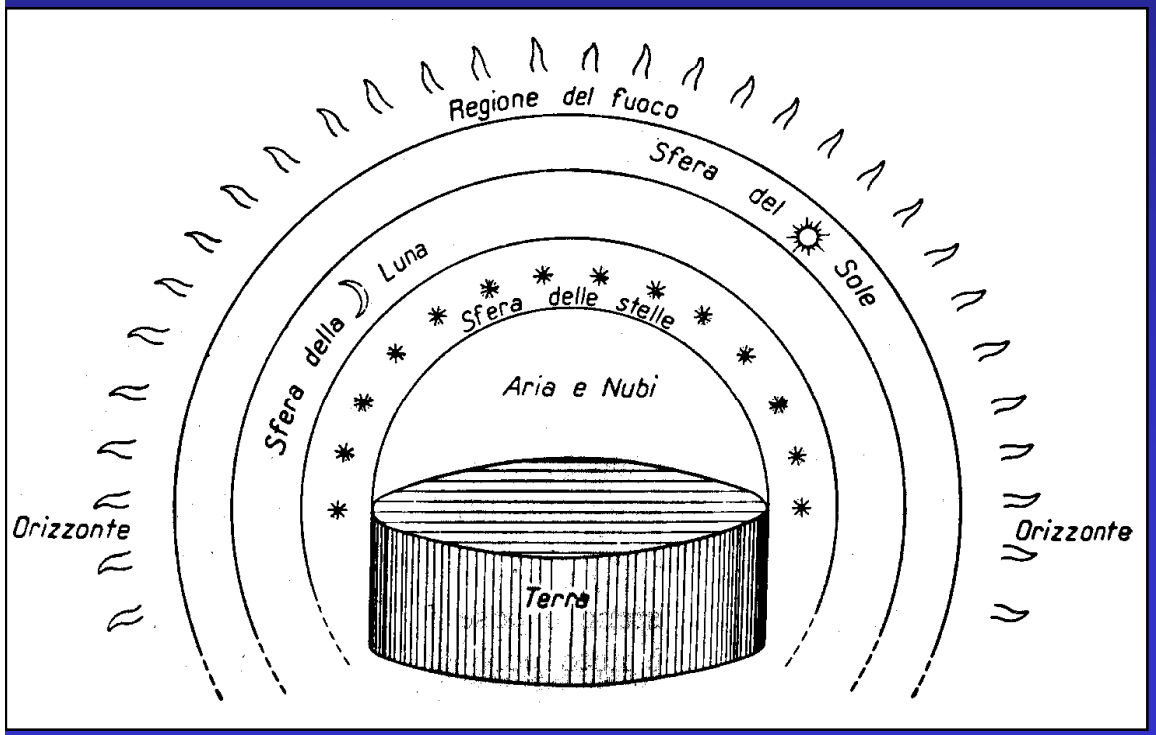


I raggi provenienti da una stella molto lontana possono essere considerati paralleli e formano lo stesso angolo con un orizzonte piatto

I raggi provenienti da una stella molto lontana formano angoli diversi con un orizzonte curvo

I Greci

Nel 600 a.C. Talete di Mileto insegnava che la Terra era sferica, che la Luna è visibile solo perché riflette i raggi solari ed affermava anche che le stelle del cielo erano fatte di fuoco.



Si ritiene che Anassimandro fu il primo ad utilizzare lo gnomone per le osservazioni celesti. Egli riteneva che la Terra avesse una superficie cilindrica e che la sua curvatura andasse nella direzione nord-sud.

I Greci

Intorno al V secolo a.C. nasce e si sviluppa la scuola pitagorica alla quale si attribuiscono le prime idee sui moti di rotazione e di rivoluzione della Terra: un passo importante che pone il nostro pianeta fra i corpi celesti (pianeti), anche se ancora al centro dell'Universo.

Secondo Teofrasto, Parmenide (510-? a.C.), anch'egli seguace di Pitagora, fu tra i primi a ritenere che la Terra fosse sferica.
Le sue motivazioni si basavano sull'idea che l'unica forma adatta a rimanere naturalmente in equilibrio fosse quella sferica.

I Greci

Filolao di Crotone, anch'egli pitagorico, verso la fine V secolo a.C. ideò per la prima volta una struttura dell'Universo; c'era un *fuoco centrale* ed i pianeti, Sole compreso, ruotanti intorno ad esso.

Egli riteneva che l'influenza predominante nell'Universo dovesse provenire dal suo punto centrale, e la Terra non poteva trovarsi al centro perché non esercita tale influenza.

Essa quindi ruota attorno ad un centro, occupato non dal Sole, ma da un *fuoco centrale*, sede di Zeus e del principio dell'attività cosmica.

Tale fuoco è nascosto ai nostri occhi dalla massa della Terra stessa, sempre rivolta dalla parte opposta.

I Greci

Per Filolao il Sole non era un corpo che emetteva luce da sé; solo il fuoco centrale era l'unico focolare di attività presente nell'universo.

Il Sole era semplicemente un corpo vitreo e poroso che assorbiva la luce dal fuoco centrale e la rendeva visibile a noi.

Questa teoria possedeva il pregio di mettere in evidenza il moto della Terra che con la sua rotazione attorno ad un centro determina il moto apparente della sfera celeste in senso opposto.

Si potrebbe affermare che Filolao fu il primo anticipatore delle idee di Copernico.

I Greci

Fra il 429 ed il 347 a.C. appare una figura che lascerà una notevole traccia del suo passaggio: Platone.

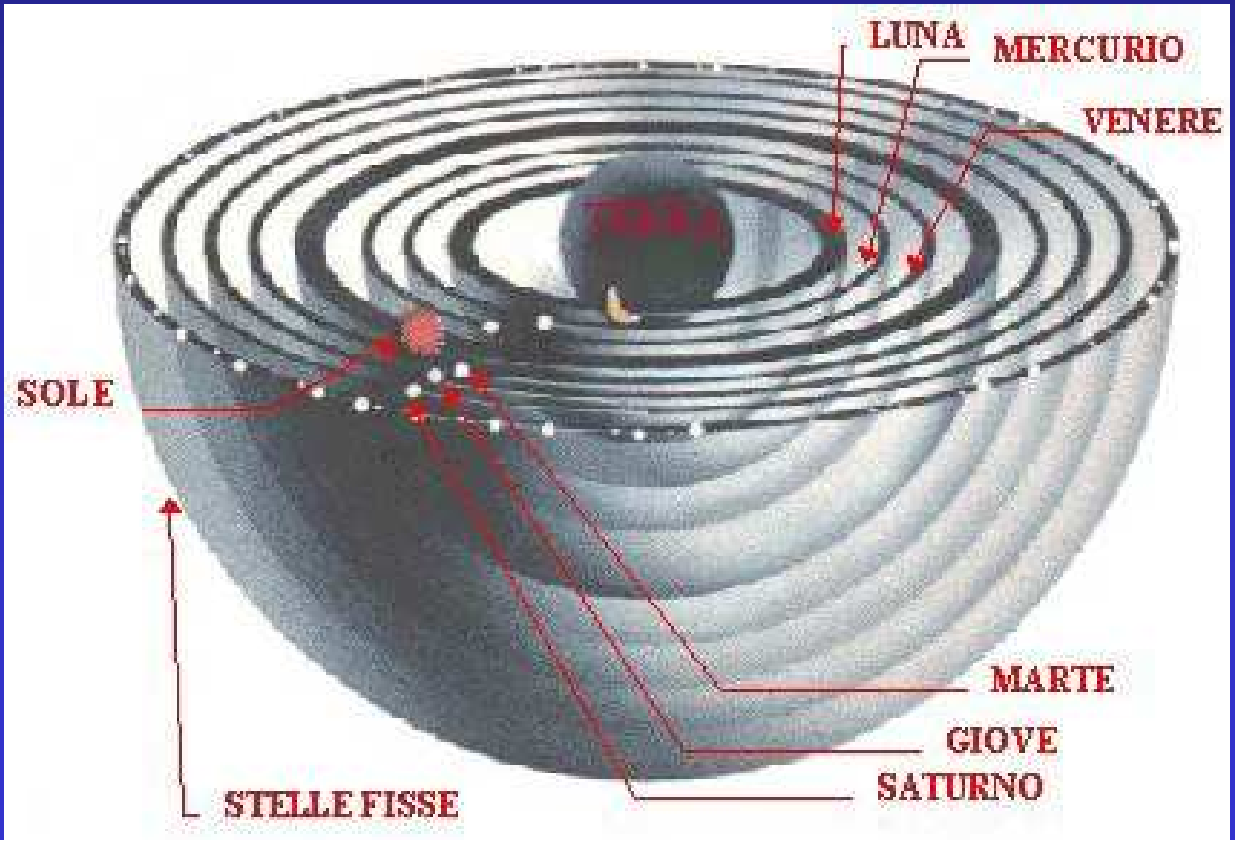
Tra i suoi scritti si possono rintracciare per la prima volta accenni ai moti della Luna e dei pianeti ed alla materia che componeva le stelle.

Dimostrò filosoficamente che la Terra è sferica; nel Timeo descrive l'Universo in questi termini: "*...ed Egli (Dio) lo fece tondo e sferico, in modo che vi fosse sempre la medesima distanza fra il centro ed estremità [...] e gli assegnò un movimento, proprio della sua forma, [...]. Dunque fece che esso girasse uniformemente, circolarmente, senza mutare mai di luogo [...]; e così stabilì questo spazio celeste rotondo e moventesi in rotondo*".

I Greci

L'idea della sfericità della Terra fu universalmente accettata per la grande fama di Platone.

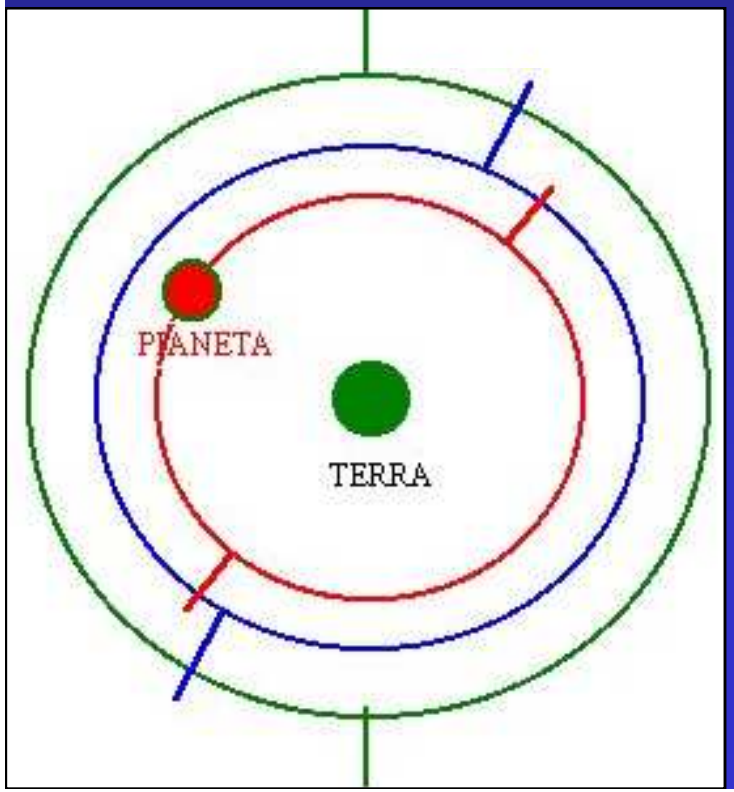
Egli ideò un sistema geocentrico, a sfere concentriche ognuna delle quali conteneva un pianeta, il Sole e la Luna.



I Greci

Il sistema delle sfere fu perfezionato da Eudosso, Callippo e infine da Aristotele.

Eudosso da Cnido (409-356 a.C.) per primo tentò di risolvere il problema dei movimenti irregolari dei pianeti.



Per spiegare il moto retrogrado dei pianeti Eudosso ipotizzò che solo le stelle fisse possedevano un'unica sfera.
La Luna e il Sole ne possedevano tre ciascuno.

Callippo, qualche anno più tardi, aggiunse altre sfere per Mercurio, Venere, Marte, la Luna ed il Sole.

I Greci

Con Aristotele si arrivò a 55 sfere !!!

Aristotele aveva diviso il cosmo in due parti:

-> quella oltre la Luna che era costituita da sfere concentriche ove erano incastonati i pianeti e le stelle, composti dalla "quintaessenza" incorruttibile ed immutabile ed animati da moto circolare uniforme.

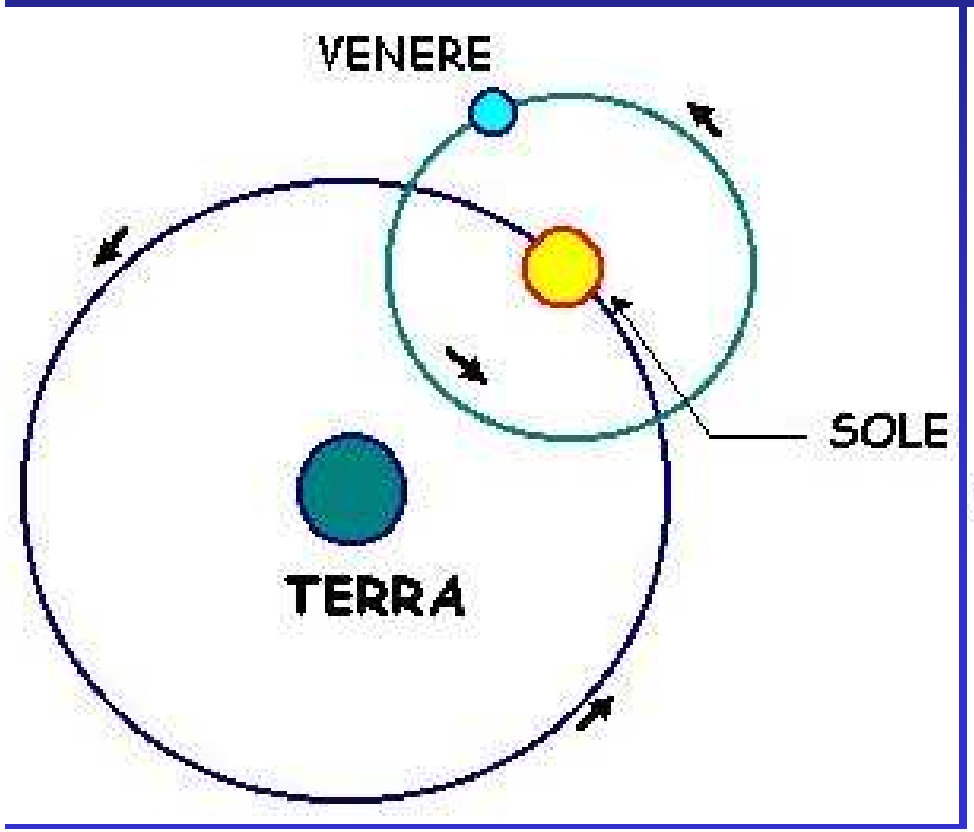
-> quella sublunare che era costituita dal mondo caotico e corruttibile formato da quattro sfere (Terra, Acqua, Aria, Fuoco) in cui l'ordine era solo una tendenza per ogni cosa e dove l'unico moto naturale era il moto rettilineo verso il basso.

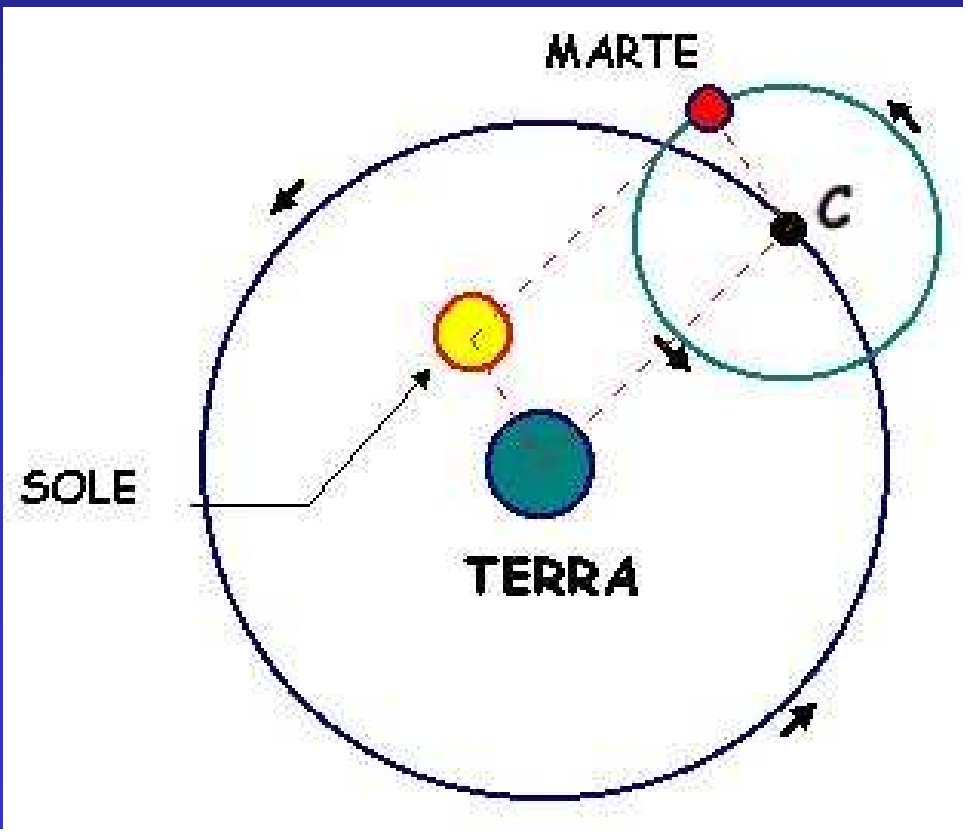
Al di là della sfera delle stelle fisse collocava il *motore* di tutto l'Universo che trasmetteva il moto a tutte le sfere.

I Greci

Dopo Aristotele la teoria di Eudosso fu abbandonata perché non spiegava la variazione di luminosità dei pianeti.

Eraclide Pontico (390-310 a.C.) ipotizzò la teoria degli epicicli.





I Greci

Eraclide riprese e sviluppò le teorie di Filolao, abbandonando l'idea del fuoco centrale e facendo ruotare la Terra attorno al suo asse. Il Sole era il centro delle orbite di Mercurio e Venere.

Aristarco da Samo, nato verso il 310 a.C., giunge a ipotizzare una teoria eliocentrica nella quale tutti i pianeti girano attorno al Sole, e il Sole gira attorno alla Terra.

Aveva compreso anche che in questo modo non aveva molta importanza se fosse il Sole a girare attorno alla Terra oppure la Terra attorno al Sole, perché le due ipotesi erano equivalenti dal punto di vista cinematico.

I Greci

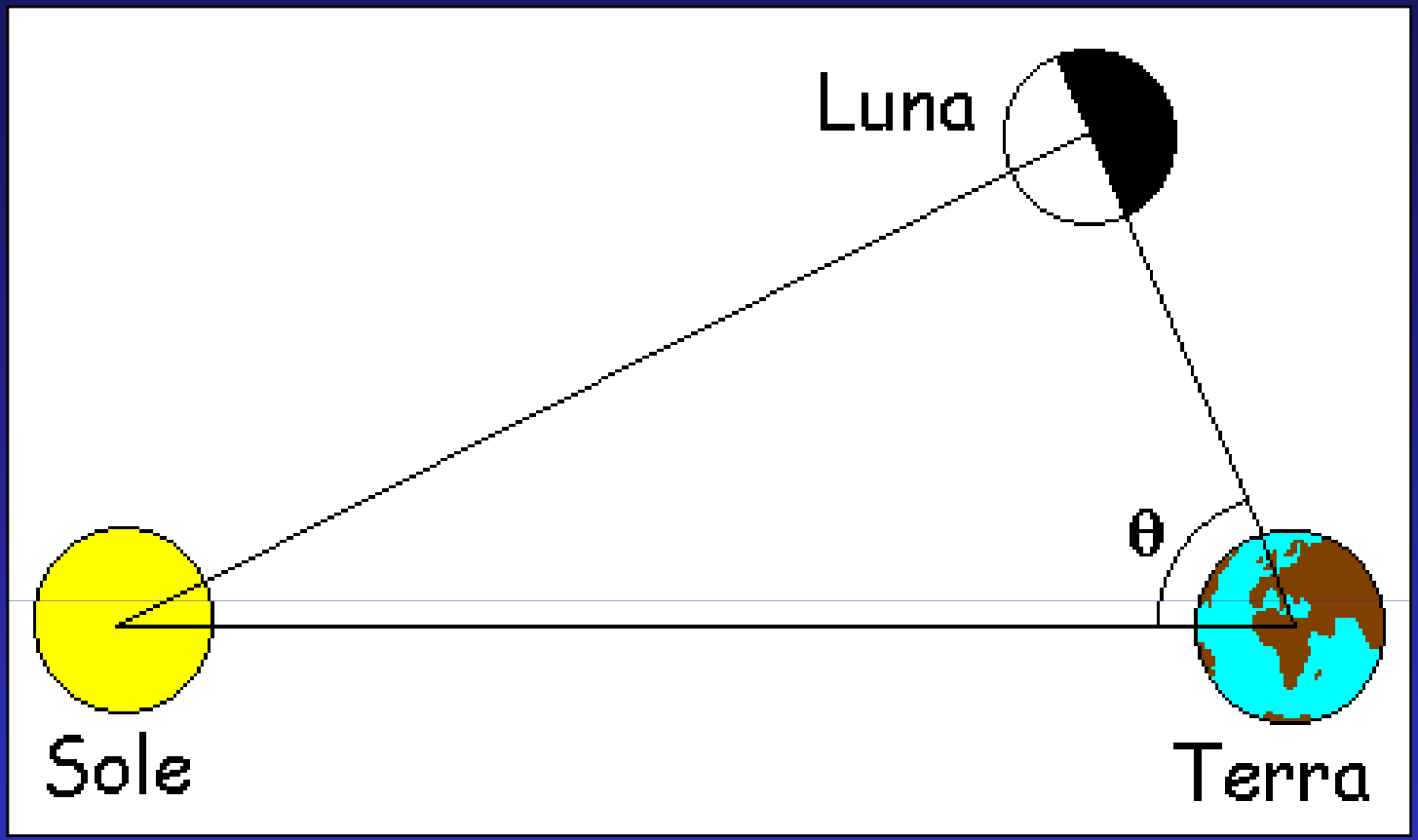
Aristarco capì che se infatti fosse stata la Terra a girare attorno al Sole le stelle avrebbero dovuto mostrare una parallasse che invece non si osserva.

Allora o la Terra stava ferma o le stelle dovevano essere lontanissime.

La teoria eliocentrica di Aristarco non venne capita e non ebbe quindi sviluppi.

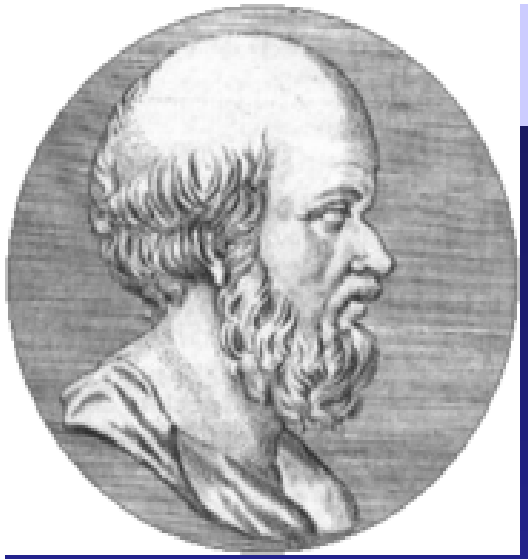
Aristarco definì il *metodo della dicotomia lunare* per misurare le distanze della Luna e del Sole.

Il metodo della dicotomia lunare di Aristarco



Per Aristarco $\theta = 87°$ ed ottenne $TL/TS \approx 1/19$ ($\cos 87° \approx 1/19$), cioè il Sole è 19 volte più lontano della Luna.

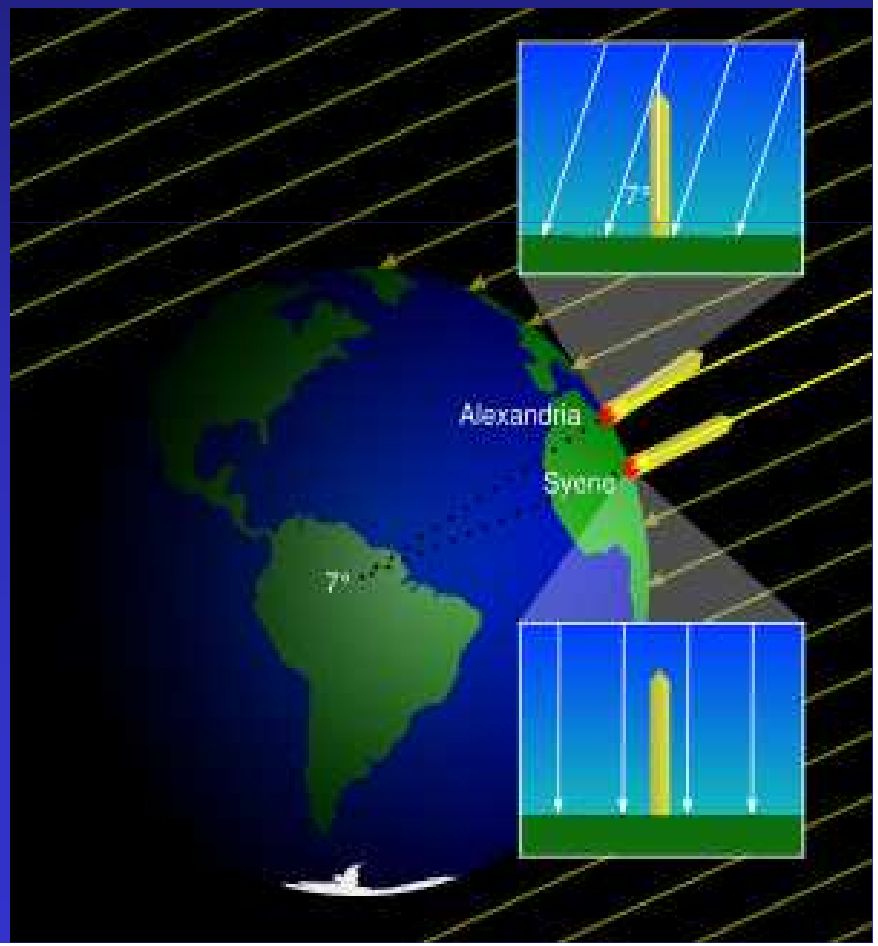
In realtà $\theta \approx 89°51{,}2'$ e quindi $TL/TS \approx 1/391$ da cui si ricava che il Sole dista dalla Terra 391 volte più della Luna.



I Greci

Eratostene (273 – 192 a.C.) fu il primo a tentare di calcolare le dimensioni della Terra con metodo scientifico.

Osservò che il giorno del solstizio a Siene (Assuan) uno gnomone non fa ombra, mentre ad Alessandria (distante 5.000 stadi: 1 stadio = 157 m) si ha un angolo per ad 1/50 dell'angolo giro (7°12'). Con semplici calcoli si ottiene che il diametro della Terra è di 12.629 km. Oggi si ha 12.756 km per il diametro equatoriale e 12.712 km per quello polare.



I Greci

Il primo astronomo vero e proprio di quel periodo fu Ipparco di Nicea (194 – 120 a.C.), scopritore della precessione degli equinozi.

Confrontando le sue osservazioni con quelle dei suoi predecessori egli scoprì degli spostamenti di lieve entità, che potevano essere rilevati solo con osservazioni fatte a distanza di molto tempo le une dalle altre, e che espose nella sua celebre opera *Spostamenti dei punti dei solstizi e degli equinozi.*

I Greci

Ipparco cercò di determinare con la maggiore precisione possibile i tempi di rivoluzione dei pianeti, ma non costruì un vero e proprio sistema.

Di notevole importanza è anche il suo *Nuovo catalogo stellare* che riportava oltre 1000 stelle, con le coordinate corrette per la precessione e suddivise in sei classi (grandezze) a seconda della loro luminosità.

Fu spinto alla compilazione di questo catalogo dall'apparizione di una stella nuova nel 134 a.C. per meglio valutare eventuali nuove apparizioni.

I Greci

Nel 150 a.C. ideò un metodo per misurare le distanze del Sole e della Luna, e non solo del loro rapporto come fece Aristarco, basandosi sull'osservazione delle eclissi totali di Luna.

Le osservazioni astronomiche fatte da Ipparco per determinare l'entità della precessione lo portarono a determinare anche le lievi differenze fra anno siderale ed anno tropico.

Per un paio di secoli, dopo la morte di Ipparco, nelle scienze astronomiche non vi furono progressi di qualche rilevanza.

Interludio

La misura del raggio della Terra e della distanza del Sole e della Luna con un linguaggio moderno

Siano A e B due punti appartenenti allo stesso meridiano e dei quali sia nota la latitudine (Fig. 132):

$$\widehat{ACE'} = \lambda_1 \quad , \quad \widehat{BCE'} = \lambda_2 .$$

Ricordando che per *misura in radianti* di un arco (o dell'angolo al centro corrispondente) si intende il rapporto tra la lunghezza dell'arco e il raggio, abbiamo:

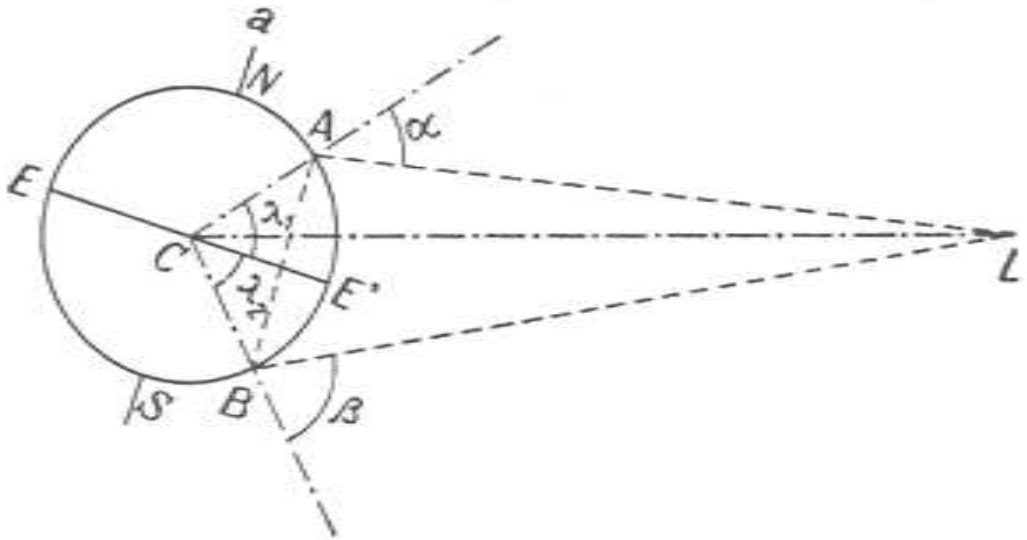


Fig. 132.

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \frac{\widehat{AB}}{r} \qquad \text{ossia:} \qquad r = \frac{\widehat{AB}}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

e, per il calcolo di r, basterà misurare la lunghezza dell'arco $\widehat{AB}$ di meridiano.

Su di un atlante geografico si prendano due punti che si trovino sullo stesso meridiano, possibilmente uno a nord e uno a sud dell'equatore, si determini la loro latitudine e si misuri, sull'atlante, la loro distanza.

Poniamoci nelle stesse condizioni del precedente caso (Fig. 132) e siano A e B due punti appartenenti allo stesso meridiano e di latitudine nota:

$$A\widehat{C}E' = \lambda_1 \qquad \text{e} \qquad B\widehat{C}E' = \lambda_2.$$

Nell'istante in cui la Luna passa sul meridiano del luogo procediamo al calcolo contemporaneo dei due angoli α e β formati dalla congiungente punto di stazione-centro Luna con la verticale del luogo. Avremo:

$$C\widehat{A}B = C\widehat{B}A = \frac{1}{2}(180^\circ - \lambda_1^\circ - \lambda^\circ) = 90^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2};$$

$$C\widehat{A}L = 180^\circ - \alpha^\circ;$$

$$B\widehat{A}L = 180^\circ - \alpha^\circ - \left(90^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2}\right) = 90^\circ - \left(\alpha^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2}\right);$$

$$A\widehat{B}L = 180^\circ - \beta^\circ - \left(90^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2}\right) = 90^\circ - \left(\beta^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2}\right);$$

$$A\widehat{L}B = 360^\circ - (\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ) - (180^\circ - \alpha^\circ) - (180^\circ - \beta^\circ) = \alpha^\circ + \beta^\circ - (\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ).$$

Ricordando che la misura della base di un triangolo isoscele è il doppio del prodotto di quella del lato obliquo per il seno della metà dell'angolo al vertice (l'altezza relativa alla base di un triangolo isoscele divide questo in due triangoli rettangoli uguali), consideriamo il triangolo isoscele ABC. Abbiamo:

$$AB = 2\,r \operatorname{sen} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}.$$

Quindi, per il *teorema dei seni* applicato al triangolo ABL, abbiamo:

$$AL = \frac{\overline{AB} \operatorname{sen}\left[90^\circ - \left(\beta^\circ - \frac{\lambda_1^\circ + \lambda_2^\circ}{2}\right)\right]}{\operatorname{sen}\left[\alpha + \beta - (\lambda_1 + \lambda_2)\right]} = \frac{2\,r \operatorname{sen} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \cos\left(\beta - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}\right)}{\operatorname{sen}\left[\alpha + \beta - (\lambda_1 + \lambda_2)\right]}.$$

Ormai, del triangolo ACL, conosciamo due lati ($\overline{AC}$ e $\overline{AL}$) e l'angolo compreso ($\widehat{CAL}$). La misura del terzo lato si potrà calcolare o col *teorema del coseno* o con quello *delle tangenti*.

Con Starry Night, siano A Macerata (λ_1 = +43° 17,733') e B un punto a circa 23 km a est di Luanda (in Angola) (λ_2 = -8° 48,24') che si trova sullo stesso meridiano di Macerata (entrambi a 13° 26,85' Est). Quando la Luna passa al meridiano di Macerata il 5 aprile 2004 alle ore 0h 48min 28s è alta sull'orizzonte sud h_1 = 45° 8,363', mentre, nello stesso istante, nel punto B è alta h_2 = 81° 85,847' sull'orizzonte nord. α = 90° - h_1; β = 90° - h_2, quindi . . .

Per il calcolo della distanza media della Terra dal Sole, una base nota sulla Terra non è più sufficiente e si ricorre alla distanza media della Luna dalla Terra calcolata nel precedente paragrafo.

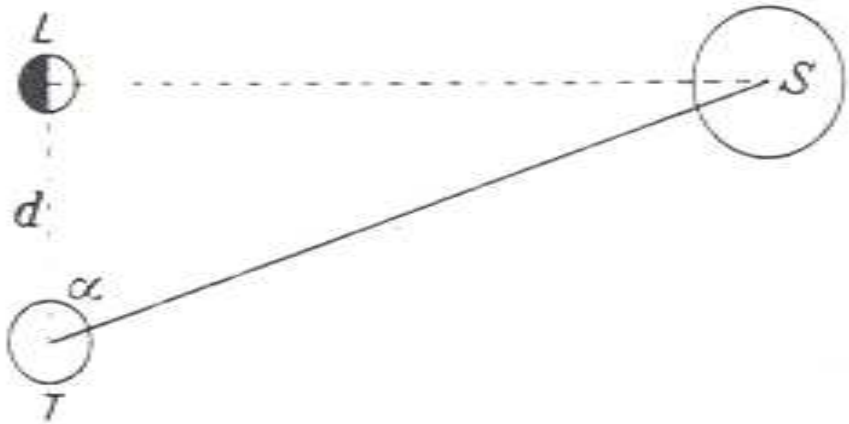


Fig. 133.

Nel preciso istante in cui la Luna si trova nel primo quarto (o nell'ultimo quarto) determiniamo l'ampiezza dell'angolo Luna-Terra-Sole :

$$\widehat{LTS} = \alpha.$$

La scelta di tale particolare momento nelle fasi lunari ci assicura che l'angolo $\widehat{TLS}$ è, in quell'istante, retto e, per il *primo reciproco del primo teorema sui triangoli rettangoli*, avremo :

$$\overline{TS} = \frac{d}{\cos\alpha}$$

.Con Starry Night si ricava che il 29 marzo 2004 alle ore 2.42.30 la Luna era al primo quarto e aveva longitudine eclitticale δ_L = 98° 31,113', mentre il Sole aveva una longitudine eclitticale δ_S = 8° 40,708'. Essendo $\alpha = \delta_L - \delta_S$, e utilizzando il valore di d ricavato dal punto precedente, si ha . . .

Il Sistema Tolemaico

Per ritrovare un risveglio nello sviluppo dell'Astronomia bisogna arrivare a Tolomeo (circa 100 - 178 d.C.).

Claudio Tolomeo, nato ad Alessandria d'Egitto, fu l'ultimo rappresentante dell'antica astronomia greca.

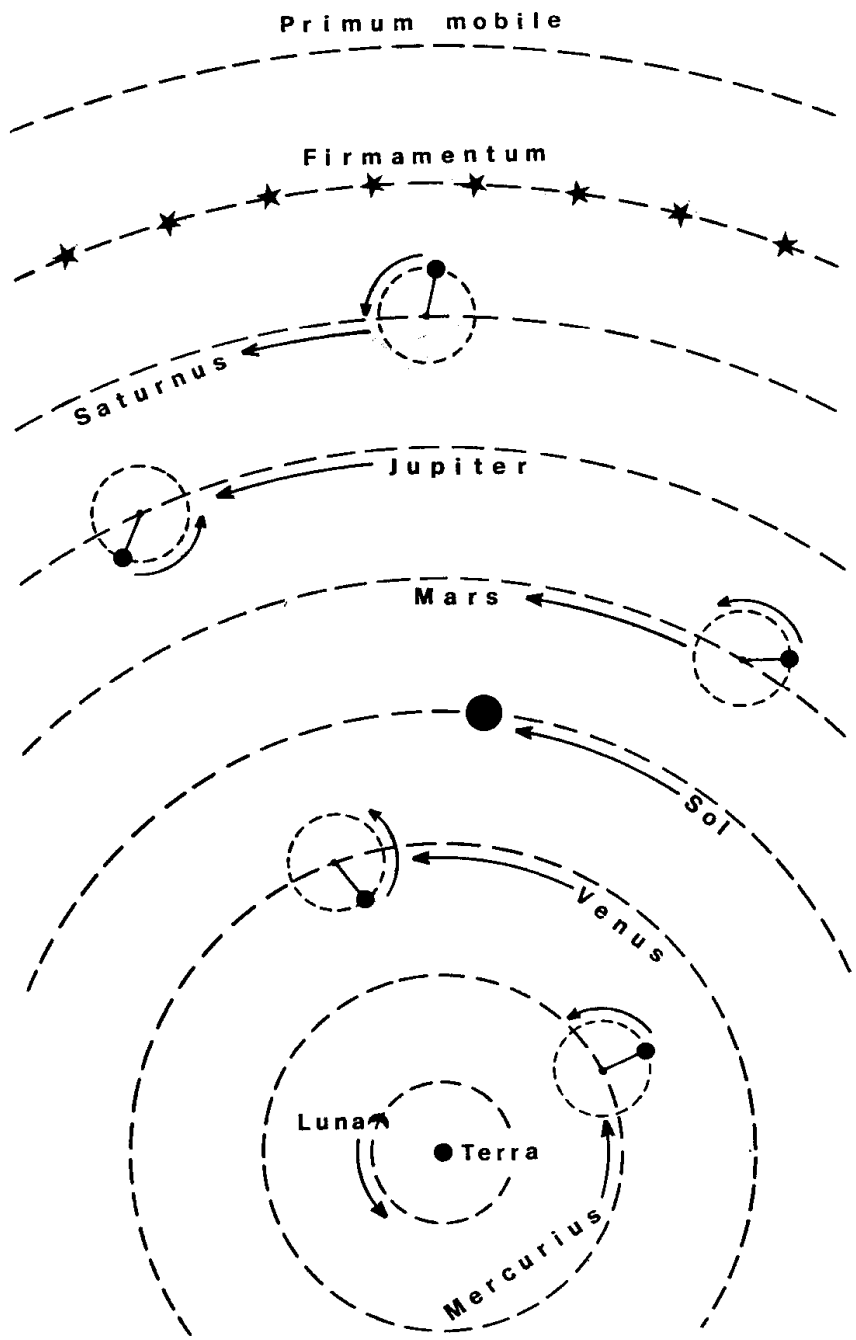
Il merito principale di Tolomeo fu di aver raccolto tutto lo scibile astronomico dei suoi tempi e, arricchitolo con le sue esperienze, di averlo esposto nella sua opera principale, la *Mathematike Syntaxis* (Composizione Matematica), che tradotto in arabo divenne *Al Magisti*, da cui il titolo a noi conosciuto: Almagesto.

Il Sistema Tolemaico

In essa Tolomeo aveva esposto un sistema del mondo: il Sistema Tolemaico.

La Terra è immobile al centro dell'Universo, i pianeti (compresi il Sole e la Luna) ruotano intorno ad essa col sistema degli epicicli e dei deferenti.

Anche la sfera celeste ruota intorno ala Terra.



Il Sistema Tolemaico

I primi capitoli dell'Almagesto trattano di coordinate celesti, di trigonometria piana e sferica, di dimensioni della Terra, di eclissi di Sole e di Luna, di strumenti di osservazione e contengono un catalogo delle posizioni di 1022 stelle.

Il Sistema Tolomaico è esposto negli ultimi cinque capitoli.

Quello di Tolomeo fu per parecchi secoli *il Libro dell'astronomia* perché i metodi matematici e geometrici di cui si servì lo fecero preferire alle opere simili di quel tempo.

L'Almagesto fu tradotto in latino (ma la traduzione non giunse mai a noi) e in arabo (per ordine del califfo Al Mamun nell'827 d.C.). Questa traduzione si diffuse in Europa e fu ritradotta in latino a Napoli nel 1230, assai prima che si scoprisse l'originale in greco (1438).

Il Sistema Tolemaico

Il sistema tolemaico è matematicamente complesso, però le sue previsioni concordano abbastanza bene con le osservazioni.

Le irregolarità dei moti dei pianeti, del Sole e della Luna erano facilmente spiegabili mettendo la Terra non esattamente al centro delle orbite planetarie, ma leggermente decentrata. A questo fatto era possibile anche attribuire la diversa velocità del Sole nel cielo e, soprattutto, l'alternarsi delle stagioni.

Con Tolomeo finisce la storia dell'astronomia greca, fatta di poche osservazioni ma arricchita dalla matematica e dalla geometria, discipline che assumeranno una sempre maggiore importanza nell'aiutare questa scienza a progredire e a perfezionarsi.

Il Sistema Tolemaico

Il Sistema Tolemaico fu utilizzato da Dante Alighieri nella Divina Commedia.

Il sistema tolemaico continuò ad essere insegnato nelle scuole anche dopo le innovazioni di Copernico, Keplero e Galileo fin quasi ai primi del Settecento.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

Dopo la morte di Tolomeo dovettero passare circa seicento anni prima che venisse compiuto qualche significativo progresso delle scienze astronomiche.

Ciò avvenne nell'VIII secolo, durante il periodo di maggior sviluppo dell'espansionismo arabo.

Ricordiamo che le varie tribù arabe che vivevano in uno stato di semibarbarie, vennero unificate politicamente e religiosamente in seguito all'azione di Maometto (570 - 632).

Gli arabi, al contatto delle civiltà molto più progredite in cui si erano imbattuti specialmente in Siria, in Persia e in Egitto, seppero rapidamente assimilarle, unificarle con la loro lingua, dar loro un nuovo impulso, senza mortificarle con un troppo invadente integralismo religioso.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

In campo scientifico e astronomico l'apporto degli arabi è stato notevole. Sebbene durante il periodo del fiorire della civiltà araba non si registrino grandi scoperte, la traduzione e l'analisi delle opere dei grandi scienziati dell'antichità, unite a continui perfezionamenti, basati su nuove osservazioni e calcoli, hanno costituito il presupposto dei successivi, più rapidi progressi.

Fra i meriti più rilevanti ricordiamo l'introduzione e la diffusione in Occidente del metodo indiano posizionale a base dieci per la scrittura dei numeri che ancora oggi usiamo: il valore di ogni cifra da 0 a 9 è determinato dalla posizione che essa occupa in un numero.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

Data l'importanza che la civiltà araba ha avuto per la conservazione e lo sviluppo della scienza antica non ci si deve meravigliare se molti dei termini scientifici e soprattutto astronomici ancor oggi utilizzati siano di origine araba. Pensiamo ai nomi di molte stelle come Aldebaran, Altair, Betelgeuse, Rigel, Vega; a termini astronomici come zenit, nadir, almucantarat, almanacco; a termini matematici come algebra e algoritmo.

Già all'epoca della dinastia degli Omèiadi (661 – 750) era operante a Damasco un osservatorio.

Il califfo Al Mamun promosse la fondazione di un grande osservatorio a Baghdad (828) e sostenne anche l'attività del grande matematico e astronomo persiano Mohamed Ben Musa Al Khowarizmi, cui si deve una raccolta di tavole astronomiche.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

Forse il più grande astronomo del mondo arabo è stato Muhammed Al Battani (858 - 929), che divenne noto nel mondo occidentale, nel XII secolo, come Albategnus (Albatenio).

Pur essendo un convinto tolemaico, Albatenio effettuò nuove e più accurate osservazioni che gli permisero di migliorare i valori dell'obliquità dell'eclittica e della processione.

L'ultimo fra i numerosi astronomi che operarono a Baghdad fu Abùl Wafa, o Wefa (939 - 998), autore di un voluminoso trattato, anch'esso noto come Almagesto, che è stato a volte considerato una semplice traduzione dell'opera di Tolomeo, sebbene contenga diverse nuove idee e una diversa impostazione.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

Intorno al 970 vennero istituite a Cordova, in Spagna, una grande biblioteca e un'accademia. Altri centri culturali sorsero a Toledo, a Siviglia e in Marocco.

Il lavoro astronomico più importante realizzato in questi centri furono le *Tavole di Toledo,* che contenevano effemeridi calcolate per un osservatore di Toledo, compilate a cura di Ibn Al Zarqála, noto come Arzachel (1029-1087). Le tavole di Toledo contengono anche una descrizione degli strumenti e dei metodi di calcolo impiegati.

Dopo il 1258, data della conquista di Bagdad da parte del mongolo Hulagu Khan, nipote di Gengis Khan, il contributo del mondo arabo alla scienza in generale e all'astronomia in particolare si esaurì.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

In Europa, durante tutto il medioevo, l'Astronomia non fece progressi apprezzabili. Pochi personaggi sono degni di nota.

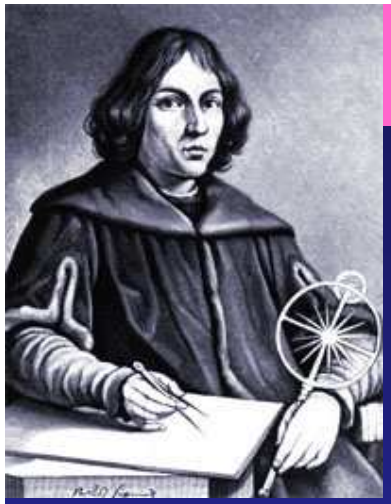
Gerardo da Cremona (1114 – 1187) tradusse l'Almagesto di Tolomeo e molti lavori di astronomia arabi.

Leonardo da Pisa (1170 – 1240) detto Fibonacci introdusse in Italia il metodo posizionale in base dieci adottato dagli arabi per la scrittura dei numeri e l'esecuzione delle quattro operazioni.

Gli Arabi e l'Astronomia Medievale

L'inglese John Holywood, più noto come Giovanni Sacrobosco (morì intorno al 1250) scrisse un trattato elementare di astronomia sferica (*Sphaera mundi*) tradotto e commentato in diverse lingue e che costituì per diversi secoli un riferimento fondamentale.

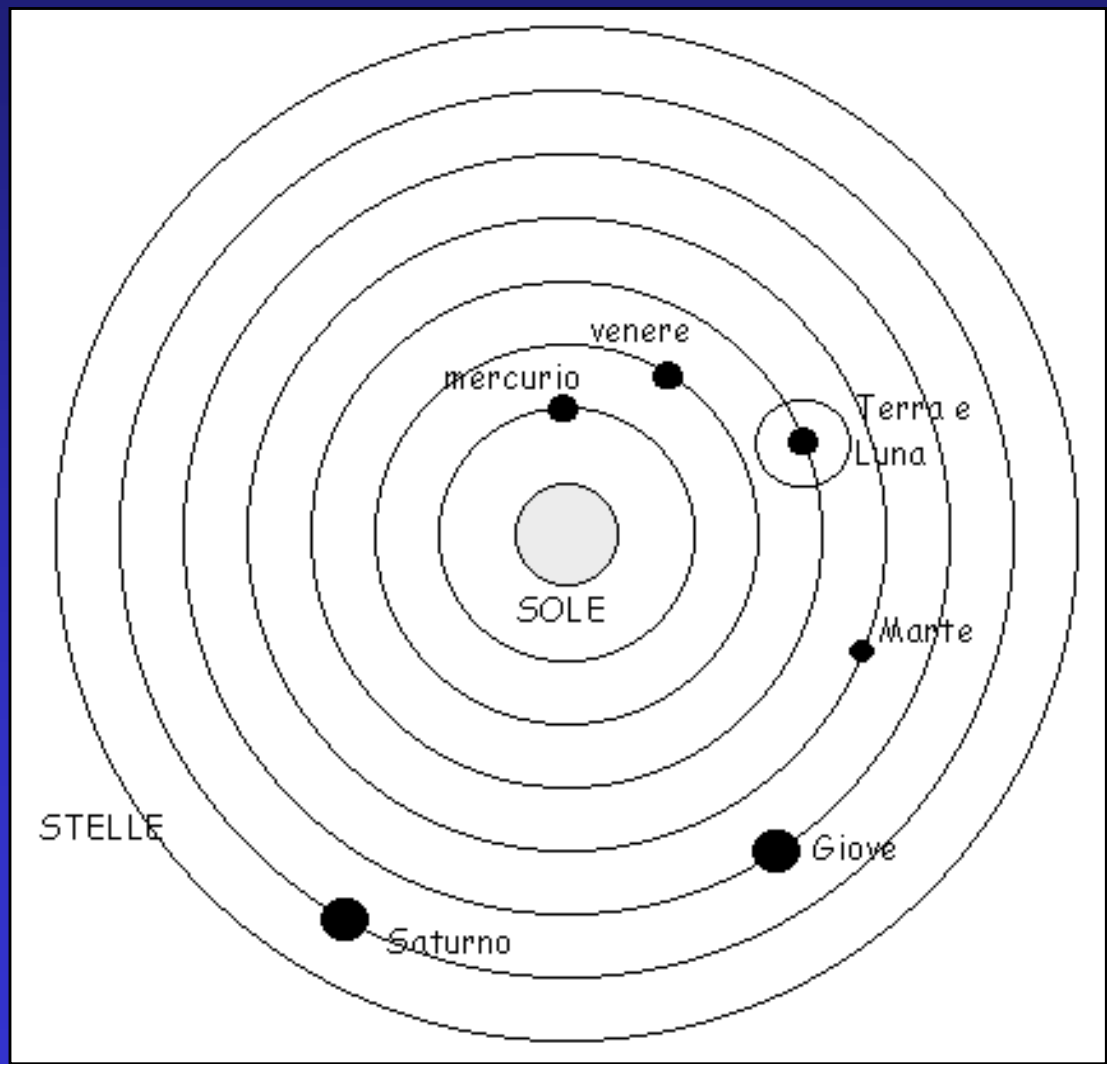
Il re Alfonso X di Castiglia (1221 – 1284) nel 1252 fece elaborare da una cinquantina di astronomi appositamente raccolti a Toledo delle effemeridi che furono chiamate le *Tavole Alfonsine*.



Il Sistema Copernicano

Passarono circa due millenni prima che le idee di Tolomeo fossero messe in discussione.

Cià avvenne nel 1542 con la pubblicazione e la diffusione dell'opera *De Rivolutionibus Orbium Coelestium* di Nicolò Copernico (1473 – 1543) che conteneva il sistema copernicano.



Il Sistema Copernicano

Copernico riprese una vecchia idea di Aristarco, che può essere sintetizzata nel seguente modo:

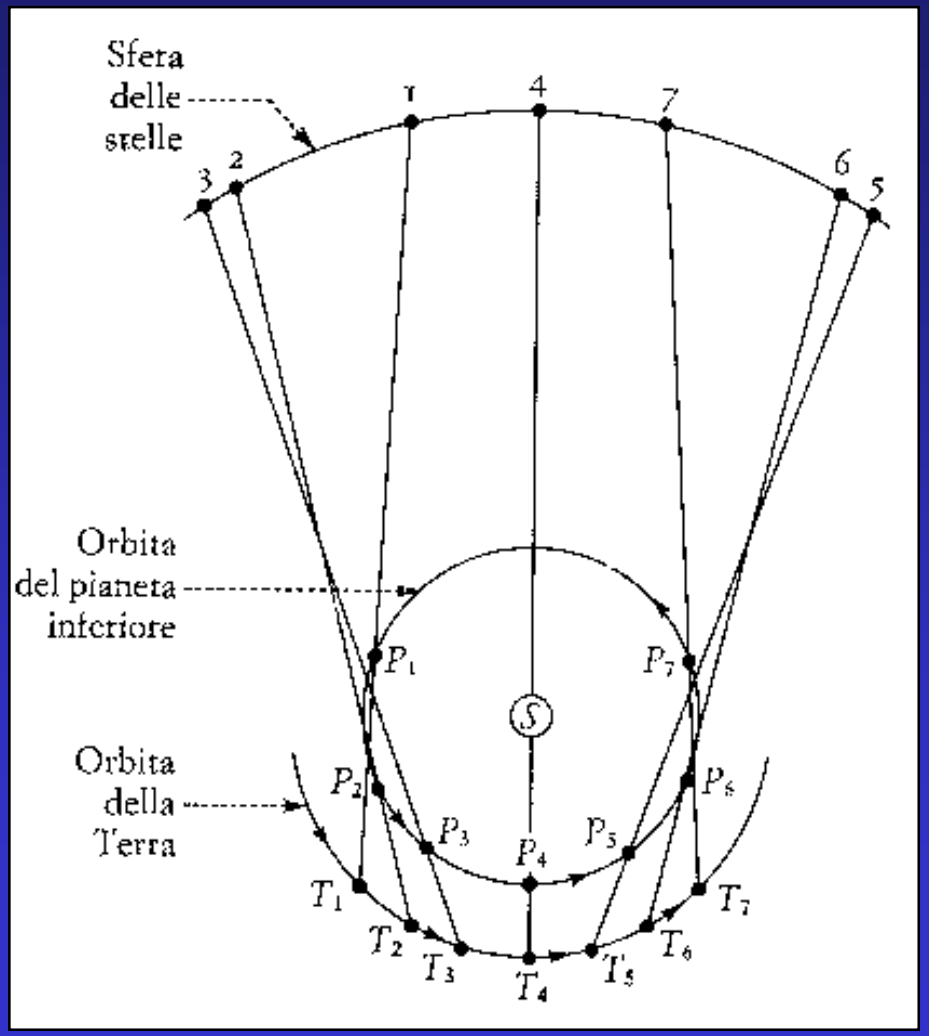
> la Terra compie una rotazione attorno al proprio asse da ovest a est in circa ventiquattro ore;

> la Terra non si trova al centro dell'Universo, ma solo dell'orbita lunare, e compie un giro attorno al Sole nel corso di un anno;

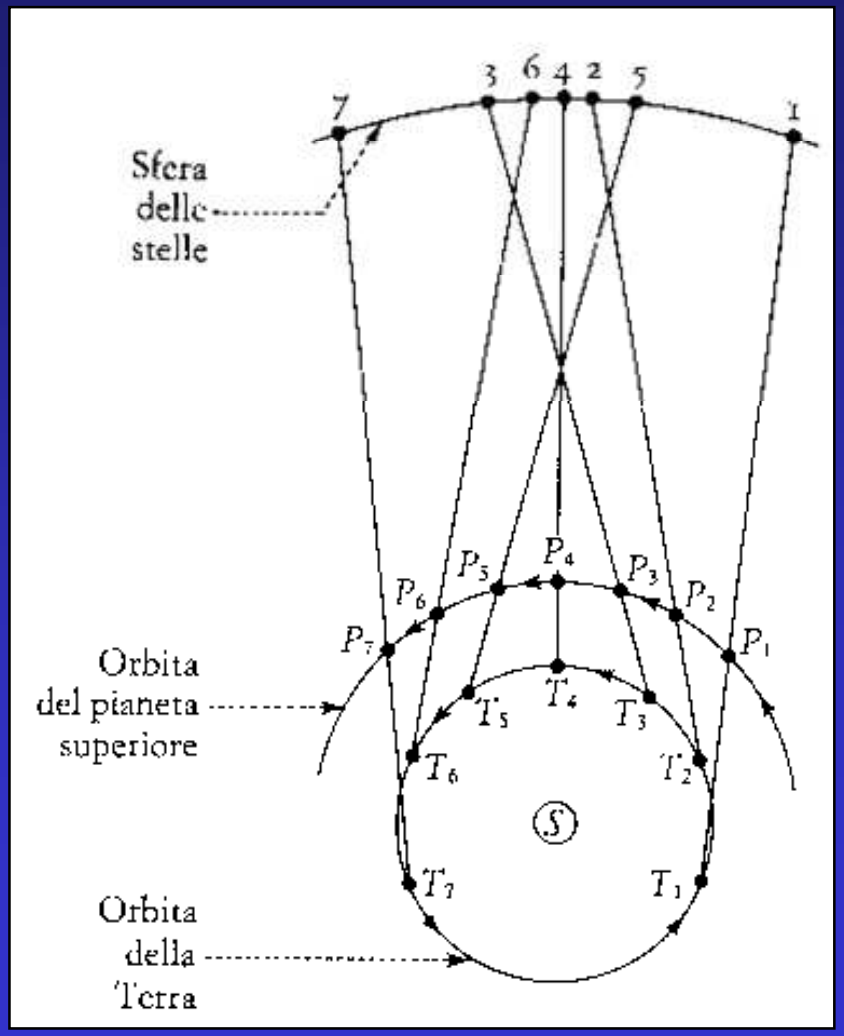
> i pianeti, come la Terra, ruotano attorno al Sole, che occupa il centro dell'Universo.

Il Sistema Copernicano

Con questo modello si possono spiegare facilmente gli strani moti dei pianeti.



Pianeti interni



Pianeti esterni

Il Sistema Copernicano

La concezione eliocentrica era stata accantonata per quasi venti secoli perché era attaccabile sia dal punto di vista fisico, sia da quello metafisico.
Fisicamente l'ipotesi che la Terra orbitasse attorno al Sole veniva scartata principalmente per due motivi:

1) sembrava contraddire il senso comune che prevedeva effetti catastrofici quali crollo di edifici, caduta degli oggetti non più lungo la verticale, eccetera;

2) poiché l'angolo sotto cui le stelle vengono viste da un osservatore posto sulla Terra dipende dalla posizione della stessa, si dovrebbero osservare variazioni nel corso dell'anno nella posizione apparente delle stelle nella volta celeste.
Ovviamente non si poteva sapere che a causa delle enormi distanze delle stelle queste variazioni sono talmente piccole da risultare inosservabili ad occhio nudo!

Il Sistema Copernicano

Se alle obiezioni di tipo scientifico si poteva in qualche modo contrapporre argomentazioni scientifiche, ben poco si poteva fare per gli attacchi di tipo metafisico o teologico.

La concezione aristotelica che aveva distinto in modo inequivocabile l'Universo in due mondi separati, quello sublunare e quello celeste, era difficilmente attaccabile senza scontrarsi anche con la Chiesa, che nel frattempo aveva fatto sua questa concezione.

Il Sistema Copernicano

L'idea copernicana, ponendo la Terra sullo stesso piano degli altri corpi celesti, le faceva perdere quella posizione privilegiata che secoli di dispute filosofiche le avevano attribuito.

Non devono quindi sorprendere i dubbi e le titubanze di Copernico stesso. Dovrà passare più di un secolo prima le sue idee siano accettate dalla comunità scientifica e, ancora nel XVIII secolo, nei salotti culturali si accendevano dispute accanite tra i sostenitori della teoria tolemaica e quella copernicana.

Con Copernico furono gettate le basi della moderna astronomia.

FINE

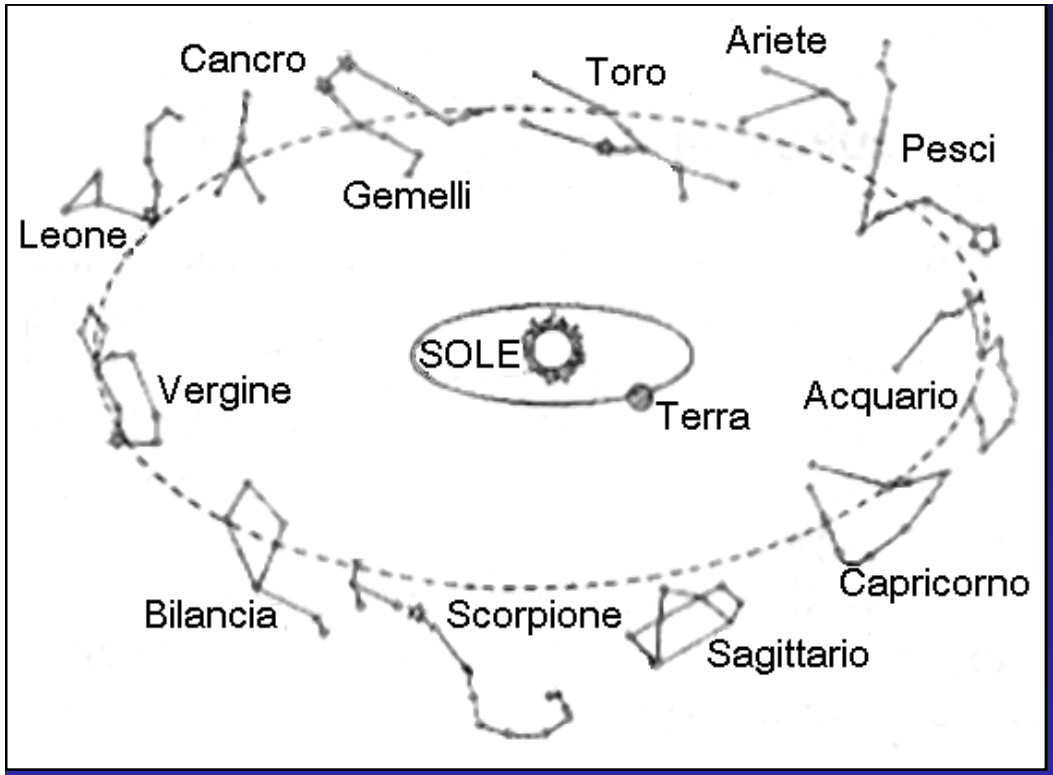
Il **sorgere eliaco** di un astro è la sua levata insieme al sole dopo un periodo di invisibilità

Almanacco dall'arabo al-manakh che vuol dire calendario. È una pubblicazione annuale simile al calendario, ma che comprendente varie notizie complementari.

L'**eclittica** è il piano dell'orbita della Terra intorno al Sole. Dalla Terra, l'eclittica corrisponde al percorso che il Sole fa in un anno in cielo rispetto allo sfondo delle stelle. Le orbite di tutti i pianeti, ad eccezione di Plutone, sono molto vicine al piano dell'eclittica cioè si trovano più o meno nello stesso piano.

L'**anno siderale** è l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del Sole in uno stesso punto della sua orbita, rispetto alle stelle è pari a 365,25636 giorni

L'**anno tropico** è l'intervallo di tempo tra due equinozi di primavera successivi è pari a 365,24219 giorni.



Lo Zodiaco è una fascia immaginaria nel cielo che si estende per 9° circa da entrambi i lati dell'eclittica.
Sono comprese in questa fascia le traiettorie visibili del Sole, della Luna e di tutti i pianeti ad eccezione di Plutone.
I Greci divisero lo Zodiaco in 12 parti uguali (ciascuna corrispondente ad un segmento di cielo di 30°) dando loro il nome della costellazione più vistosa presente in ognuna di esse. Tali suddivisioni sono i cosiddetti segni dello Zodiaco. Le costellazioni attraversate dal Sole sono in realtà 13 e non 12, poiché tra lo Scorpione e il Sagittario il Sole attraversa Ofiuco. Da quando le suddivisioni dello Zodiaco hanno ricevuto i loro nomi classici, la precessione degli equinozi ha spostato la fascia zodiacale, ma i vecchi nomi dei segni non sono mai stati cambiati, anche se non corrispondono più alle costellazioni come le si osserva in cielo. Così, per esempio, un tempo il 21 marzo il Sole si trovava nella costellazione dell'Ariete, mentre oggi si trova nella costellazione dei Pesci.

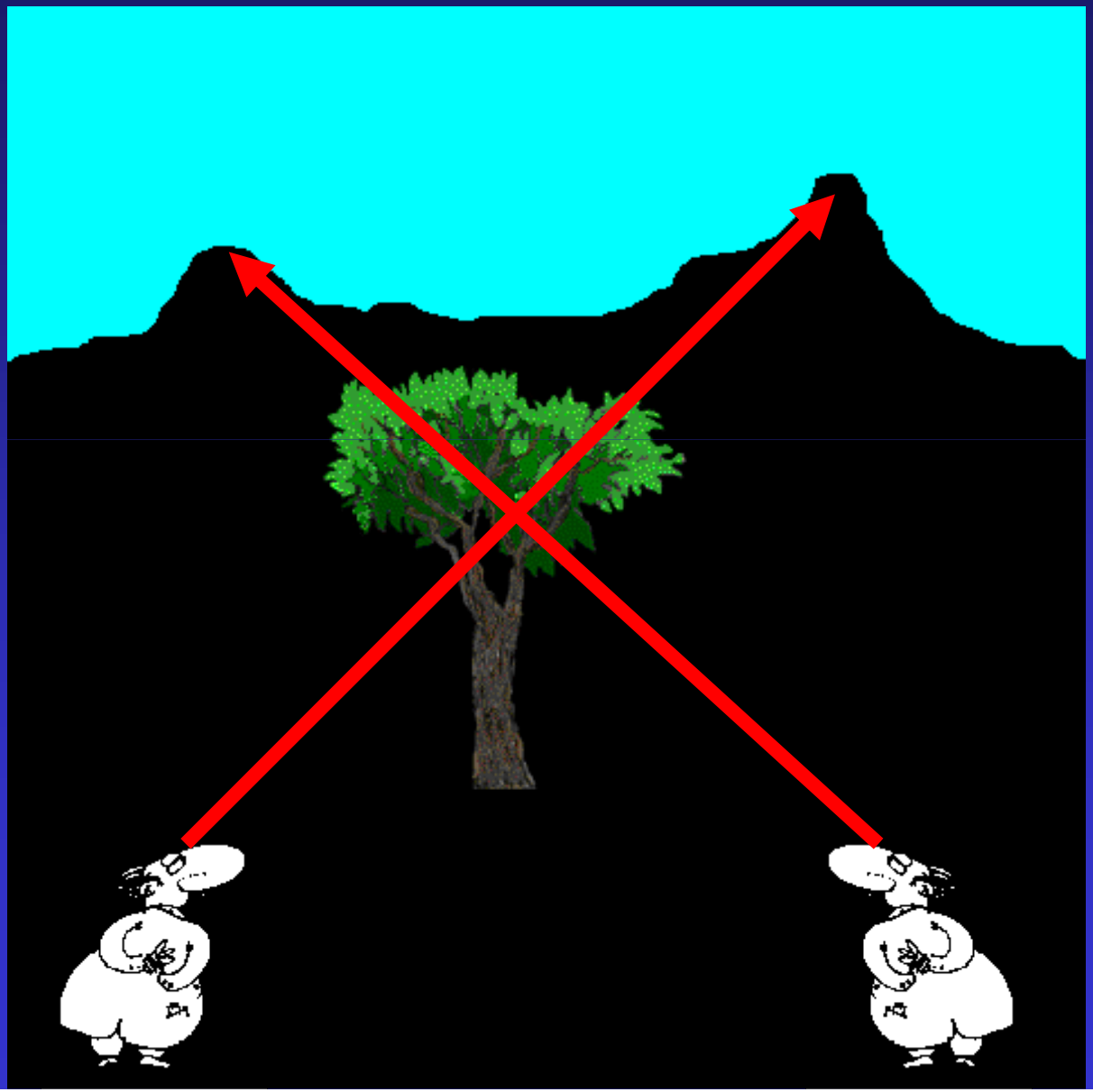
La Via Lattea

E' quella fascia lattiginosa di stelle che attraversa il cielo notturno, segnando il piano della Galassia (un insieme di circa 200 miliardi di stelle grosso modo simili al nostro Sole, di gas e di polveri mantenuti insieme dalla forza di gravità).

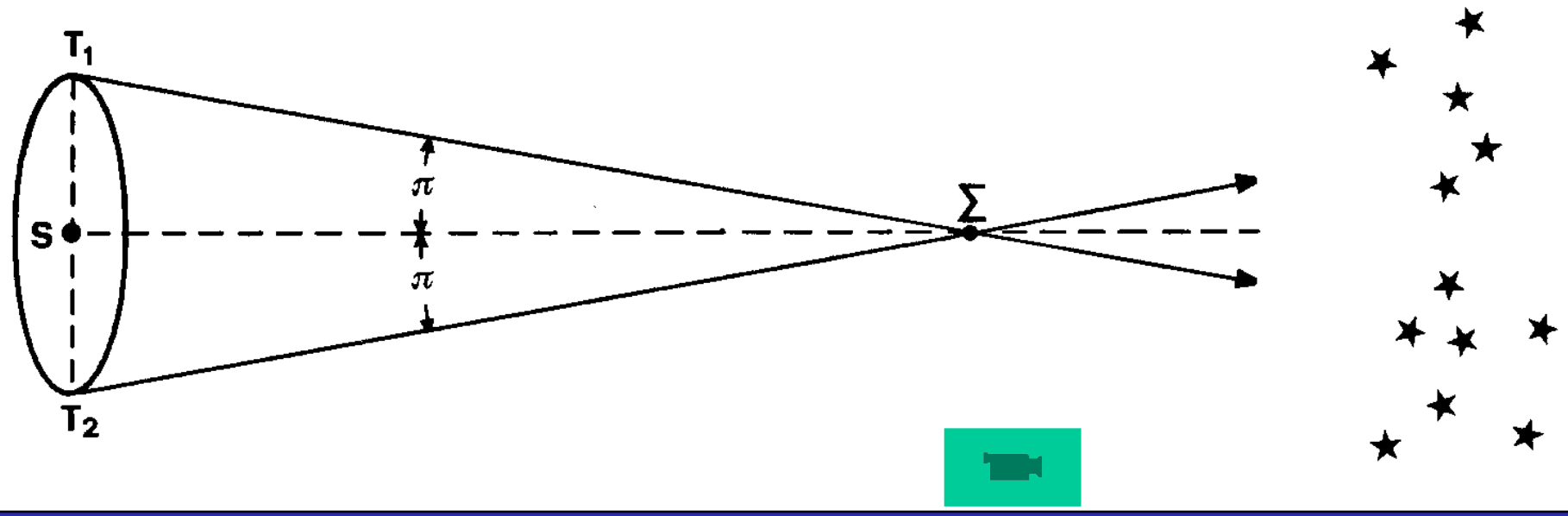
L'espressione Via Lattea è usato come sinonimo di Galassia.

Nella foto di Alfredo Trombetta la parte della Via Lattea verso il centro nella costellazione del Sagittario.

La parallasse

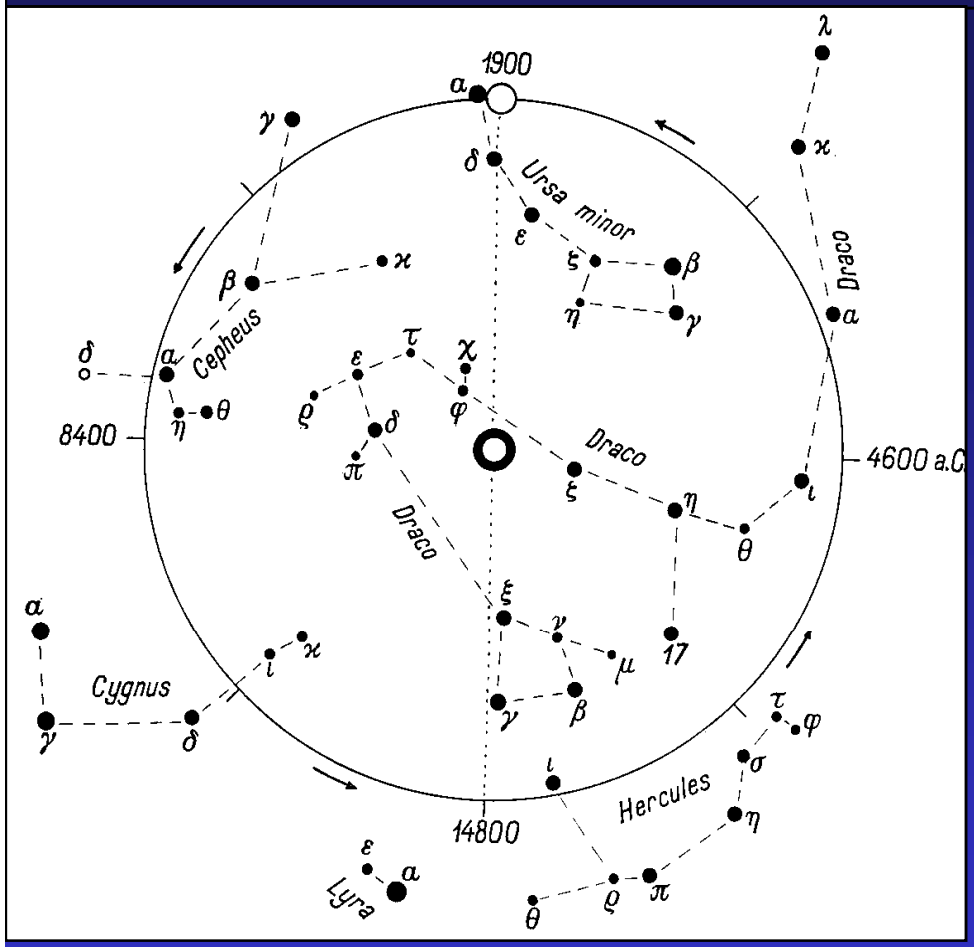


La parallasse



Spostamento apparente di una stella per effetto del moto orbitale della Terra; l'ellisse rappresenta l'orbita terrestre vista in prospettiva.
La stella posta in S viene vista in due posizioni diverse da T_1 o da T_2, punti diametralmente opposti nell'orbita della Terra attorno al Sole.
C'è da notare che le stelle più vicine alla Terra hanno angolo di parallasse π dell'ordine dei decimi di secondo d'arco, quantità troppo piccola per essere rilevata a quell'epoca.
Se $\pi = 1''$ la distanza è di $3{,}094 \cdot 10^{16}$ m ovvero 3,27 anni luce, per definizione 1 parsec.

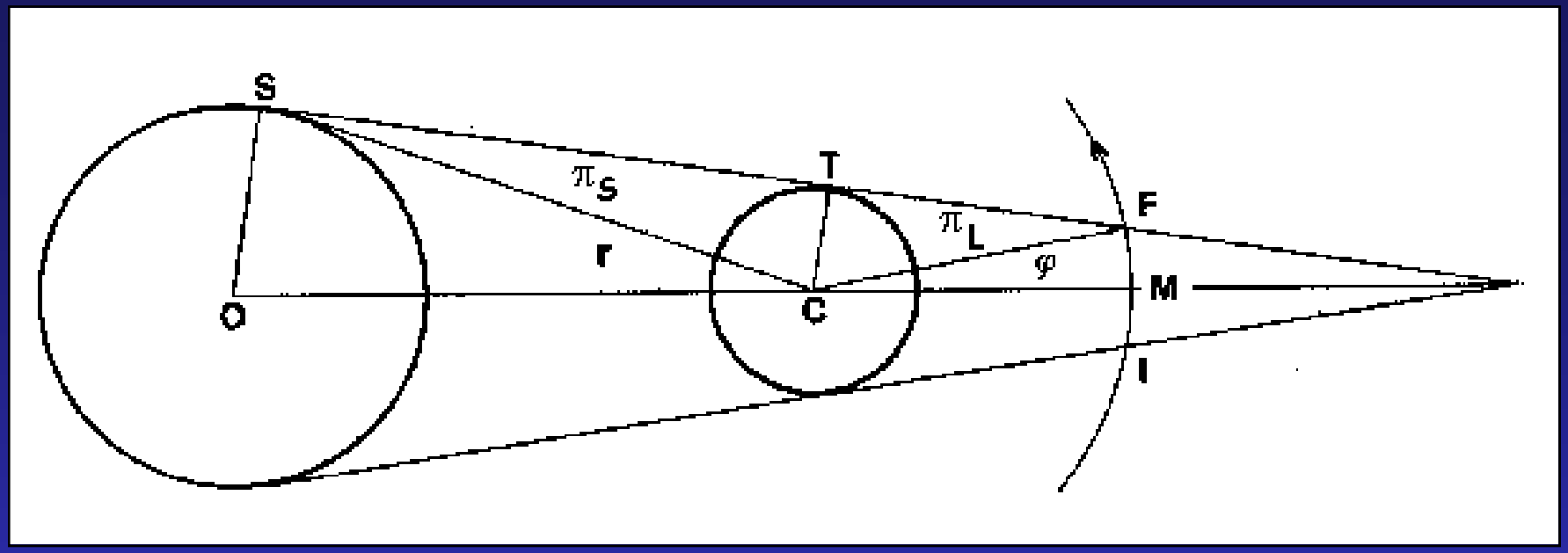
Precessione degli equinozi



L'asse di rotazione della Terra, a causa dell'attrazione del Sole e della Luna (e in modo minore anche degli altri pianeti), compie un movimento rotazionale attorno ad un asse ideale perpendicolare al piano dell'orbita.
Questo moto fa sì che il Polo Nord Celeste si sposta lungo una circonferenza con un periodo di circa 26.000 anni.
Ciò comporta anche che gli equinozi anticipino ogni anno.

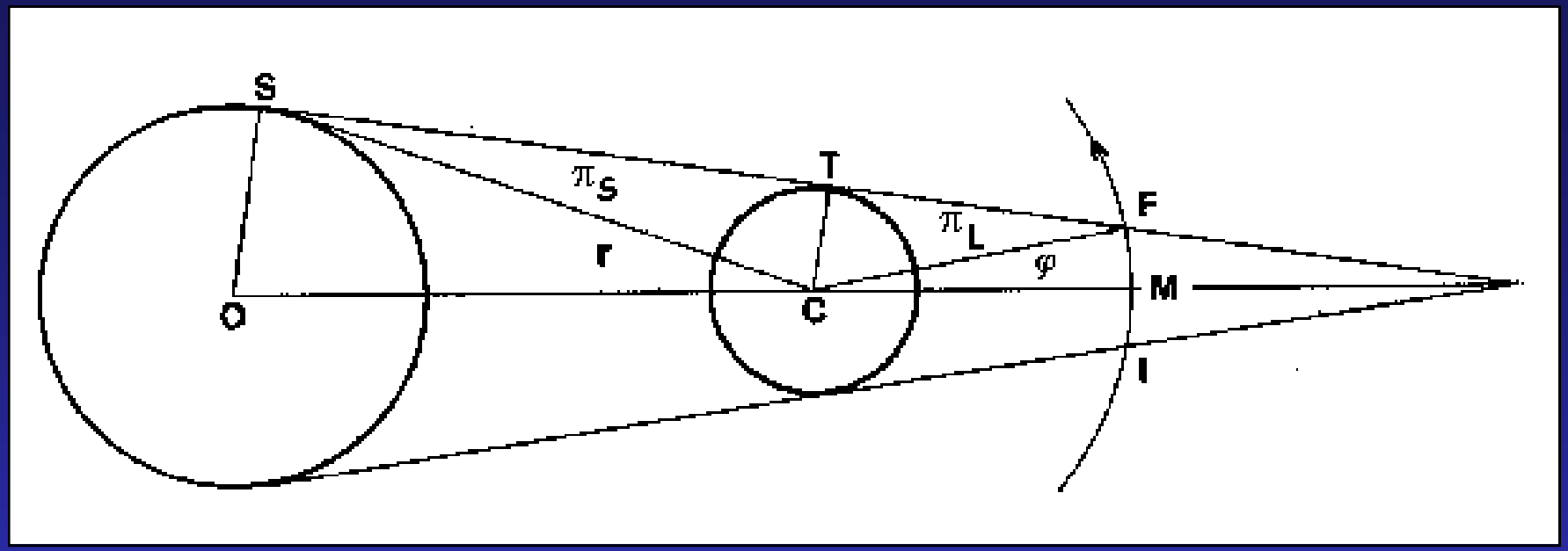
L'equinozio è il momento in cui il Sole interseca l'equatore celeste; in tale data il giorno e la notte hanno la stessa durata in qualsiasi luogo della Terra.
Nell'emisfero settentrionale l'equinozio di primavera cade il 21 marzo, quello d'autunno il 23 settembre.

Distanza del Sole e della Luna



Nella figura sono rappresentati il Sole con centro in O, la Terra con centro in C, ed un arco IMF dell'orbita lunare (la figura non è in scala).
I è il punto in cui la Luna entra in eclisse, M il punto centrale del fenomeno ed F quello di uscita dall'ombra. Si suppone che l'eclisse sia centrale, cioè che nella fase centrale Sole, Terra e Luna siano sulla stessa retta.
π_S è la misura dell'angolo sotto cui dal Sole si vede il raggio terrestre, cioè la parallasse del Sole; π_L è la parallasse della Luna.
L'angolo *r* è il semidiametro apparente del Sole; è noto che vale 16' (dalla Terra il disco del Sole ha mediamente un diametro angolare di 32'); infine φ è l'arco entro cui la Luna è in eclisse.

Distanza del Sole e della Luna



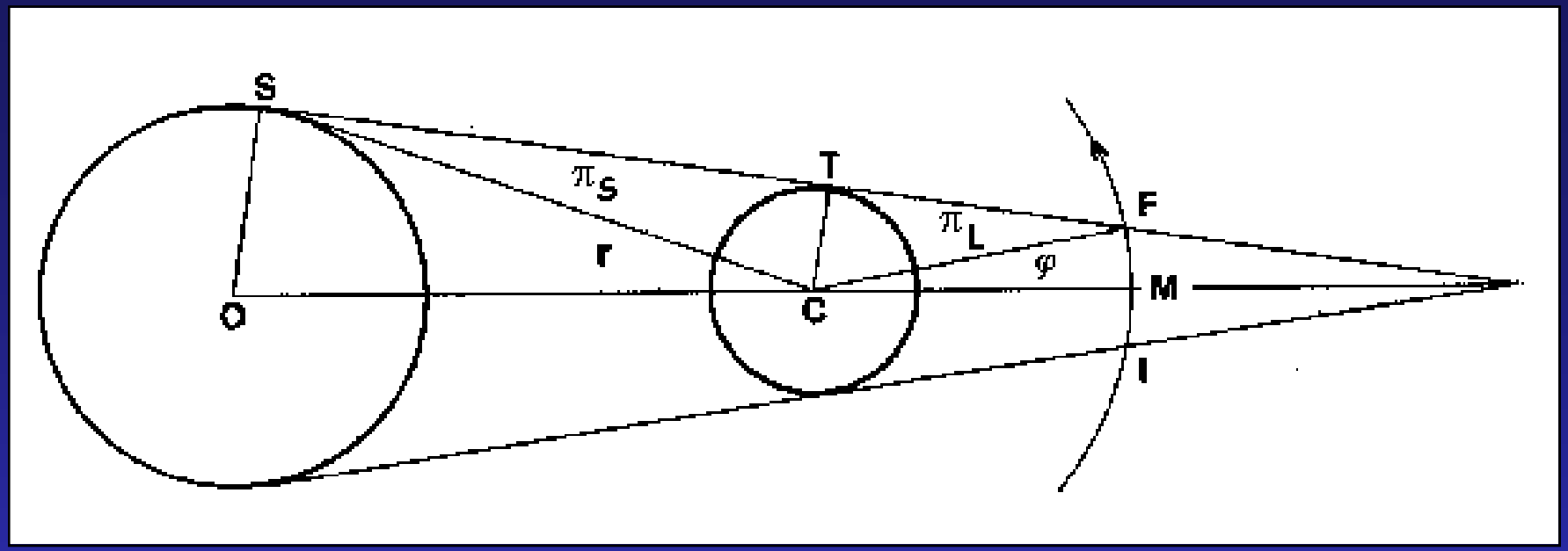
È noto che un'eclisse centrale dura due ore e mezzo, la metà di tale arco, cioè l'angolo φ, viene percorsa quindi in un'ora e 15 minuti (= 1,25 ore).
Nel suo moto attorno alla Terra la Luna, in cielo, si sposta mediamente di circa 13° in 24 ore, si può scrivere la proporzione

$$\varphi : 1{,}25 = 13° : 24$$

dalla quale si ricava che $\varphi = 40'$.
Poiché gli angoli $(r + \varphi)$ e $(\pi_S + \pi_L)$ sono supplementari dello stesso angolo SCF, si ha

$$(\pi_S + \pi_L) = (r + \varphi) = 16' + 40' = 56'.$$

Distanza del Sole e della Luna



I triangoli CTS e CTF sono rettangoli in T, si ha quindi: $\pi_S + \pi_L$

$$TC = CS \text{ sen } \pi_S \qquad e \qquad TC = CF \text{ sen } \pi_L.$$

CS è la distanza del Sole dalla Terra (la indichiamo con d_S) mentre CF è la distanza della Luna dalla Terra (la indichiamo con d_L).

Poiché gli angoli in gioco sono "piccoli" valgono le approssimazioni:

$$\text{sen } \pi_S = \pi_S \qquad e \qquad \text{sen } \pi_L = \pi_L.$$

Si ha quindi: $TC = d_S \cdot \pi_S$ e $TC = d_L \cdot \pi_L$. da cui segue: $d_S / d_L = \pi_L / \pi_S$.

Ipparco era a conoscenza del valore trovato da Aristarco per il rapporto d_S / d_L (= 19); si ottiene $\pi_L = 19 \cdot \pi_S$.

Ricordando che $\pi_S + \pi_L = 56'$ si ottiene:

$$\pi_S = \sim 3'; \ \pi_L = \sim 53'.$$

Distanza del Sole e della Luna

Oggi sappiamo che la parallasse solare è 8,79" e perciò il valore trovato da Ipparco era in eccesso per un fattore circa 20; la parallasse della Luna invece era assai prossima al vero, che è 57', un errore quindi solo del 7%.
Il grande errore nel risultato è dovuto al valore dato da Aristarco per il rapporto fra le distanze del Sole e della Luna.
Conoscendo il raggio della Terra TC (vedi Eratostene) utilizzando:

$$d_S = TC/\text{sen}\,\pi_S \qquad e \qquad d_L = TC/\text{sen}\,\pi_L$$

si ha:

$$d_S \approx 7235000 \text{ km} \qquad e \qquad d_L \approx 410000 \text{ km}$$

La distanza del Sole corrisponde a circa 1100 volte il raggio terrestre; oggi sappiamo che è 23500 volte.
Per quanto l'errore sia notevole si ricavava che il Sole, apparendo di circa mezzo grado, doveva essere un globo 5 volte più grande in diametro del globo terrestre; risultato molto importante se si considera che in epoca successiva c'erano discussioni tra chi riteneva il Sole un immenso astro dominante il cosmo e chi un piccolo globo di fuoco entro l'atmosfera sovrastante la Terra piatta.