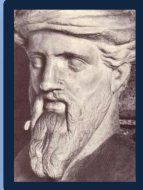
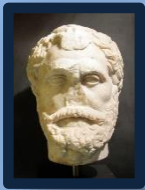
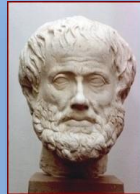


Astronomia greca

I filosofi di Mileto e i Pitagorici



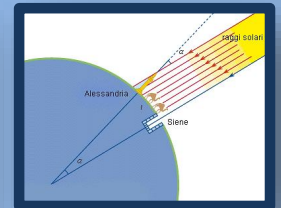
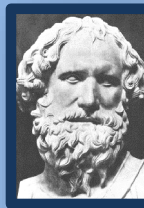
Aristotele



Osservazioni del cielo e moto retrogrado pianeti



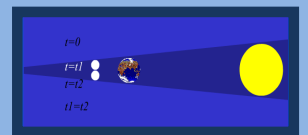
Eratostene



Terra ferma?



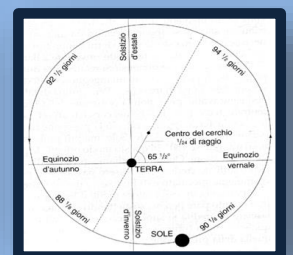
Aristarco



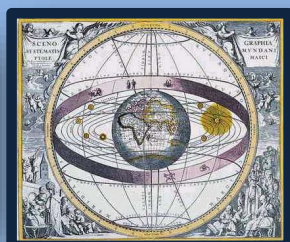
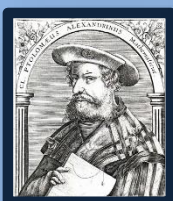
Problemi irrisolti



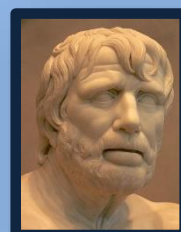
Ipparco

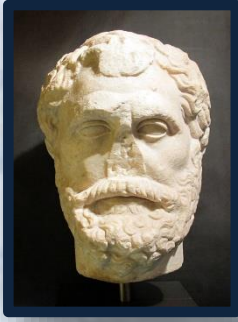


Tolomeo



Conclusione



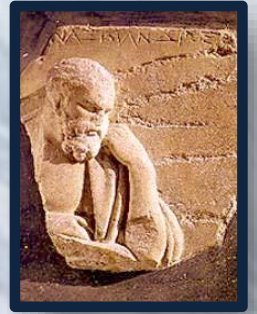


TALETE

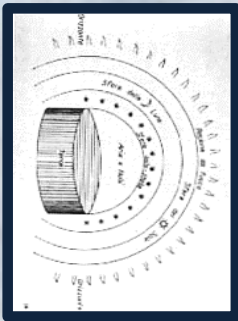
I primi filosofi sono fisici o fisiologi. Essi cominciano ad occuparsi della realtà materiale e differenzia delle precedenti cosmogonie cercano di spiegare tale realtà senza gli impacci del mito.

La fisica, in greco *physis*, natura, è la realtà che diviene, la realtà in movimento che è solo una parte del Tutto, il quale comprende tanto questa realtà quanto la realtà divina.

Secondo Anassimandro il sole era il più alto (lontano) dei corpi celesti e la luna era subito sotto di esso. La Terra era un cilindro e stava ferma al centro dell'universo in quanto era equidistante da qualsiasi altra cosa. L'umanità viveva sulla sua superficie.



ANASSIMANDRO



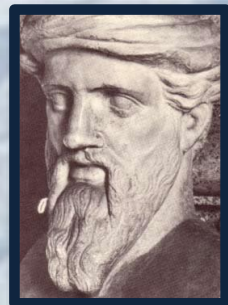
Una prova del modello cilindrico era il fatto che a diverse latitudini le stelle visibili non erano le stesse: dall'Egitto erano visibili stelle che non potevano assolutamente essere viste dalla Grecia. Questo portava a distruggere la concezione di una Terra piatta a favore perlomeno di una qualche curvatura della superficie terrestre; Anassimandro riteneva che la curvatura andasse solo nella direzione nord-sud.

Nelle colonie greche dell'Italia meridionale, attorno al celebre Pitagora, si radunarono i membri di un gruppo religioso: furono chiamati "Pitagorici".

Fondamento della loro scuola e filosofia fu che alla base di qualsiasi cosa ci fossero i numeri; "Tutto è numero" fu infatti il motto che li rese famosi.

Ad essi si deve l'intuizione della sfericità della Terra, giustificata da diverse motivazioni:

- **Osservazione astronomica:** l'ombra della Terra proiettata sulla Luna nelle eclissi lunari è sempre circolare.
- **Intuizione fisica:** l'analogia con la forma degli altri corpi celesti
- **Argomentazione filosofica:** l'unica forma adatta a rimanere naturalmente in equilibrio è quella sferica; la forma più perfetta per un corpo.



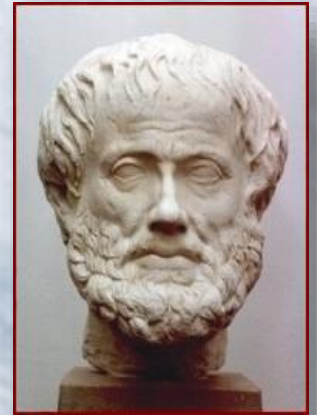
PITAGORA

Il primo modello

Le concezioni astronomiche dei Greci erano basate sulle osservazioni ad occhio nudo e sulla filosofia.

Aristotele tratta nella *Fisica* e nel *De coelo* della conformazione dell'universo.

Egli propone un **modello geocentrico**, finito (diversamente non potrebbe esserci un centro). Secondo Aristotele, la Terra è formata da quattro elementi: terra, acqua, aria e fuoco. Riguardo a ciò che si trova oltre la Terra, Aristotele lo riteneva composto di un quinto elemento (o essenza): l'etere, che non esiste sulla Terra, è privo di massa, invisibile e, soprattutto, eterno ed inalterabile.



Aristotele
(384-322 a.C.)



Queste due ultime caratteristiche fissano un confine tra i luoghi sub-lunari, il regno terrestre, e i luoghi oltre il concavo lunare, il regno celeste.

- il regno terrestre, delimitato dall'orbita della Luna, era il regno della mutevolezza, della meteorologia.

- il regno celeste, oltre il "concavo lunare", era perfetto; in esso i corpi compivano i loro moti circolari, regolari ed eterni, con immutabilità.



I pianeti conosciuti erano 5: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Ognuno si muoveva, insieme al Sole, su orbite circolari, concentriche alla Terra, che era sospesa al centro dell'universo.

Tutto l'universo era racchiuso da un'ultima sfera, maggiore: quella delle stelle fisse, che a sua volta riceveva il moto dal PRIMO MOBILE.

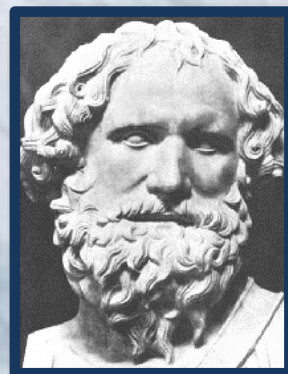
La misura del raggio della Terra

Intorno al 230 a.C. Eratostene misurò per la prima volta le dimensioni della Terra.

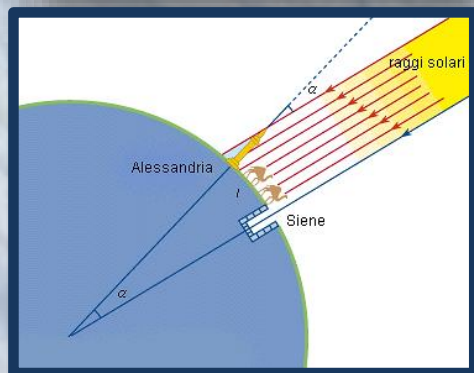
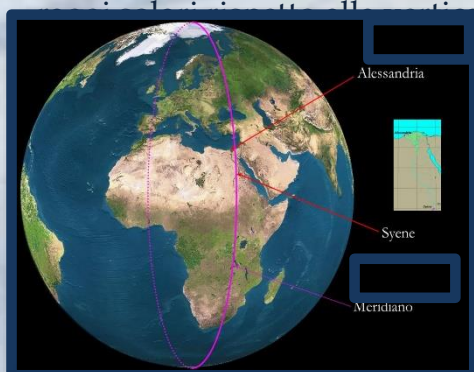
Il suo calcolo si basava sull'osservazione che un bastone verticale posto a Siene (Assuan) in Egitto il giorno del solstizio d'estate, non proietta nessuna ombra.

Ciò significa che, in quel giorno e a quell'ora, il sole si trova esattamente allo zenit.

Nello stesso giorno dell'anno e alla stessa ora, un uguale bastone piantato ad Alessandria, proietta un'ombra che indica una inclinazione di $7^{\circ} 12'$ dei



Eratostene di Cirene
(273-192 a.C.)



Se Alessandria si trova sullo stesso meridiano, a nord di Siene (come Eratostene credeva), la differenza di latitudine tra i due luoghi è di $7^{\circ} 12'$. Conoscendo la distanza tra Siene e Alessandria era possibile calcolare, per mezzo di una proporzione, la misura della circonferenza e quindi del diametro terrestre.

Infatti, $7^{\circ} 12'$ rappresentano un cinquantesimo dell'angolo giro; quindi anche la distanza Siene-Alessandria deve essere la cinquantesima parte della circonferenza terrestre.

Le stime della distanza tra le due città (SA) era allora di 5.000 stadi:

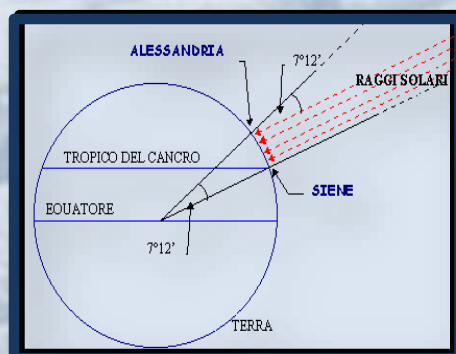
$$SA = 157 \text{ m} * 5.000 = 785.000 \text{ m, cioè } 785 \text{ km.}$$

$$7^{\circ}12' : 360^{\circ} = SA : \text{ci. rc.Terr.}$$

$$7^{\circ} 12' \text{ sono } 1/50 \text{ di } 360^{\circ}.$$

Dunque la circonferenza della Terra è di $785 * 50 = 39.250 \text{ km.}$

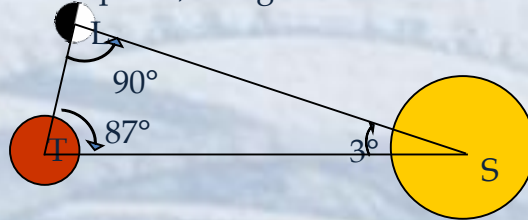
Dividendo tale numero per 2π si ottiene il raggio della Terra : 6.250 km.



(attuali: 6.378 km Equatoriale – 6.356 km Polare)

Le distanze Terra-Sole e Terra-Luna

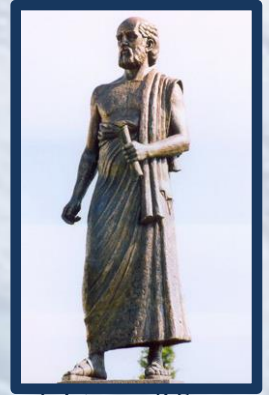
Quando la luna è semipiena, l'angolo Terra-Luna-Sole è retto



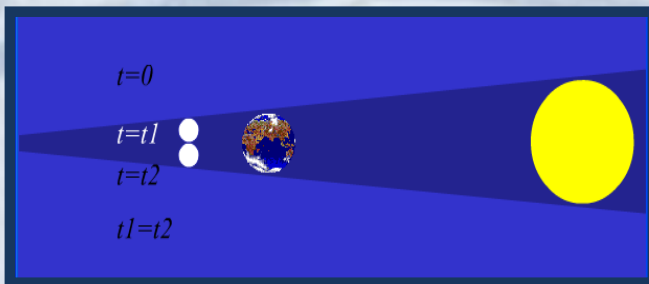
Aristarco, con la balestriglia, misurò 87° per l'angolo STL. Il rapporto tra ipotenusa e cateto minore di un qualsiasi triangolo con i gli angoli di 90° , 87° e 3° è circa 19.

Quindi, sfruttando la similitudine tra triangoli, $TS : TL = 19 : 1$

➔ distanza Terra - Sole = 19 volte distanza Terra - Luna

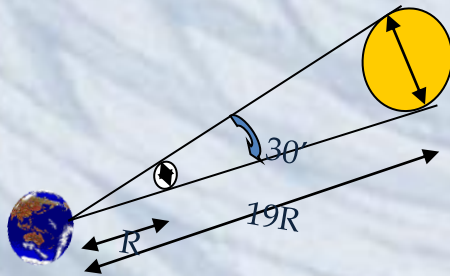


Aristarco di Samo
(310-230 a.C.)



1) Osservando l'eclissi di Luna, Aristarco notò che detto t_1 l'intervallo di tempo tra l'inizio dell'ombra sulla Luna e l'oscuramento completo della Luna, e detto t_2 l'intervallo di tempo in cui la luna resta completamente oscurata, $t_1 = t_2$

La larghezza del cono d'ombra che la Terra proietta sulla Luna in una eclissi lunare è circa 2 volte il diametro della luna



2) Luna e Sole si vedono dalla Terra sotto lo stesso arco pari a $30' = 0,5^\circ$; cioè hanno le stesse dimensioni apparenti alla medesima altezza sull'orizzonte. Sfruttando la similitudine, possiamo dire che il diametro del Sole è 19 volte quello della Luna.

Egli seguì un procedimento matematico abbastanza semplice, ed arrivò a stabilire che:

- diametro Luna = $\frac{20}{57}$ diametro Terra = $\frac{20}{57} \cdot 12600 = 4.421$ km
- diametro Sole = $4.421 \times 19 = 84.000$ km
- distanza Terra-Luna = 506.609 Km.
- distanza Terra- Sole = $506.609 \times 19 = 9.625.571$ km

I valori sono molto diversi da quelli attuali; ma il metodo usato è ineccepibile.

- Angoli triangolo TSL di partenza: $90 - 89.94$ e $1/18$ di grado (invece di 3°)

Quindi l'ipotenusa non è 19 volte il cateto ma 57 (errore dovuto a strumenti rudimentali)

- Trascurare il raggio di Terra, Sole e Luna nel calcolo delle distanze.

Nessuno osò mettere in discussione le concezioni di Aristotele. Gli astronomi, però, notarono che i 5 pianeti (Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno) si muovevano ognuno per conto proprio fra le stelle fisse, con velocità variabili.

Ognuno dei 5 pianeti, ogni tanto addirittura si fermava, invertiva per un po' di tempo il suo cammino e poi riprendeva il normale volo diretto da ovest verso est.

Inoltre i pianeti non apparivano sempre con la stessa luminosità, ma a volte sembravano più luminosi e altre meno; questo suggeriva grandi mutamenti della loro distanza dalla Terra.

Pianeti: stelle vagabonde

αστέρες πλανήται: "stelle" -astéres- vagabonde -planétai

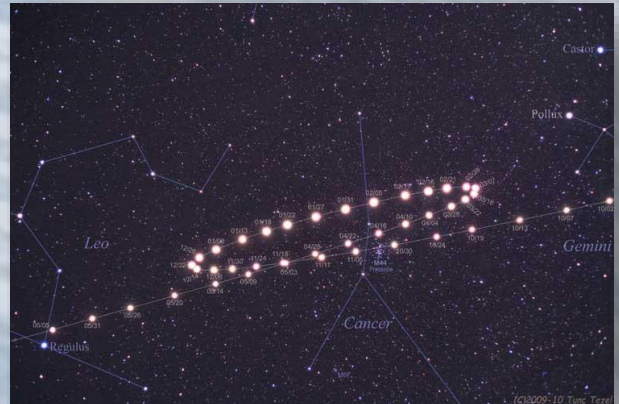
Platone avrebbe assegnato ai suoi contemporanei il compito di mostrare che i moti planetari erano altrettanto regolari di quelli degli altri moti celesti, anche se non altrettanto semplici.

Poiché i moti delle stelle erano circolari e uniformi, si trattava di spiegare anche i moti dei pianeti come combinazioni di moti circolari e uniformi.

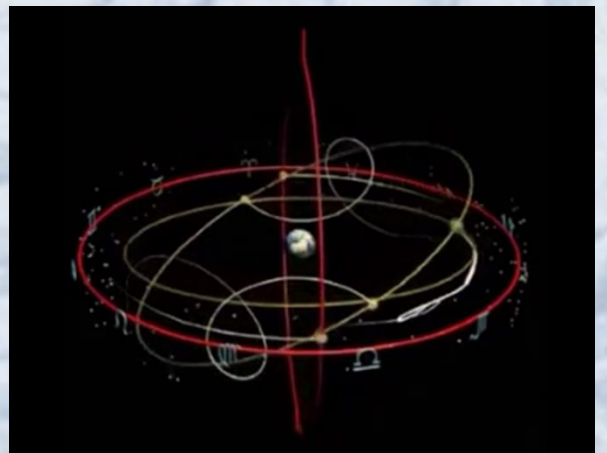
Si chiamò moto retrogrado il particolare comportamento dei pianeti che li faceva retrocedere, lungo le rispettive orbite, in certi periodi dell'anno e si cercò di spiegarlo con cerchi e sfere.



Moto retrogrado di Marte

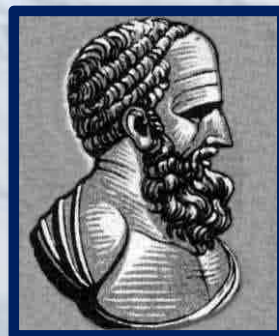


Moto retrogrado di Saturno



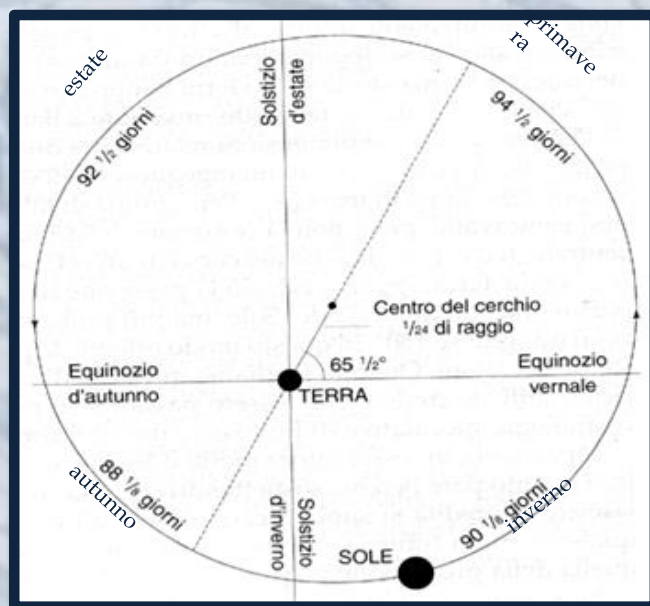
Primo catalogo stellare Rottura della simmetria

Ipparco fuse gli studi dei babilonesi e dei greci e ne trasse il primo modello geometrico in grado di predire la posizione di un pianeta per tutti i tempi. In particolare, Ipparco compilò un **catalogo stellare** con 1080 stelle e le rispettive posizioni celesti. Compose poi un **elenco delle eclissi lunari** registrate dai Babilonesi a partire dall'VIII secolo. Queste registrazioni furono cruciali per lo studio dei moti del Sole e della Luna, poiché nelle eclissi Sole e Luna sono perfettamente allineati con la Terra.



Ipparco di Nicea
(190-120 a.C.)

Si accorse che **le stagioni non avevano tutte la stessa durata** e concluse che la Terra non poteva trovarsi al centro dell'orbita del Sole, ma in una posizione eccentrica.



Primavera:	94,5 giorni
Estate:	92,5 giorni
Autunno:	88,125 giorni
Inverno:	90,125 giorni
	<hr/>
	365,25

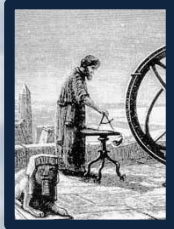
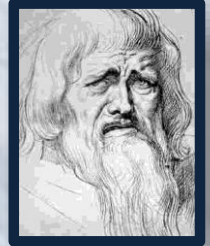
Ipparco arrivò a stabilire che l'eccentricità dovesse essere pari a $1/24$ del raggio del cerchio e che l'asse Terra-centro orbita Sole dovesse formare un angolo di $65^{\circ} 30'$ con l'equinozio di primavera.

Le ipotesi di qualche moto della Terra non mancarono nell'antichità.



Filolao, pitagorico vissuto nell'Italia meridionale, fu il primo a proporre il moto della Terra, della Luna, del Sole e dei 5 pianeti attorno ad un fuoco centrale: il "cuore dell'universo".

Eraclito Pontico (350 a.C.) avrebbe proposto il moto della Terra attorno ad un suo asse.



Aristarco dell'isola di Samo (250 a.C.) anticipò Copernico, sostenendo:

Il Sole è fermo al centro dell'universo; Terra e pianeti ruotano attorno al Sole con moti circolari uniformi; La Terra, oltre a ruotare attorno al Sole, ruota su se stessa.

Da questo modello consegue che:

- Il moto diurno di rotazione delle stelle fisse e dei corpi celesti è apparente (dovuto alla rotazione della Terra)
- La variazione stagionale dell'altezza del sole è dovuta all'inclinazione dell'asse terrestre (eclittica)
- Il moto retrogrado è la conseguenza della differente velocità di rotazione dei pianeti rispetto a quella della Terra.

Problemi irrisolti

Diversi furono i problemi irrisolti nell'Almagesto.

Ecco i più clamorosi :

- A. Gli espedienti dell'**eccentricità** (introdotta da Ipparco) e degli epicicli (introdotta da Apollonio) mal si conciliavano con la filosofia naturale aristotelica che parlava di moti uniformi su sfere concentriche.
- B. L'artificiosità dell'**equante** infastidiva tutti.
- C. Il problema delle **Comete**

- dovevano far parte della meteorologia, in quanto mutavano, comparivano e scomparivano in cielo.
- le osservazioni sulla loro altezza nel cielo le collocavano nettamente fuori dal concavo lunare, cioè nel mondo celeste, che doveva essere immutabile in eterno ...



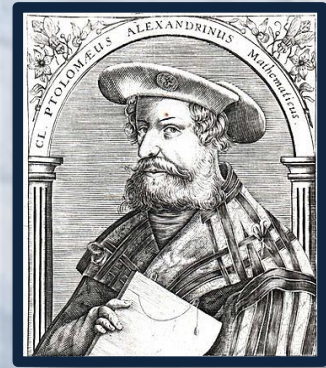
Il punto equante

I pianeti non si muovevano con la stessa velocità in ogni punto della loro orbita; in certe zone più lentamente, in altre più velocemente.

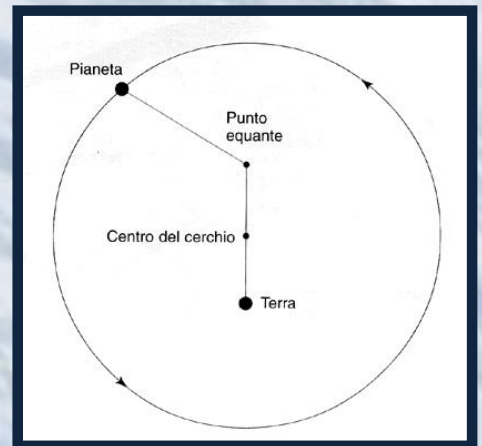
Come giustificare questa osservazione con il modello geocentrico simmetrico?

Tolomeo definì il punto "equante" come l'immagine speculare della Terra, simmetrico rispetto al centro dell'orbita del pianeta.

Un pianeta, sulla circonferenza, dunque, si muove con velocità non uniforme, ma tale da apparire uniforme a un osservatore situato nel punto "equante".



Claudio Tolomeo
(190-120 a.C.)



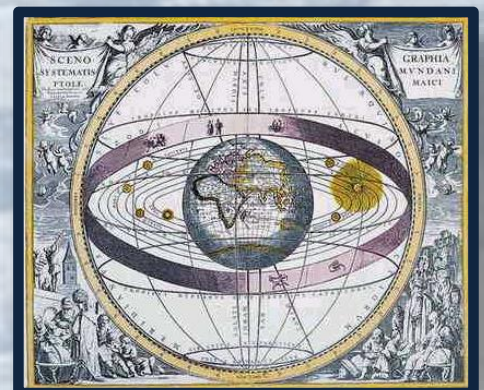
Almagesto

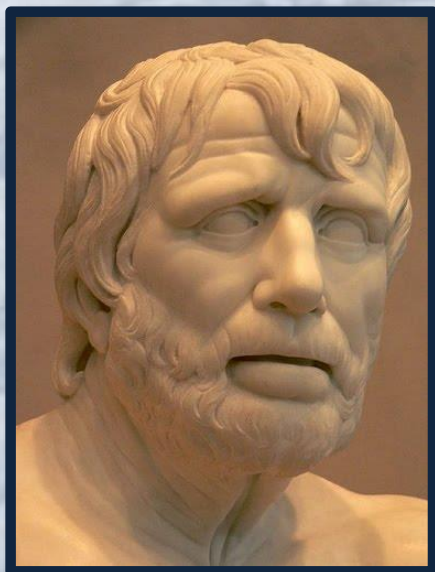
Tutte le concezioni greche sull'universo furono perfezionate e raccolte da Tolomeo in una grande opera, l'**Almagesto**.

In essa sono presenti :

- le tavole correlate di Ipparco che permettevano di calcolare le posizioni del Sole, della Luna e dei 5 pianeti attorno alla terra per un futuro indefinito
- catalogo con più di un migliaio di stelle con relativa posizione e luminosità.
- spiegazione della variazione di velocità osservata per i pianeti.

Nonostante le perplessità e le inesattezze contenute nell'**Almagesto**, non si riuscì a trovare un modello migliore dell'universo per i 14 secoli successivi.





Perché dunque ci meravigliamo se uno spettacolo cosmico tanto raro come quello delle comete non è ancora inquadrato in leggi regolari e se non sono ben note le circostanze in cui hanno inizio e fine questi fenomeni, che ricompaiono a intervalli smisurati?

Non sono ancora trascorsi millecinquecento anni da quando la Grecia contò e diede un nome alle stelle, ed esistono ancora oggi molti popoli che conoscono il cielo solo nel suo aspetto esteriore, che non sanno ancora perché la luna si eclissi, perché si oscuri: anche presso di noi solo di recente la ricerca scientifica è giunta a dare una risposta sicura a questi problemi. Verrà un tempo in cui un solo momento, insieme al lavoro di un'età più lunga, porterà alla luce queste cose che ora sono celate; per la ricerca di cose tanto grandi non è sufficiente una vita, anche se fosse tutta dedicata allo studio del cielo: che dire, dal momento che noi dividiamo in modo diseguale i nostri pochi anni tra gli studi e i vizi? E così queste cose saranno spiegate attraverso lunghe successioni di generazioni. Verrà il tempo in cui i nostri posteri si meraviglieranno del fatto che noi abbiamo ignorato realtà così evidenti.

SENECA, *Naturales Quaestiones*, VII, 25, 3-5; 30, 3-6