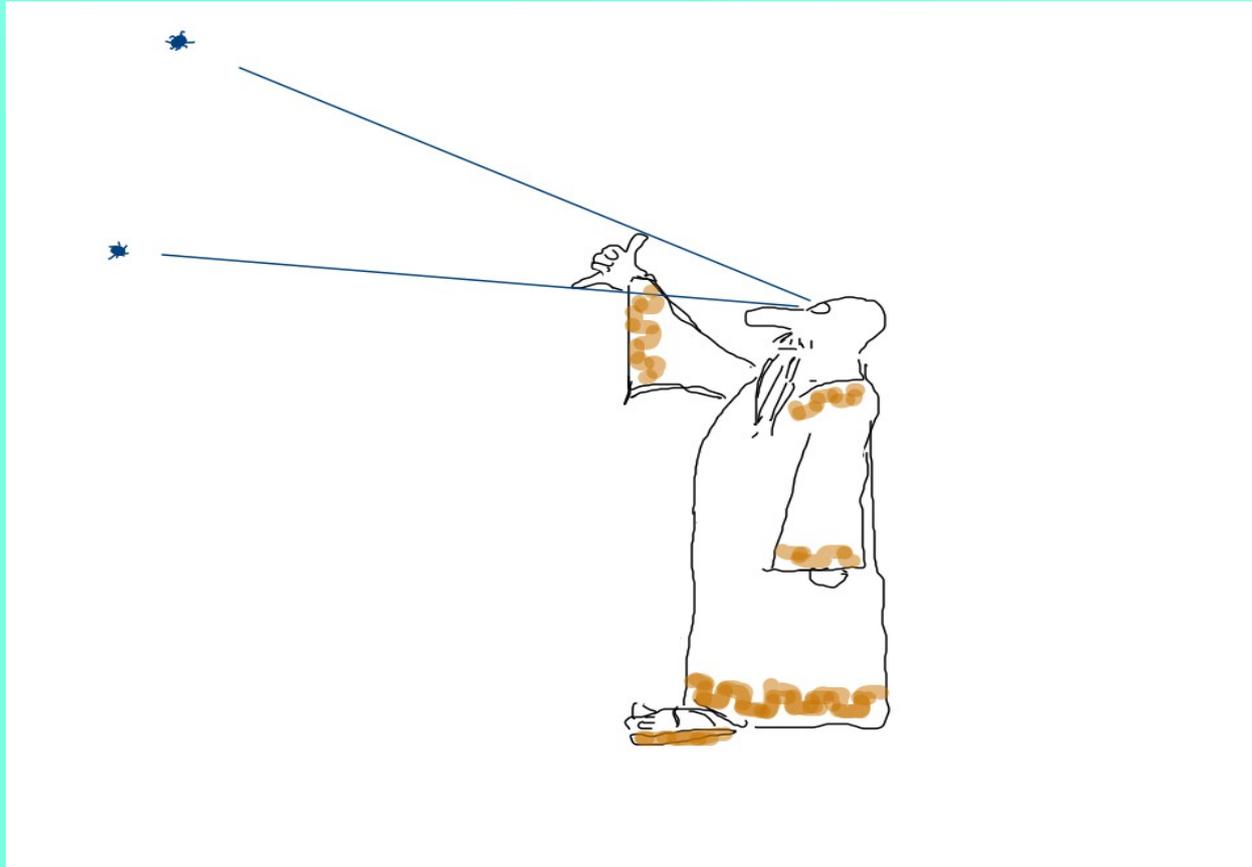


# La misura della Terra



di e con  
**Oriano Spazzoli**

... e di tutte le cose

# Come Nasce l'idea della sfericità della Terra

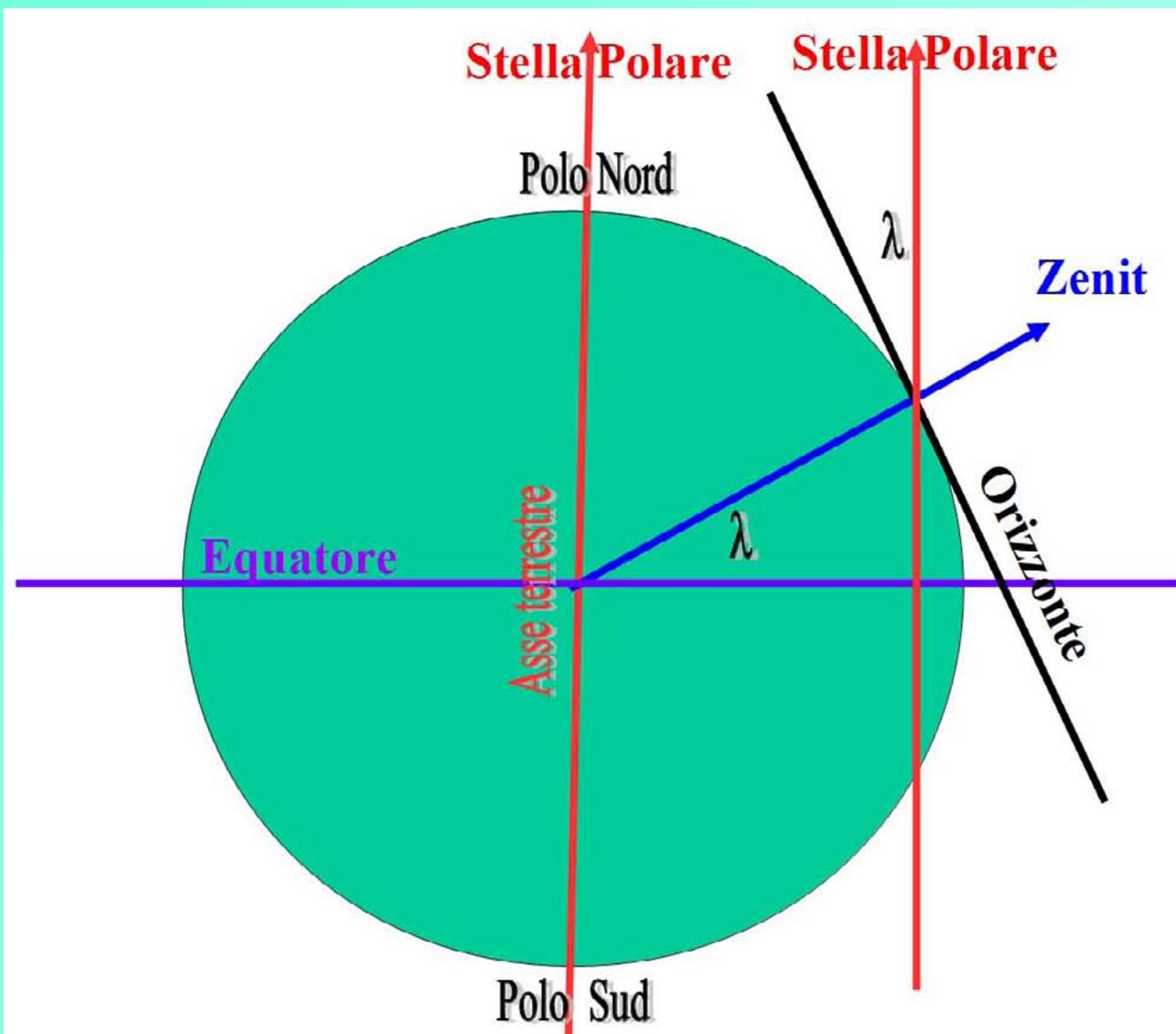
- La navigazione in mare aperto e il problema dell'orientamento
- Necessità di orientarsi con le stelle
- La sfera celeste e i suoi riferimenti:  
*la Stella Polare*

# L'Almagesto e le prove tolemaiche

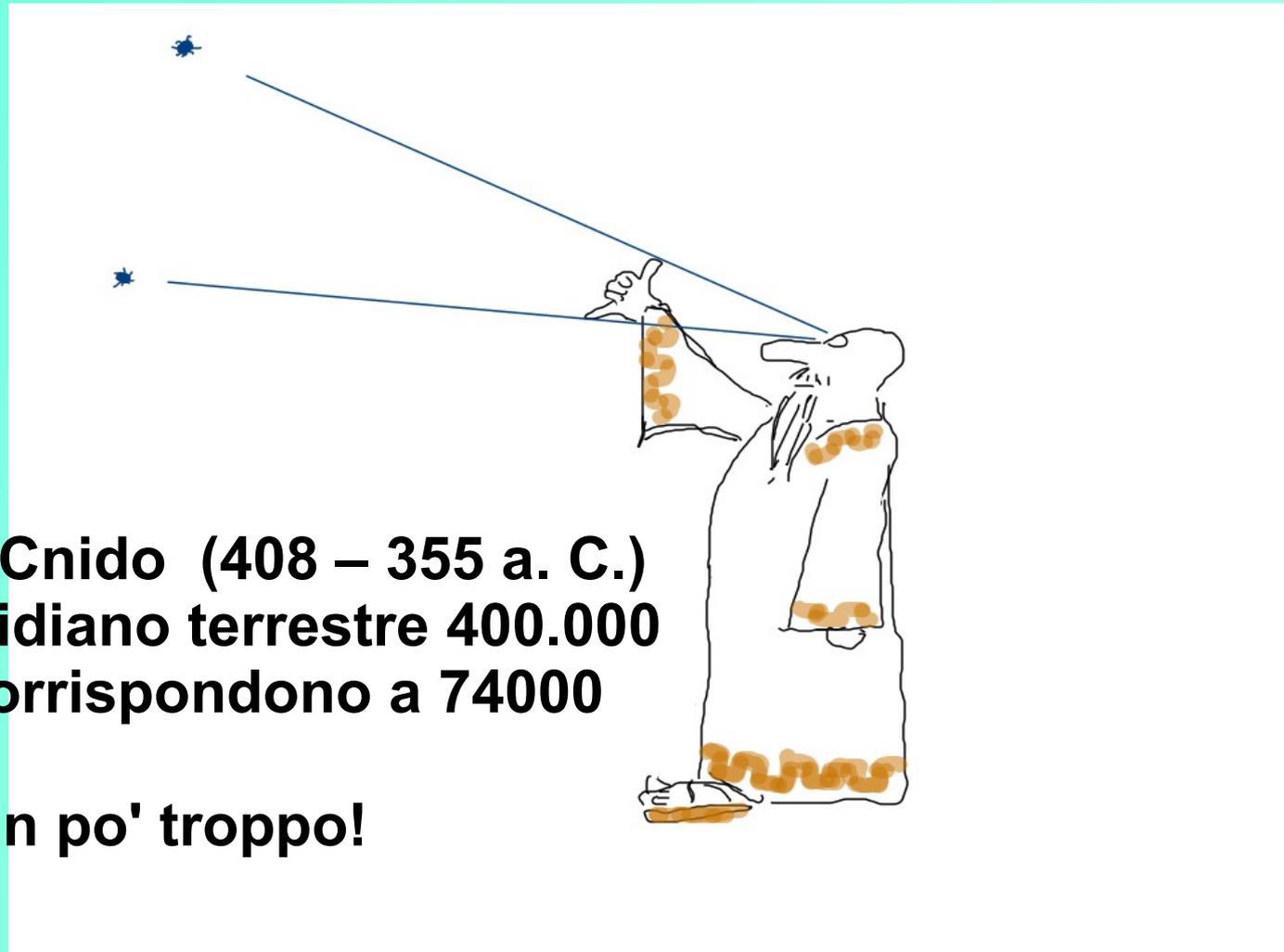


- **La forma dell'ombra della Terra sulla Luna è sempre circolare in qualsiasi direzione del Cielo si proietti**
- **La direzione del polo celeste visibile (e di conseguenza l'altezza massima di tutti i corpi celesti) cambia di angoli eguali per uguali spostamenti verso Nord o Sud**
- **Di una nave scompare all'orizzonte prima lo scafo, poi la parte superiore.**

# Il Cambiamento di inclinazione della Stella polare con la latitudine



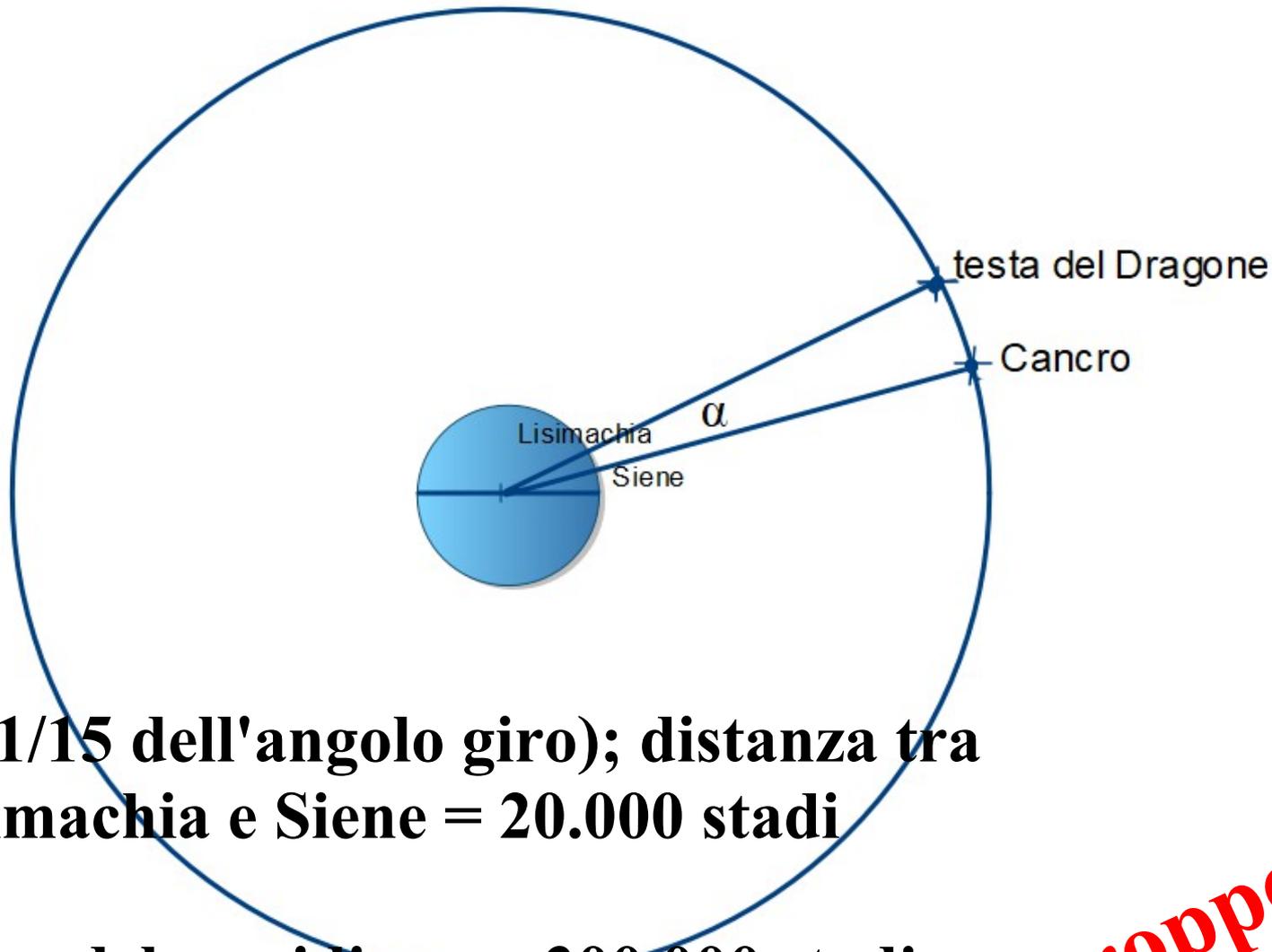
# Misurare la Terra misurando il Cielo (primi tentativi ... non molto precisi)



**Eudosso di Cnido (408 – 355 a. C.)  
stimò il meridiano terrestre 400.000  
stadi, che corrispondono a 74000  
Km.**

**Un po' troppo!**

Dicearco (347 - 285 a.C.)



$\alpha = 24^\circ$  (1/15 dell'angolo giro); distanza tra  
Lisimachia e Siene = 20.000 stadi

Lunghezza del meridiano = 300.000 stadi =  
**55.000 Km**

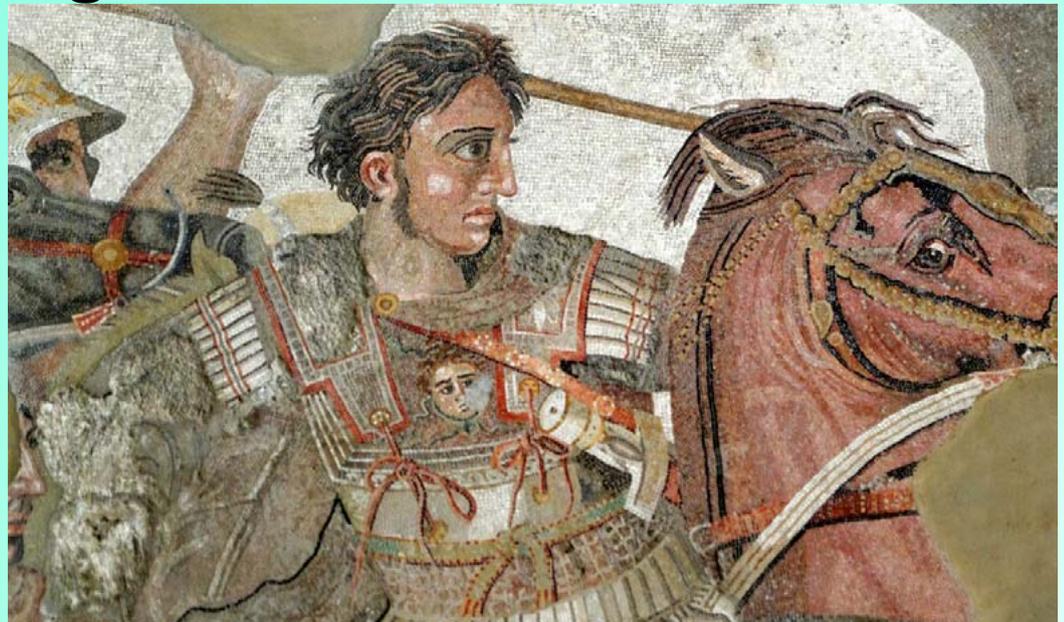
**Ancora troppo!!!!**



# Fondata nel 331 a. C. doveva essere la capitale dell'Impero di Alessandro Magno

- L'impero di **Alessandro Magno** diffonde la cultura classica insieme alla lingua Greca

**Alessandria, destinata a diventare la capitale dell'impero, è e sarà una città “greca”**



- **Con la morte di Alessandro non sarà più capitale dell'impero ma solo del regno di Egitto e diventerà un fondamentale centro commerciale e culturale**

# Biblioteca, Museo e Serapeo

**Presso il palazzo reale di Alessandria, e in parte presso il tempio di Serapide, viene raccolta la più grande documentazione filosofica e scientifica dell'evo antico**

**Contiene tutto il pensiero del mondo greco, compresi gli studi scientifici più recenti (nel III secolo a. C. conteneva già 500000 rotoli). Annesso c'è il tempio dedicato alle muse, o Museo**

**Il Museo e il Serapeo fungono anche da centro lettura e studi e scuola di stato**



# La Matematica: gli elementi di Euclide e le invenzioni di Erone

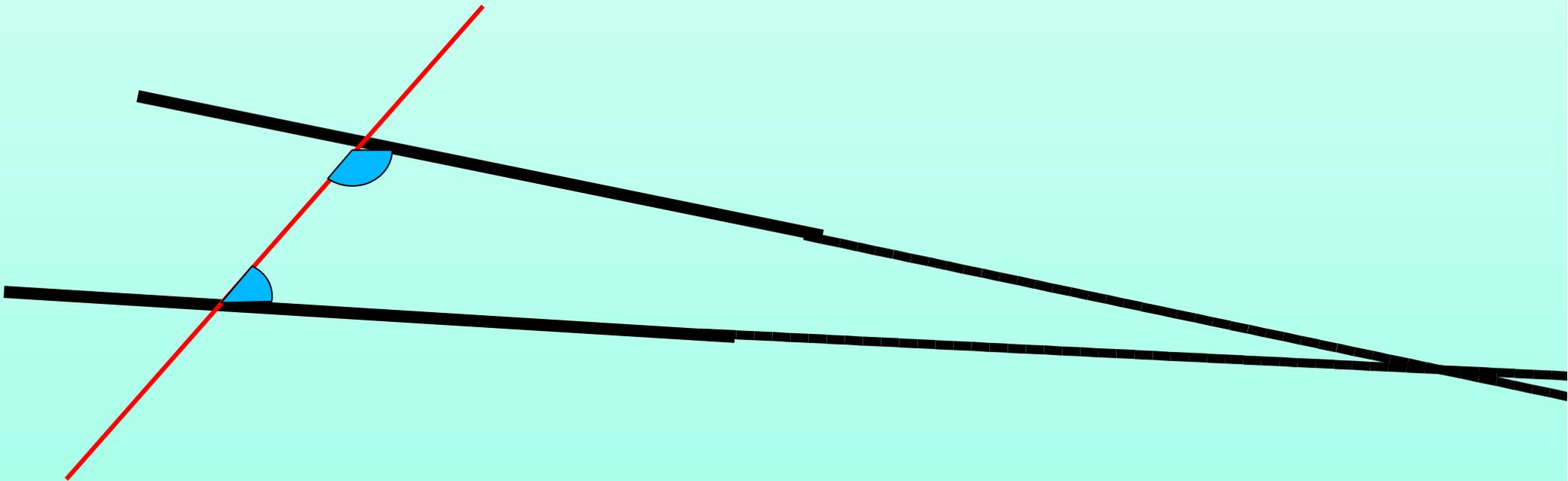
Tutte le proposizioni derivano rigorosamente per via analitica da un numero limitato di affermazioni di per sé evidenti:

## POSTULATI

- I. che si possa condurre una linea retta da un qualsiasi punto ad ogni altro punto
- II. che una retta terminata (= finita) si possa prolungare continuamente in linea retta
- III. che si possa descrivere un cerchio con qualsiasi centro ed ogni distanza (= raggio)
- IV. che tutti gli angoli retti siano uguali fra loro

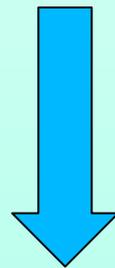
# La Matematica: gli elementi di Euclide

V. se una retta venendo a cadere su due rette forma gli angoli interni e dalla stessa parte minori di due retti (= tali che la loro somma sia minore di due retti), le due rette prolungate illimitatamente verranno ad incontrarsi da quella parte in cui sono gli angoli minori di due retti (= la cui somma è minore di due retti)



**non si ha nessuna notizia biografica  
su Euclide**

**non si è neppure sicuri che sia  
esistito veramente**



**ma il corpus teorico degli  
Elementi è stato (ed è  
tuttora) una delle basi  
fondamentali nello studio  
della Matematica**

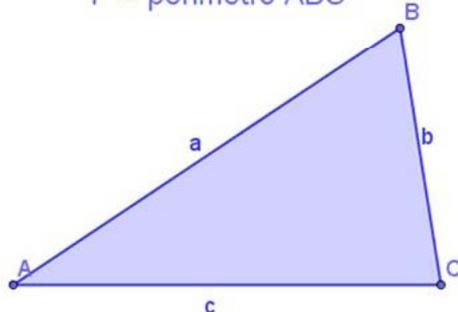
# La meccanica di Erone

- **Matematico**: trovò un metodo per approssimare le radice quadrate e cubiche non perfette e una formula che lega l'area di un triangolo ai suoi lati
- **Astronomo**: realizzò strumenti per misure angolari
- **Ingegnere ed inventore**: la *fontana di Erone* e l'*Eolipila* (il primo esempio di macchina a vapore)

*Formula di Erone*

$$A = \sqrt{\frac{P}{2} \left( \frac{P}{2} - a \right) \left( \frac{P}{2} - b \right) \left( \frac{P}{2} - c \right)}$$

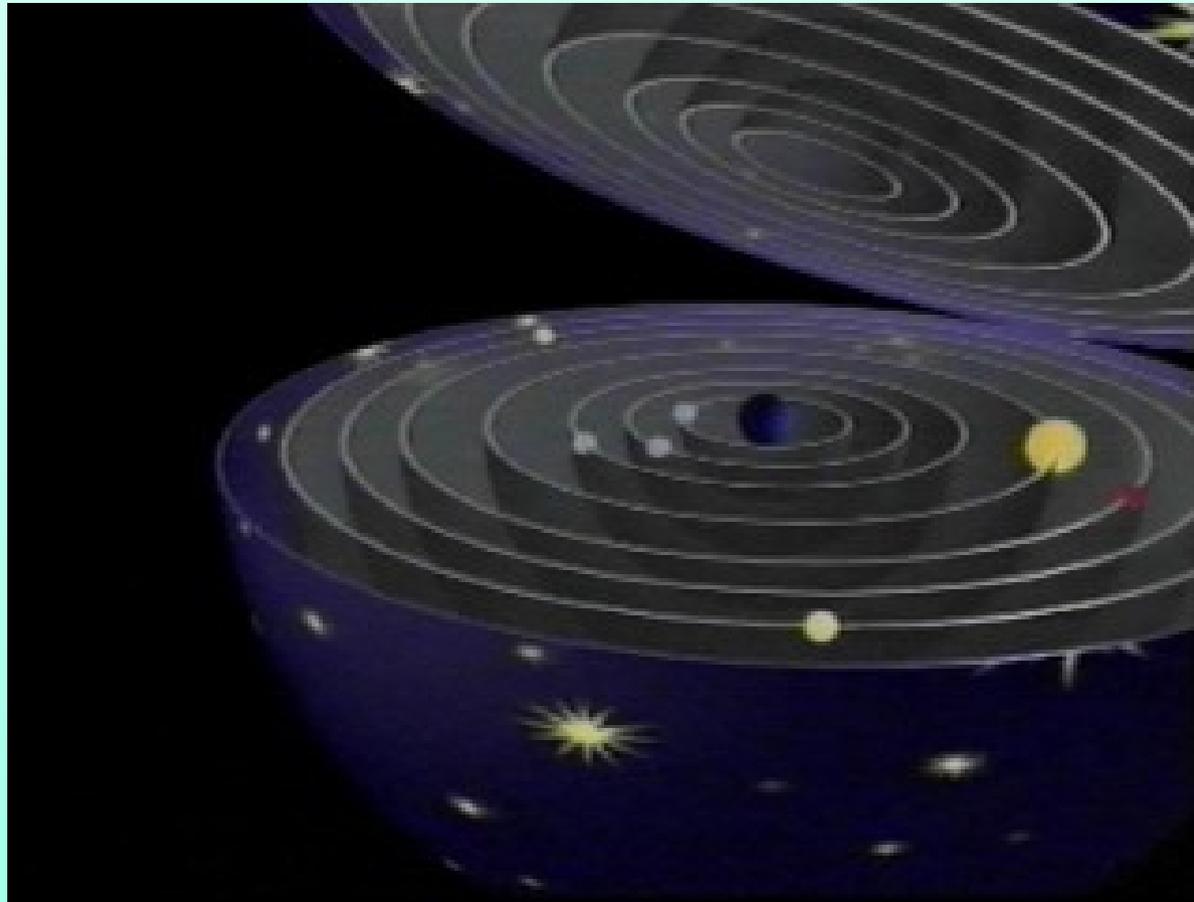
P = perimetro ABC





# Tolomeo e la “*Megàle synthaxis mathematikè*”: il modello *tolemaico*

Per Aristotele le sfere celesti cristalline concentriche alla Terra dovevano spiegare tutti i moti celesti

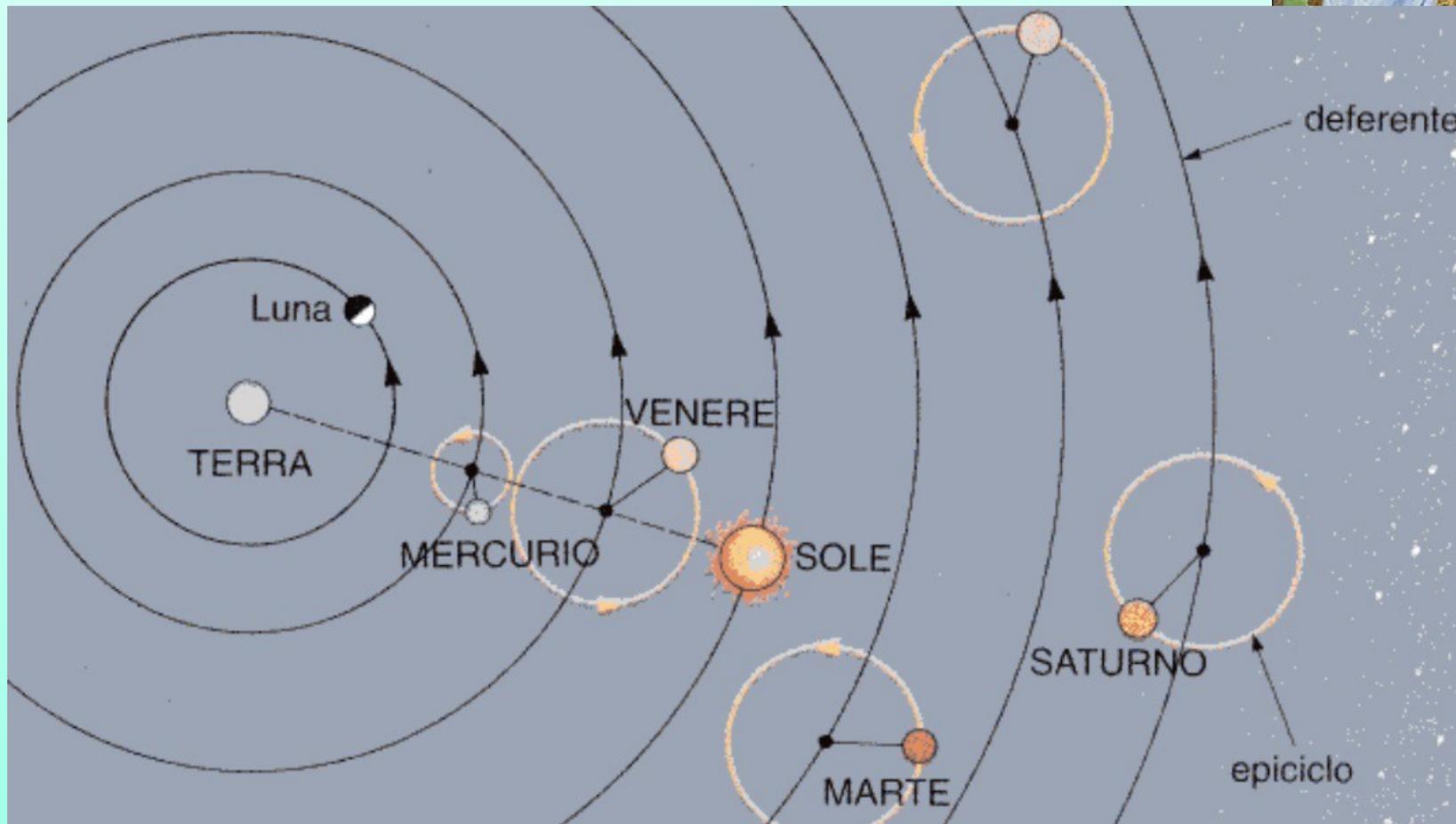
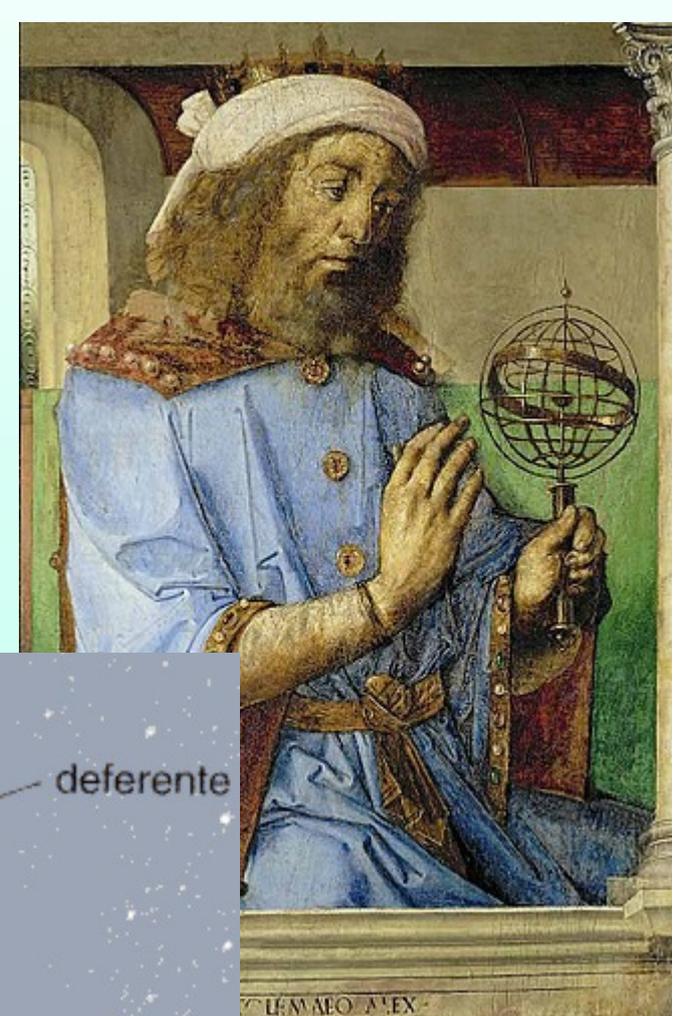




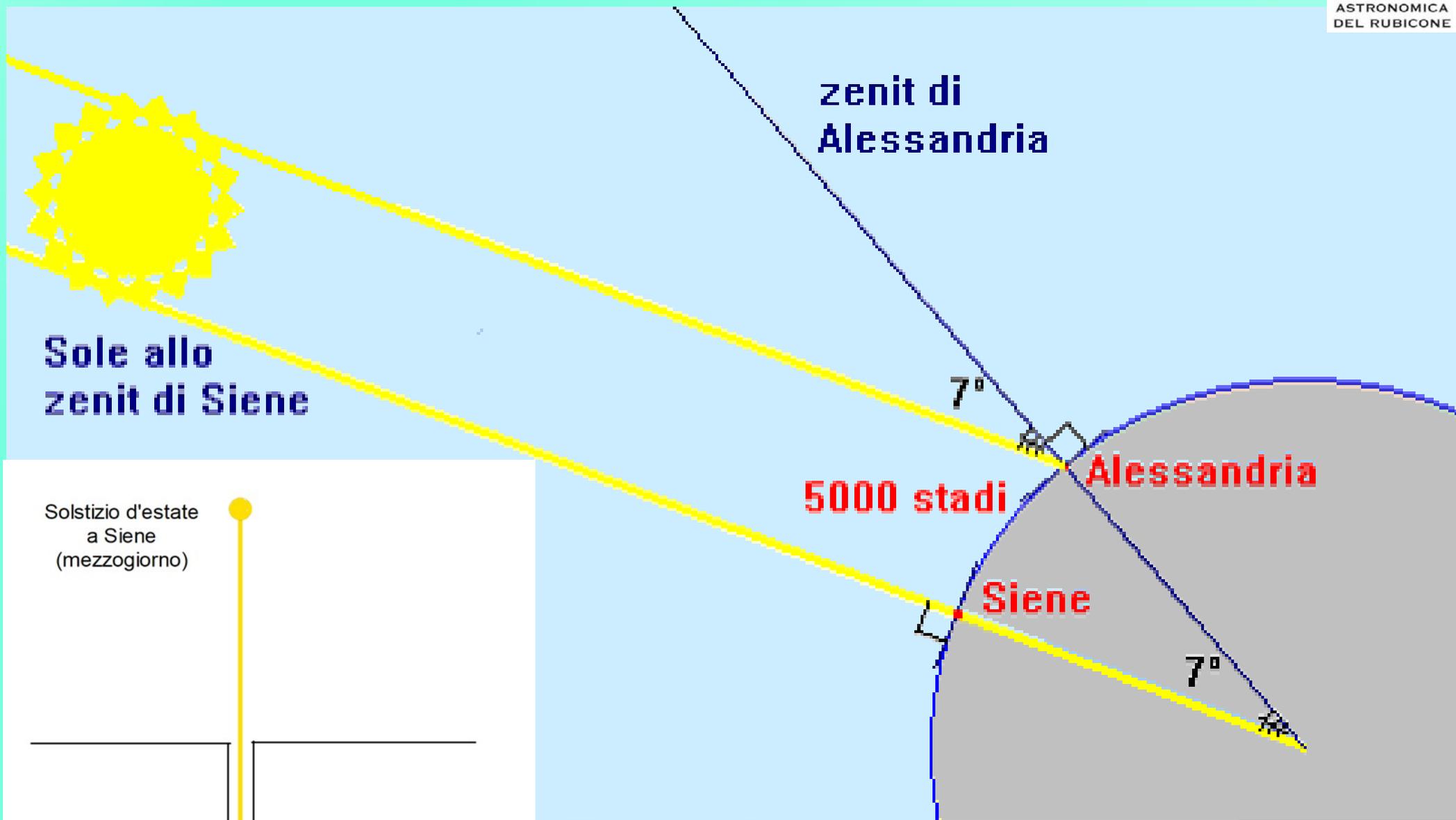
Poi **Ipparco di Nicea** classificando le luminosità delle stelle trovò che i pianeti cambiavano luminosità (in particolare Marte, Giove e Saturno erano più luminosi quando erano all'opposizione)

# Tolomeo di Alessandria

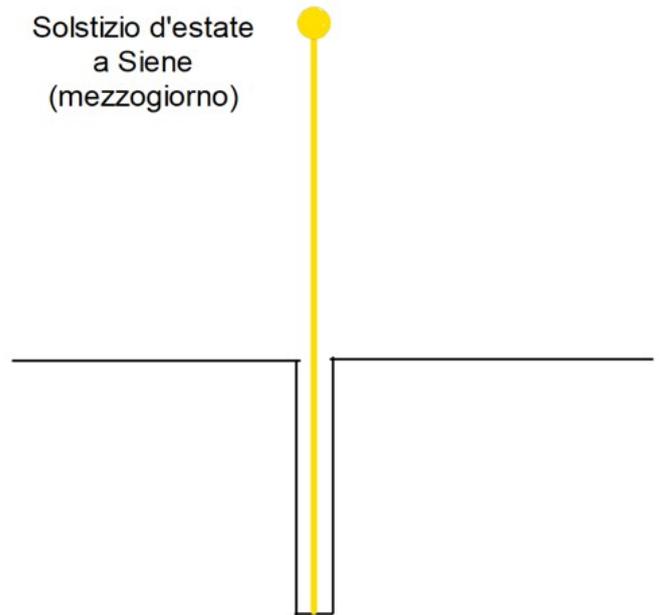
sui dati di Ipparco spiegò  
geometricamente tutte le evidenze  
osservative da lui scoperte con il  
modello degli “*epicicli e deferenti*”



# Eratostene (284 – 192 a.C.)

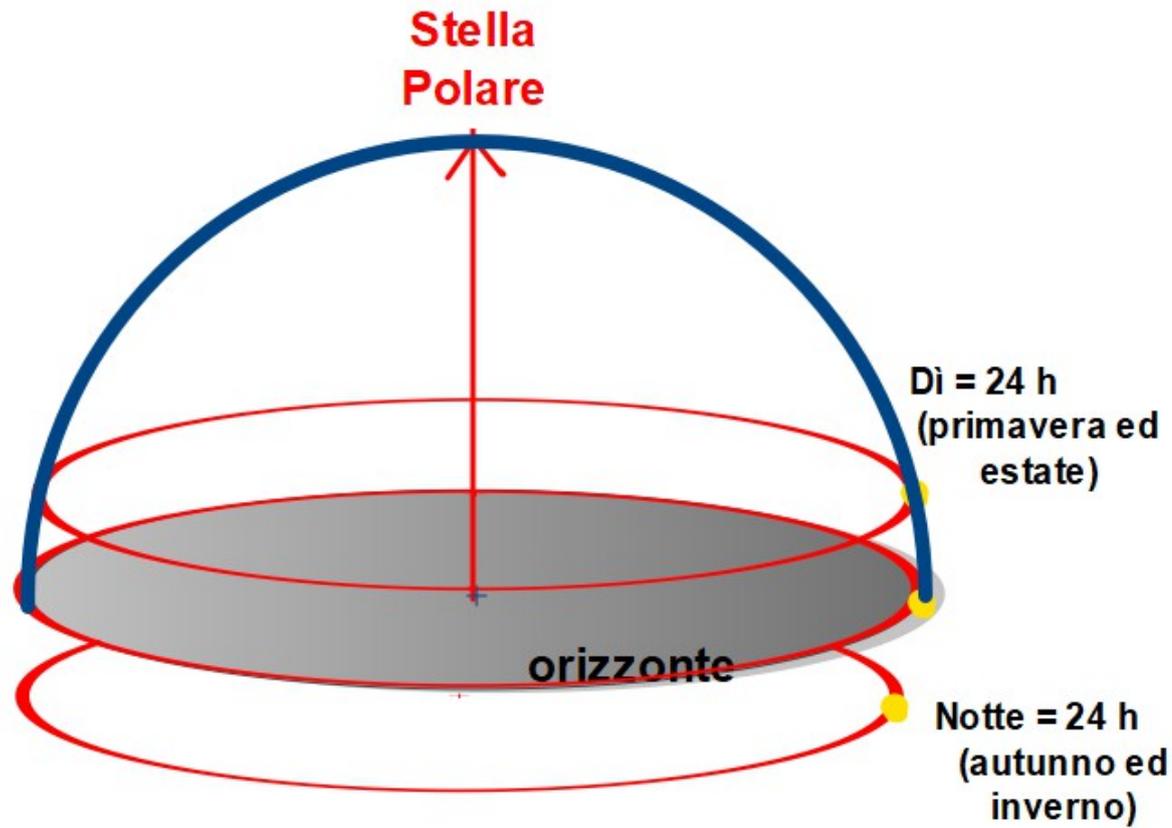


Solstizio d'estate  
a Siene  
(mezzogiorno)

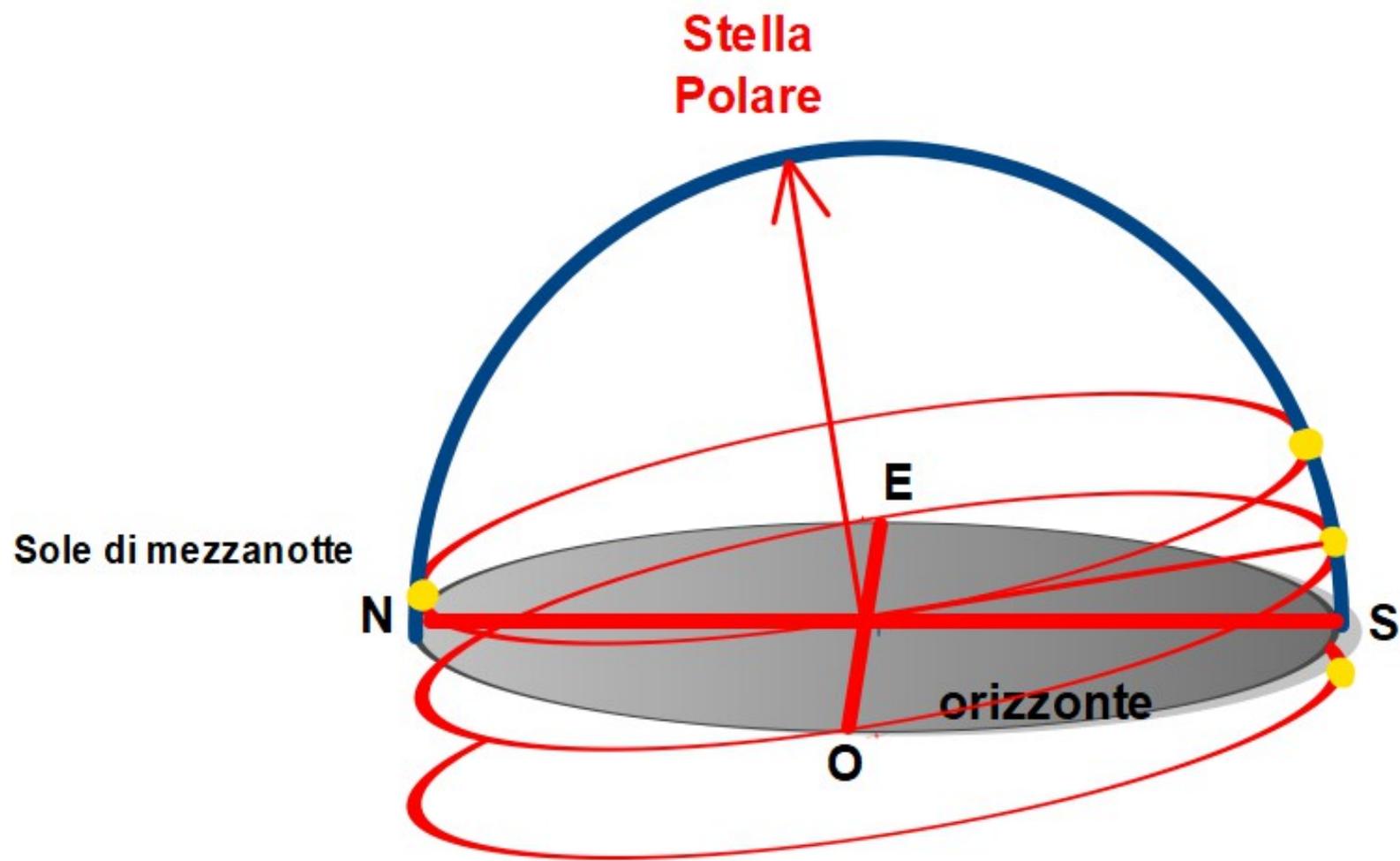


# I cambiamenti del moto del Sole e dell'altezza della Stella Polare e la forma della Terra (la misurazione della latitudine)

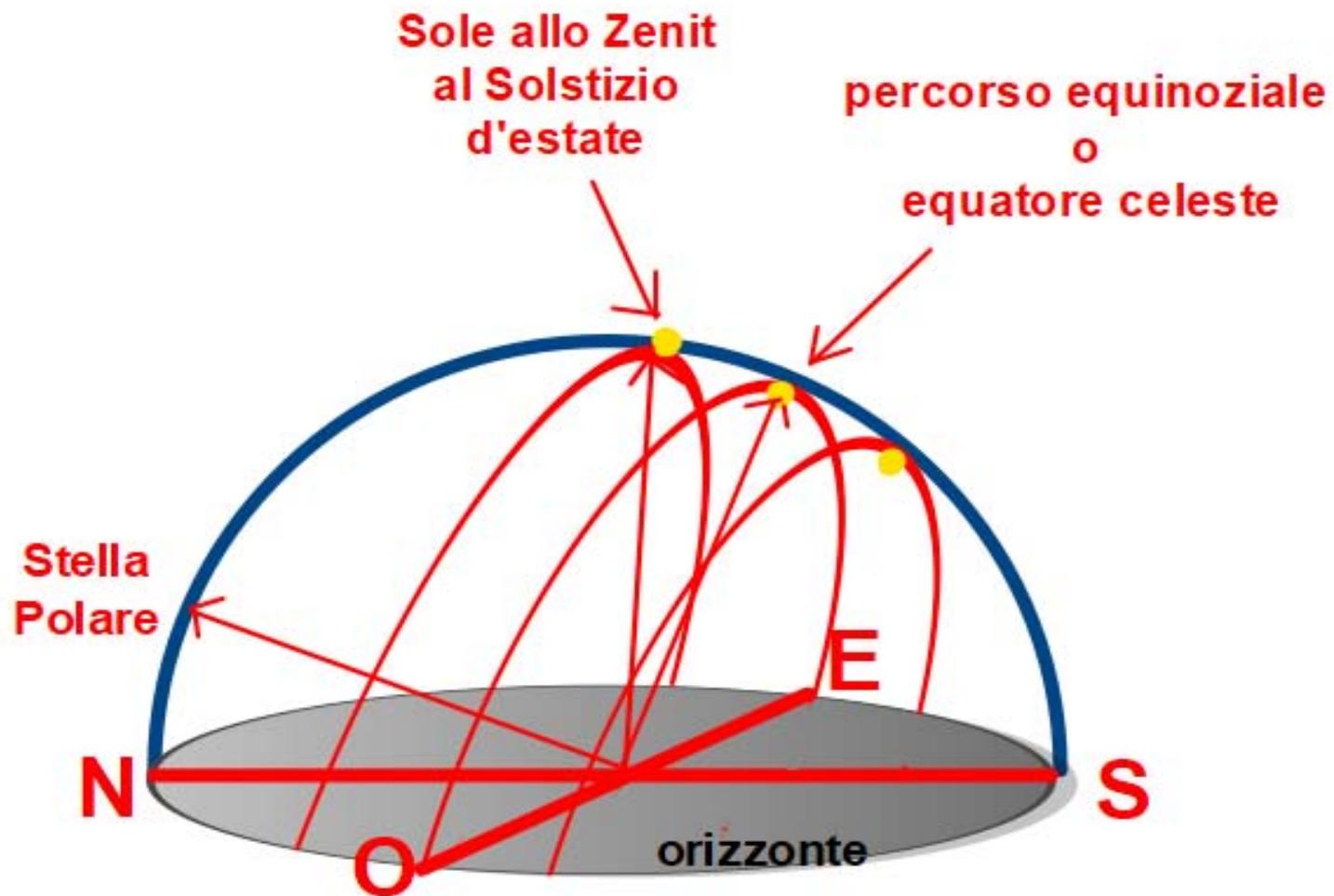
## Al polo Nord



# Nel circolo polare artico

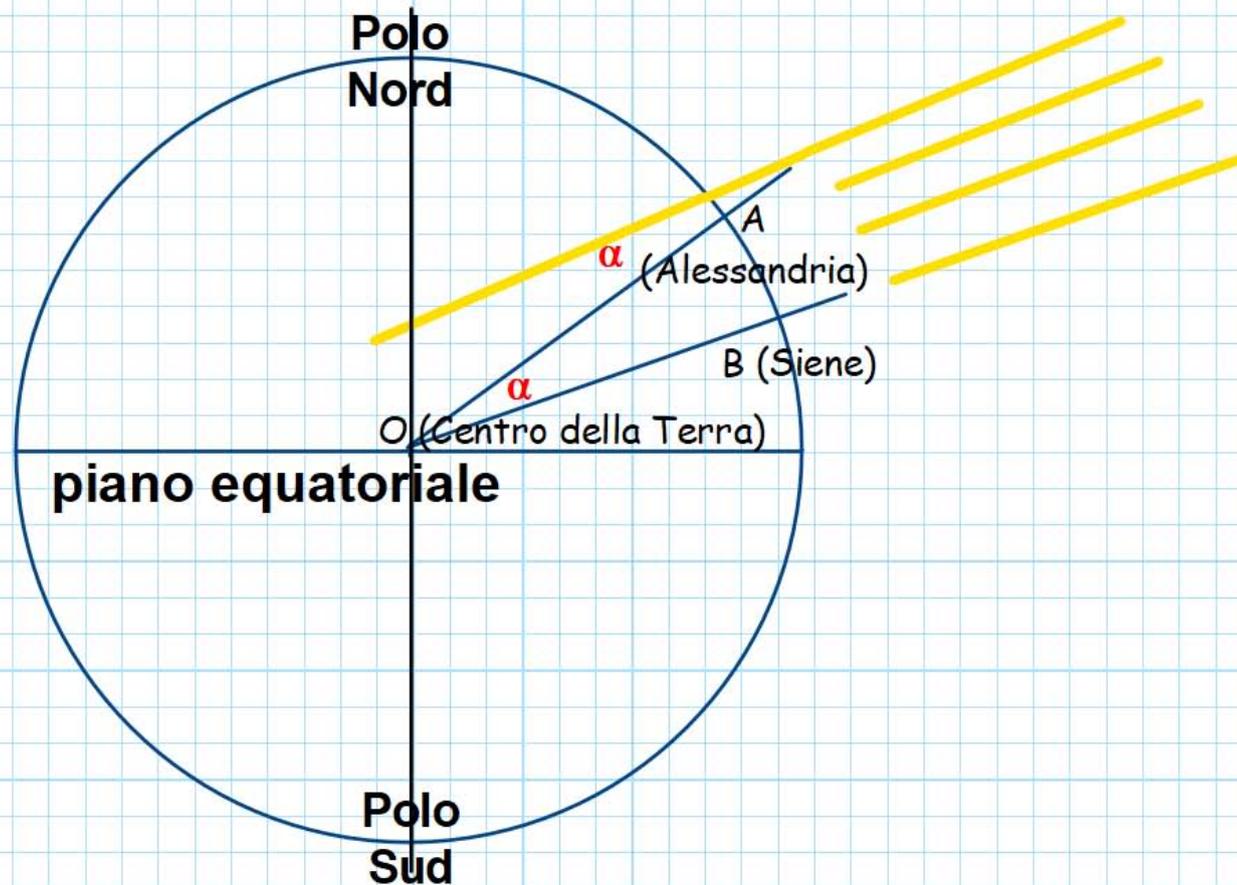


# Tropico del Cancro





# Schemi per una riproduzione semplificata dell'esperimento di Eratostene

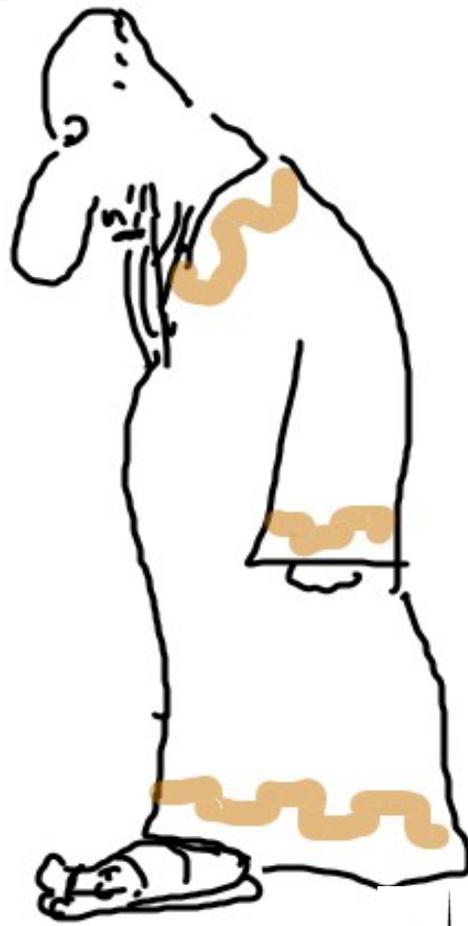
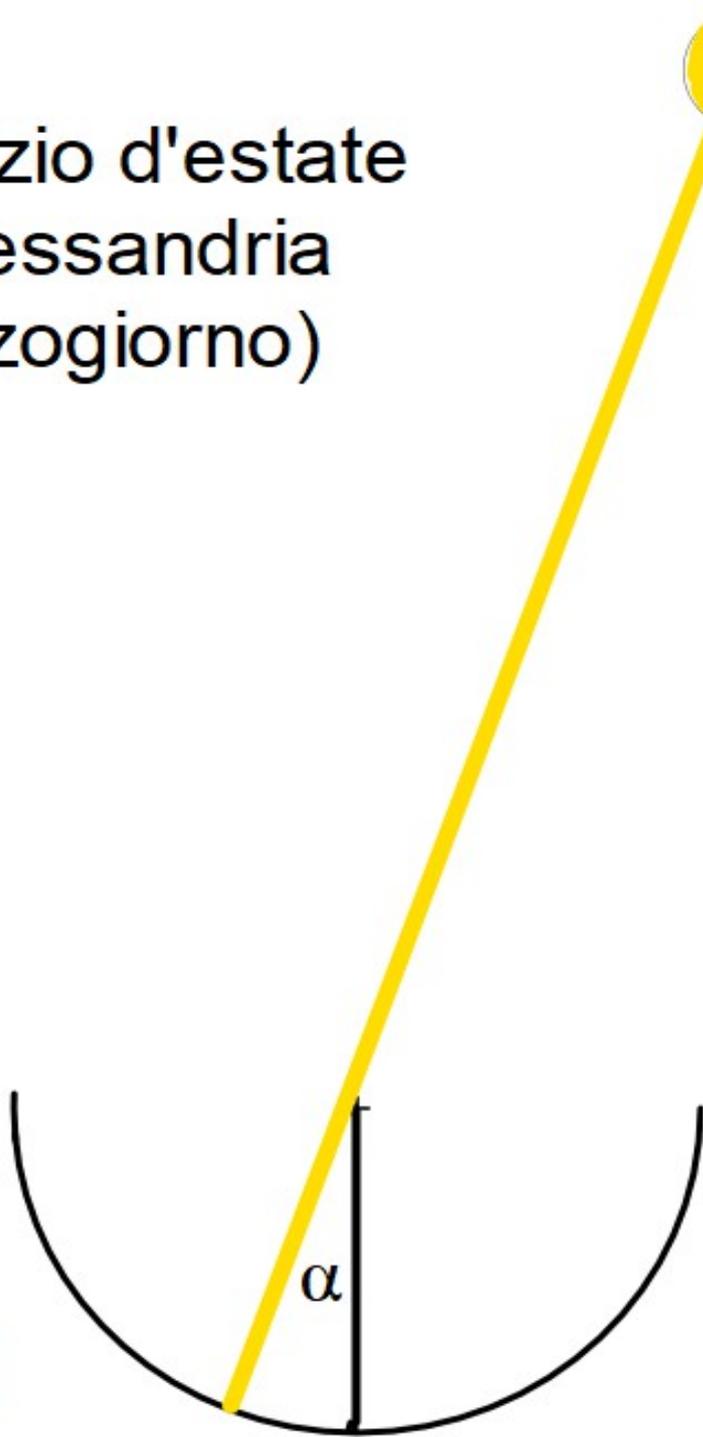


$$\alpha^{\circ} : 360^{\circ} = \widehat{AB} : C$$

(ARCO) (CIRCONFERENZA)

Solstizio d'estate  
ad Alessandria  
(mezzogiorno)

Il risultato di Eratostene  
è il migliore  
dell'antichità: 220.000  
stadi pari a 39.700 Km.

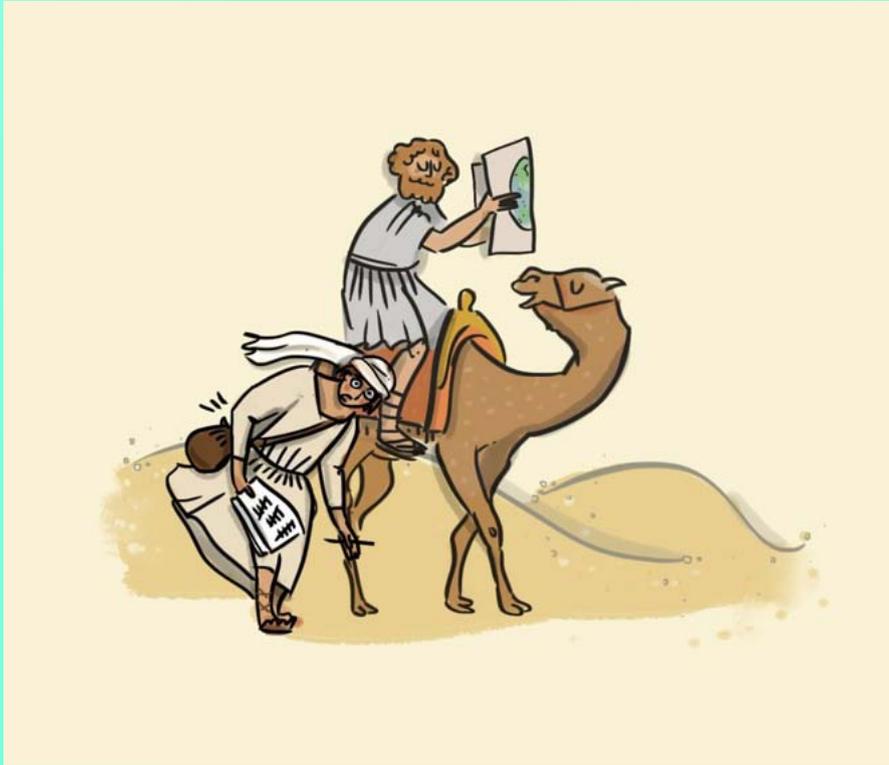


Σκαφη

# Un' antica meridiana graduata: lo “scafio”



# La misura delle distanze terrestri ...

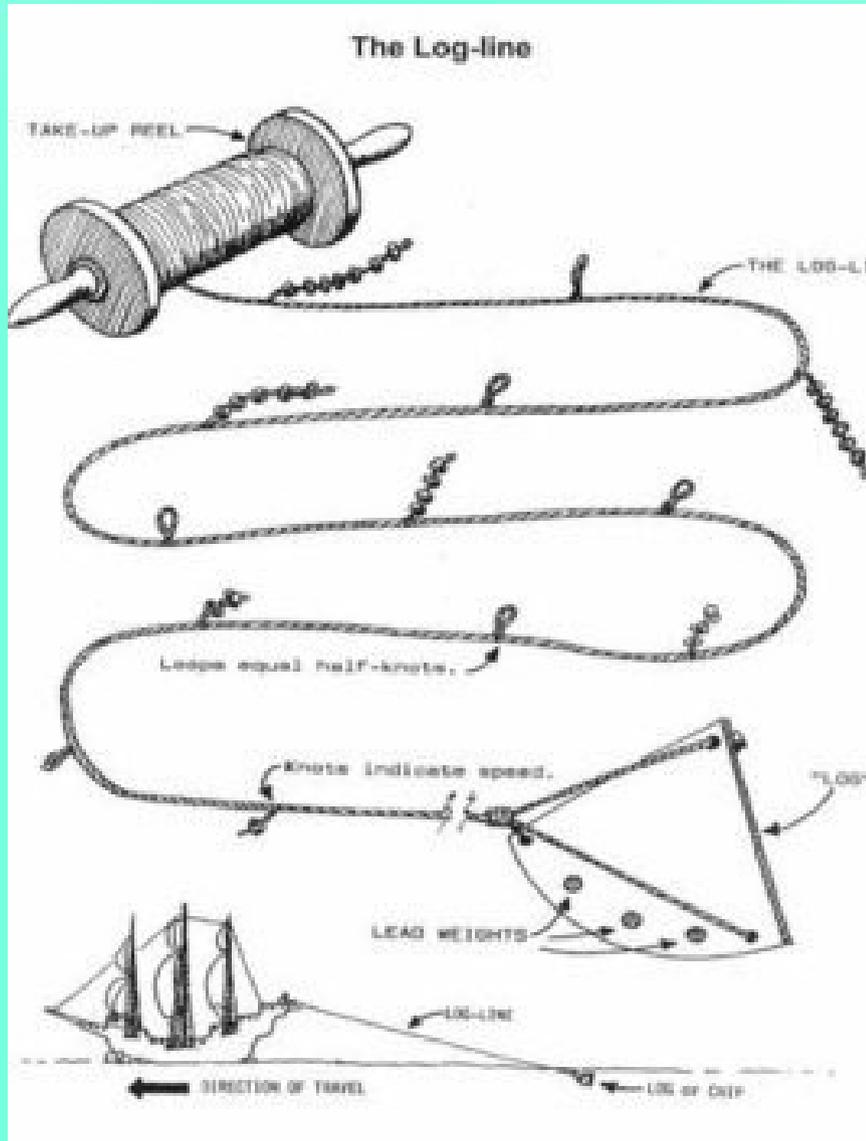


Dai “Bematisti” (contatori di passi) ...

... all'odometro.



# ... e delle distanze nautiche.



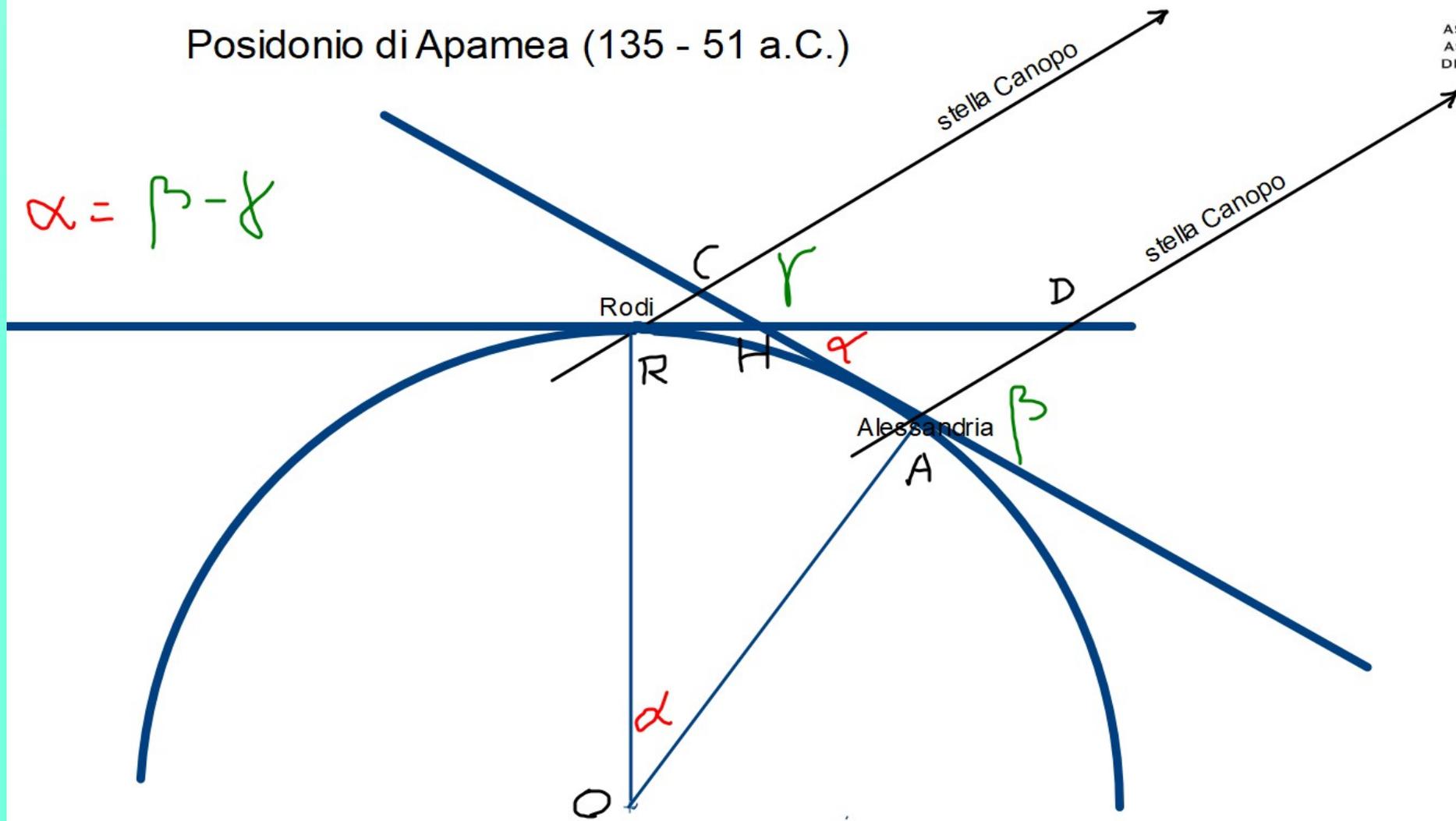
La velocità viene misurata in “nodi”: la distanza tra due nodi è fissa ed è uguale a 47 piedi e 33 pollici.

La misura viene fatta lanciando un galleggiante (in origine un ciocco di legno) in acqua e contando quanti nodi finiscono in acqua in un tempo fisso (28 secondi).

Un nodo corrisponde a un miglio marino (1853m) all'ora.

Posidonio di Apamea (135 - 51 a.C.)

$$\alpha = \beta - \gamma$$



Con il metodo di Posidonio si scende prima a 240.000 poi a 180.000 stadi, pari a **37.800 Km.**

# L'errore di Tolomeo

**La riduzione è dovuta al fatto che la prima misura è ottenuta con uno stadio di 157,5 m, mentre la seconda con uno stadio “lungo” di 220 m.**

**Tolomeo adotta la seconda misura, ma utilizzando l'unità di misura corta invece di quella più lunga, finisce con il sottostimare di molto il meridiano (32.000 Km.)**

# Alessandria e Roma: differenze

I Greci erano mercanti e marinai

Alessandria era una città Greca e mantiene lingua e cultura della madrepatria

La civiltà ellenistica nasce da un'espansione militare, ma diventa civiltà mercantile: le conoscenze geografiche sono una risorsa

Roma è potenza militare e deve la sua ricchezza alle conquiste militari

La Scienza Romana si basa sulla conoscenza del territorio e delle sue risorse (architettura, meccanica bellica, scienze agrarie e territoriali)

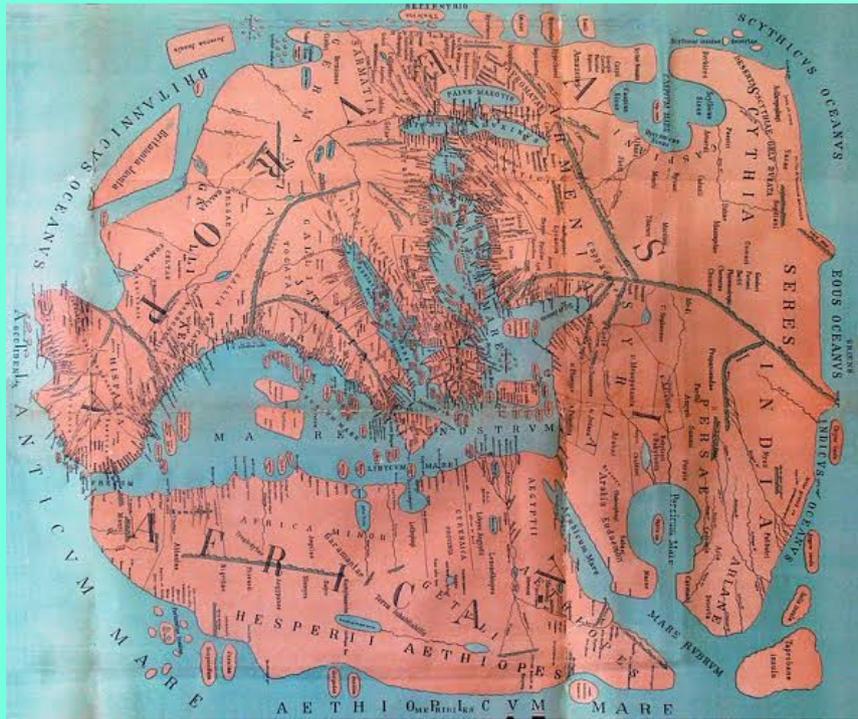


# Gli arabi

- La civiltà araba è mercantile: si interessa al Cielo e alla geografia terrestre (prime misure del grado di meridiano)
- Si recuperano le conoscenze cosmografiche e cosmologiche dell'Antica Grecia
- Cambia il linguaggio matematico (numerazione posizionale adatta a rappresentare grandi numeri, algebra e trigonometria)



# La cartografia medioevale non progredisce rispetto a quella dell'antica Roma

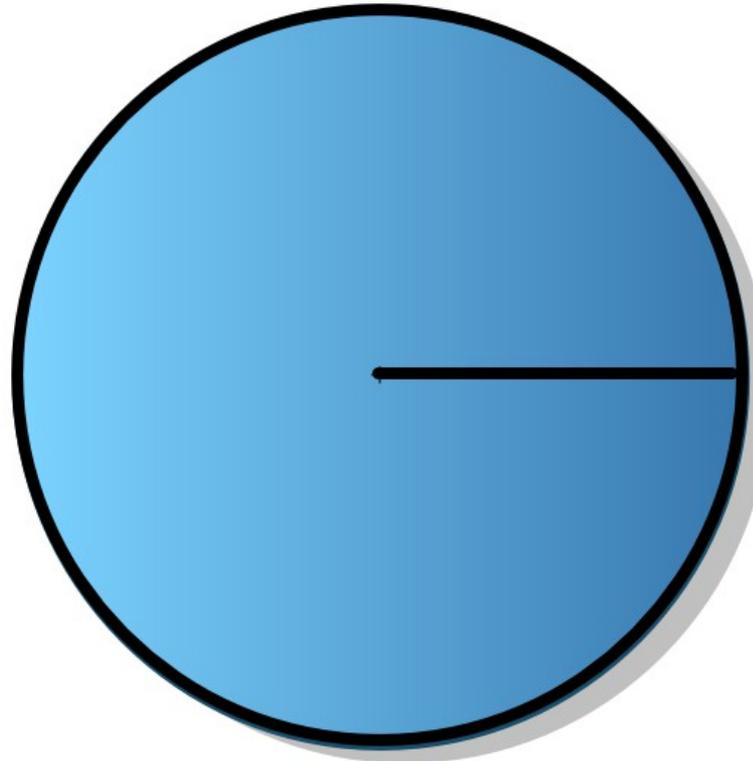


Il testo di riferimento resterà per quasi 1500 anni la Geografia di Tolomeo (libro V dell'Almagesto)

Dante si basa sui dati di Tolomeo: per questo la distanza tra Spagna ed India finisce per corrispondere a  $180^\circ$  di longitudine e non a circa  $100^\circ$  com'è effettivamente oggi ...



**Circolo meridiano = 20400 miglia**



$$\text{Raggio} = \frac{10200 \text{ miglia}}{22/7} = 3245 \text{ miglia e } 5/11$$

**1 miglio = 1,48 Km (R = 4800 Km)**

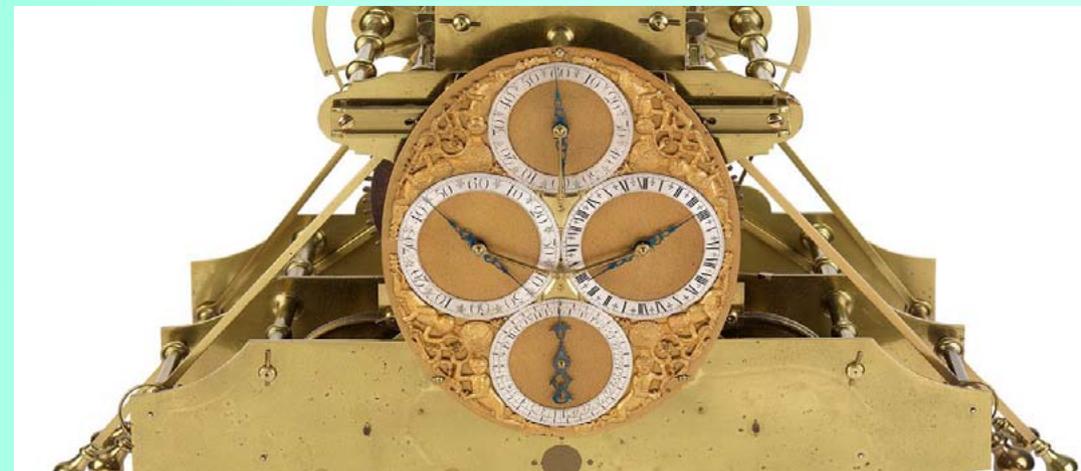
**22/7 è l'approssimazione archimedeica del  $\pi$**

... e quasi due secoli dopo anche Paolo Dal Pozzo Toscanelli, e con lui ... Cristoforo Colombo (che per questo motivo crede di poter facilmente arrivare nel Catai navigando verso occidente)



# Le grandi esplorazioni e la “Nuova Scienza”

- La descrizione della Terra si arricchisce di nuovi elementi
- Dai conquistadores al controllo delle materie prime: illuminismo e rivoluzione industriale
- Dalle nuove esigenze economiche alla necessità di cartografare la Terra in modo più preciso: la longitudine e gli orologi di John Harrison)



# Dalla misura della Terra alla misura di tutte le cose

- Con la rivoluzione francese la ricerca di un linguaggio comune per esprimere le quantità porta al Sistema metrico Decimale
- Una unità di misura di lunghezza unica per tutto il mondo deve essere legata a un dato legato direttamente alle dimensioni della Terra
- Si torna alla determinazione del meridiano terrestre dalla misura diretta di una sua frazione: 10° è da Dunkerque a Barcellona

# I protagonisti dell'avventura

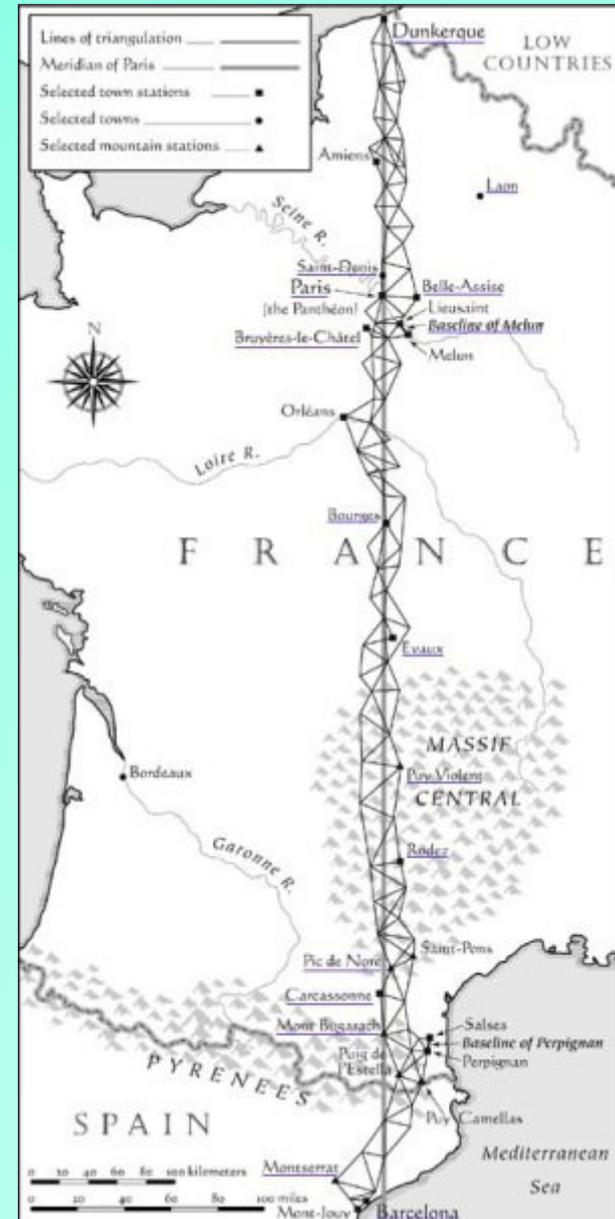


Jean-Baptiste Joseph Delambre

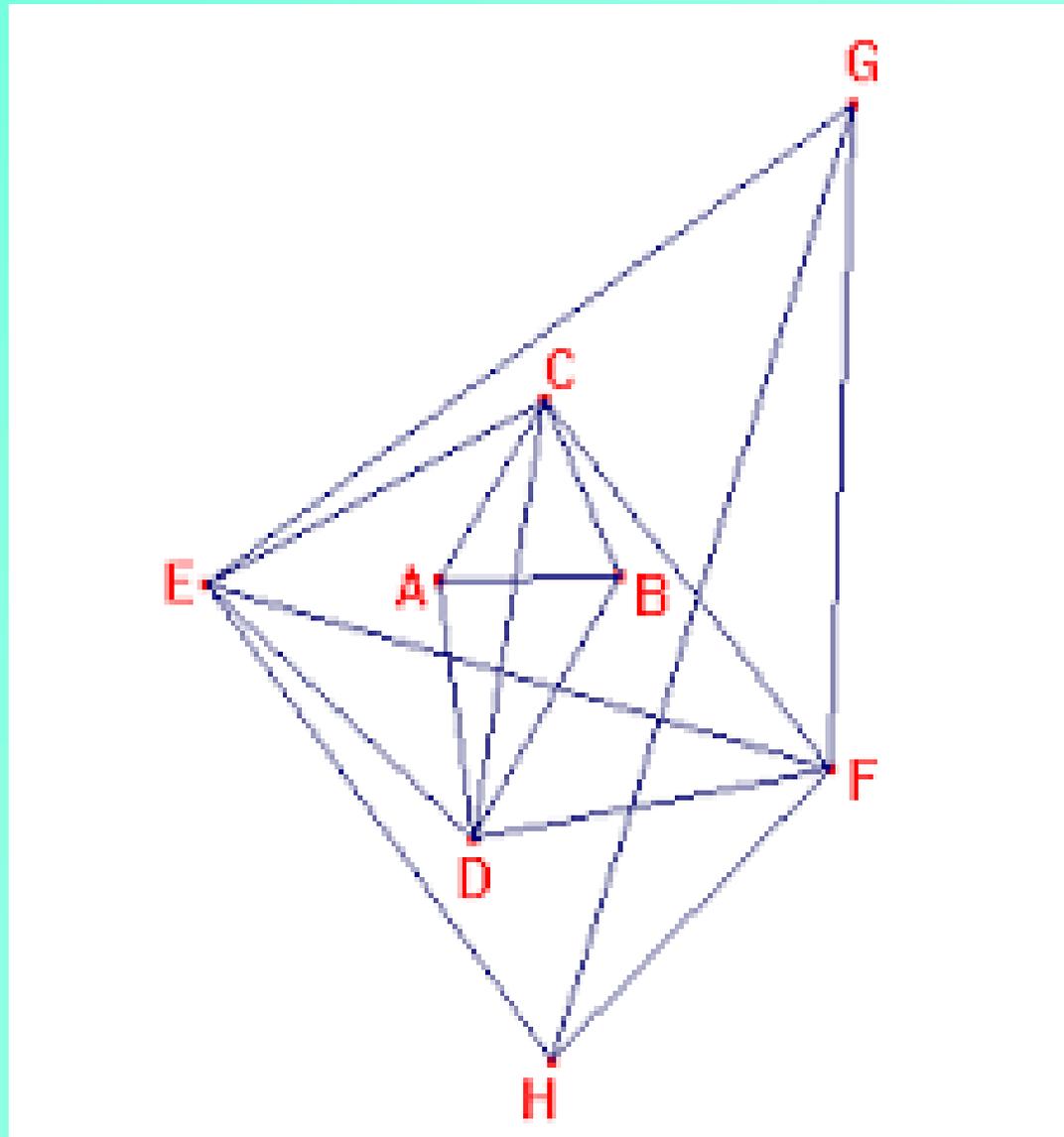


Pierre Mechain

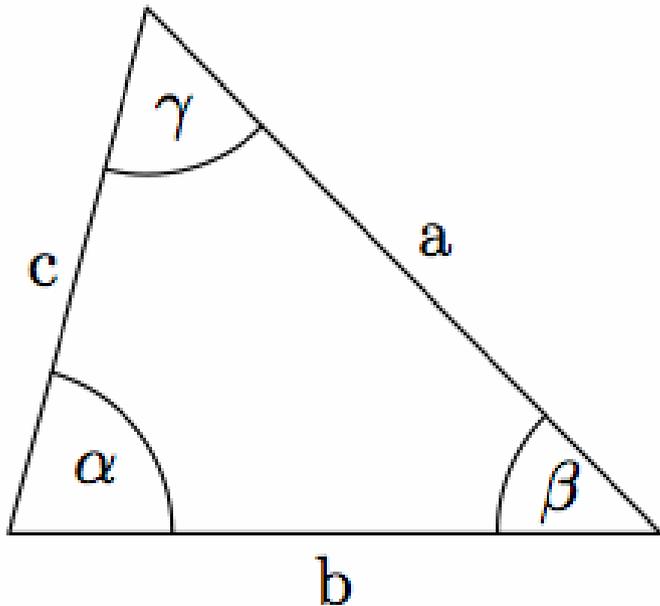
# Il viaggio



# Triangolazioni topografiche



# Lo strumento di linguaggio matematico: la trigonometria



Regola dei seni  
(per trovare i lati)

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

Regola dei coseni  
(per trovare i lati)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

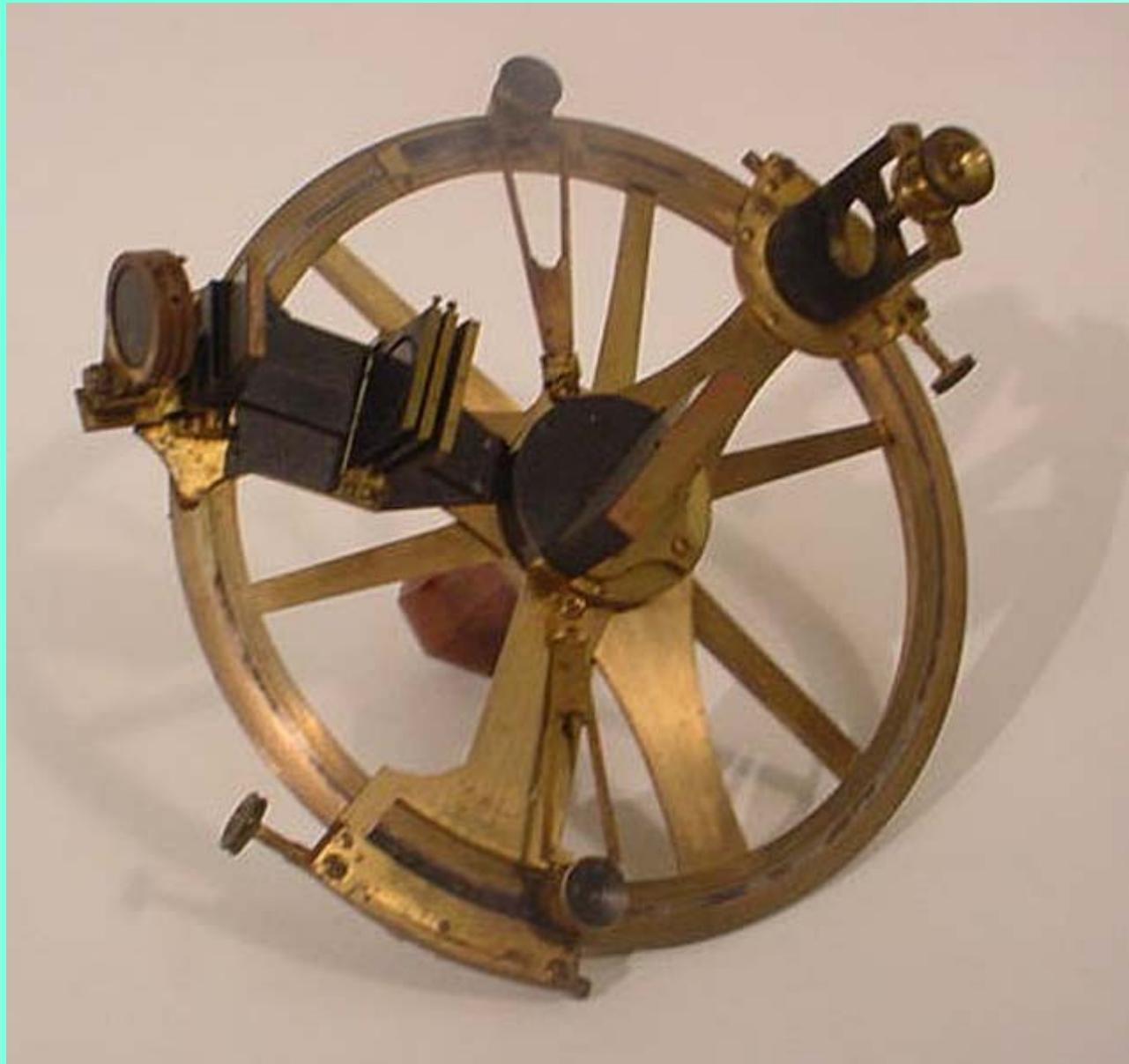
Regola dei seni  
(per trovare gli angoli)

$$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$$

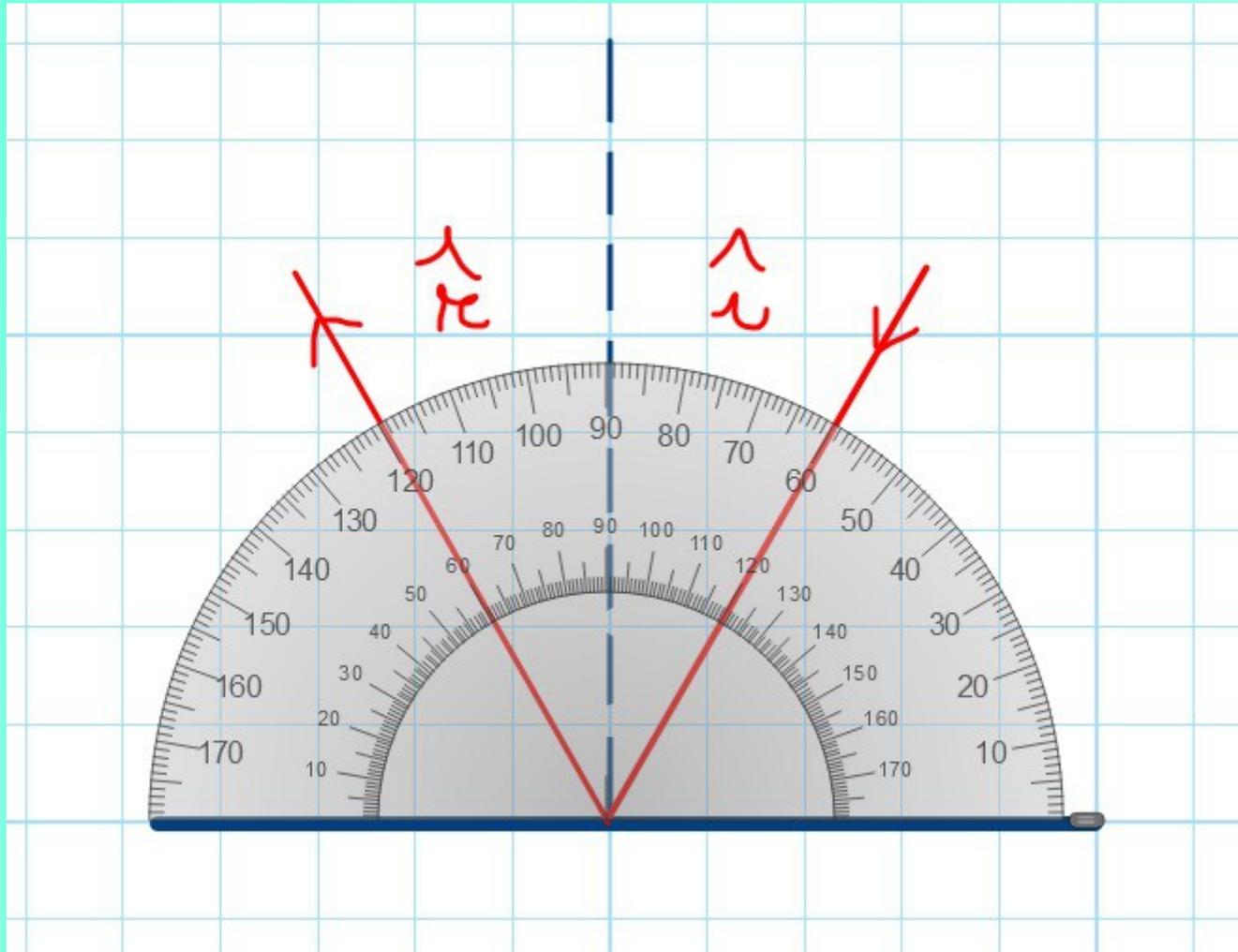
Regola dei coseni  
(per trovare gli angoli)

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

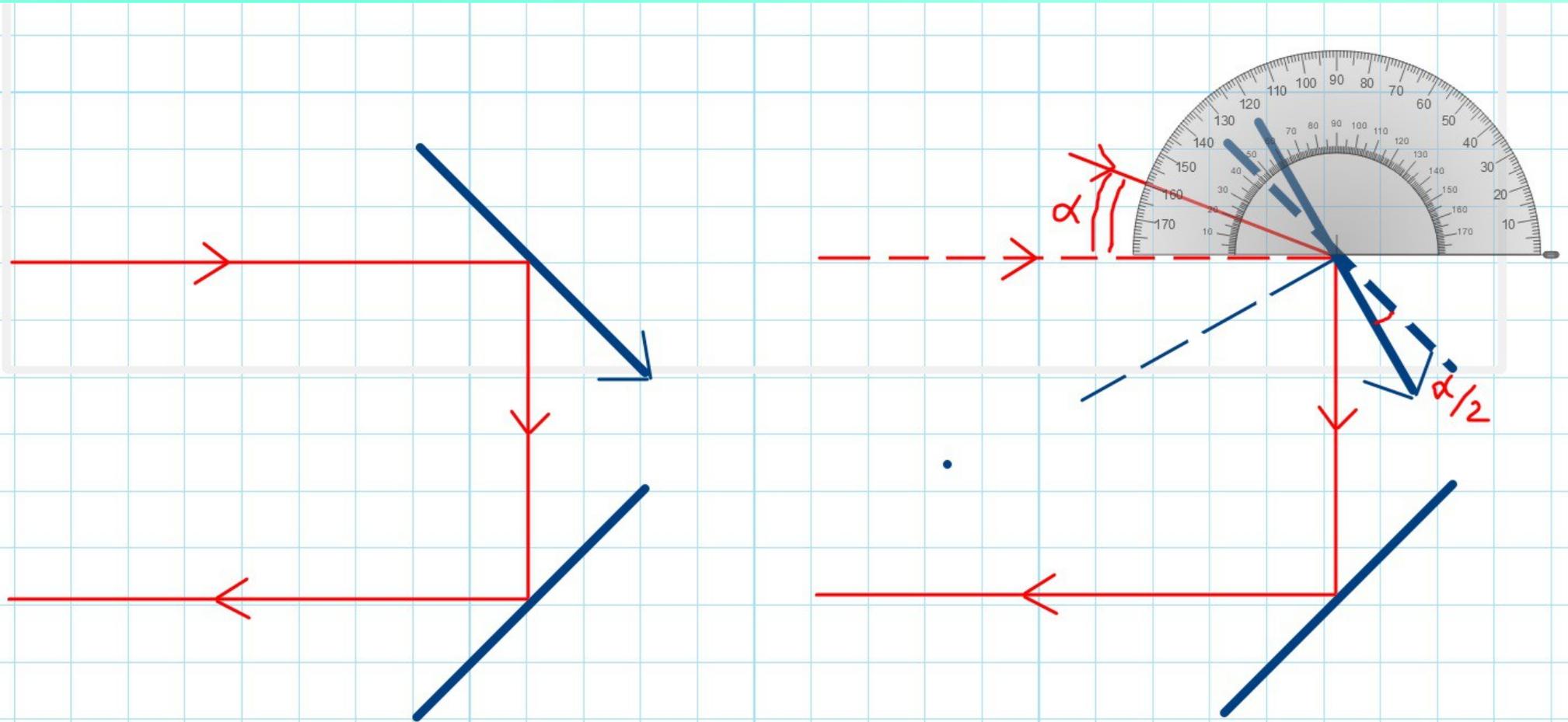
# Lo strumento di misura: il circolo a riflessione di Borda



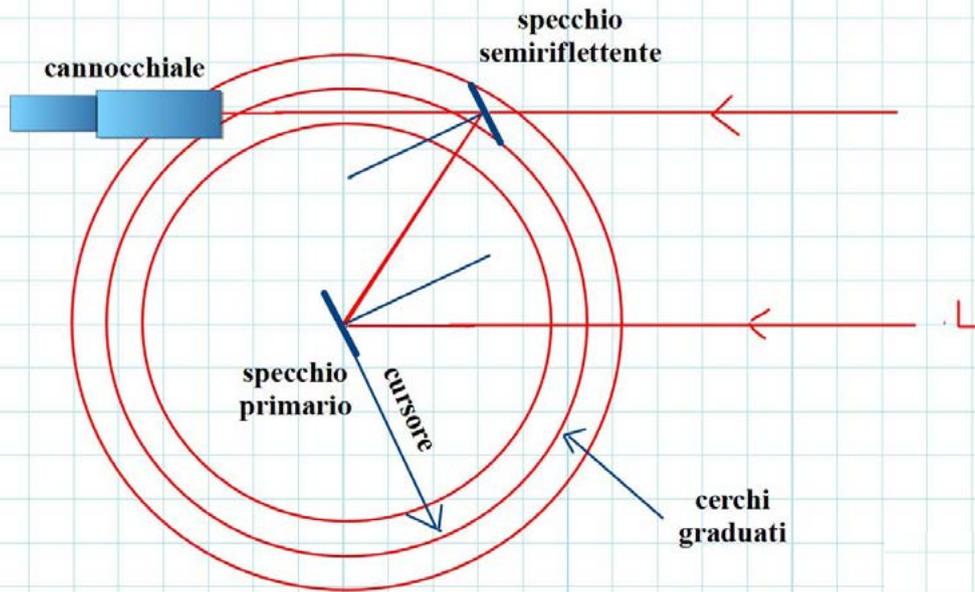
# La legge della riflessione



La doppia riflessione (nel sestante e nel circolo a riflessione) riduce la “classe” dello strumento (sensibilità/portata)

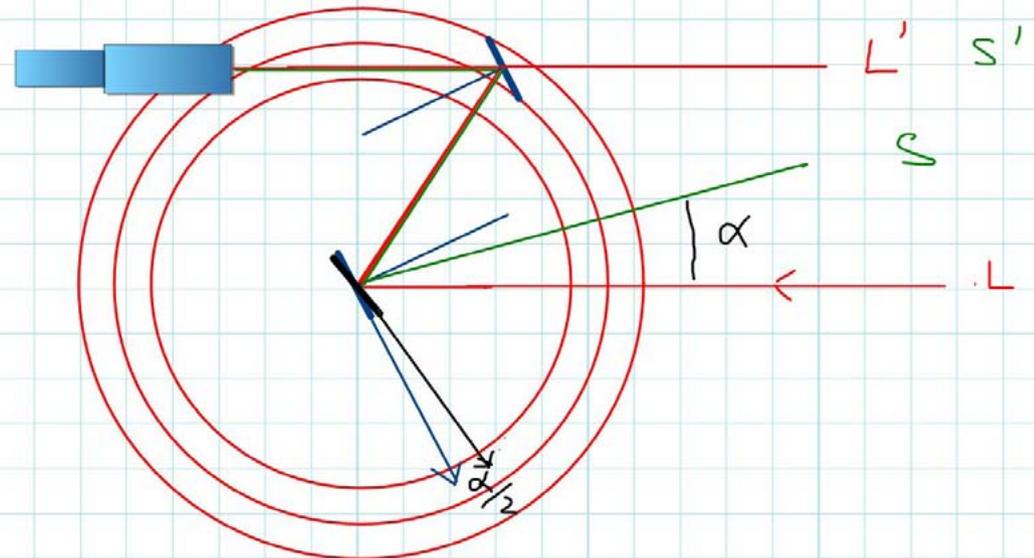


# Schema di funzionamento semplificato del circolo a riflessione

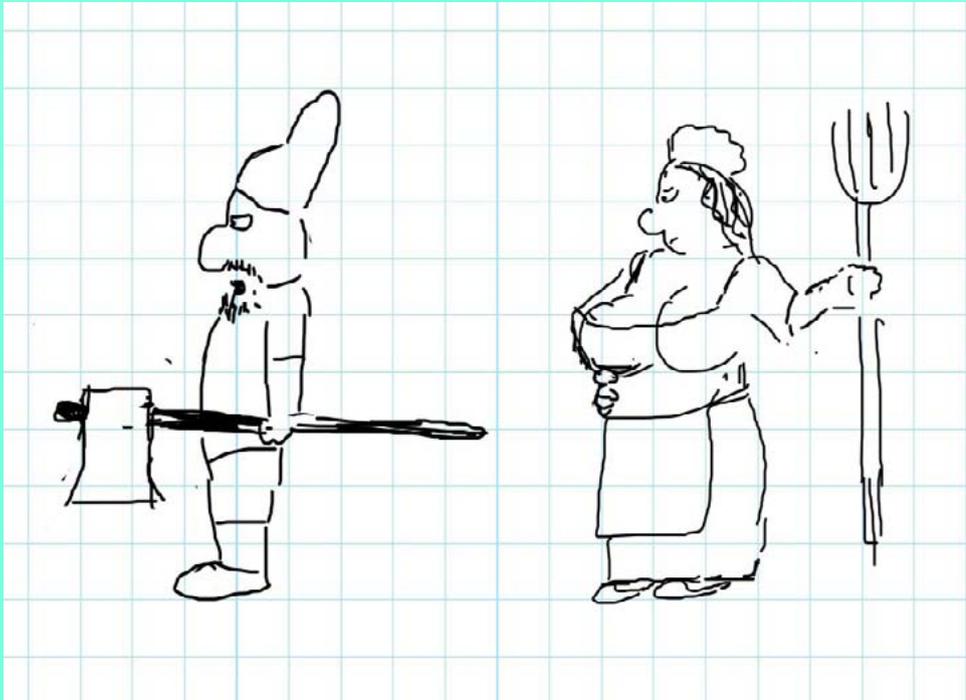


Lo strumento è diviso in 720 parti e il cursore è dotato di un nonio angolare.

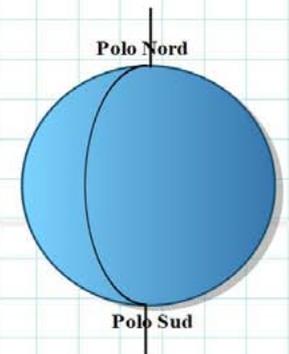
Le misure venivano ripetute in senso inverso per eliminare l'eventuale errore di zero sistematico.

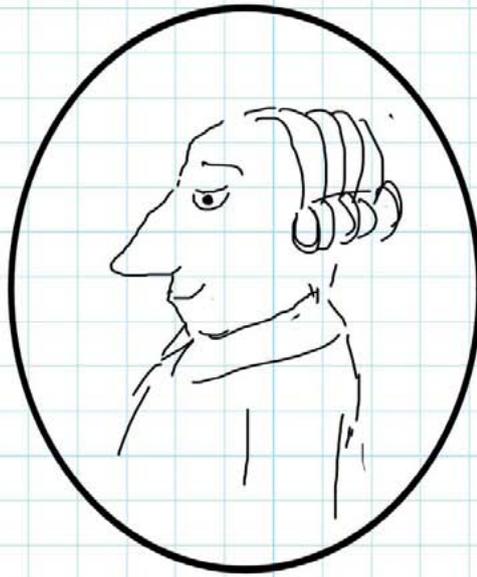


# L'avventura della nascita del Sistema Metrico Decimale e le sue fondamentali conseguenze (Scienza in rima)

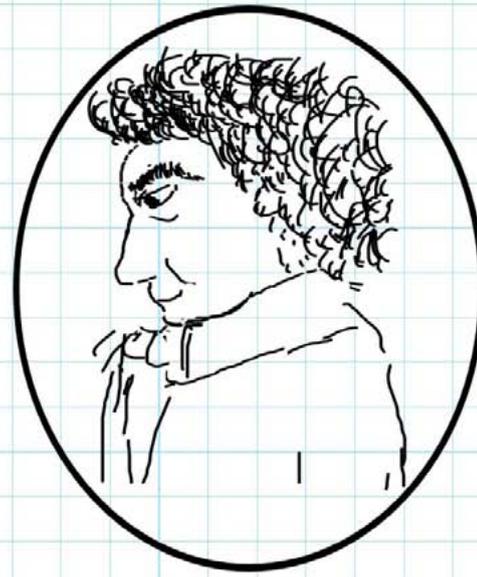


$$1 \text{ m} = \frac{\text{Circonferenza meridiano}}{40.000.000}$$

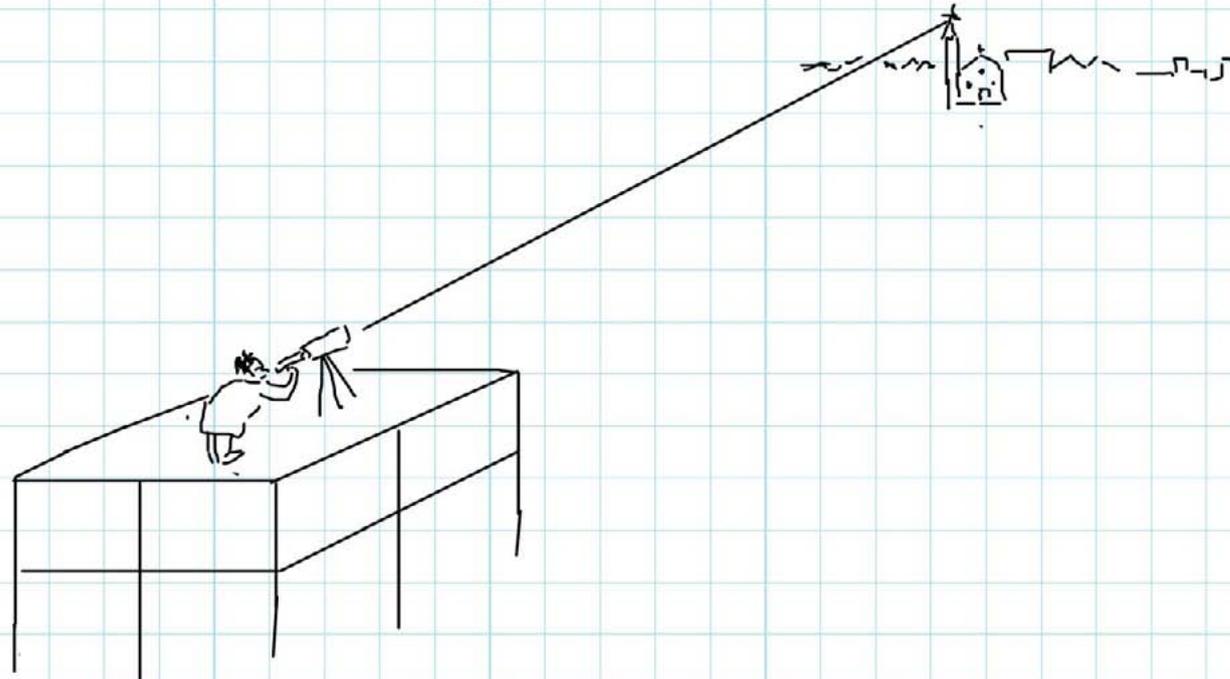


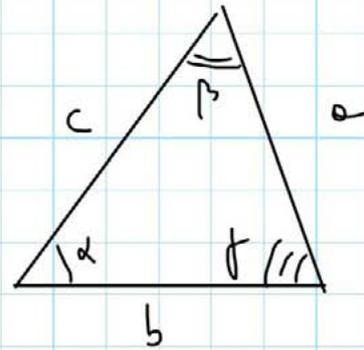
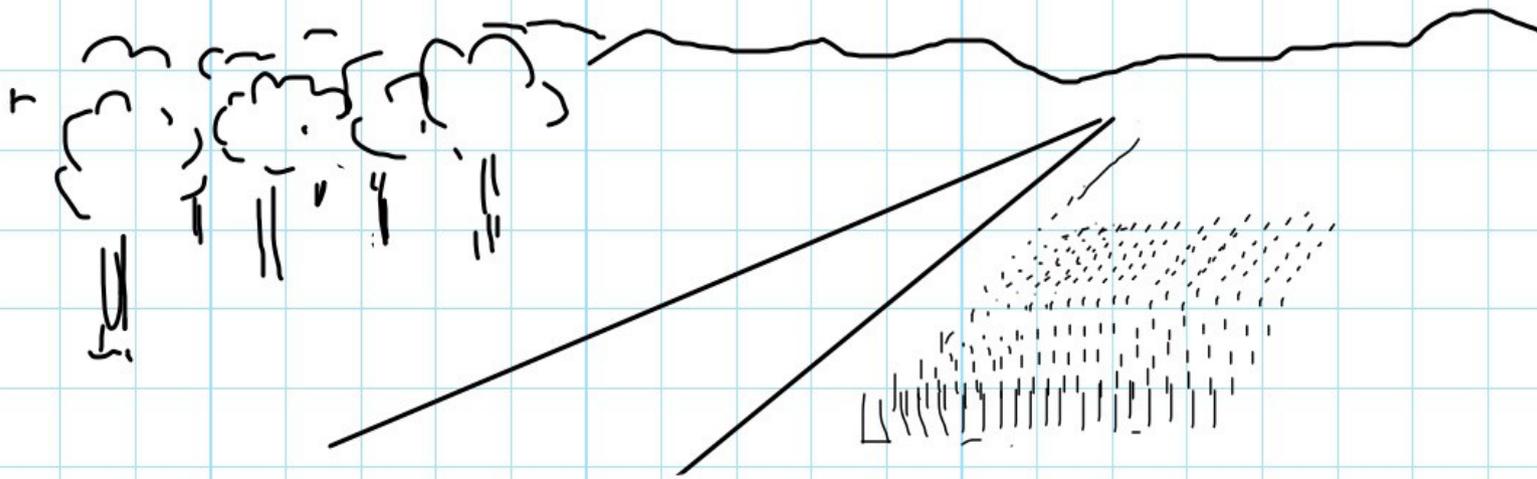


**Pierre Mechain**  
(Laon 1744 - Castellon de la Plana 1804)



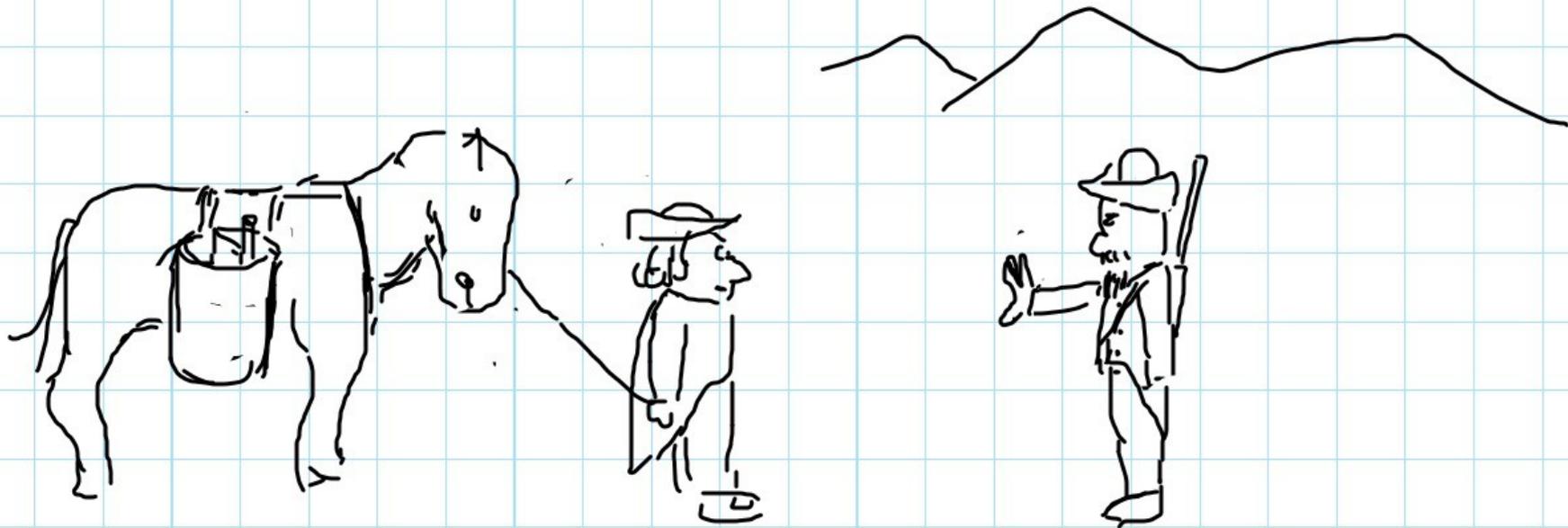
**Jean Baptiste Delambre**  
(Amiens 1749 - Parigi 1822)





$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$



**Grazie**