

La navigazione e il problema delle longitudini

L'utilità dell'Astronomia

Fabrizio Mazzucconi
Società Astronomica Italiana

Perché l'Astronomia

■ L'orientamento

- La geografia
- I grandi viaggi

■ La misura del tempo

- Orologi
- Calendari

■ L'astrologia

- Giustificazione
- Culmine

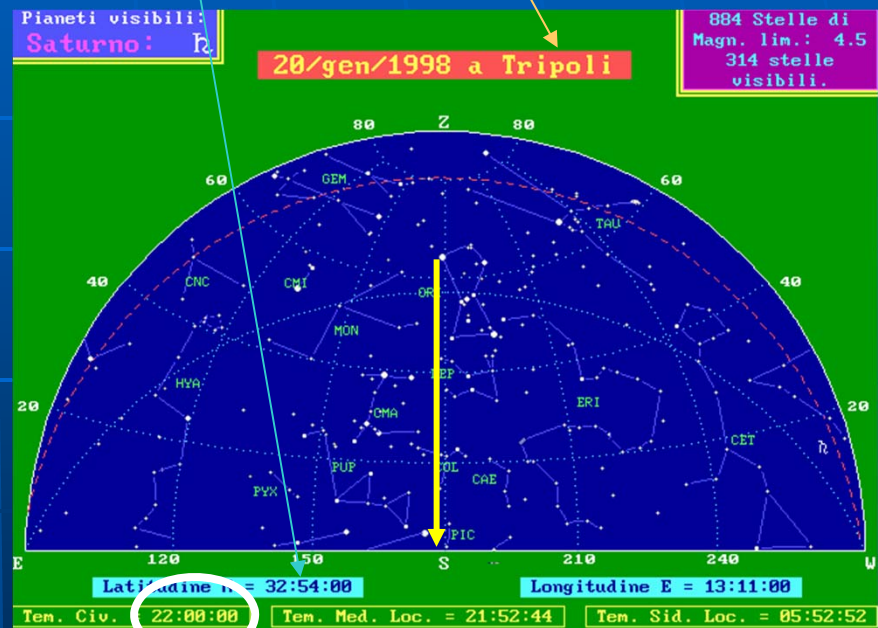
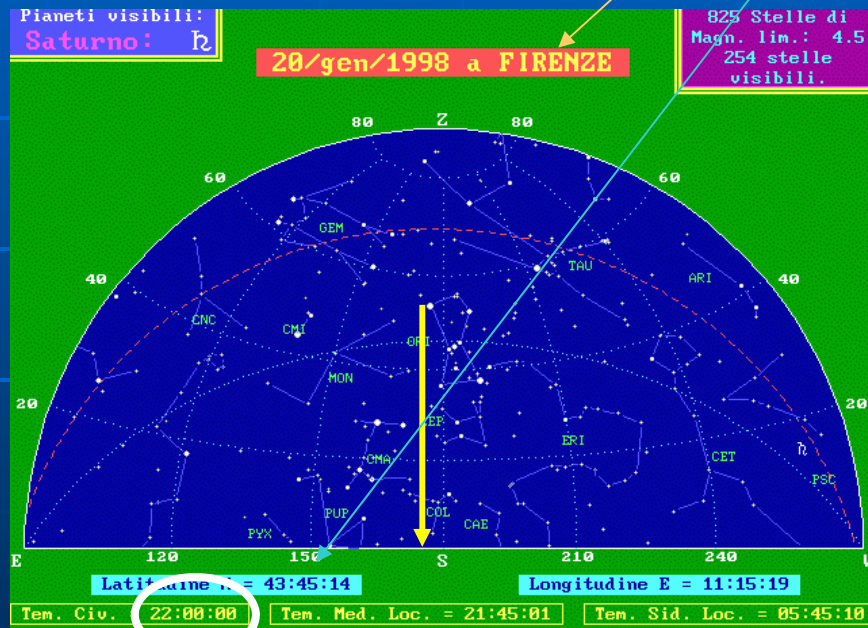
La Terra non è piatta

Primo indizio:

**In eclisse l'ombra
della Terra è sempre
tonda**

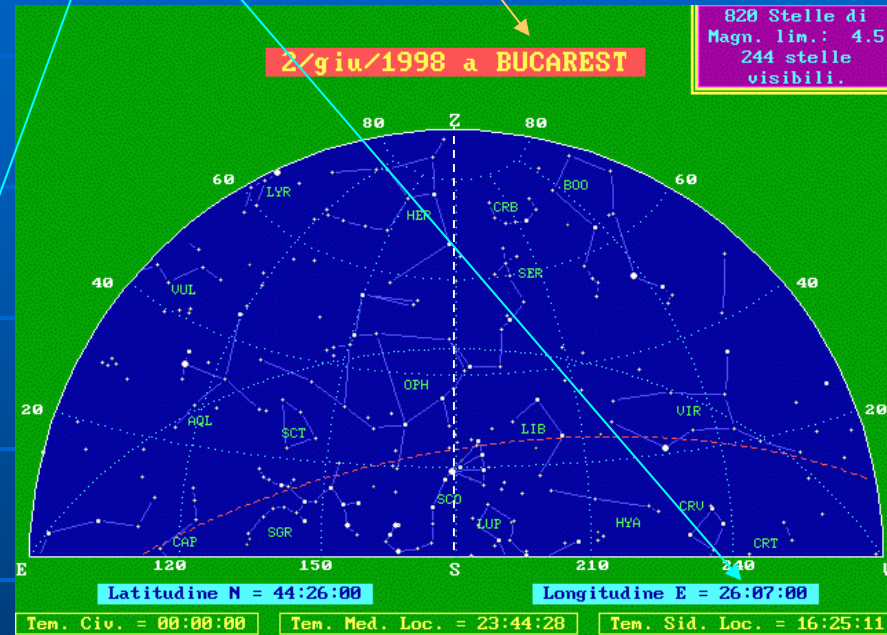
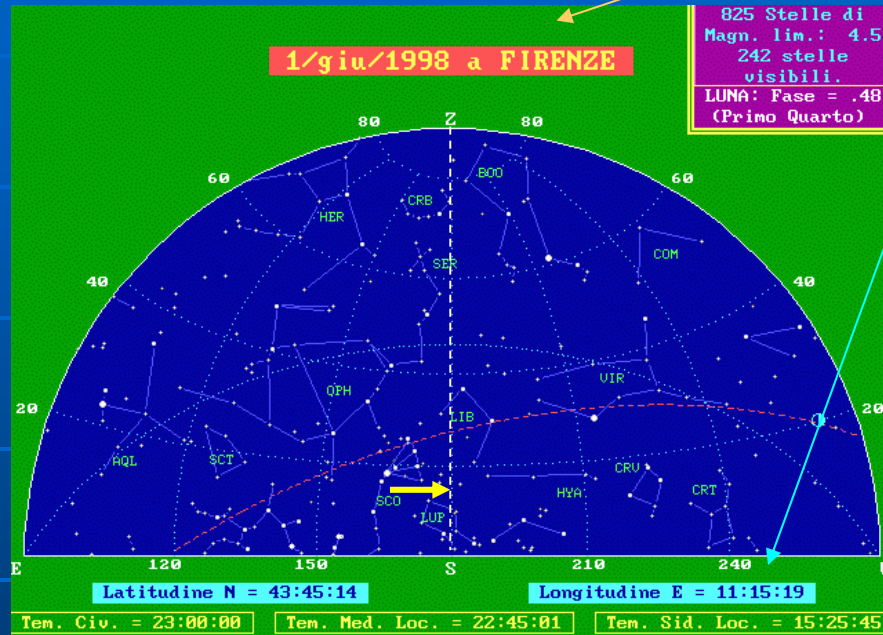


Cieli diversi in luoghi diversi alla stessa ora Diversa latitudine



Cieli diversi in luoghi diversi

Diversa longitudine



Luoghi diversi hanno cieli diversi nello stesso istante

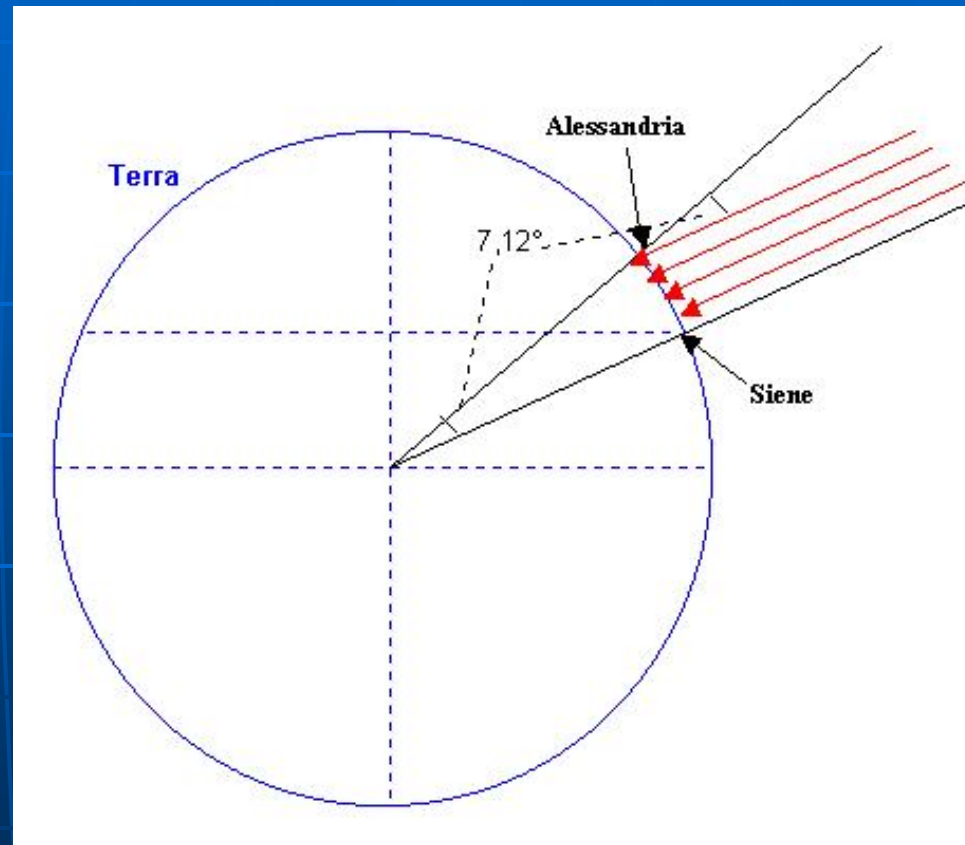
**La Terra ruota attorno al proprio asse
($360/24 \text{ ore} = 15^\circ \text{ l'ora}$)**

Ogni luogo ha cieli diversi in tempi diversi

Misura del diametro terrestre

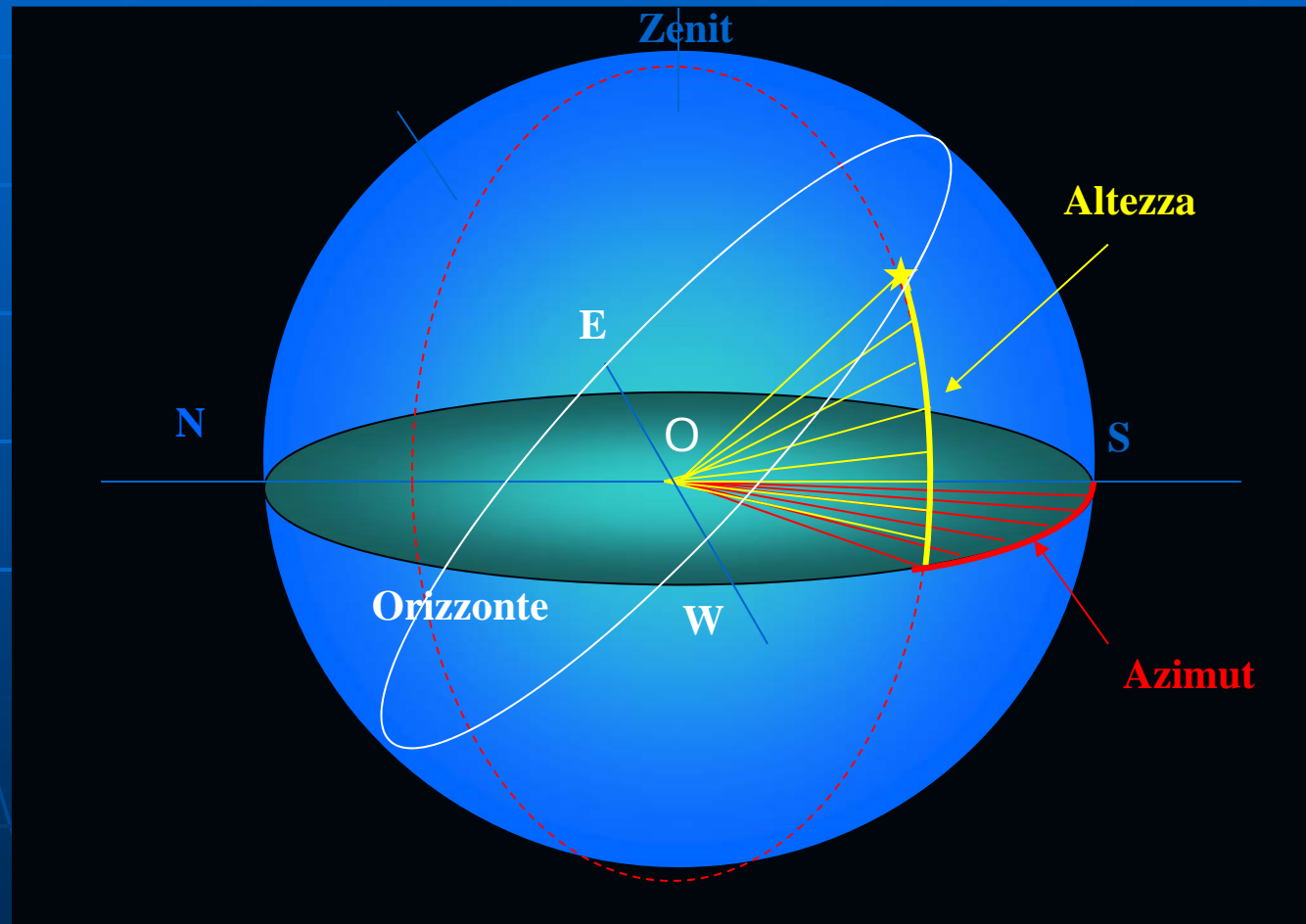
- **Eratostene**
III sec. a.C.
40.075 km

- **Arabi**
IX sec. d.C.
40.275 km

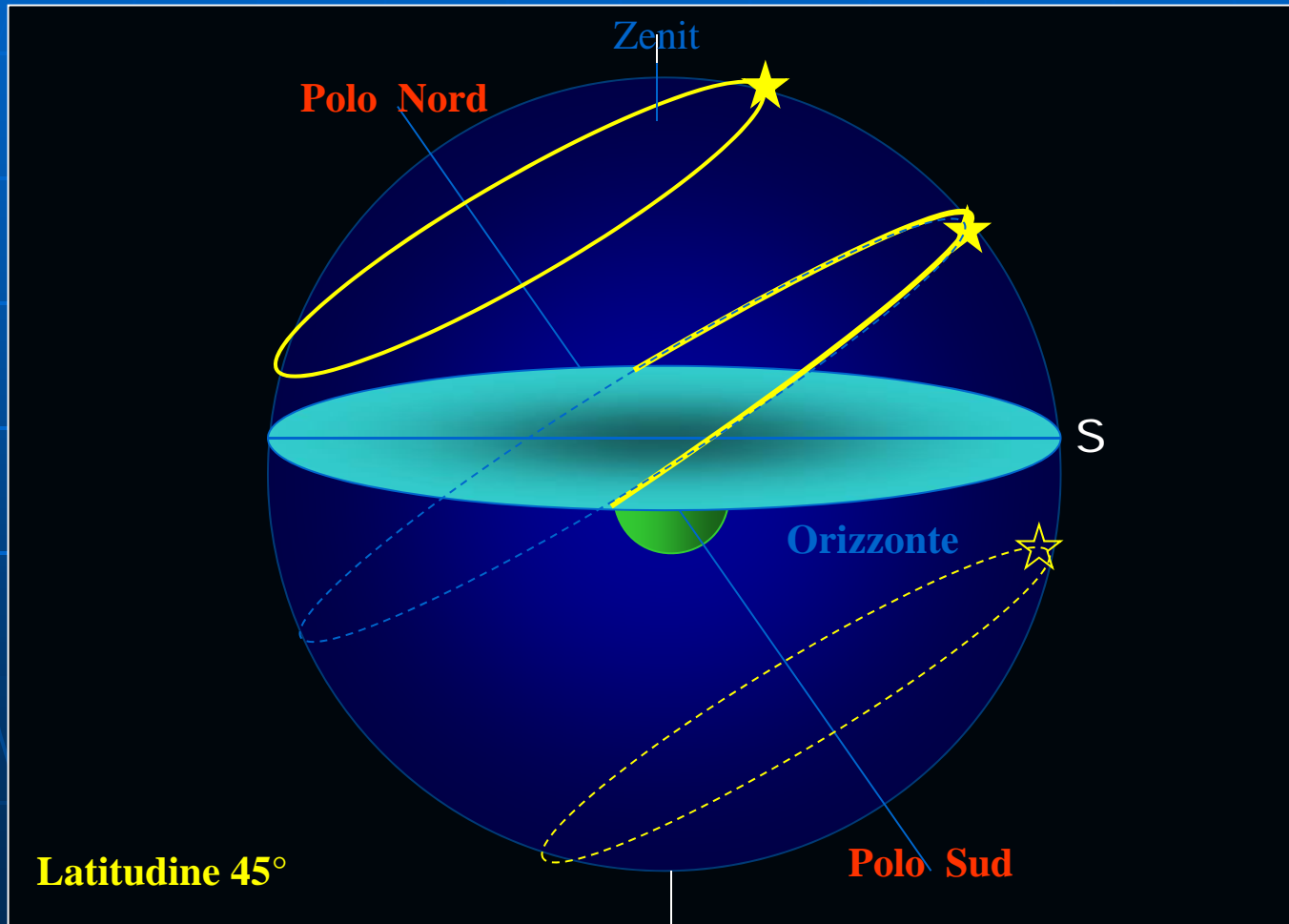


Il sistema alto-azimutale

..... e i suoi limiti



Latitudini intermedie

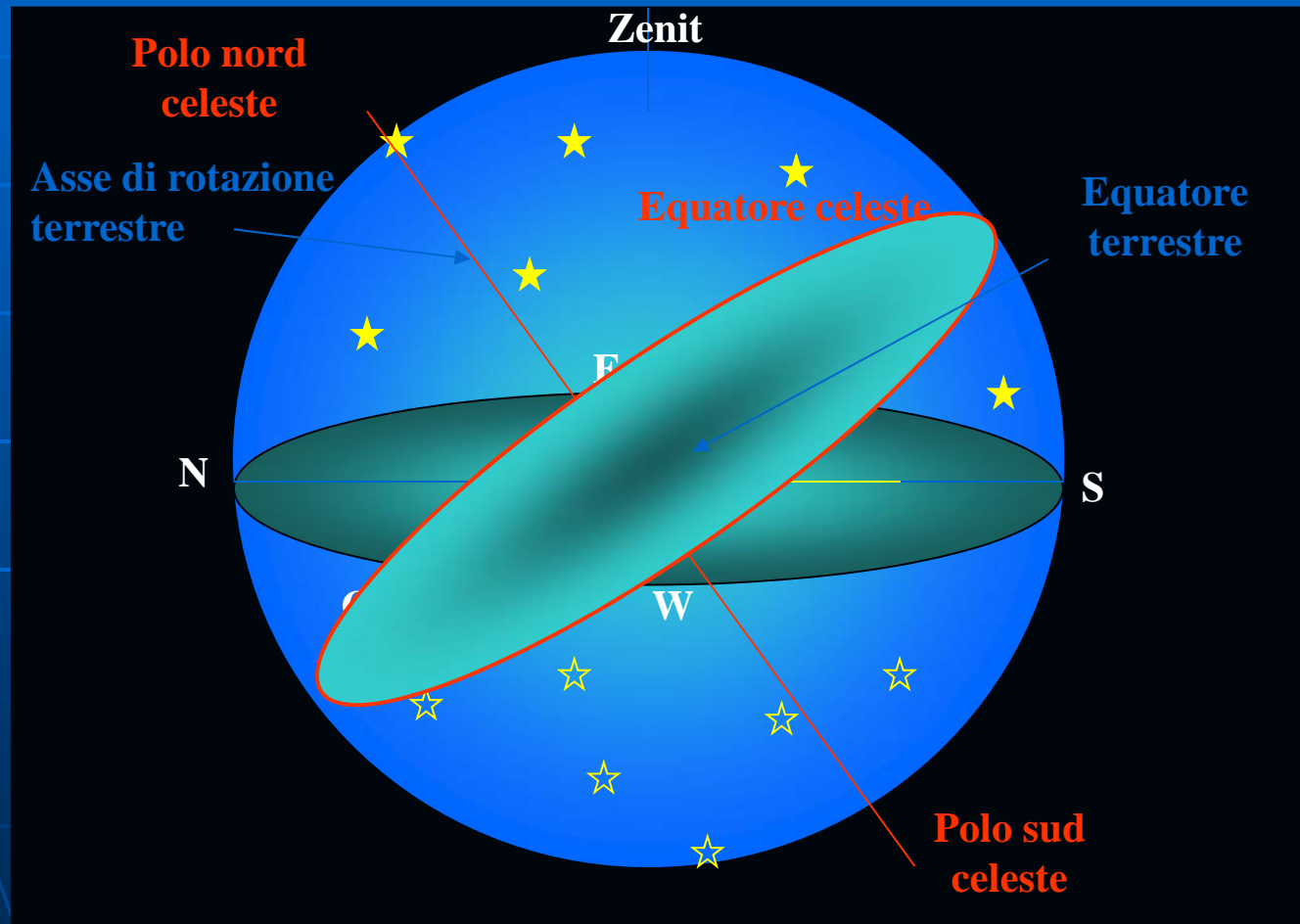


La rotazione terrestre

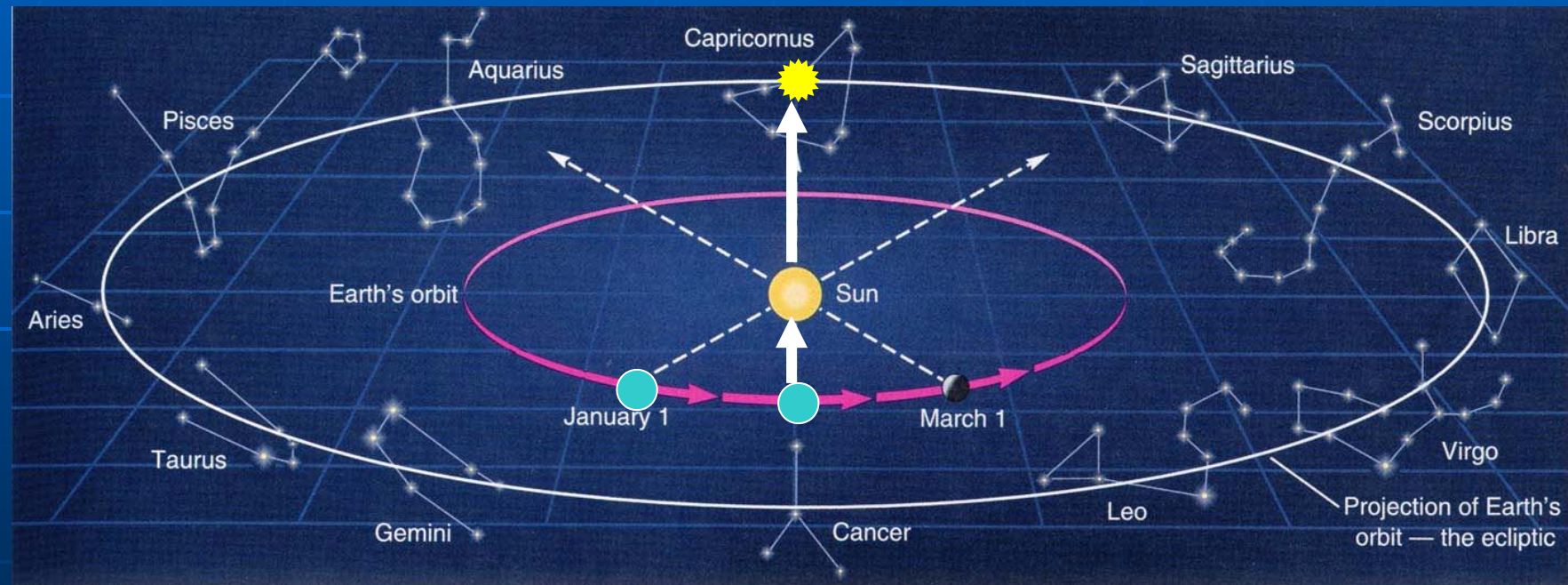
La rotazione terrestre definisce un **polo di rotazione** ed un **equatore**, sia sulla Terra che in cielo



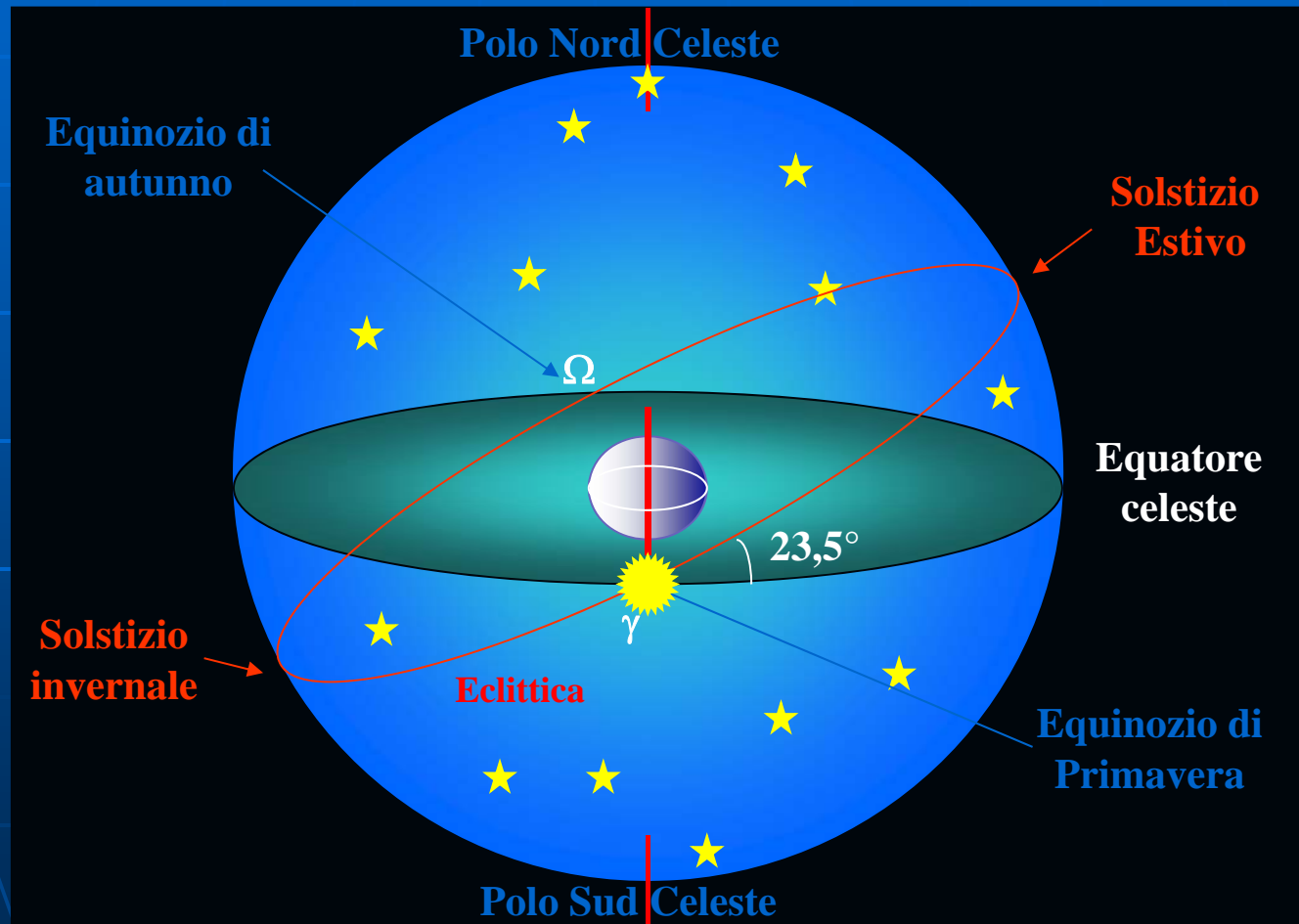
La sfera celeste



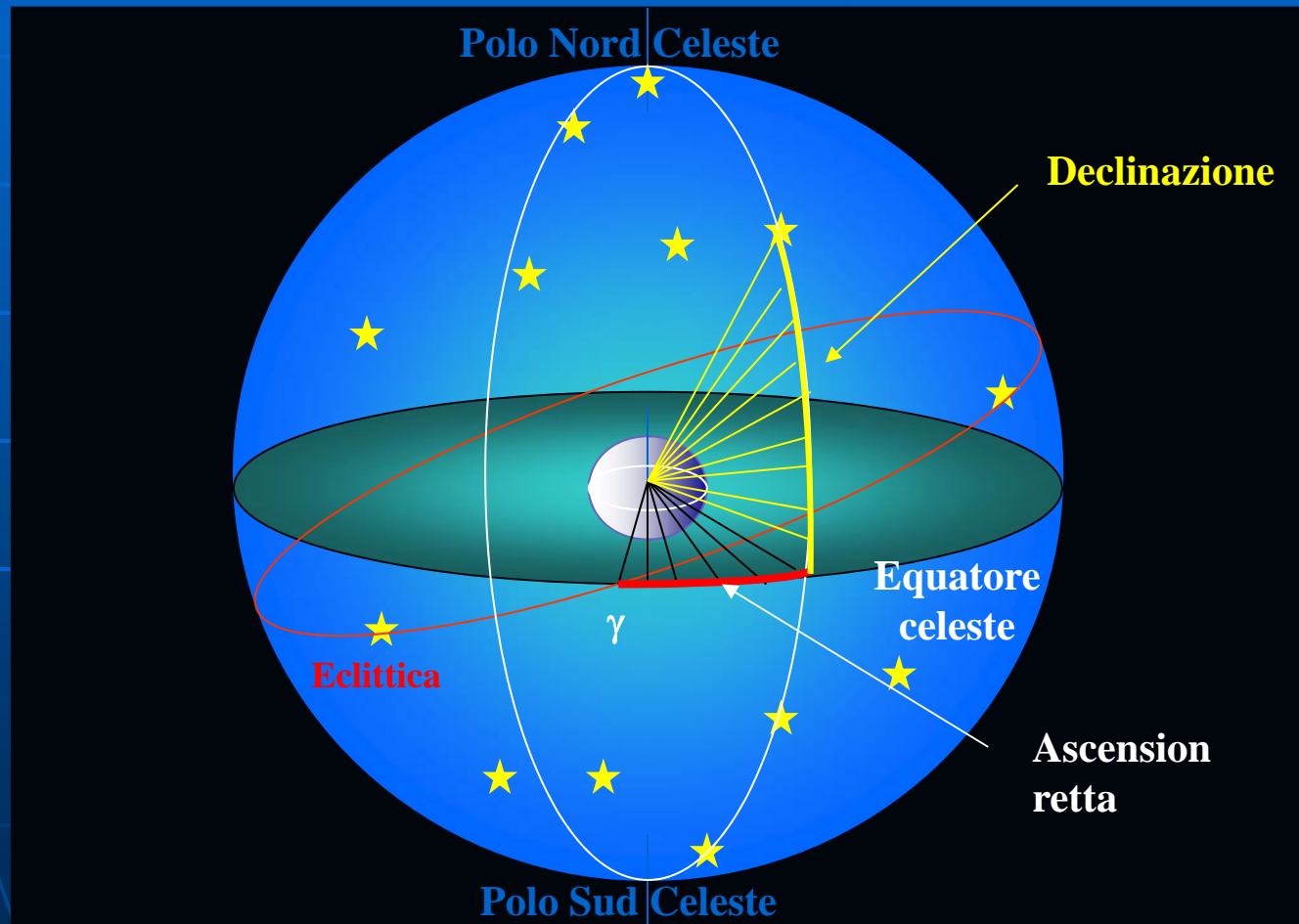
Moto annuale del Sole sulla Fascia Zodiacale



Equatore celeste ed eclittica



Equatore celeste ed eclittica

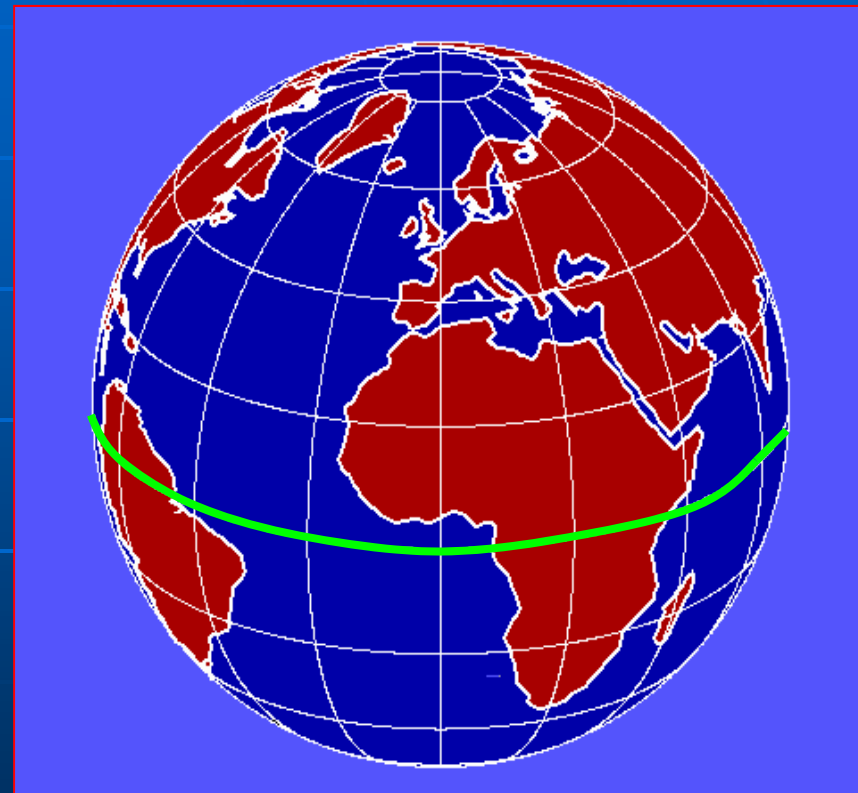


Coordinate geografiche

- Le coordinate geografiche corrispondono alle coordinate equatoriali celesti:

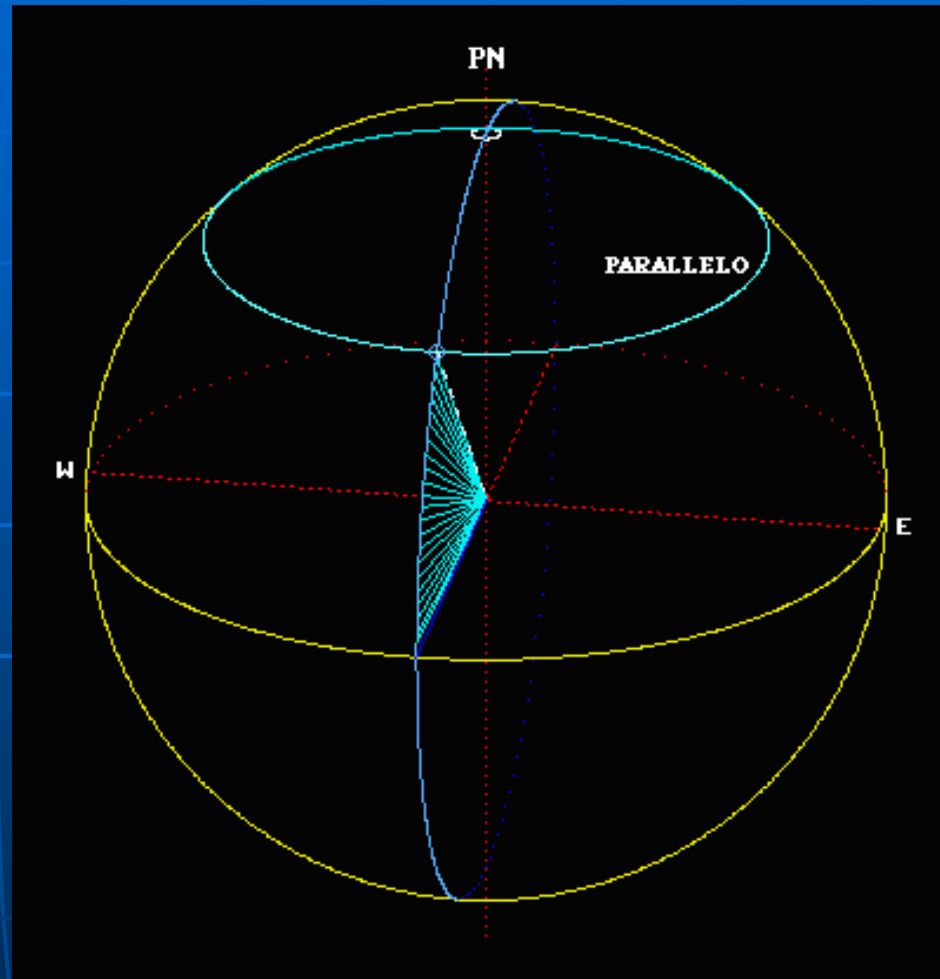
I meridiani => ascension retta

I paralleli => declinazione

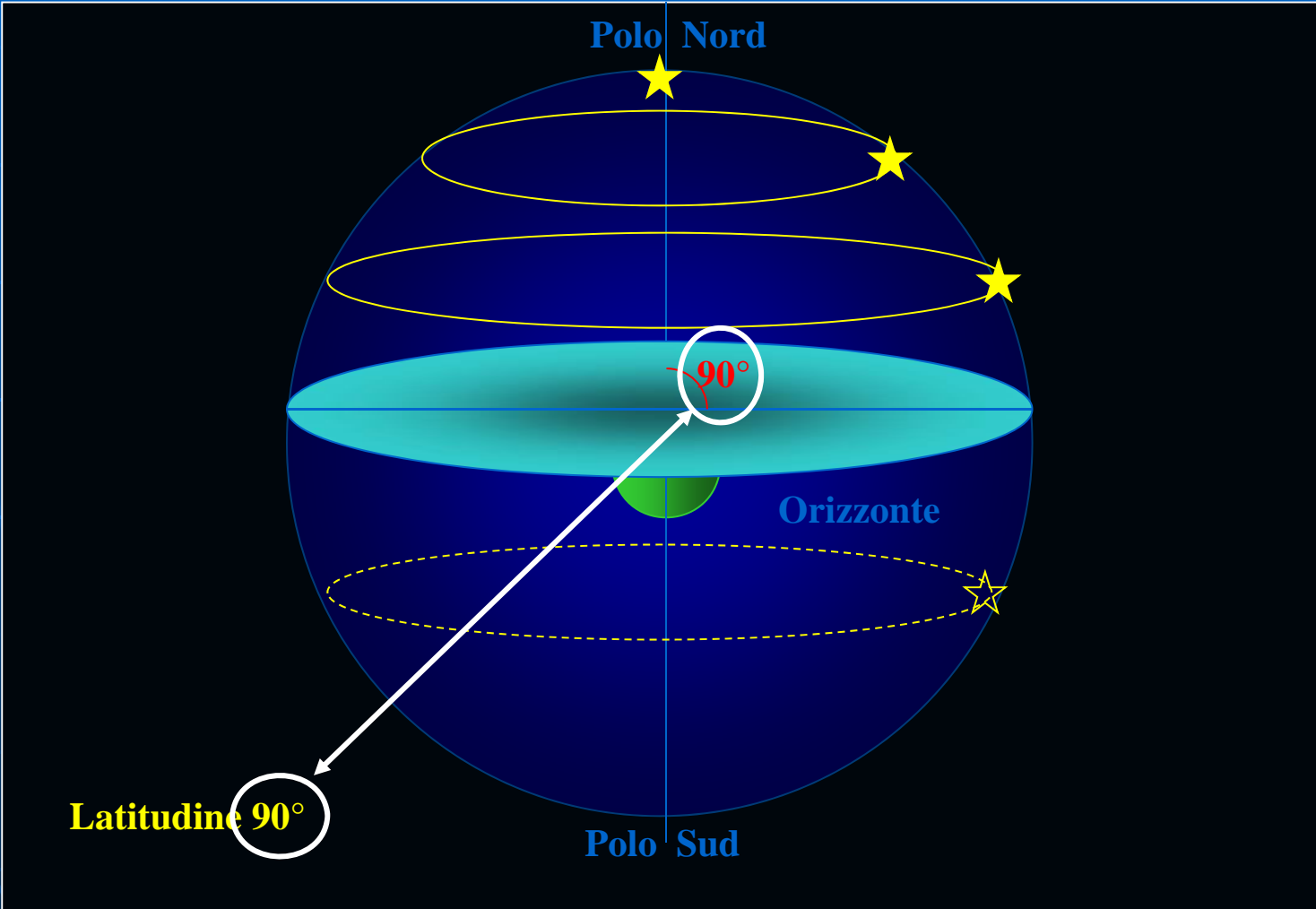


Latitudine

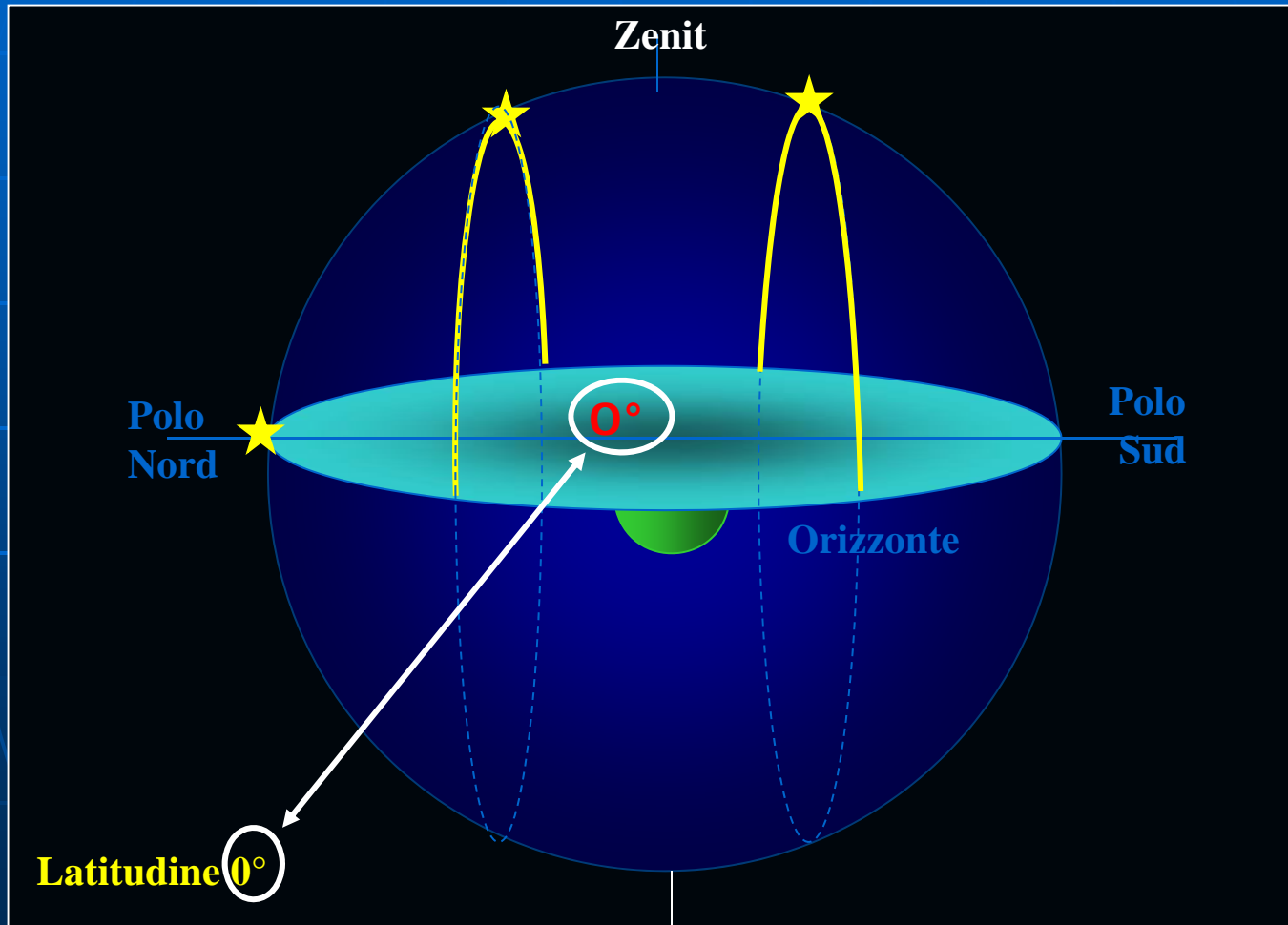
- La misura della latitudine =
L'angolo fra il parallelo del luogo e l'equatore



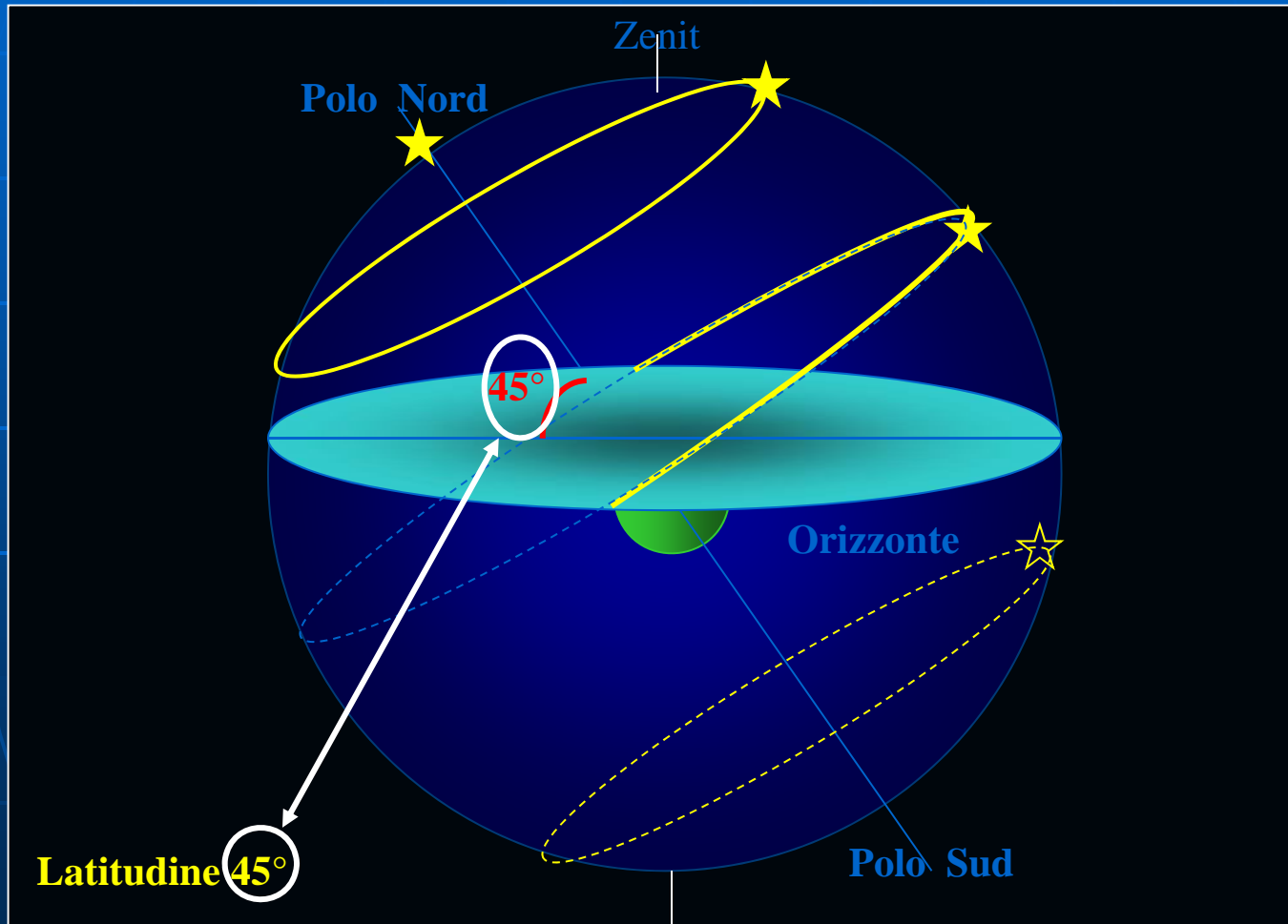
Polo Nord



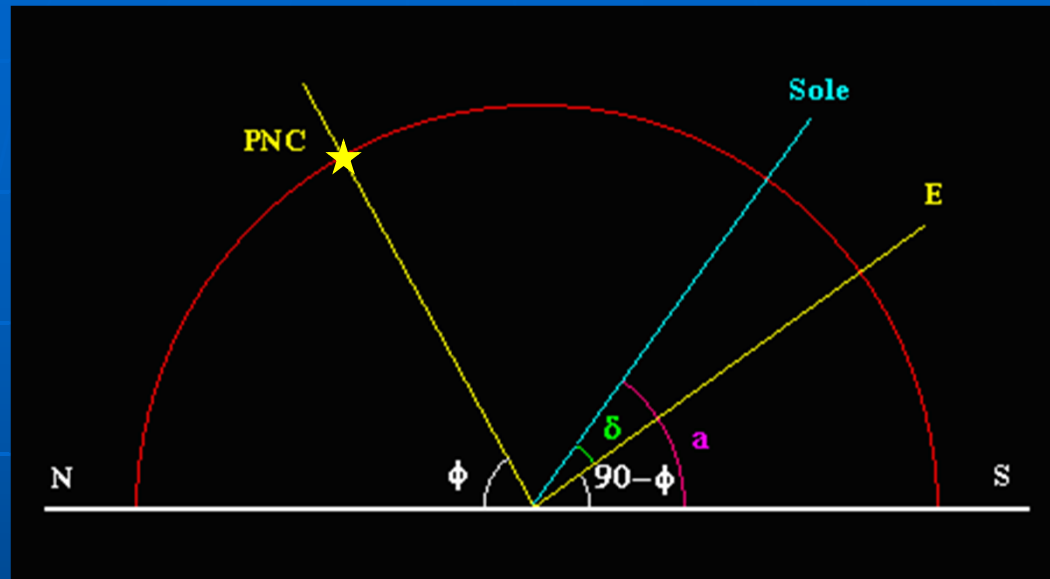
Equatore



Latitudini intermedie



Misura della Latitudine



- Misurare l'altezza del Polo Nord Celeste (e quindi della Polare) è il metodo più semplice per misurare la latitudine

$$\text{Lat} = \phi$$

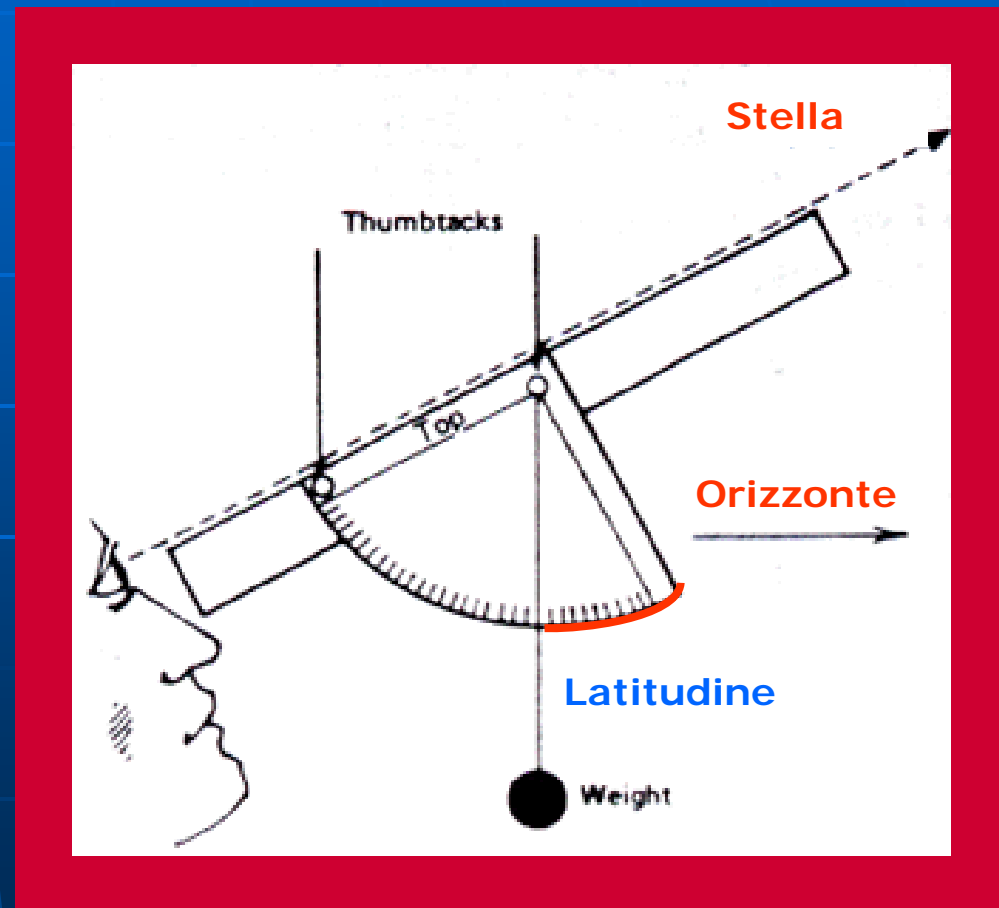
- La stessa cosa può essere fatta misurando l'altezza di una stella nota

$$\text{Lat} = 90^\circ - a + \delta$$

Misura della Latitudine

- Per misurare la latitudine si può usare un semplice strumento:

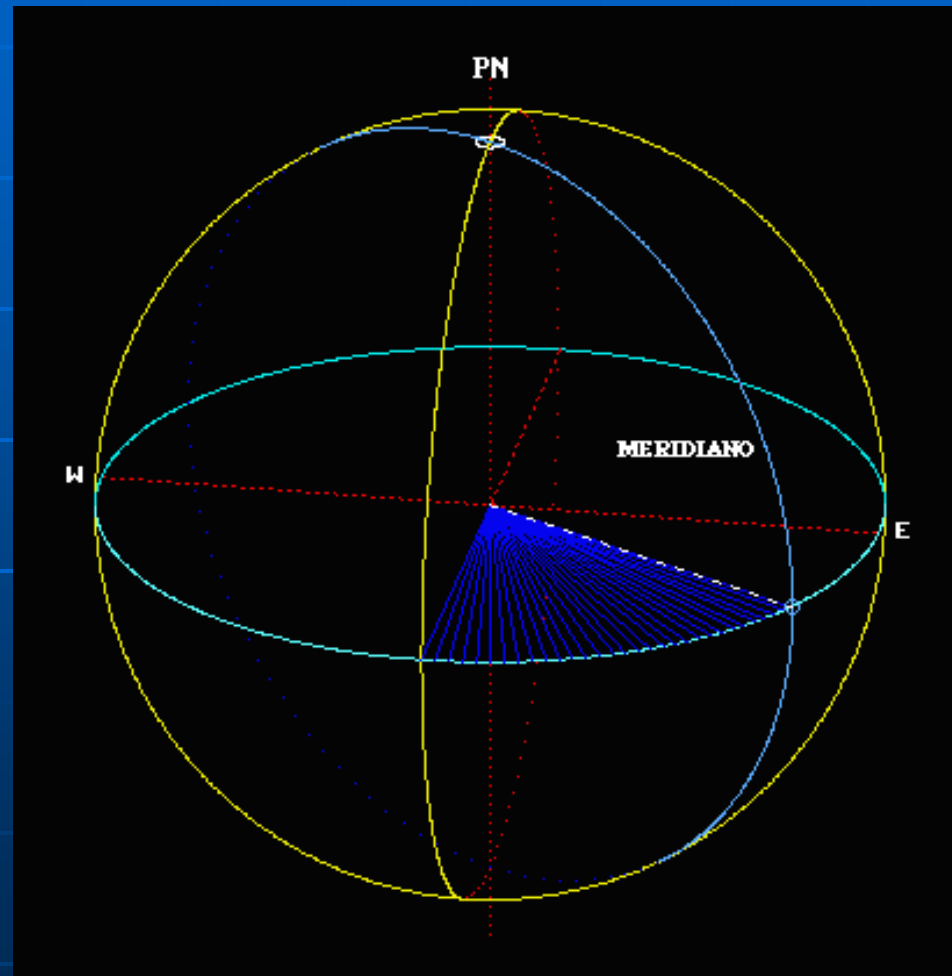
il quadrante d'altezza



Longitudine

- La **longitudine** è l'angolo fra il meridiano del luogo e un meridiano di riferimento:

quello che passa per **Greenwich**



Misura della longitudine

- Differenza di ora locale
- Misura del tempo che occorre perché il cielo nel luogo in cui siamo sia uguale al cielo nel luogo di riferimento, al momento della misura

La misura della longitudine è in definitiva una
misura di tempo:
occorre un segna tempo

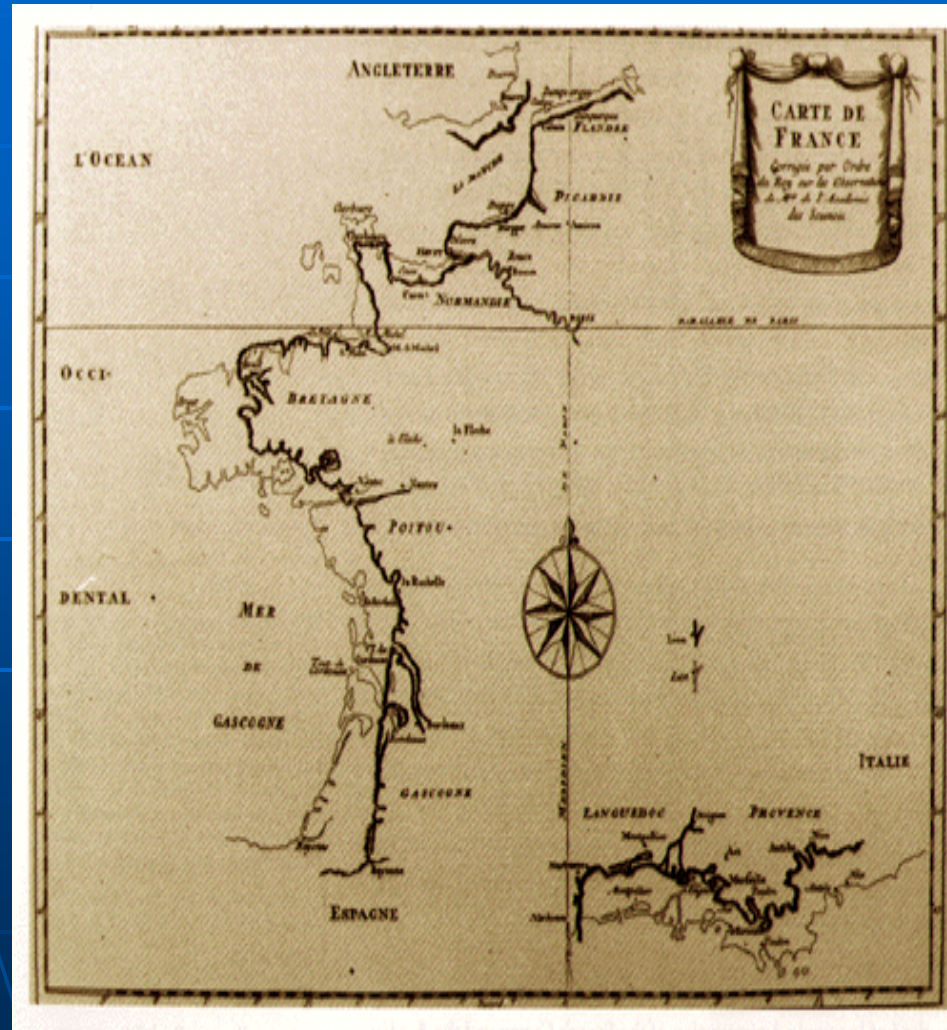
Misura della Longitudine

- Che ci dica, dovunque ci troviamo, qual è l'ora nel luogo di riferimento: la differenza in ora locale è la differenza in longitudine
- Oppure che ci permetta di fare misure sicuramente contemporanee in due luoghi diversi

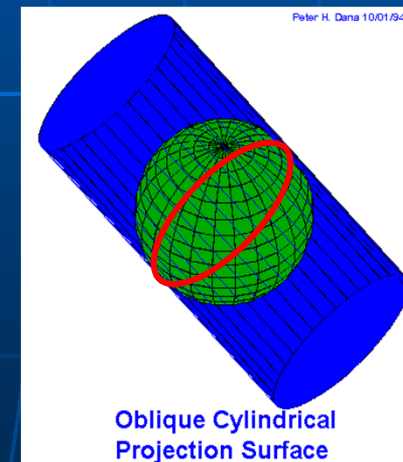
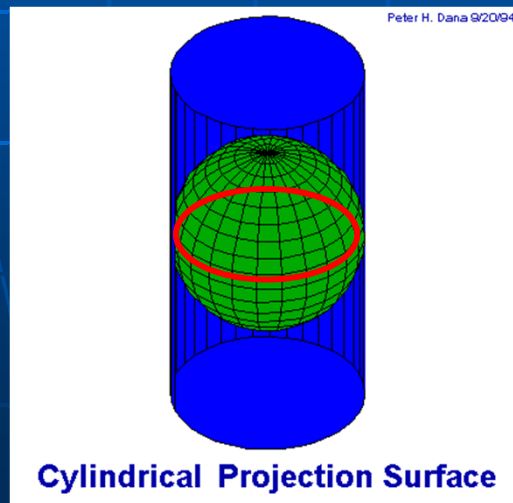
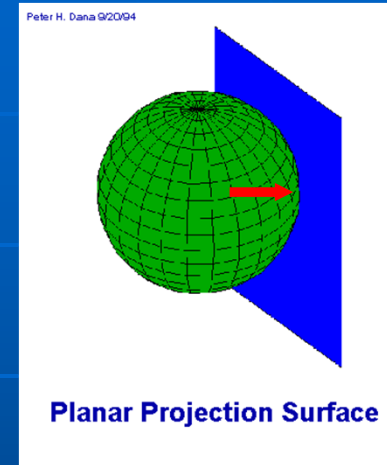
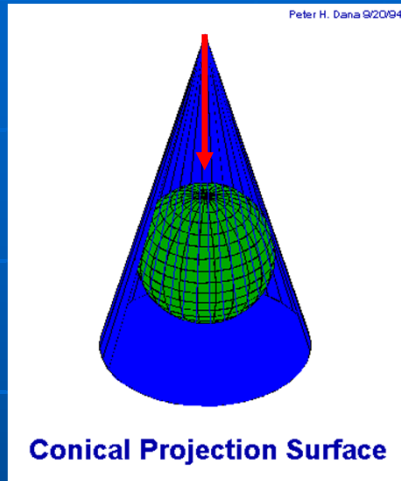
Possiamo usare fenomeni celesti come segna tempo: per es. **le eclissi di Luna**

Se abbiamo a disposizione le due coordinate geografiche dei luoghi possiamo costruire delle carte geografiche

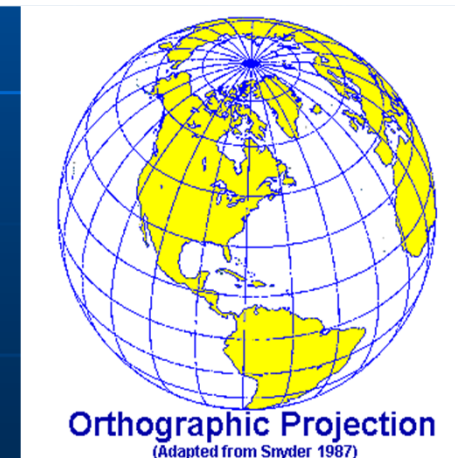
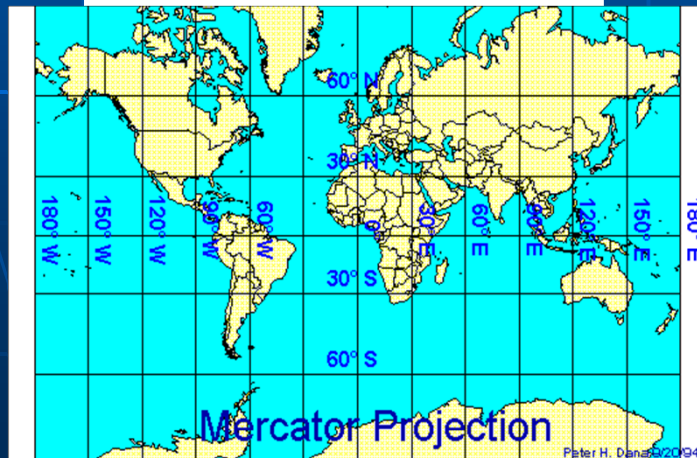
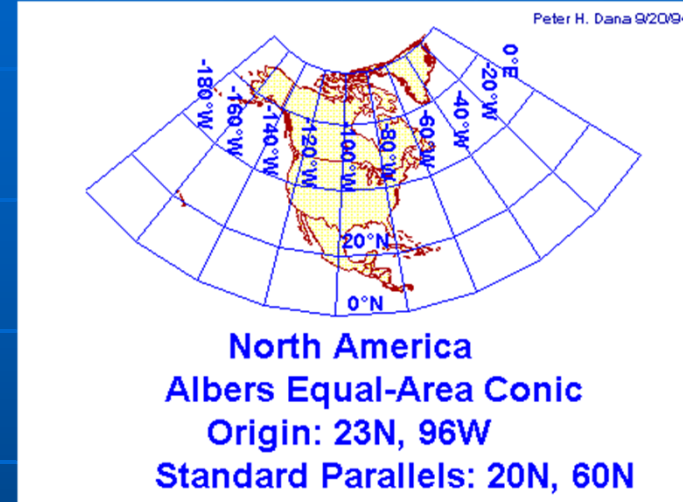
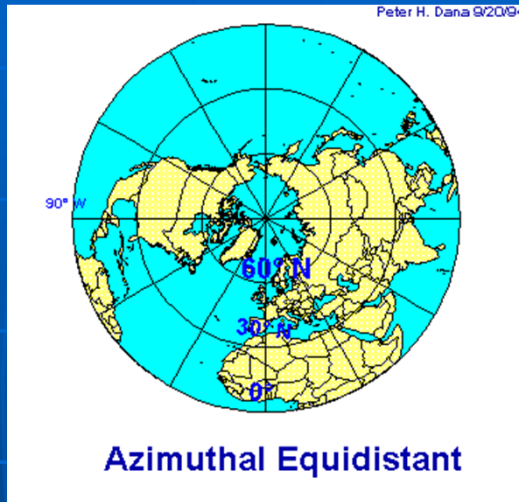
Importanza delle coordinate



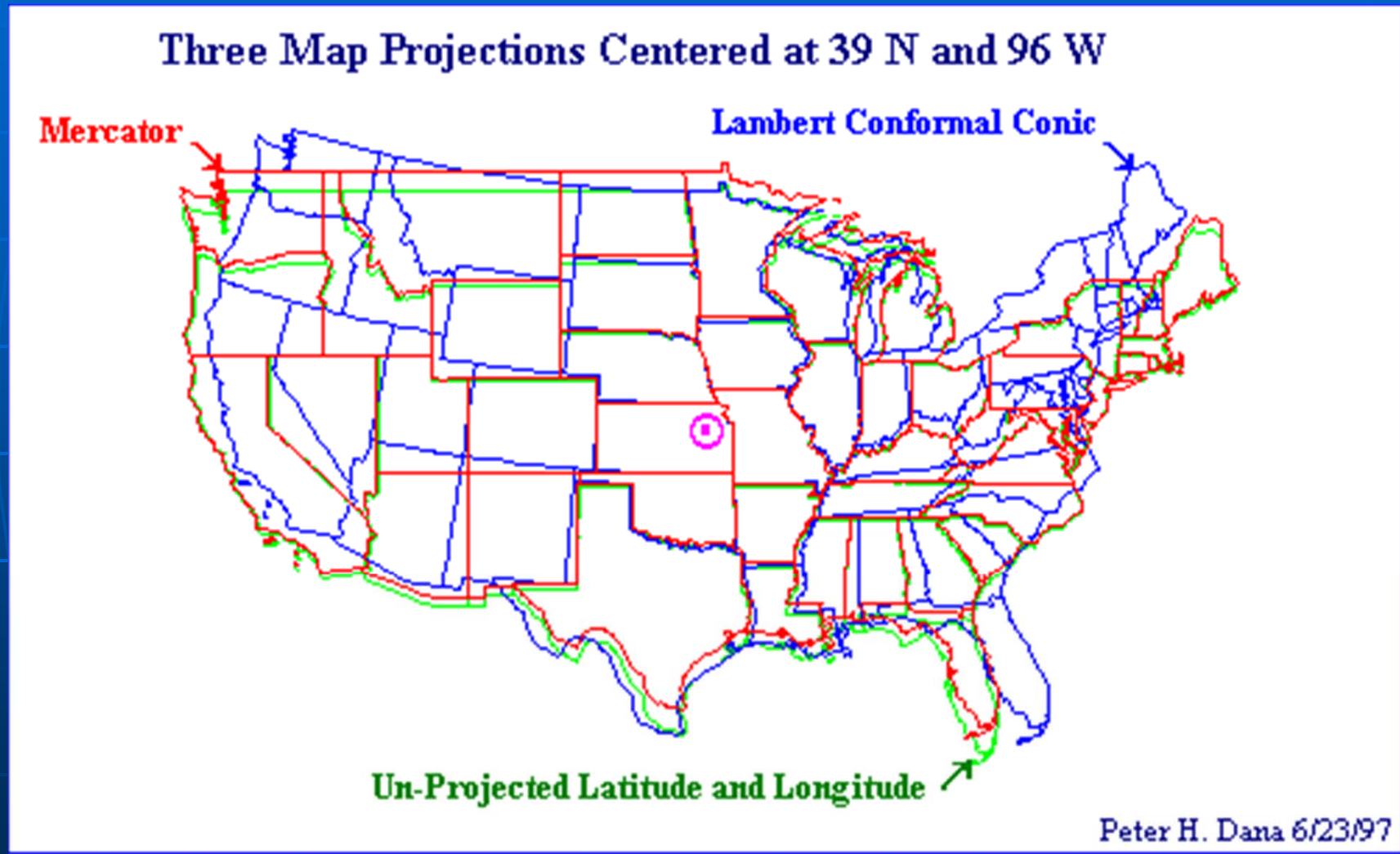
Difficoltà nella stesura delle carte



Carte con diverse caratteristiche



Che danno risultati diversi



Lo sviluppo della cartografia

- **Le prime mappe sono babilonesi**

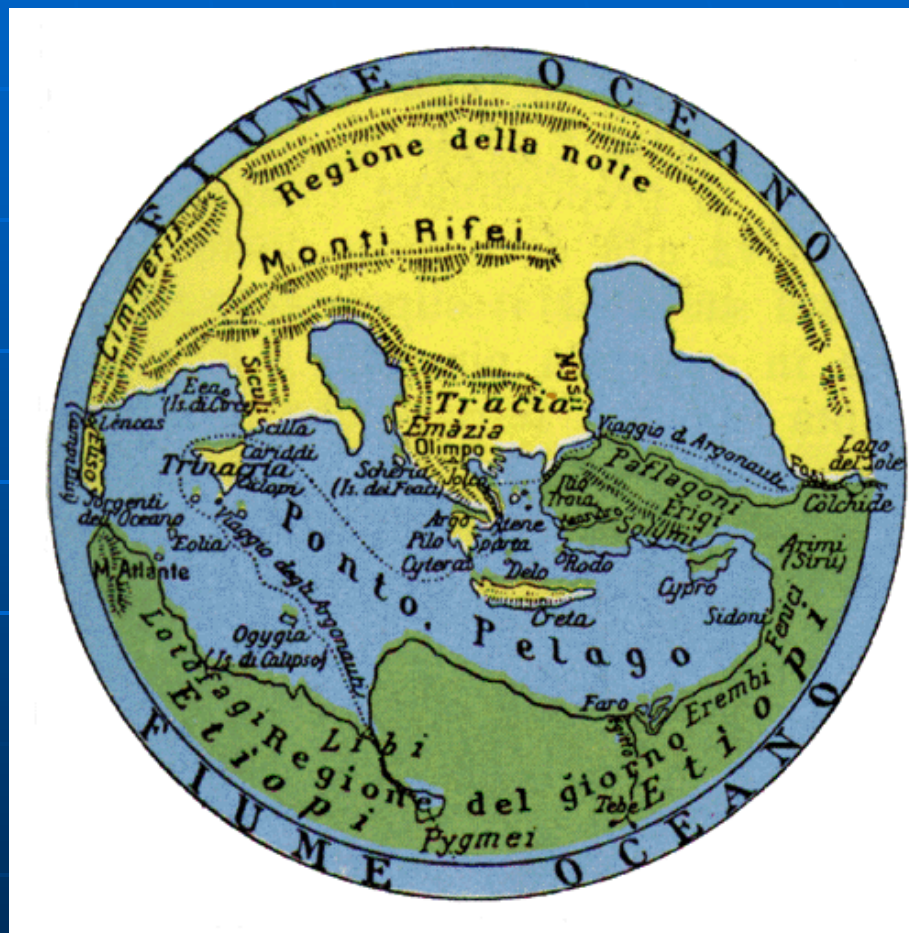
Terracotta babilonese con rappresentata la mappa della città di Nippur



La geografia in Grecia

- La prima carta geografica si deve ad **Anassimandro di Mileto** IV sec. a.C.

Carta del mondo di Omero



La geografia nel mondo antico

Un'affermazione di Eratostene:

“Conosciamo soltanto la regione della terra abitata in cui viviamo, l' oikumene; ma nella zona temperata può tuttavia trovarsi un altro continente ugualmente abitato, o anche più di uno”

In effetti si pensava che le terre emerse occupassero circa 120° , quindi rimanevano sconosciuti 240°

Tolomeo

- Una delle opere maggiori si chiama *Geografia*

- Fornisce carte dettagliate, ma contenenti un errore

Eclisse 20/09/331 a.C.



Carta di Niccolò Germano
Costruita secondo le indicazioni di Tolomeo

Altri indizi

- **PAUSANIA** (II sec.) afferma che dall'altra parte dell'Atlantico esisteva una terra i cui abitanti erano **rossi di pelle** e avevano i **capelli simili ai "crini"** di cavallo.
- **Da cosa aveva tratto questa convinzione?**
- Forse da una testimonianza precedente, quella che ci ha lasciato nel 40 d.C. lo spagnolo-romano **Pomponio Mela** in *De Chrographie*, un manuale di geografia dei tre continenti, dove scrive:

I pellerossa nell'antichità

- **"Metello Celere** mi riferì che, quando era stato proconsole romano in Spagna, il re dei Boti gli aveva inviato in dono degli schiavi che avevano fatto naufragio sulla costa (in Portogallo).

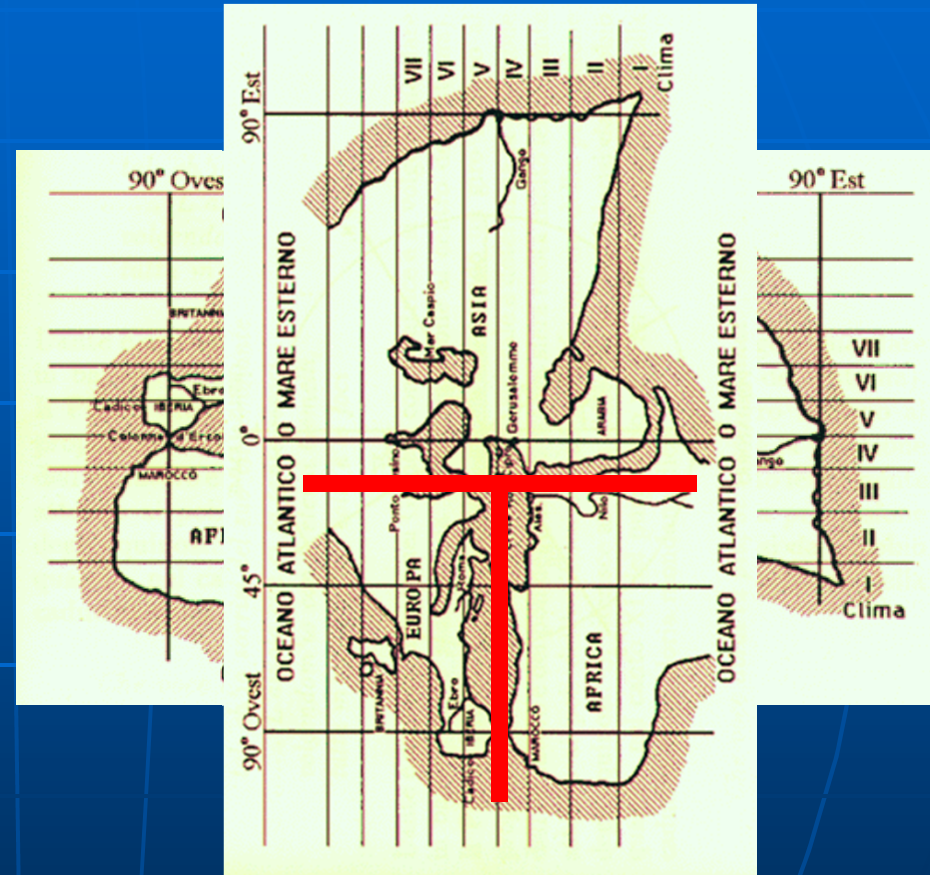
“Erano 7 uomini provenienti da una lontanissima terra, che travolti da una tempesta, dopo aver vagato nel mare per decine e decine di giorni, erano stati sospinti fino alle nostre coste. Questi erano uomini fino allora mai visti da nessuno, dalla pelle rossa, capelli a crini, e parlavano una lingua incomprensibile a tutti.”

Il Medio Evo

- Gli arabi ereditarono le conoscenze astronomiche del mondo antico
- Il mondo cristiano perse qualsiasi interesse
- **Il mondo era quello biblico di Noè**, la Terra era al centro dell'Universo, era piatta, divisa in tre parti, terra e mare con il cielo come un coperchio. Amen!
- L'ultima opera dell'autorevole **cardinale D'Ailly (1410!)**, *L'Imago Mundi*, con le sue errate concezioni era del resto il "vangelo" di come era fatto il mondo.

Il mondo di Dante

- Alla fine del XIII sec. rinasce la geografia
- Separazione fra sapere degli eruditi, dei teologi e del popolo
- Carte nautiche e carte “*orientate*”
- **Dante**



Il mondo di Dante

I° canto del Purgatorio

*Com'io dal loro sguardo fui partito,
Un poco me volgendo all'altro polo,
Là onde il **Carro** già era sparito,
Vidi presso di me un veglio solo...*

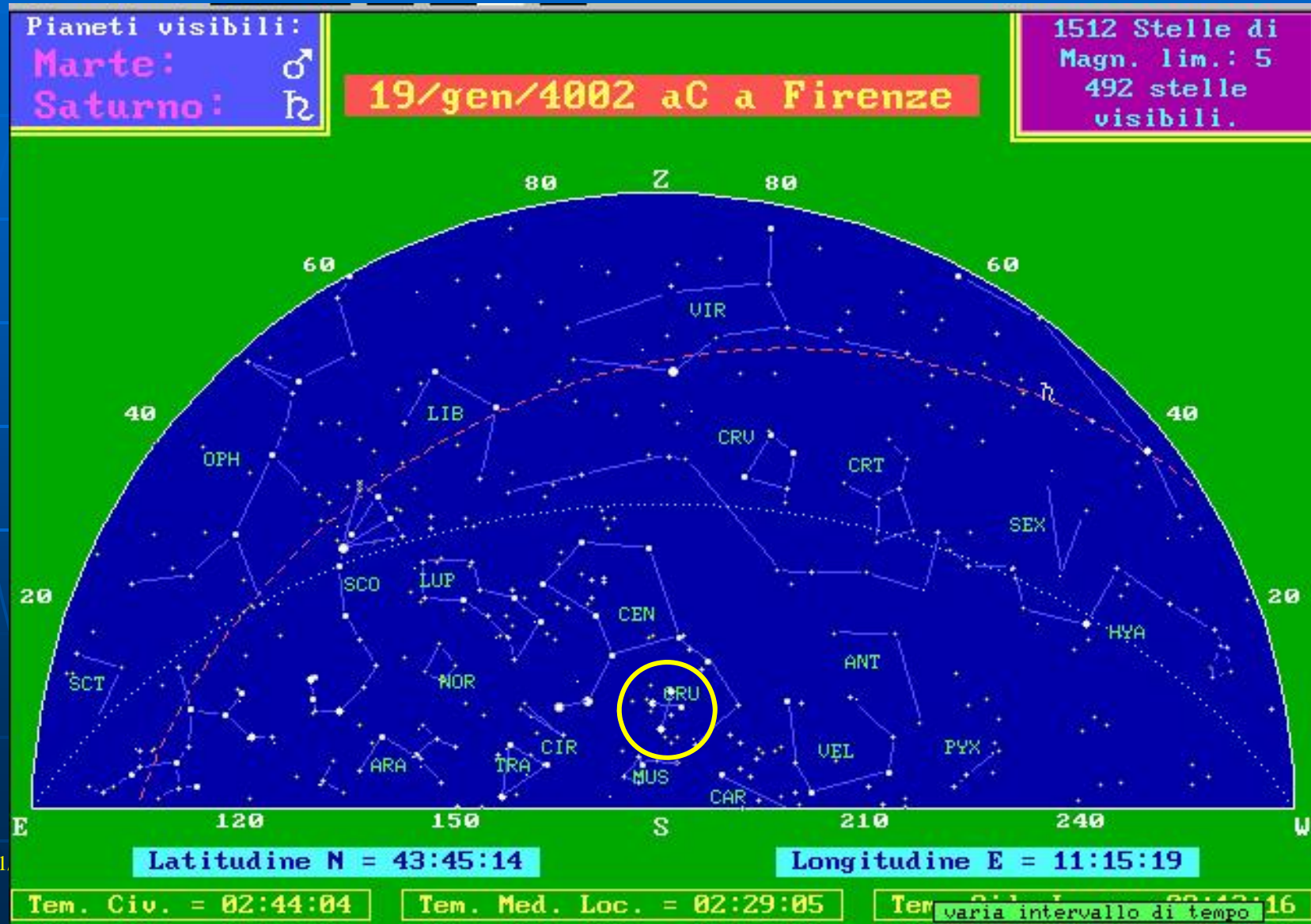
versi 28-31

Ma non solo!

*Io mi volsi a man destra, e puosi mente
all'altro polo, e vidi **quattro stelle**
non viste mai fuor **ch'alla prima gente.**
Goder pareva il ciel di loro fiammelle:
oh settentrional vedovo sito
poiché privato se' di mirar quelle!*

versi 22-27

La precessione in Dante



La rinascita della Geografia

- **Petrarca e Boccaccio**
La geografia in pantofole
- **S. Maria degli Angeli**
- **Emanuele Crisolora**
1397 – La riscoperta dei classici
- **Concilio dell'Unione**
1438
- **Nicolò de' Conti**

Planisfero di Fra' Mauro



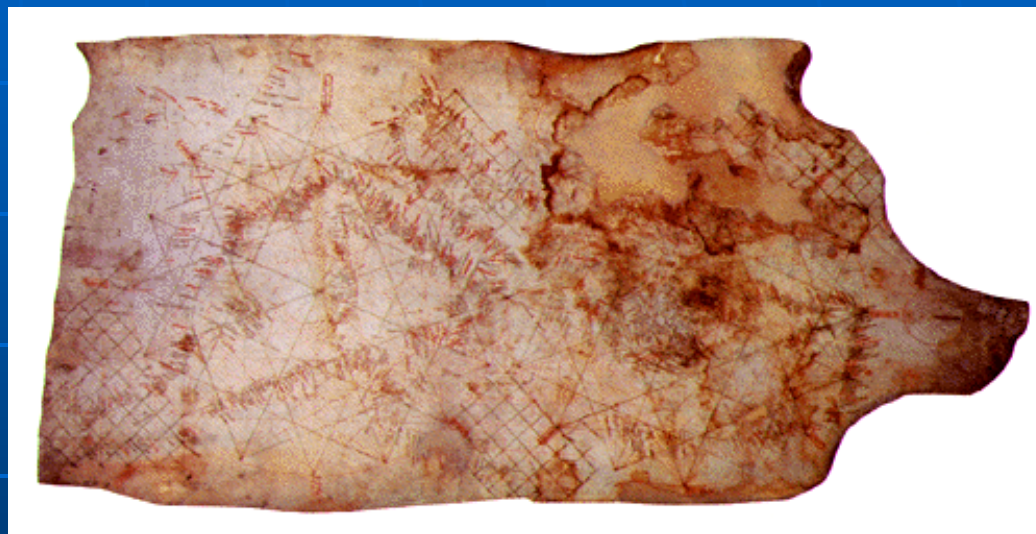
Paolo dal Pozzo (1397 – 1482)

- **Maestro Paolo Medico detto “il Toscanelli”**
- **Il più grande matematico dell’epoca**
- **Grande astronomo**
- **Considerato il novello Tolomeo**



Anche grande geografo

- Autore di numerosi portolani
- Usa le misure errate della circonferenza terrestre
- Si basa sulle misure arabe del IX sec.
- Diametro terrestre = 30.000 km



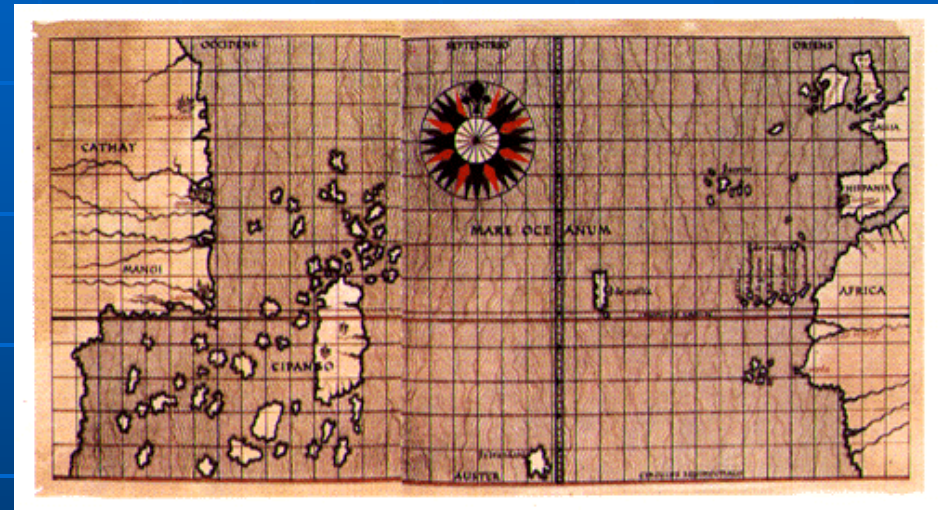
“**Carta Pisana**” conservata a Parigi
Probabilmente un portolano genovese

Dimensioni della Terra

- Eratostene misura la circonferenza terrestre in **stadi egiziani**
- Gli arabi la misurano in **miglia arabe** (1,650 Km): $24.396 = 40.253$ km
- Nel rinascimento interpretano questa misura in **miglia italiche** (1,237 km)
- Circonferenza della Terra => **30.178 km**

Carta del Toscanelli

- Sulla base delle misure arabe, Toscanelli traccia una **carta del mondo**, che invia ad un canonico portoghese (1474)



- **Distanza delle indie verso ovest = 6.500 miglia**
dall'Africa = 18.000 miglia

Colombo vede questa carta?

Contatti con il Portogallo

- Nel **1409** re **Giovanni I** aveva investito una notevole somma per l'acquisto di immobili in “luoghi del Monte” a Firenze
- Nel **1428** l'infante **Don Pedro** visita Firenze
- I mercanti fiorentini ebbero numerose esenzioni doganali e altri benefici in Portogallo
- Nel **1459** l'**Infante**, divenuto Arcivescovo di Lisbona, visita ancora Firenze, dove si ammala e muore
- Durante questa visita Piero del Massaio donò al **Vescovo di Algarve**, che fra l'altro si era incontrato con il Toscanelli, un libro con le tavole di Tolomeo

I contatti con Colombo



Planisfero Mediceo (1457) BNCF
A lungo creduto genovese,
ma probabilmente fiorentino

- **Si conoscono tre lettere di Toscanelli dirette in Portogallo:**
 - quella al canonico Fernando Martins
 - Due lettere indirizzate a Colombo, una citata dal figlio Ferdinando e l'altra da Bartolomeo Las Casas

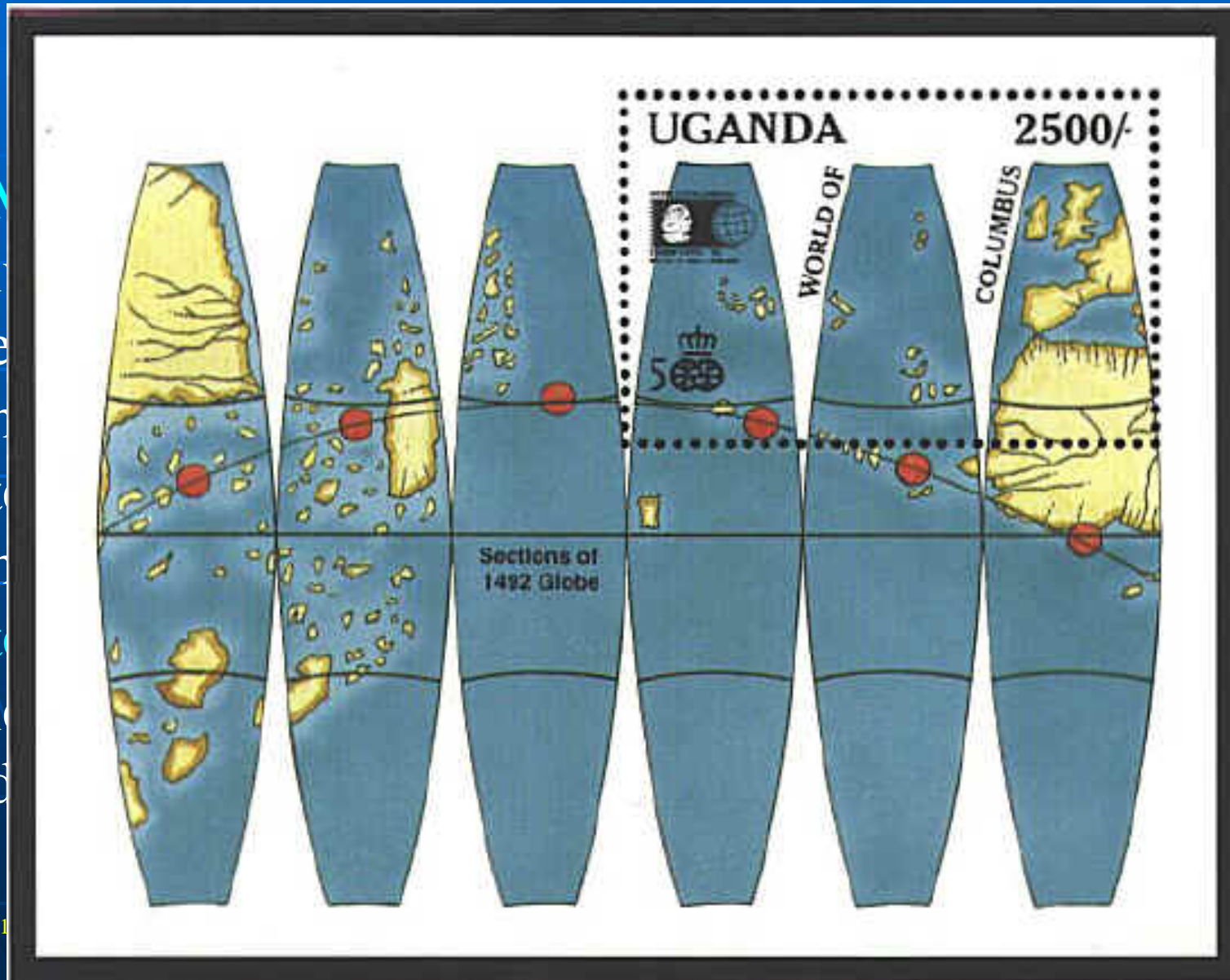
La seconda lettera a Colombo

“A Cristoforo Colombo, Paolo fisico salute.

....Stimai il tuo desiderio nobile e grande bramando tu di navigar dal levante al ponente come per la carta, che io ti mandai, si dimostra; la quale si dimostrerà meglio in forma sfera rotonda....

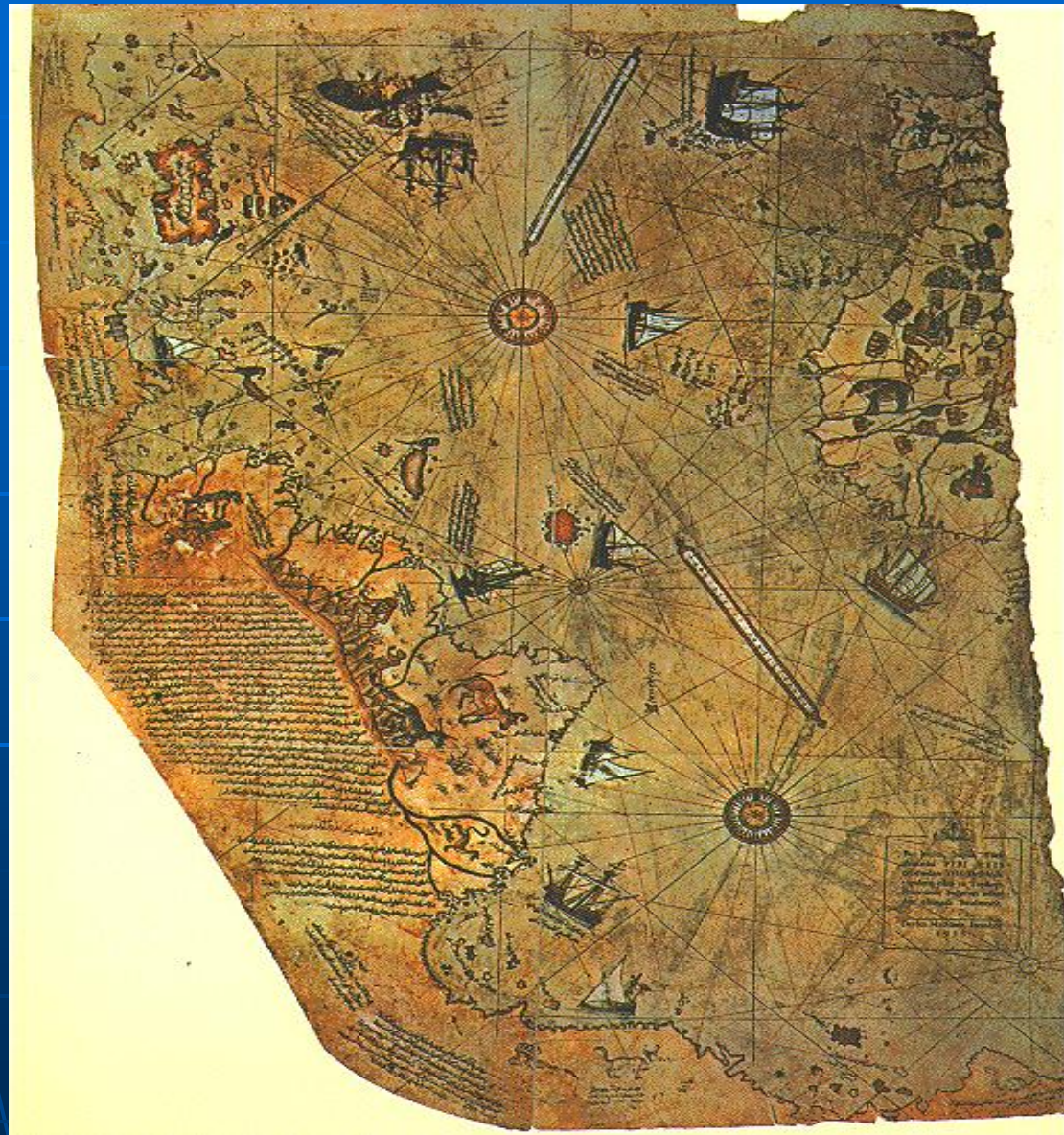
..... e che detto viaggio non solo sia possibile, ma vero e certo, e di onore, e guadagno e di grandissima fama.....”

Mappamondo di Martin Behaim (1492)



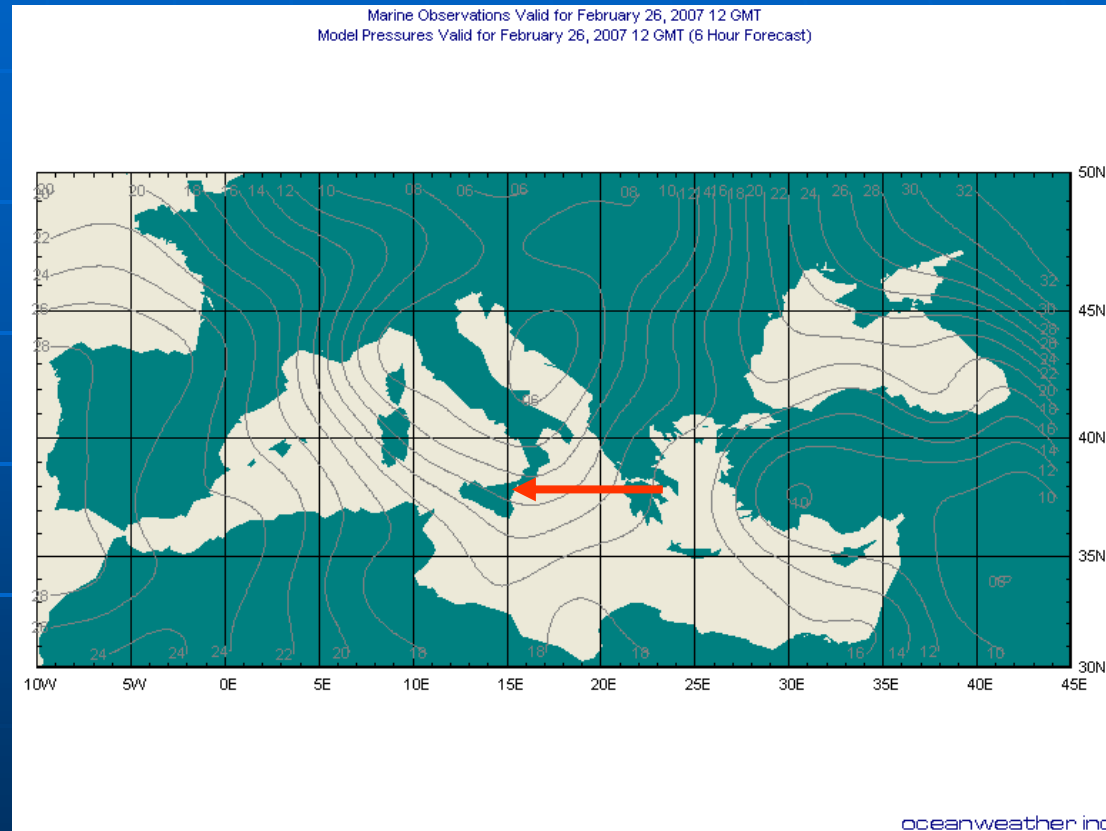
La carta di Piri Reis

- Colombo aveva una carta?
- Secondo l'ammiraglio arabo **Piri Reis** (1513) si!



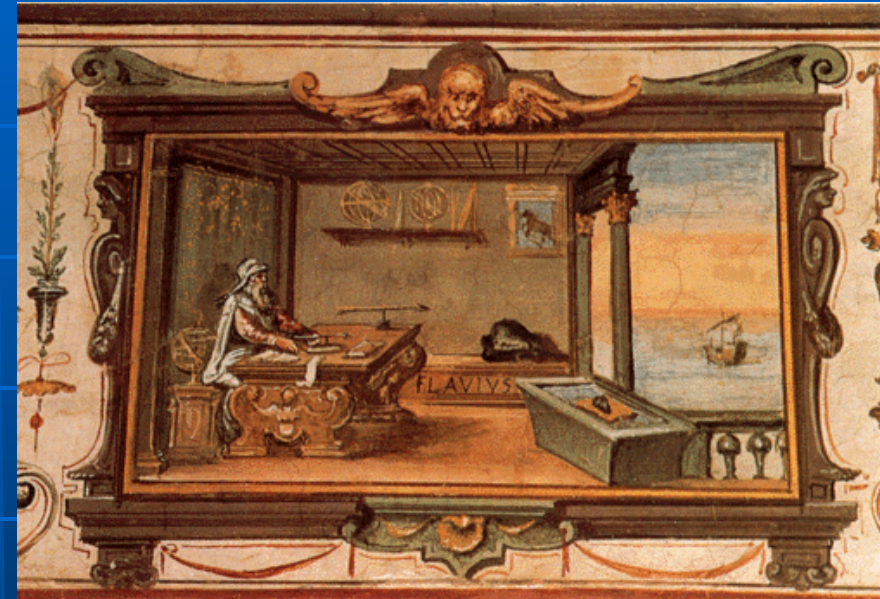
Come si navigava nell'antichità

- Nella navigazione mediterranea si navigava lungo costa
- si usavano i **peripli**
- Si seguivano il Sole e le stelle
- **Esempio:** la rotta da Corinto a Messina
- **Pitea di Messaglia**



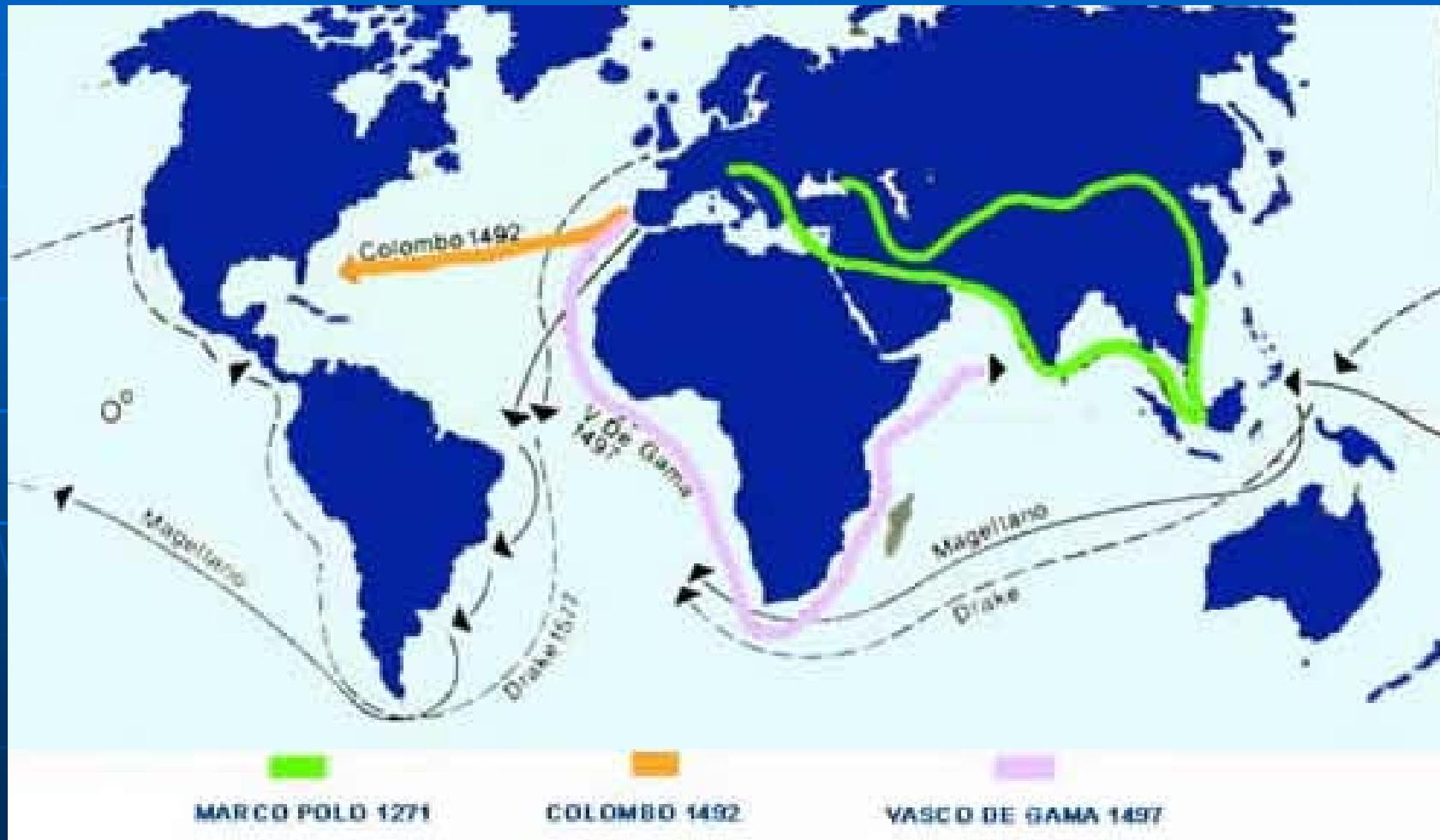
Come si navigava nell'antichità?

- Dalla fine del XII sec. si fa uso **l'ago calamitato**
- Ma essenzialmente si continuava a seguire il **Sole e stelle**



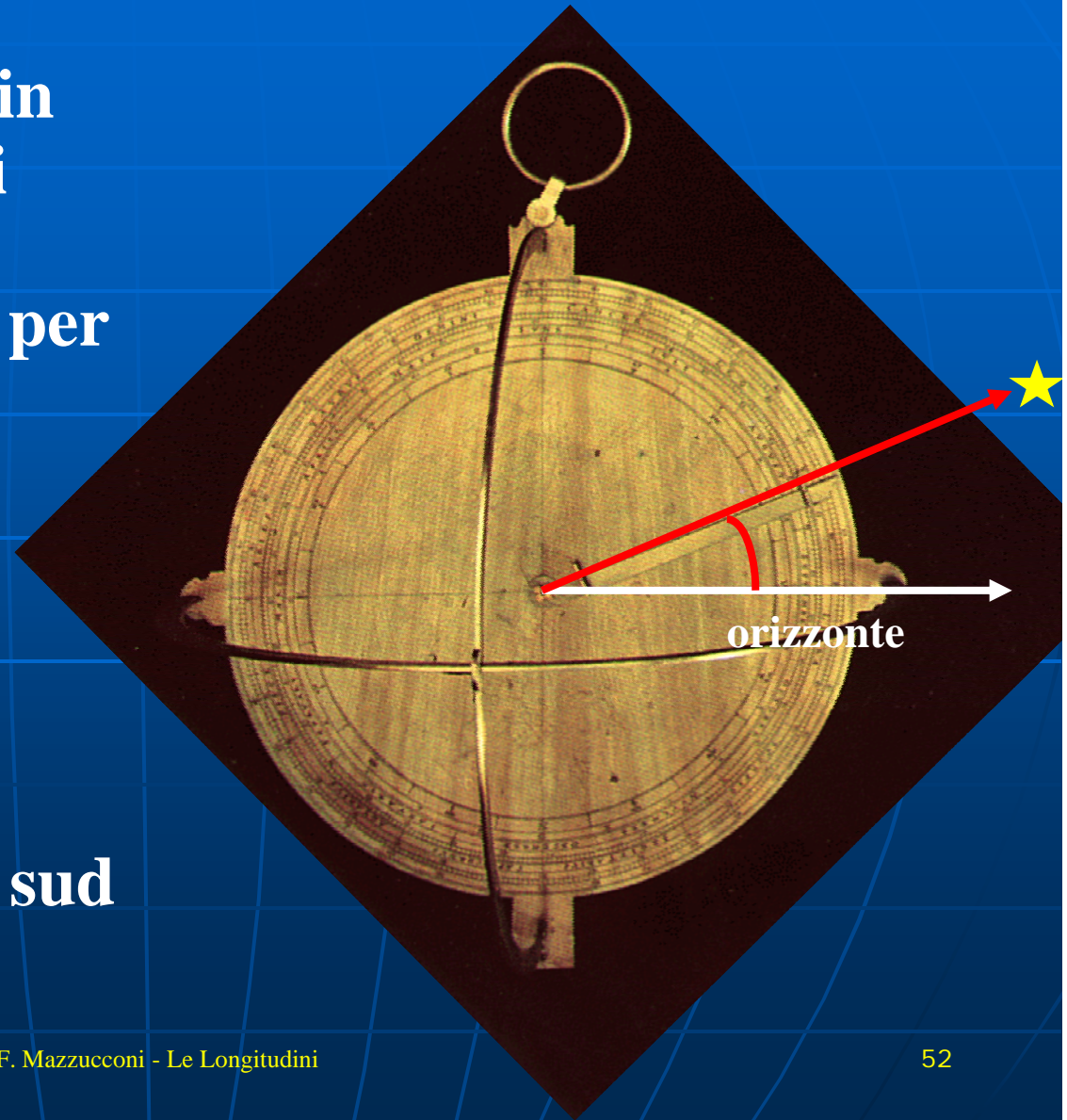
**Flavio Gioia in un quadro
nello “stanzino delle matematiche”
in Palazzo Vecchio - Firenze**

Nuove esigenze

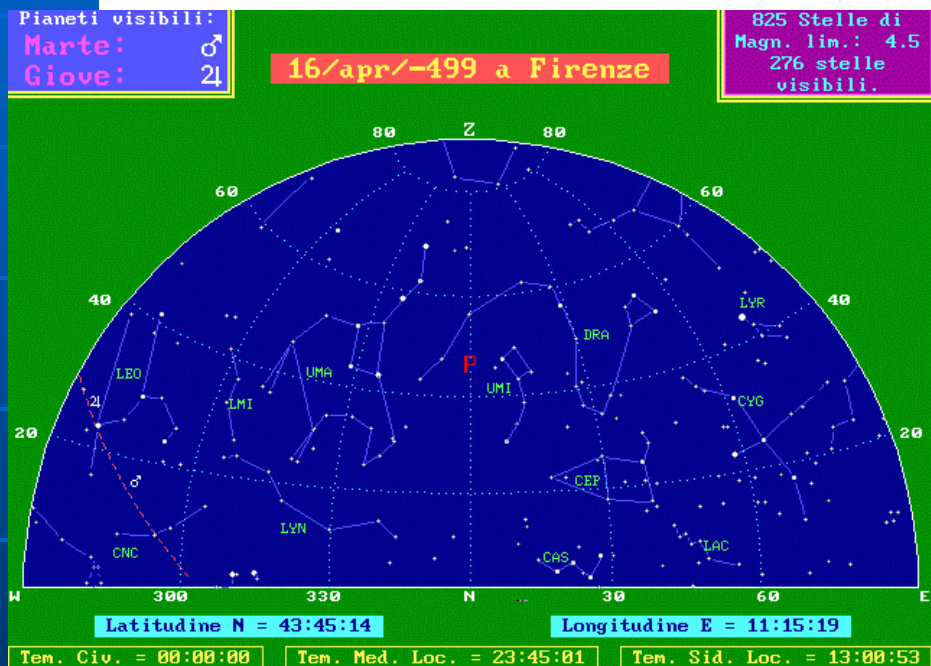


Diavolerie tecnologiche

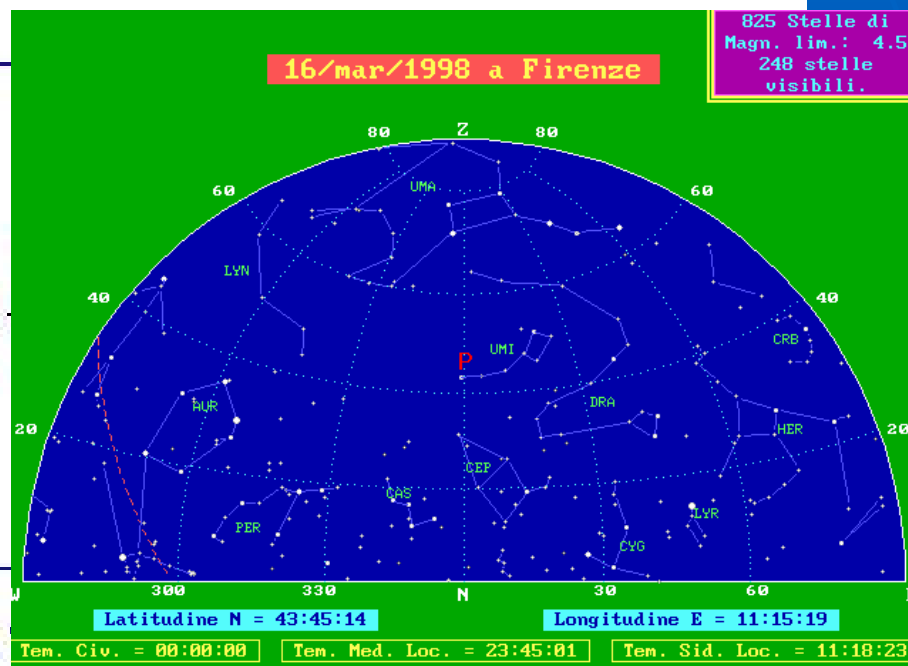
- Per la navigazione in oceano i portoghesi introdussero il **quadrante di altezza** per la misura della **latitudine**
- Poi l'**astrolabio**
- Ed infine le **tabelle solari** nell'emisfero sud



La precessione



Corpo omogeneo



Corpo disomogeneo

Il puntamento del nord

- Il punto nord veniva stabilito in base alla posizione delle due stelle “Guardas”, rispetto alla Polare



Come si navigava ai tempi di Colombo

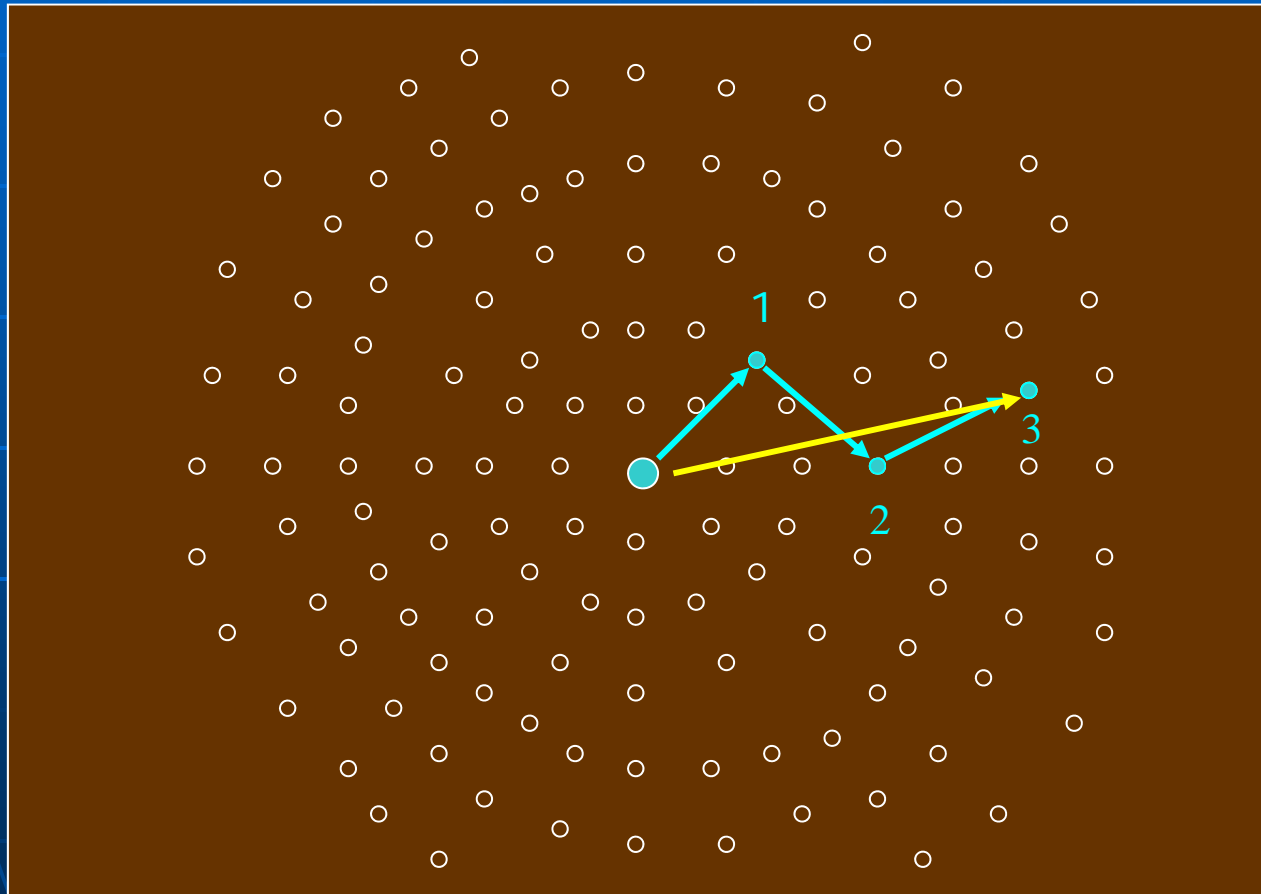
■ Con il metodo dei **punti stimati**

Da una posizione di partenza si stabiliva:

- **dalla direzione della nave**
- **dal tempo trascorso**
- **dalla sua velocità**

la distanza percorsa

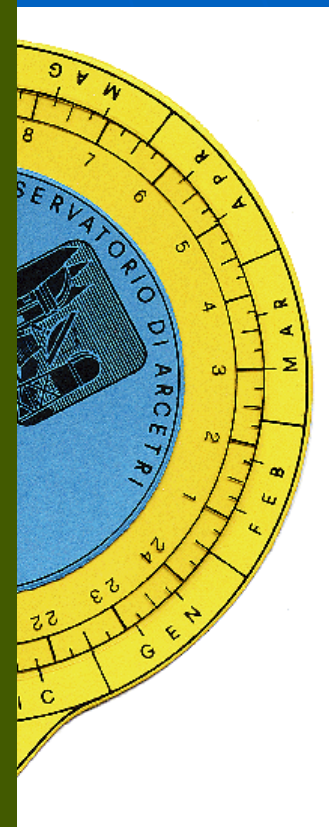
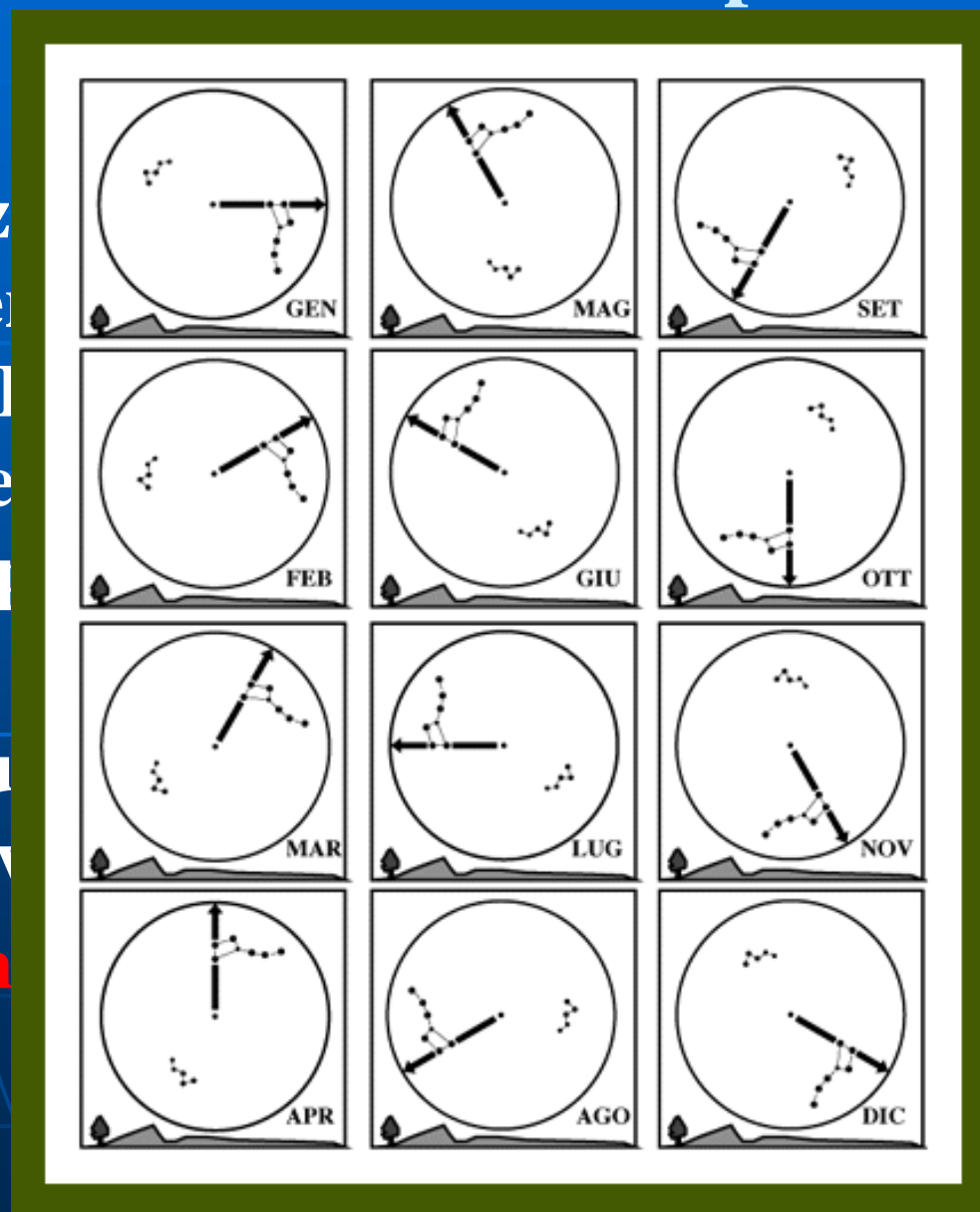
Il metodo dei punti stimati



$$S = v t$$

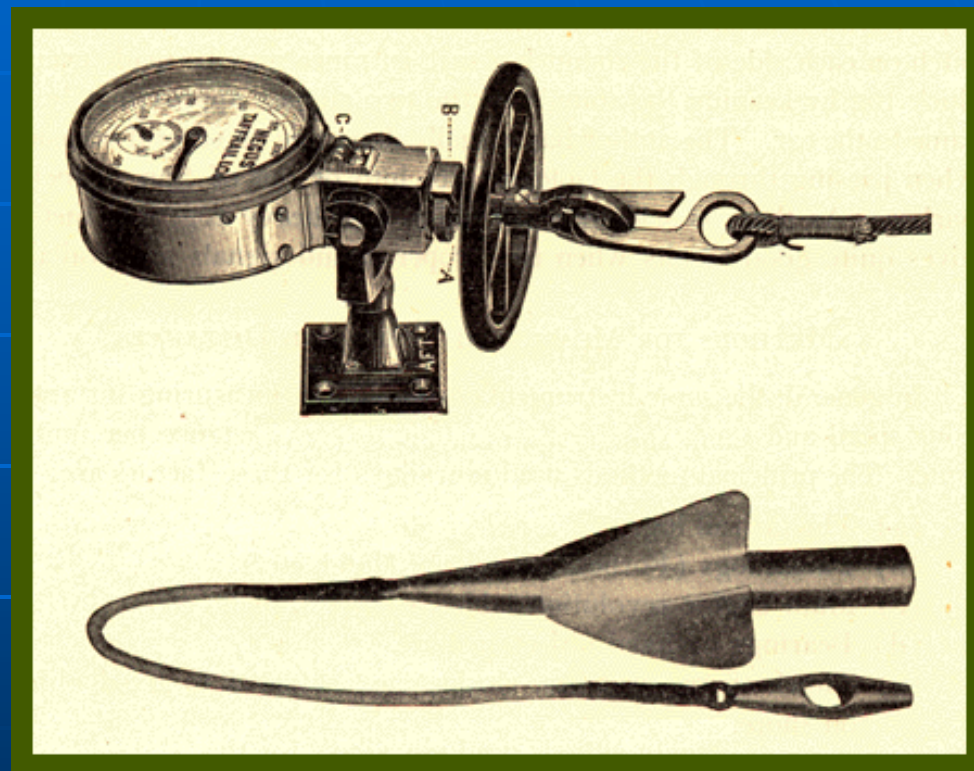
Misura del tempo

- Per mezzo di un goniometro e un orologio si stabilisce la posizione del polo celeste rispetto al polo del carro rispetto al polo terrestre.
- Poi con un goniometro si mantiene la posizione del polo celeste rispetto al polo del carro rispetto al polo terrestre.
- Precisione



Misura della velocità

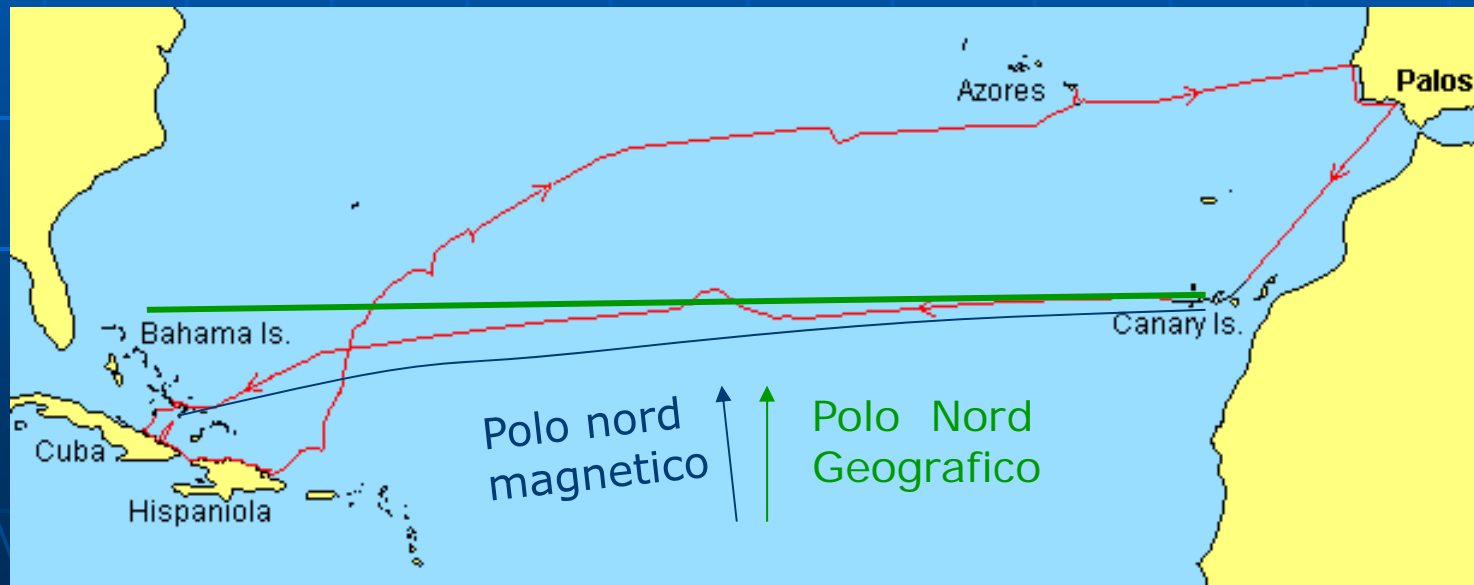
- Più difficile era stabilire la velocità della nave
- Si usava una corda annodata che veniva gettata in mare e una cantilena
- Successivamente alla corda annodata veniva attaccato un galleggiante



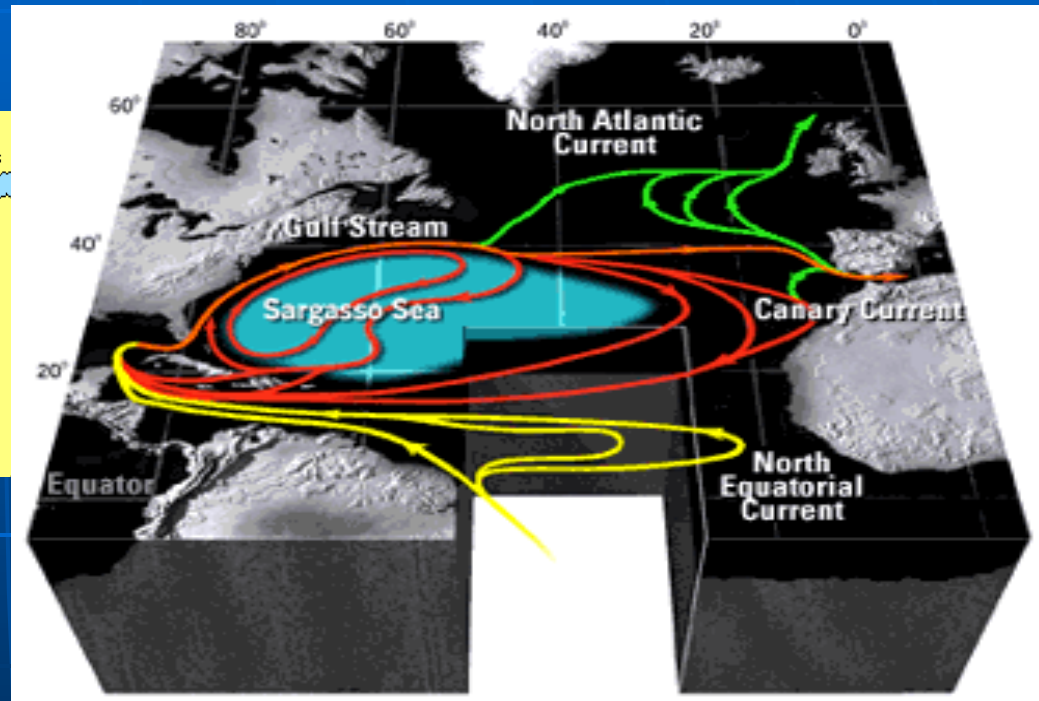
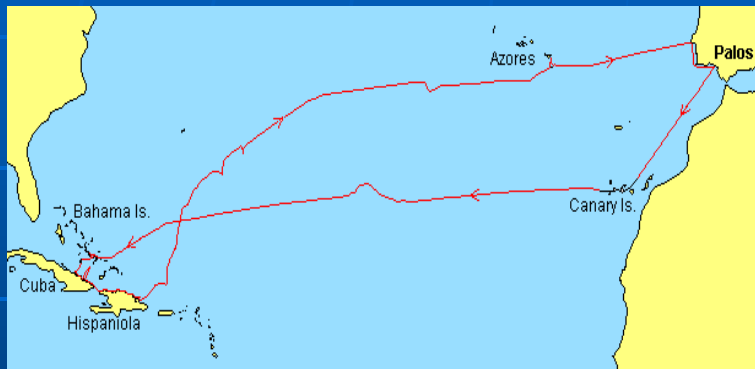
Moderno solcometro

Come viaggiava Colombo?

- Ci sono validi motivi per pensare che Colombo, nel suo primo viaggio, non seguisse metodi astronomici
 - Il timoniere non vedeva il cielo
 - Non si accorge della deviazione magnetica

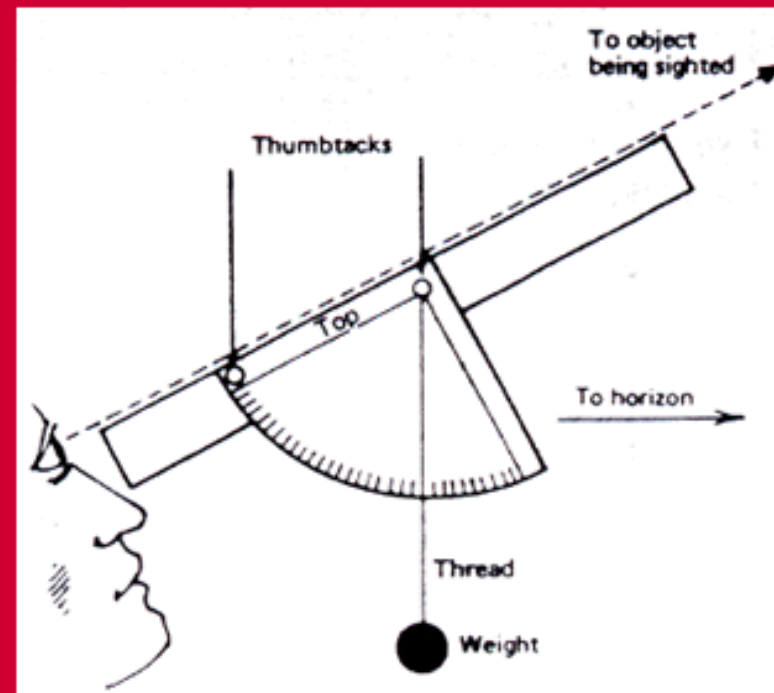


Altro mistero!



Osservazioni astronomiche di Colombo

- **30/10/1492** a Cuba 40° invece di 20°
- **21/11/1492** di nuovo 42°
- **13/12/1492** cerca di usare il solstizio
- **03/02/1493** ne fu impedito dal mare mosso

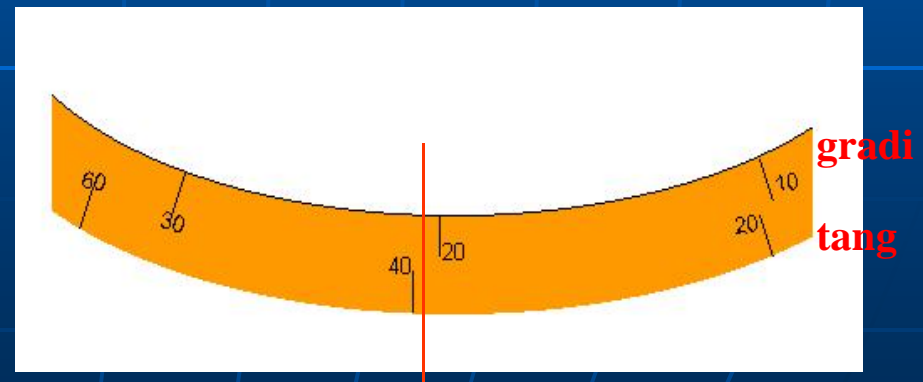
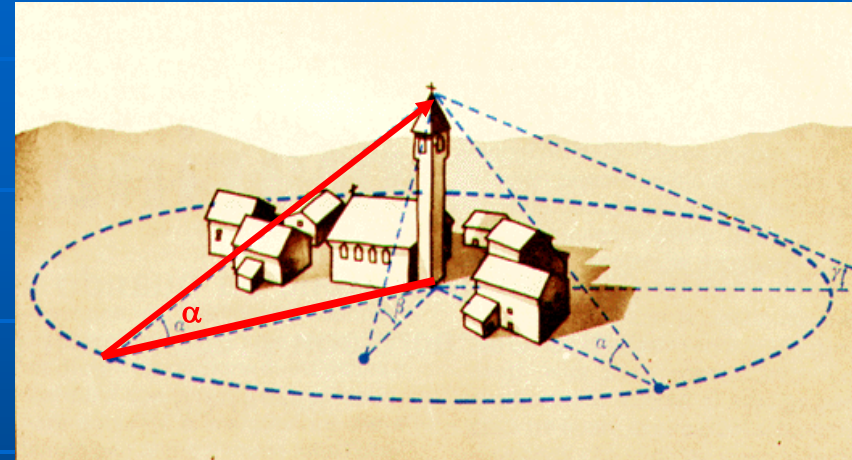


Il quadrante d'altezza

Probabile causa degli errori

- I quadranti d'altezza sono usati anche per misurare l'altezza degli oggetti
- Conoscendo la distanza di un oggetto e l'angolo che sottende

$$h = d * \text{tang } \alpha$$



Misure di longitudine

- **Eclisse lunare del 1494 :**
misura una differenza di **5 ore e 23 minuti** – invece delle esatte **4 ore e 10 minuti**
- **Eclisse del 1504 in Giamaica:**
misura una differenza di **7 ore e 20 minuti** – invece delle esatte **4 ore e 45 minuti**
- **Possibili cause dell'errore?**

Premessa

- Lega portoghese = 4 miglia (1.481 metri) =
3,2 miglia marine (1.850 metri)
- Circonferenza della Terra 30.000 km (360°)
- $1^\circ = 83,91 \text{ km} = 56,65 \text{ miglia} = 14,16 \text{ Lgp}$
- $1^{\text{h}} = 360^\circ / 24^{\text{h}} = 15^\circ$

Causa degli errori

- Lunghezza del viaggio
1142,25 leghe
- Prolungamento 400
leghe
- $1142,25 / 14,16 =$
 $80^{\circ},55 = 5^{\text{h}} 22^{\text{m}}$
 $5^{\text{h}} 23^{\text{m}}$
- $1542,25 / 14,16 =$
 $108^{\circ},92 = 7^{\text{h}} 16^{\text{m}}$
 $7^{\text{h}} 20^{\text{m}}$

Colombo, ottimo marinaio, ma pessimo astronomo, si fidava più dei suoi punti stimati che delle sue osservazioni astronomiche

Vespucci

- **Maestro di casa di Lorenzo il Magnifico**
- **Ispettore del Banco Mediceo a Cadice**
- **Commerciante di schiavi in Spagna**
- **Per un certo tempo socio di Colombo**



Spedizioni di Vespucci

- **Piloto Major** in una spedizione spagnola che scoprì il Brasile
- **Comandante** in una spedizione portoghese che scoprì l'Argentina

Trattato di Tordesillas 1494



Misure astronomiche del Vespucci

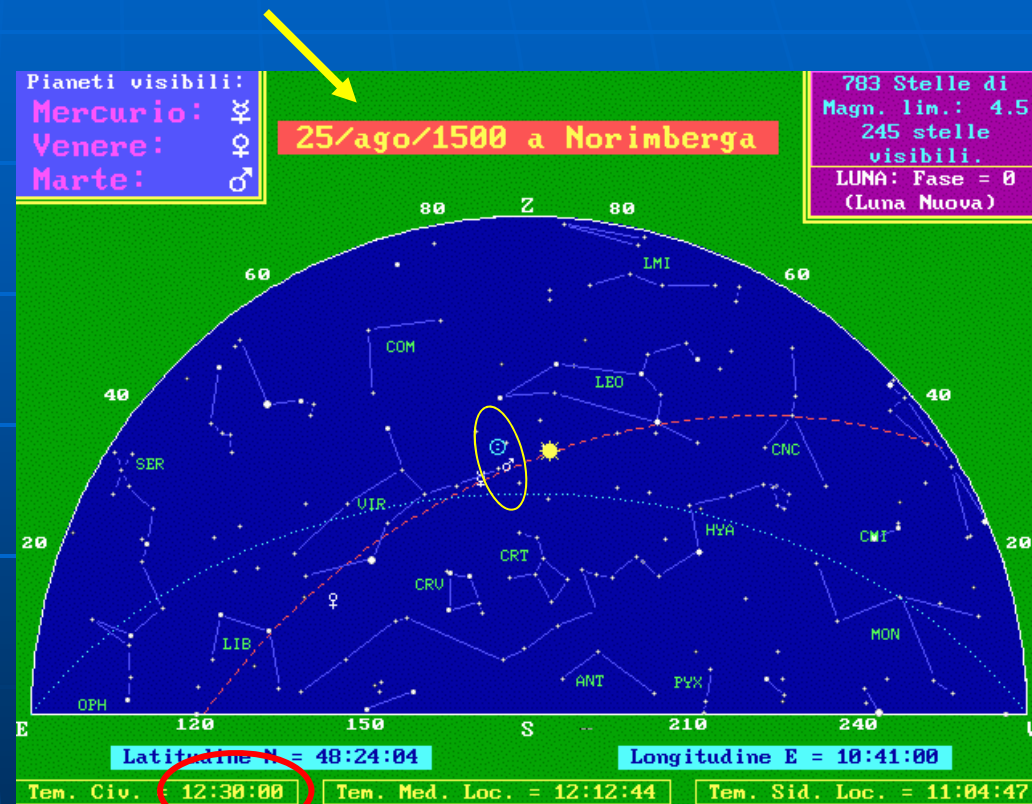
- Tentò di misurare la longitudine il 23 agosto 1500, mentre si trovava in Venezuela, usando il metodo delle congiunzioni
- **Dopo molti tentativi dovette rinunciare**

Vespucci misura la Latitudine in Venezuela, usando la Croce del Sud – Sala del Museo degli argenti in Palazzo Pitti



Imprecisione delle previsioni

- Il motivo dell'insuccesso è molto semplice
- la congiunzione fra Marte e la Luna, prevista dal Regiomontano per il 23/08, avvenne il 25/08
- di giorno



Problema delle longitudini

- **Le eclissi di Luna sono troppo rare**
- **I metodi astronomici erano poco precisi**
- **Vengono fondati gli osservatori nazionali:
Parigi (1634)
Greenwich (1674)**



L'osservatorio di Greenwich in costruzione

Altri metodi

- Il metodo delle **distanze lunari** diverrà utilizzabile da astronomi a partire dal 1767, con la pubblicazione del **Nautical Almanac**
- Il metodo dei **satelliti di Giove**, proposto da **Galileo**

The table shows the configurations of Jupiter's satellites at 9 o'clock in the evening in August 1767. The columns represent the satellites, numbered 1 through 4, and the Jupiter symbol (♃). The rows represent the days of the month, numbered 1 through 8. The symbols used are circles with dots inside, representing the satellites, and the Jupiter symbol (♃) for the planet.

Day	Satellite 1	Satellite 2	Satellite 3	Jupiter (♃)	Satellite 4
1	4.	1.	⊙	2.	1.0
2	4	3	1♃2	⊙	
3	4	2.3	⊙	1	
4		4	1.	⊙	3.2
5			4	⊙	2.1. 3
6		2.	3	⊙	4 3.
7			2	⊙ 3.1.	4
8		1.	1	⊙	2 4

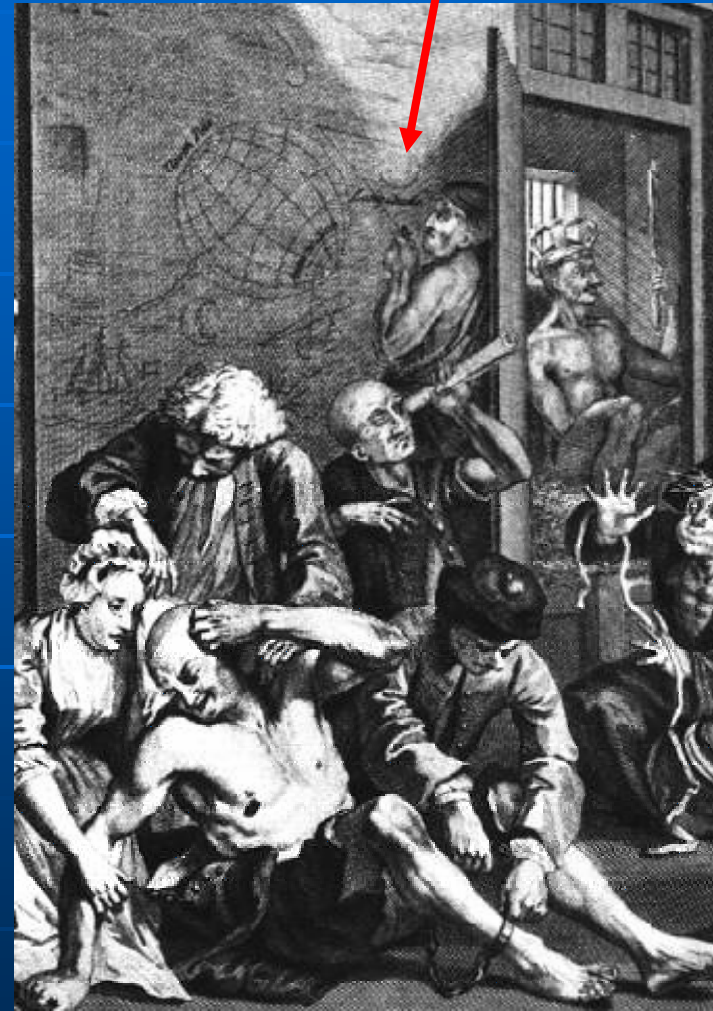
Posizioni dei satelliti di Giove nell'agosto 1767

La fissazione

Jonathan Swift fa dire a Gulliver:

“tre sono le cose irrisolvibili per l’uomo: il moto perpetuo, la medicina universale e il problema delle longitudini”

Quadro di W. Hogarth (1735)



Il disastro delle Isole Scilly

- Il **22/10/1707** una flotta inglese si schianta sulle scogliere delle Isole Schilly, per un errore di longitudine



Violenta reazione ai circa 3000 morti

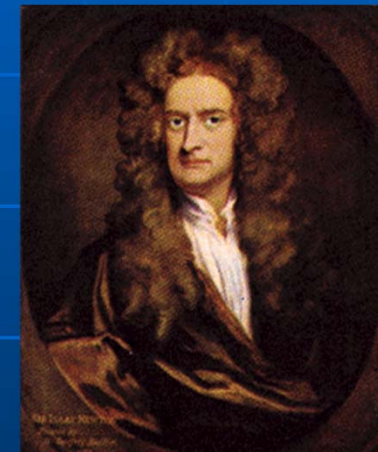
Comitato per le Longitudini

Halley e Newton

- Si chiede ad **Halley** e a **Newton** di proporre una soluzione

Il metodo astronomico
Un orologio affidabile

- Viene istituito un premio di **20.000 sterline**



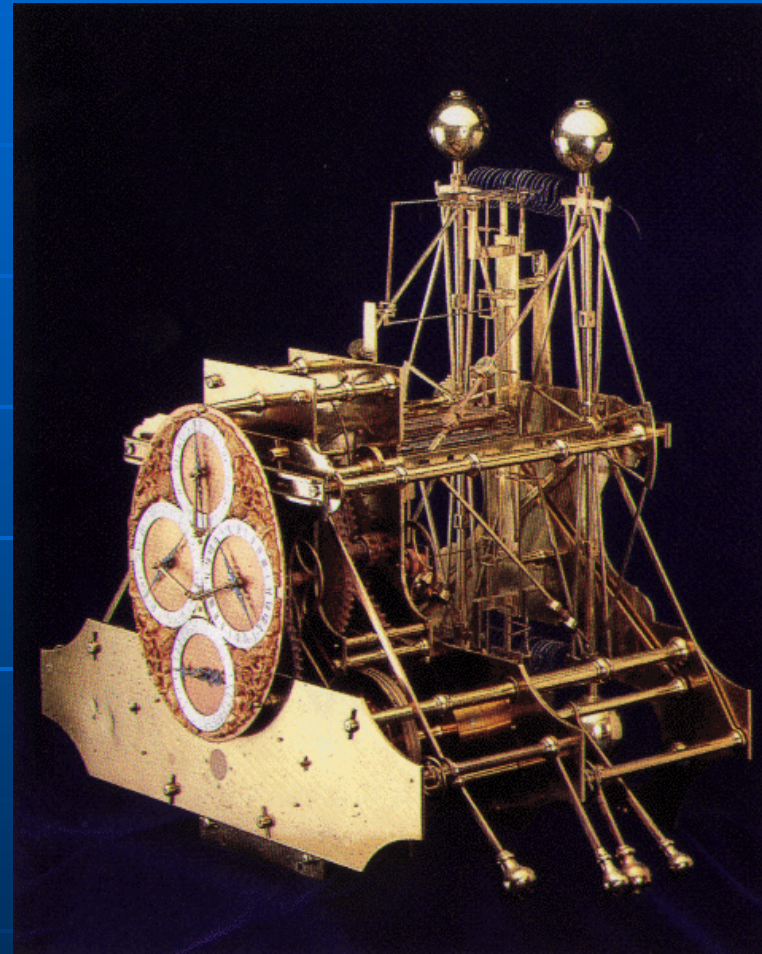
John Harrison

- Gli orologi del tempo erano mossi da un pendolo, quindi non era possibile usarli sulle navi
- **John Harrison** propone la soluzione: il bilancere



H1

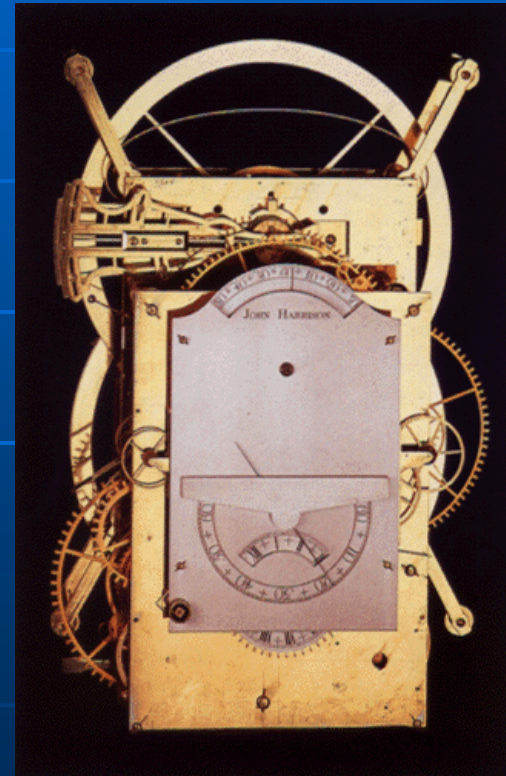
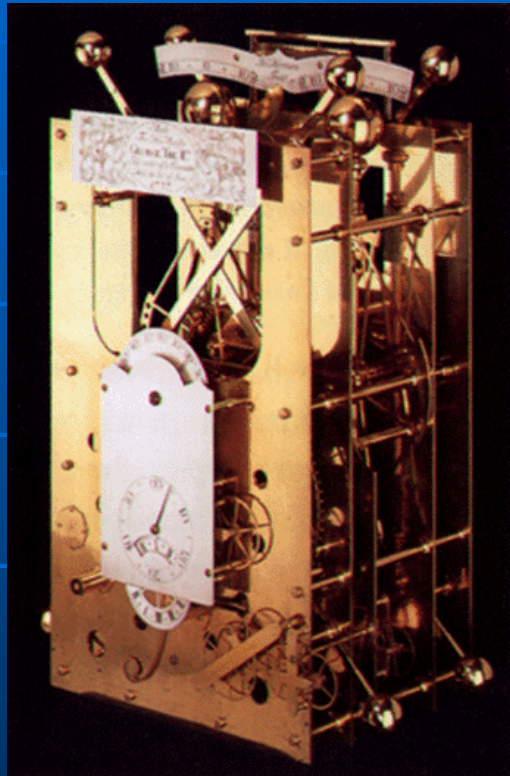
- Dopo 5 anni di lavoro (1735) costruisce un orologio trasportabile del peso di 35 kg di 1 metro di lato.



H2 – H3

Seguono poi

- H2 (1745)
- H3 (1757)



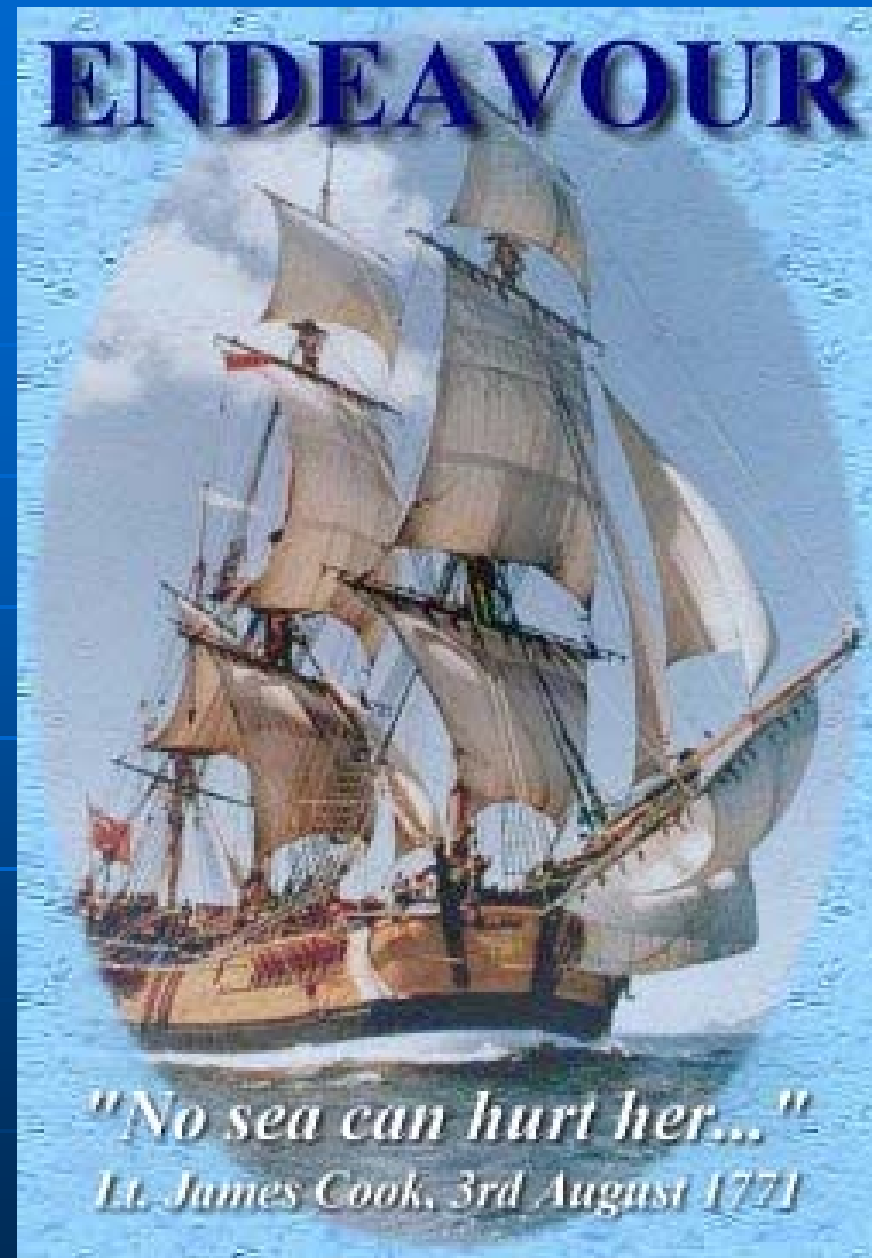
H4

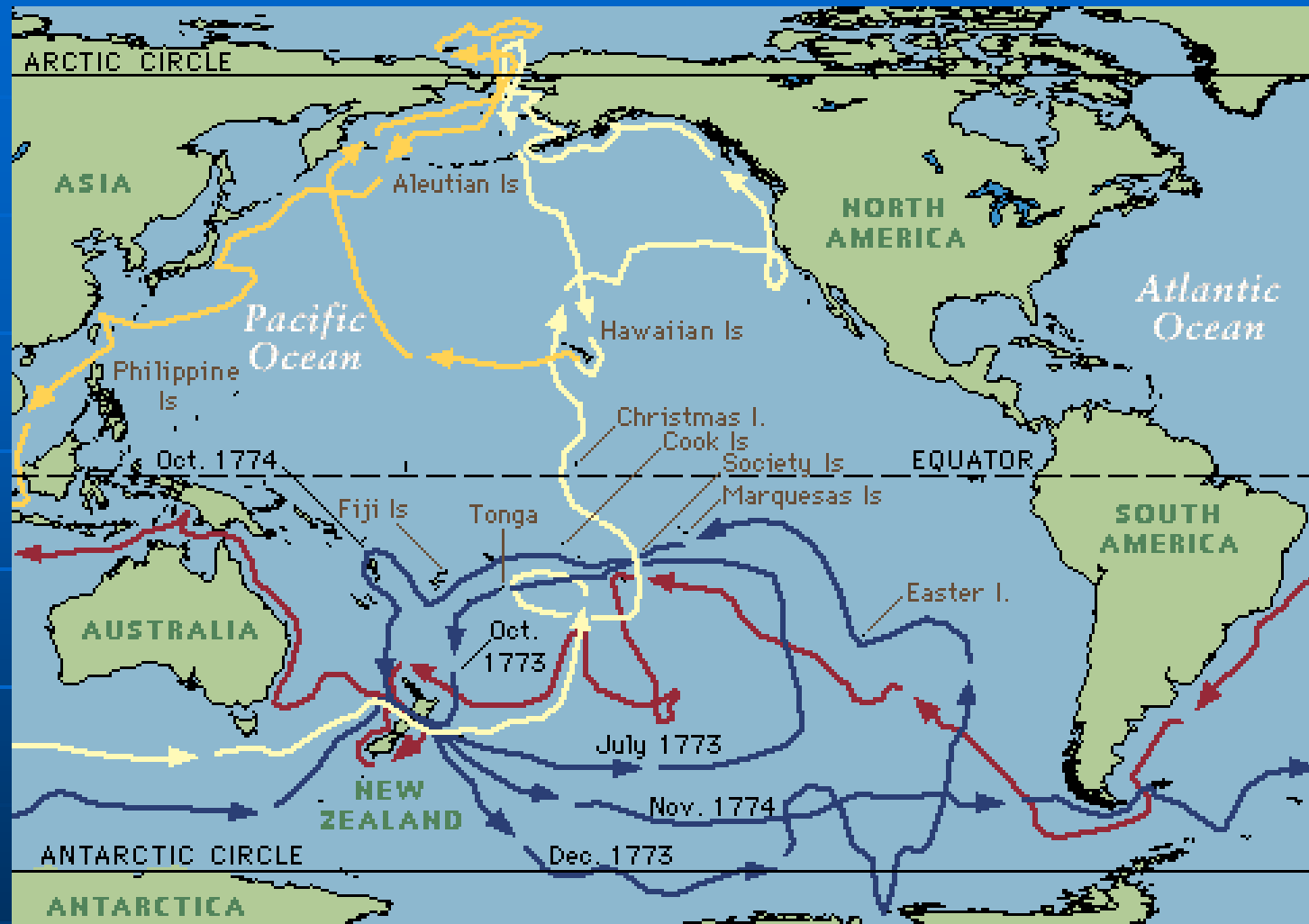
- Finalmente nel 1760 l'**H4**, 13.3 cm di diametro, in una doppia traversata dell'Atlantico, in 147 giorni perde solo **1 minuto e 54,5 secondi**
- Per riscuotere il premio dovette aspettare 8 anni.



Il viaggio dell'Endeavour

- Il capitano Cook, nel suo viaggio attorno al mondo, non ottenne l'H4, ma si dovette accontentare di una copia





- First Voyage 1768 to 1771
- Second Voyage 1772 to 1775
- Third Voyage 1776 to 1779
- Homeward Voyage of Cook's Crew

1500 km
 1500 mi

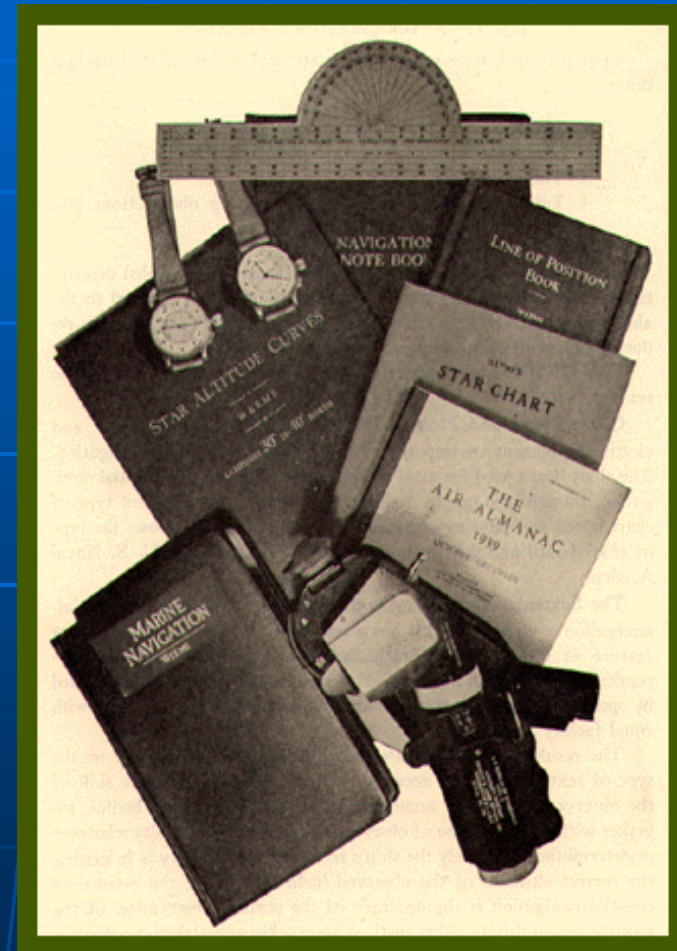
K1

- Una copia fatta da **Kendall**, che lo servì fedelmente fino alle Isole Hawaii, dove l'orologio si fermò, in coincidenza con la morte del Capitano, ucciso dagli indigeni

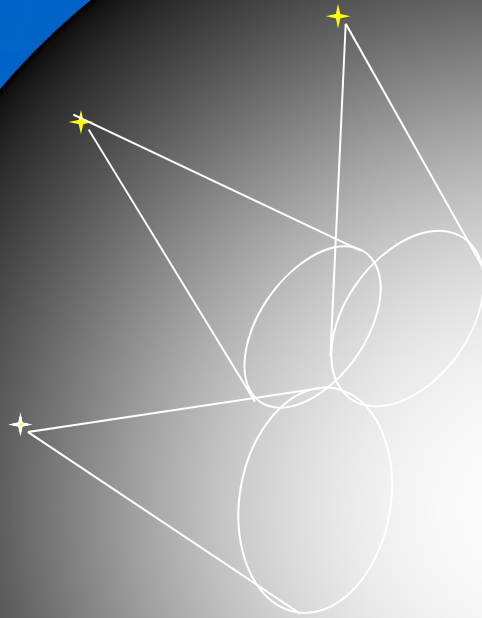


La navigazione diviene affidabile

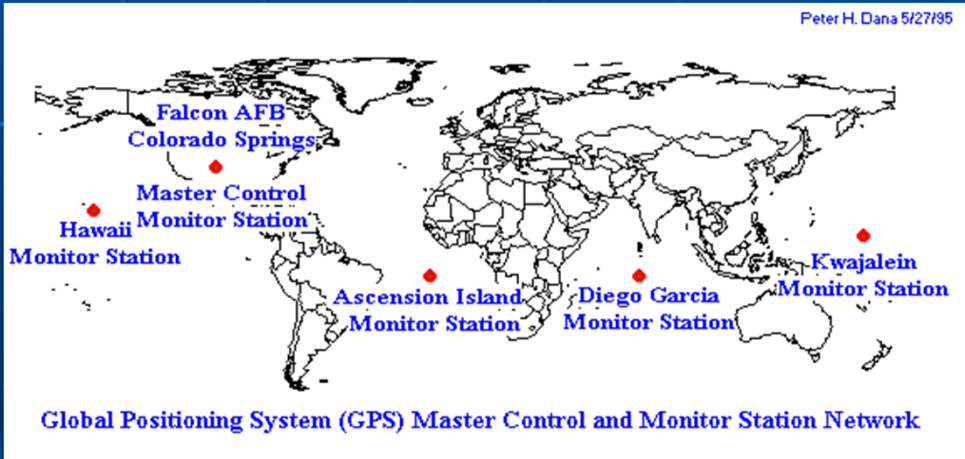
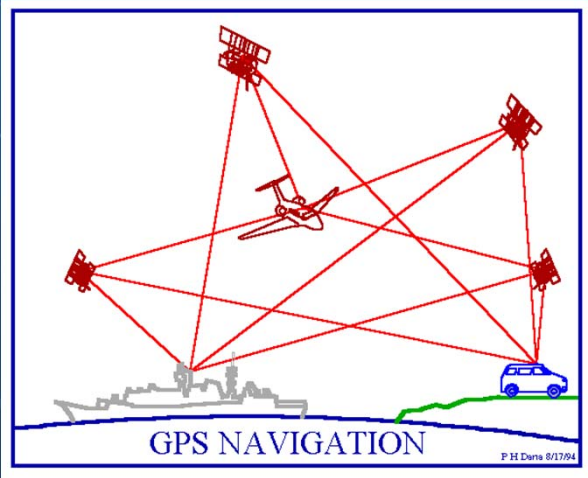
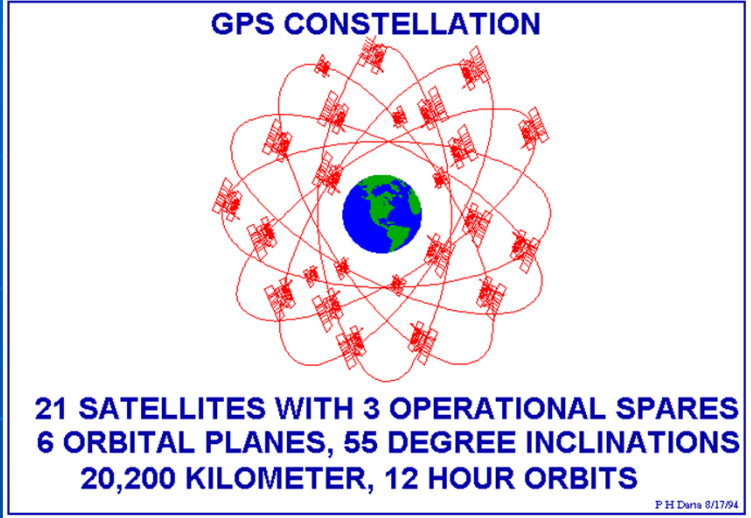
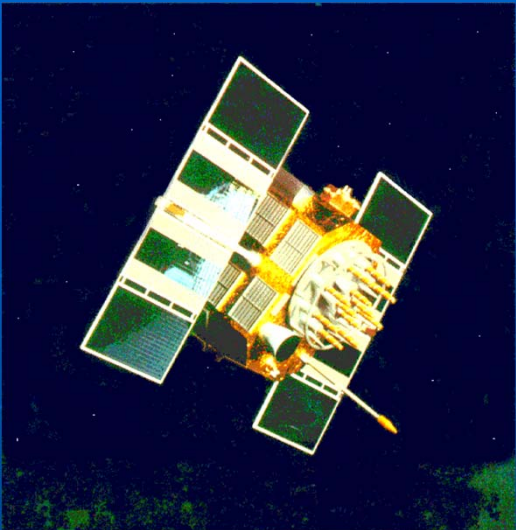
- Con un sestante, un buon orologio e le effemeridi astronomiche un buon marinaio sa sempre dove si trova.



Punto nautico



La navigazione attuale



**Ma le stelle sono di tutti e nessuno le potrà
mai spengere**

Il GPS si!

FINE