



Università della Terza Età "Cardinale
Giovanni Colombo" - Milano

A. A. 2022 - 2023

Corso di Archeoastronomia

Docente:

Adriano Gaspani

**Il calcolo astronomico e
la ricostruzione del cielo
nel passato e nel futuro**

Il problema classico in Archeoastronomia

Il problema classico dell'Archeoastronomia è la verifica se un allineamento è orientato verso un punto dell'orizzonte dove, in una determinata epoca antica, era visto sorgere o tramontare un determinato astro.

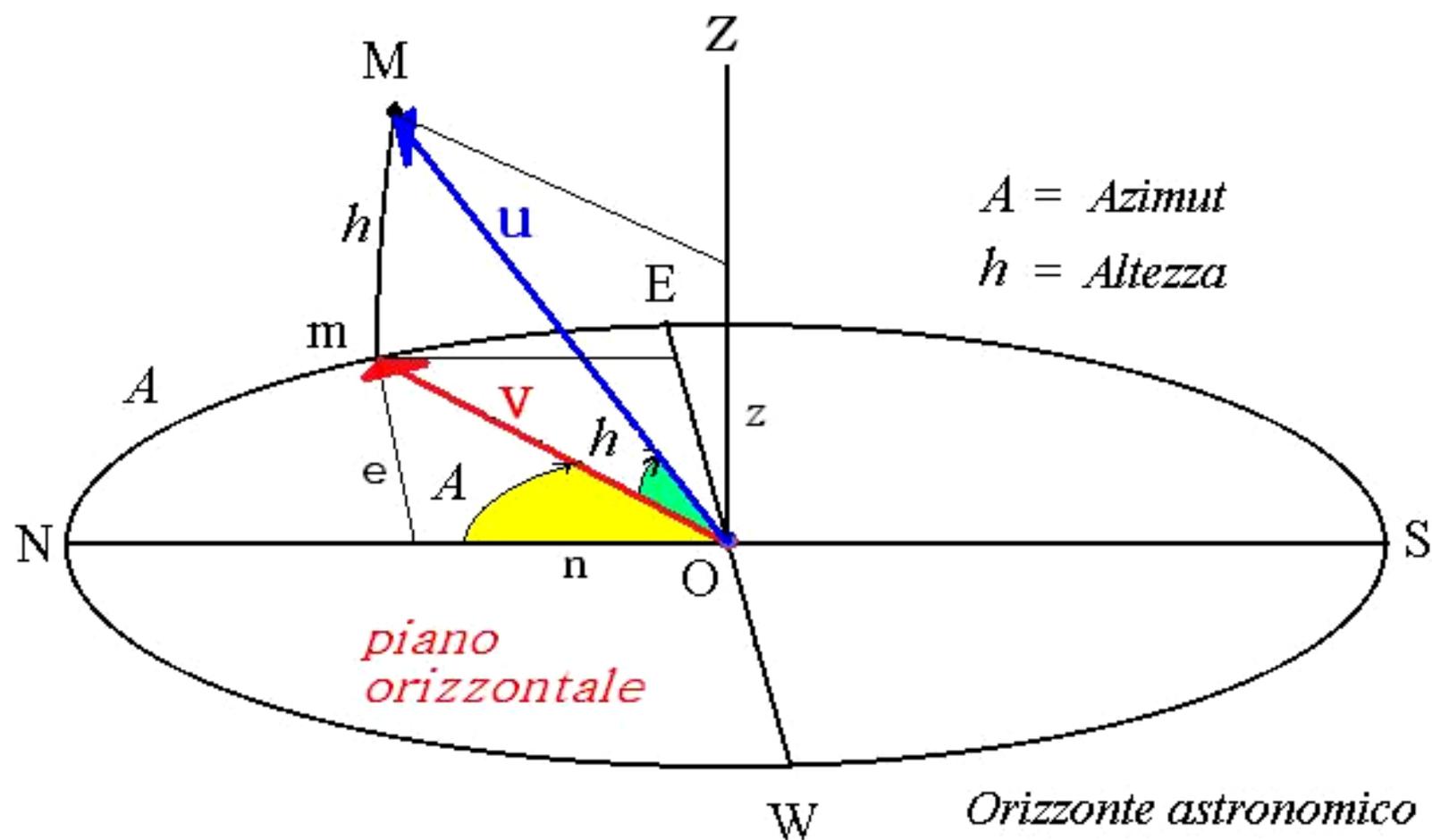
Si dispone quindi di un Azimut astronomico Az di orientazione e del suo margine di incertezza $\varepsilon(Az)$.

Allineamento astronomico



Definizione di Allineamento

Un allineamento \vec{u} (OM) è un vettore definito da tre coordinate ortogonali n, e, z : ($n = \text{northing}$; $e = \text{easting}$; $z = \text{elevation}$) oppure da una coppia di coordinate angolari Az, h ($Az = \text{Azimut astronomico}$; $h = \text{altezza angolare}$), poichè $\|\vec{u}\| := 1$.



\vec{u} = allineamento OM

\vec{v} = proiezione dell'allineamento OM sul piano orizzontale

Az = Azimut astronomico

h = altezza angolare dell'orizzonte naturale locale

e = easting

n = northing

z = elevation

Siccome $\|u\| = \|v\| := 1$ per definizione si ha:

$$n = \cos(h) \cdot \cos(Az)$$

$$e = \cos(h) \cdot \sin(Az)$$

$$z = \sin(h)$$

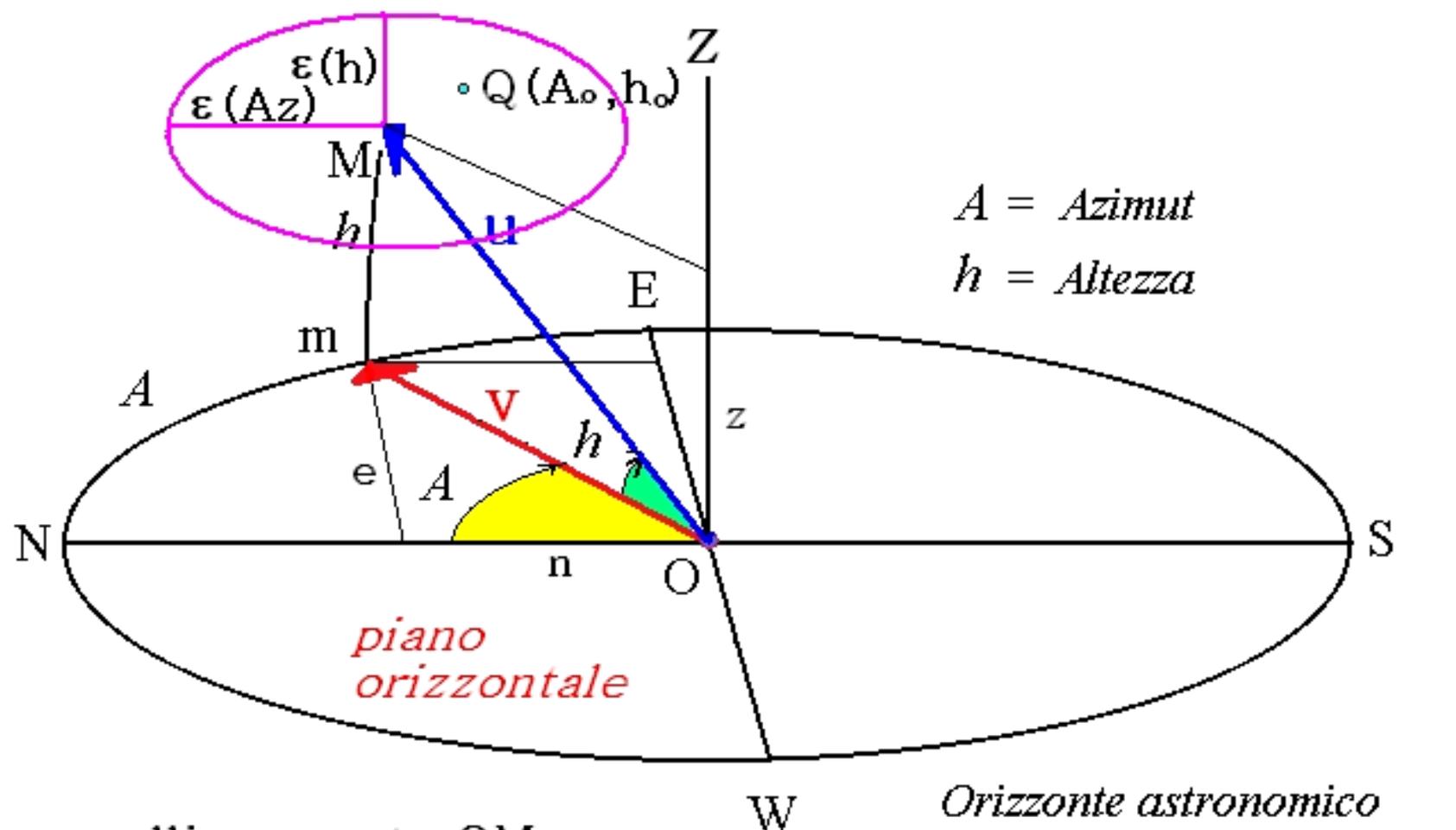
Ellisse d'errore di un allineamento misurato

Il rilievo di un allineamento produce una coppia di coordinate altazimutali Az (Azimut) e h (Altezza angolare) riferite alla direzione nord del meridiano astronomico locale (Az) e alla linea dell'orizzonte astronomico (h). Ciascuna delle due coordinate è misurata con una barra d'errore $\pm \varepsilon(Az)$ e $\pm \varepsilon(h)$ rispettivamente.

Queste due quantità rappresentano i semiassi di un'ellisse d'errore centrata nel punto M le cui coordinate sono Az e h lka quale definisce sulla Sfera Celeste uno spot di incertezza relativo al quel particolare allineamento misurato.

Da notare che $\pm \varepsilon(Az)$ e $\pm \varepsilon(h)$ dipendono anche dalla strumentazione con cui i rilievi sono stati eseguiti.

Distribuzione di probabilità associata all'ellisse d'errore su un allineamento



u = allineamento OM

v = proiezione dell'allineamento OM sul piano orizzontale

Az = Azimut astronomico

h = altezza angolare dell'orizzonte naturale locale

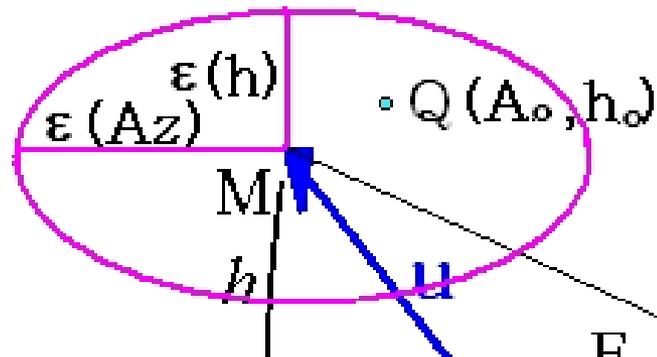
L'equazione dell'ellisse d'errore è:

$$\left[\frac{(Az - A_M)}{\varepsilon(Az)} \right]^2 + \left[\frac{(h - h_M)}{\varepsilon(h)} \right]^2 = 1$$

e la Funzione Densità di Probabilità (PDF) è:

$$f(Az, h) = \frac{1}{2\pi \varepsilon(Az) \varepsilon(h)} e^{-\frac{1}{2} \left[\left[\frac{(Az - A_M)}{\varepsilon(Az)} \right]^2 + \left[\frac{(h - h_M)}{\varepsilon(h)} \right]^2 \right]}$$

dove A_M è l'azimut astronomico dell'allineamento u che interseca la Sfera celeste nel punto M .



La probabilità $P(A_0, h_0)$ che un punto della Sfera Celeste capiti a caso in un preciso punto le cui coordinate altazimutali sono A_0 e h_0 è data da:

$$P(A_0, h_0) = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{(A_0 - A_M)}{\epsilon(Az)} \right)^2 + \left(\frac{(h_0 - h_M)}{\epsilon(h)} \right)^2 \right]}$$

dove A_M è l'azimut astronomico dell'allineamento u che interseca la Sfera celeste nel punto M .

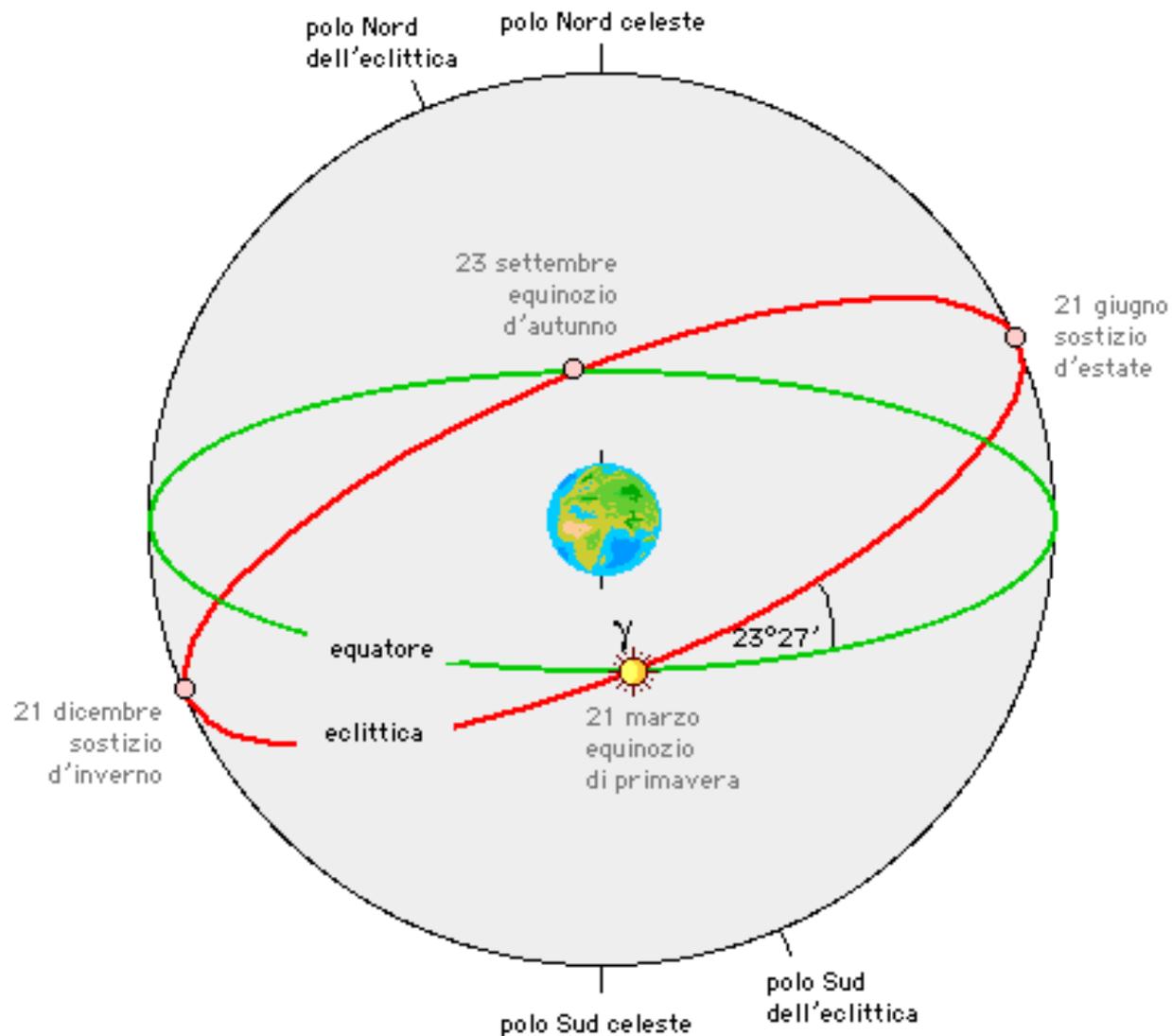
Un allineamento astronomicamente significativo prevede l'esistenza di un target astronomico la cui posizione all'orizzonte naturale locale varia nei secoli e nei millenni a causa della precessione e della variazione di inclinazione dell'asse della Terra

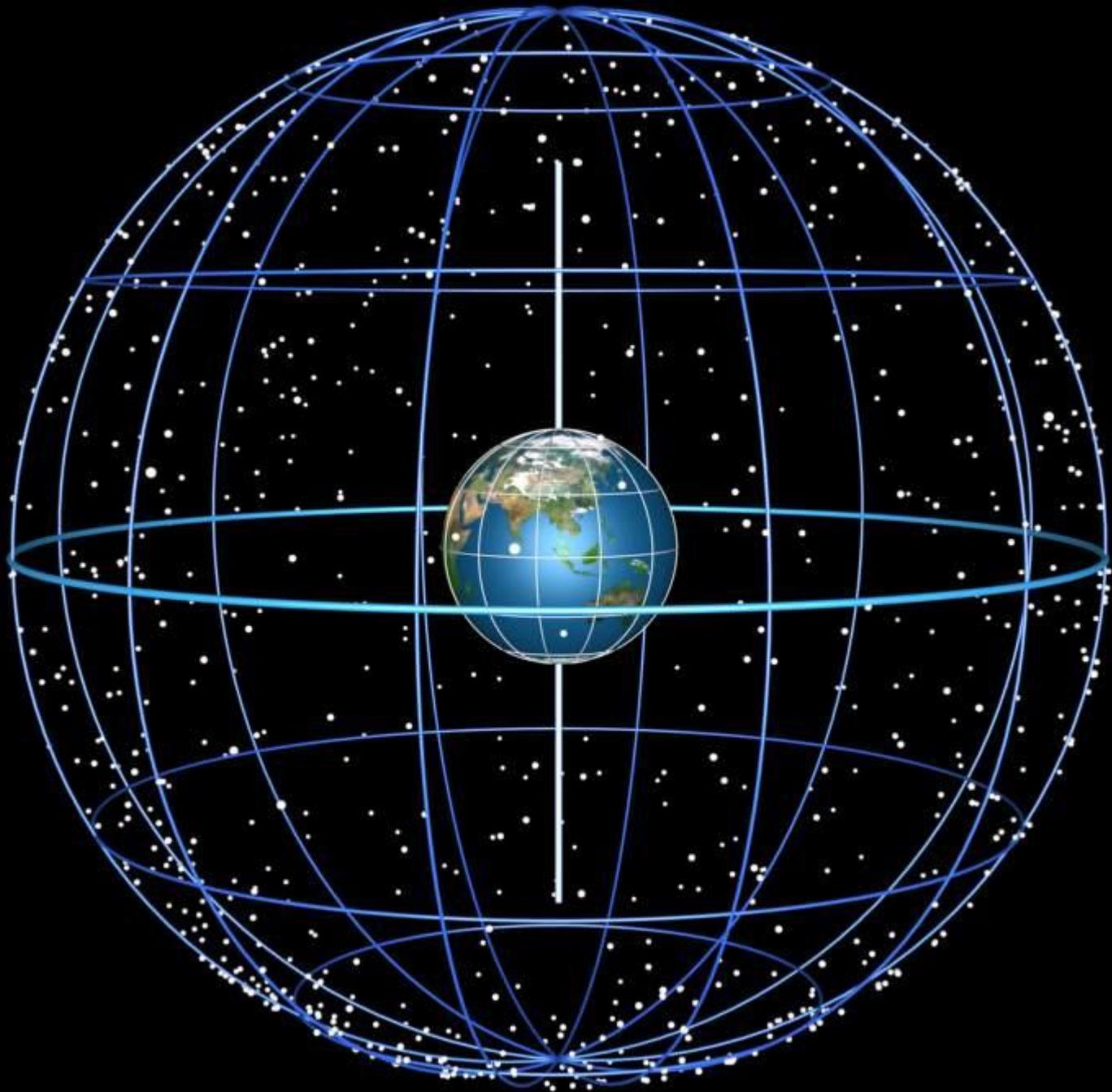
I moti millenari della Terra

- [Precessione](#)
- [Nutazione](#)
- [Polodia](#)
- [Movimenti secondari](#)

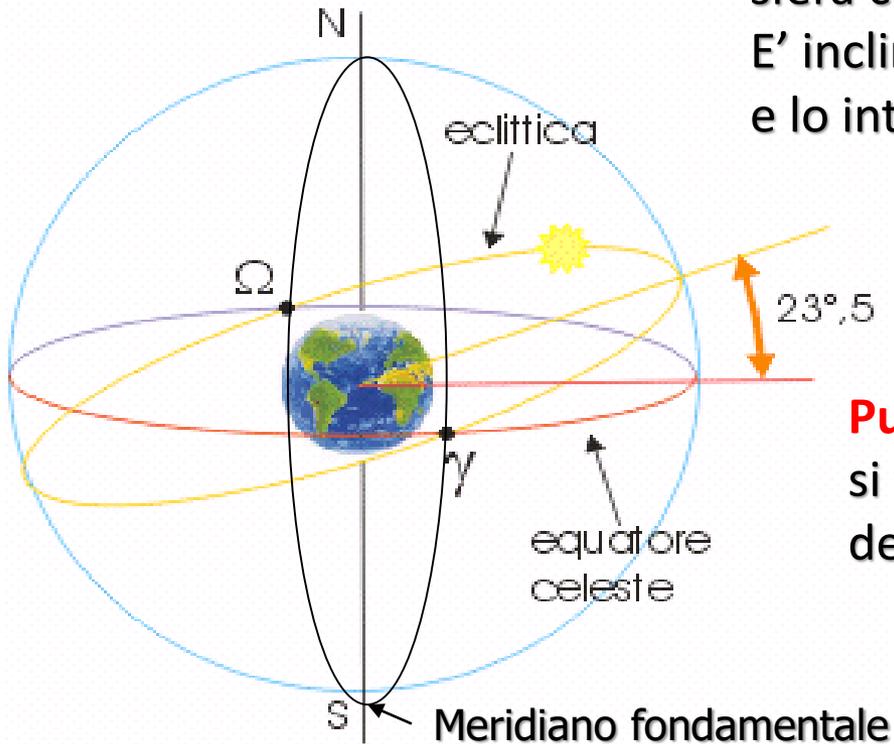


La Sfera Celeste





Eclittica ed Equatore Celeste



Eclittica → linea del moto apparente del Sole sulla sfera celeste (individuata dalla fascia dello zodiaco). E' inclinata di $23^{\circ}27'$ sull'equatore celeste e lo interseca in due punti, γ e ω

Punto gamma γ e omega ω → punti in cui si trova il Sole a mezzogiorno dell'equinozio di primavera e di autunno

Meridiano fondamentale → meridiano celeste che passa per i punti gamma e omega

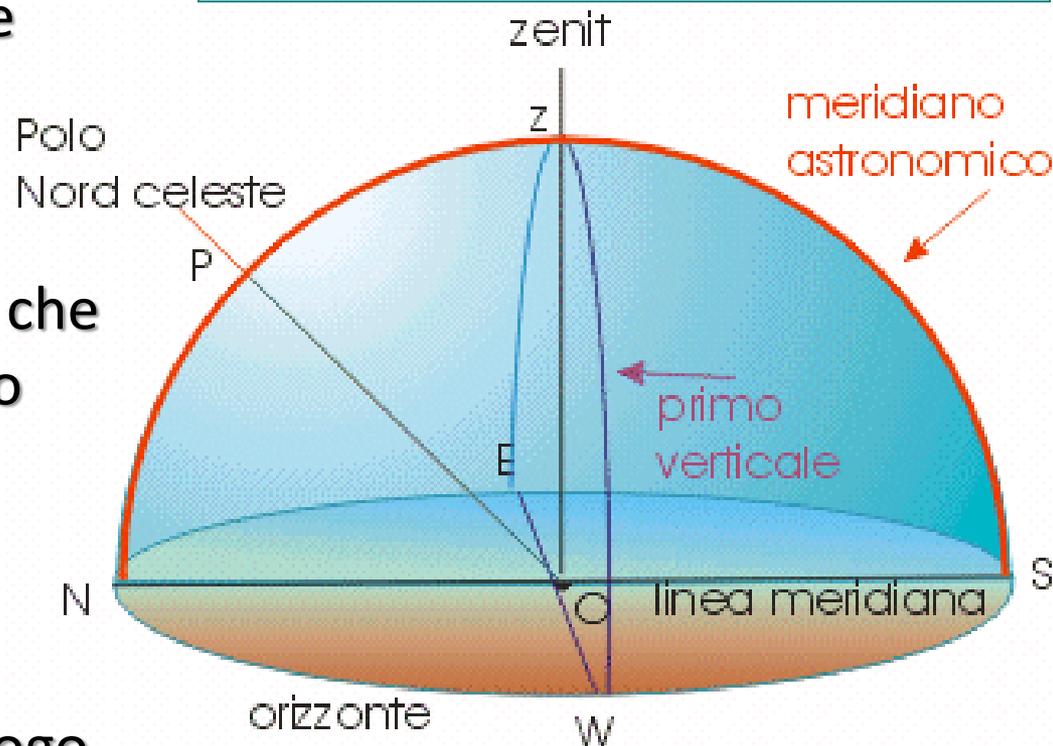
Volta celeste

Volta → parte della sfera visibile al di sopra dell'*orizzonte celeste* (intersezione del piano tangente all'osservatore con la sfera)

Polo celeste → punto della sfera che rimane fisso nel corso del tempo

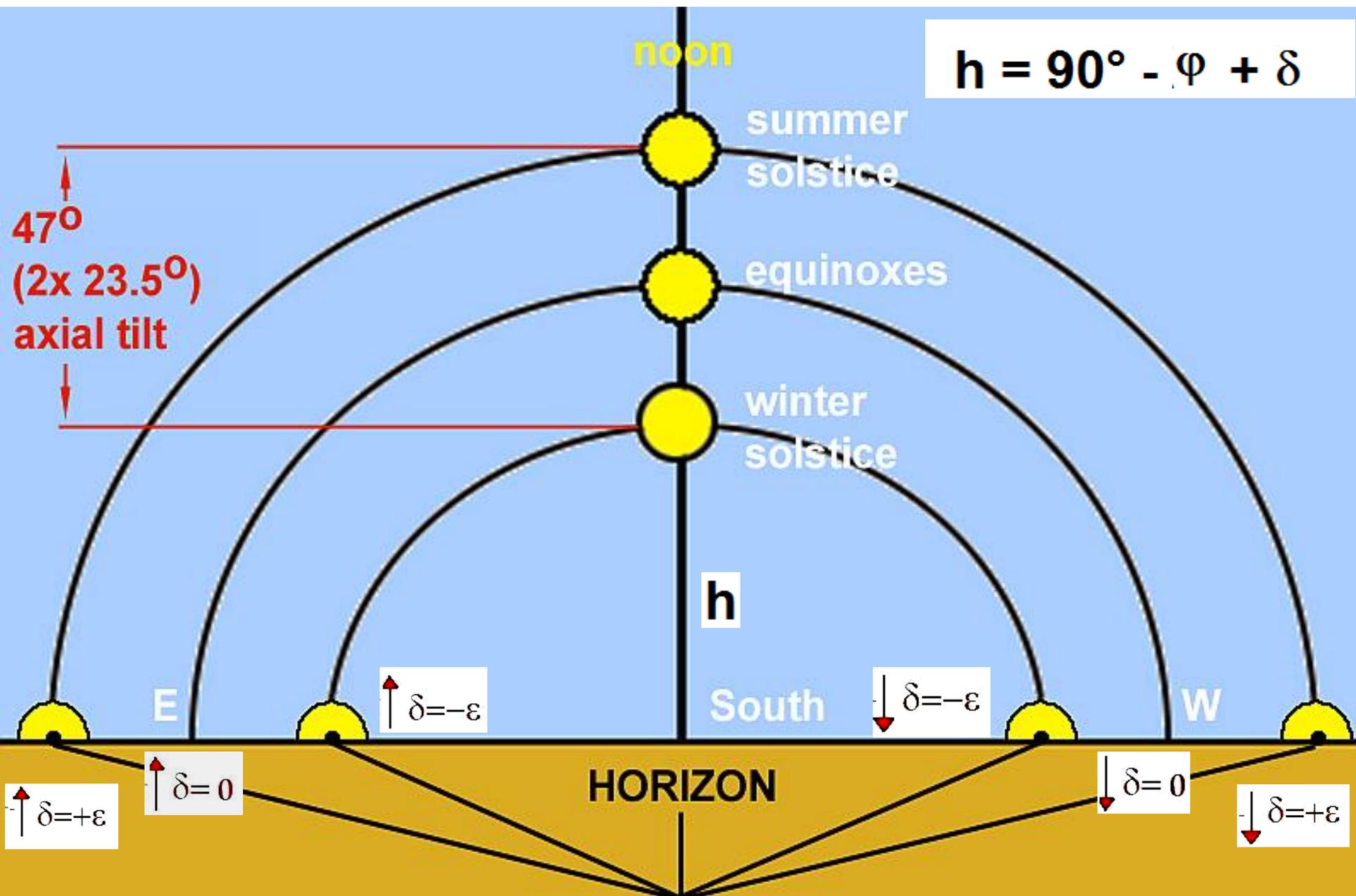
Meridiano astronomico → circolo verticale passante per i poli celesti e lo zenit del luogo

Zenit → intersezione della perpendicolare all'osservatore con la volta

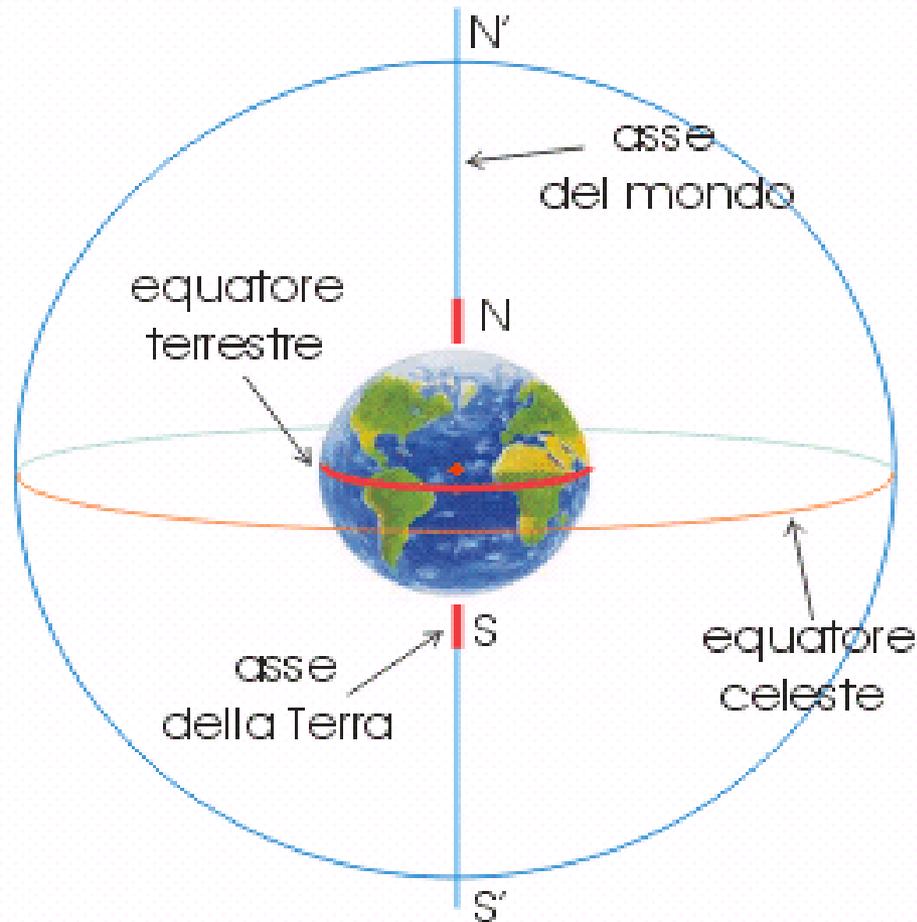


Culminazione → punto più alto sull'orizzonte raggiunto da un astro nel suo cammino apparente sulla volta celeste

Culminazione Solare



asse del mondo e equatore celeste

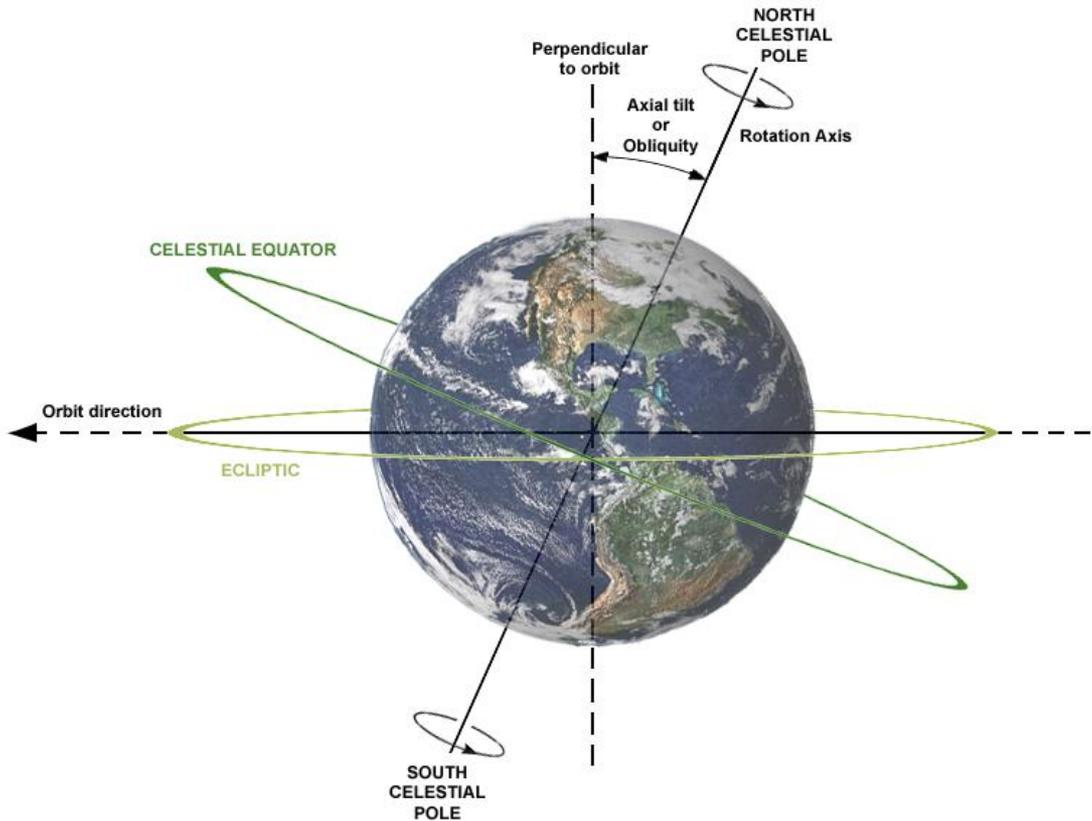


Asse del mondo → asse di rotazione della sfera celeste. La Terra occupa il centro della sfera e l'asse del mondo è il prolungamento dell'asse di rotazione terrestre fino a incontrare la sfera celeste nei due poli celesti

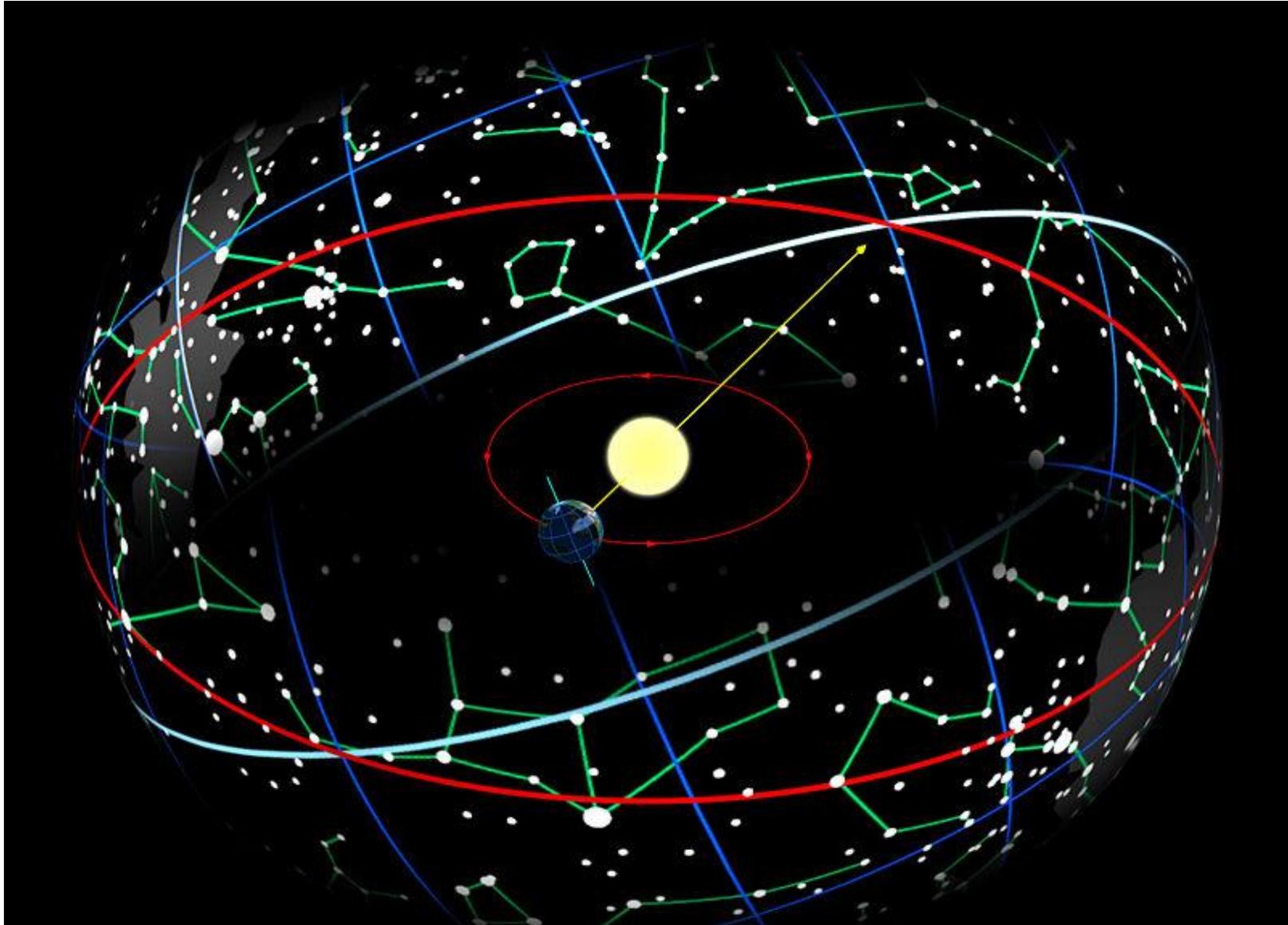
Equatore celeste → linea di intersezione tra il piano perpendicolare all'asse del mondo passante per il centro della Terra e la sfera celeste. Proiezione sulla sfera celeste dell'equatore terrestre

La sfera celeste

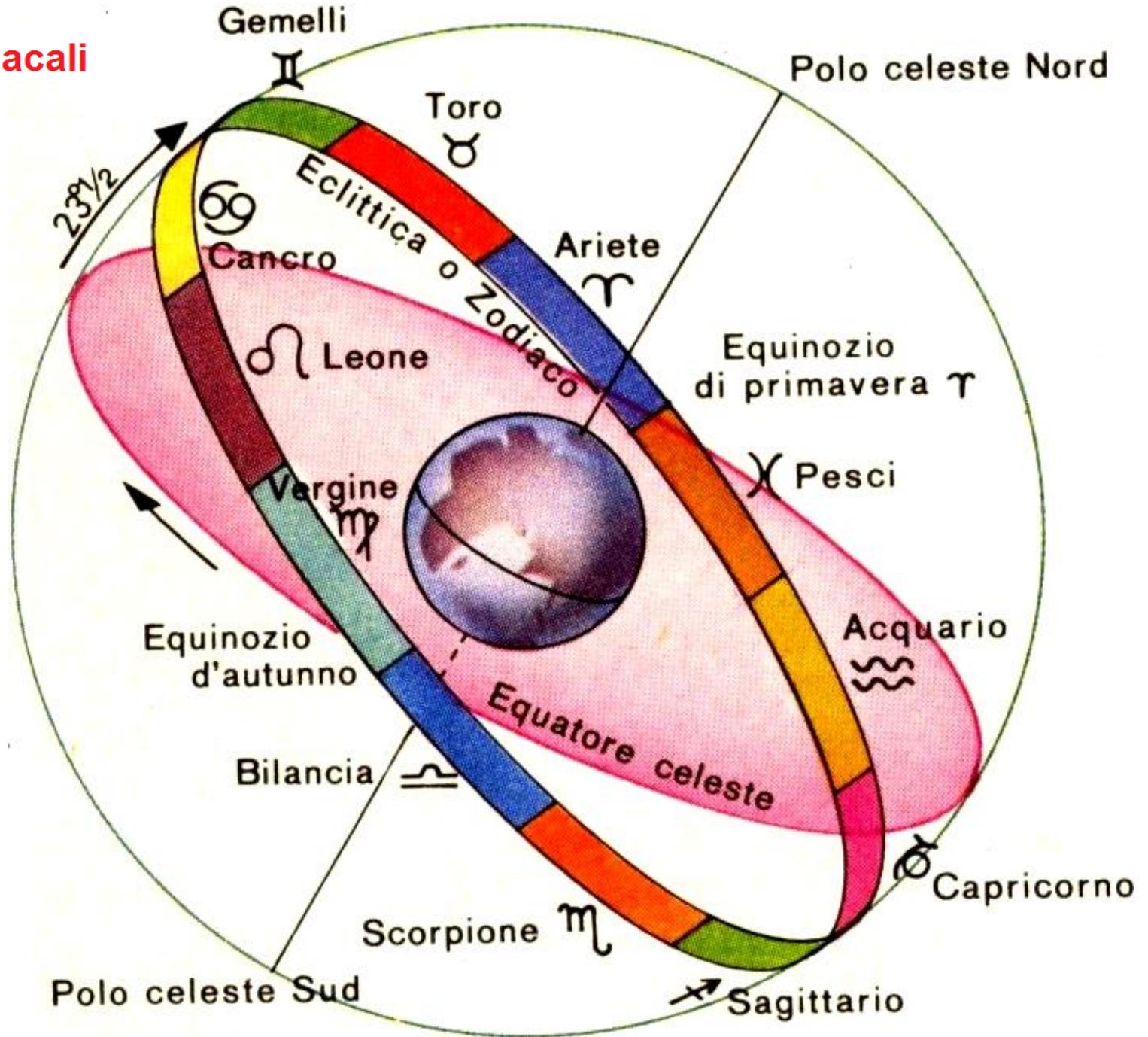
- Ha un raggio arbitrario e sulla superficie sono proiettati tutti gli astri.
- L'origine dell'arbitrarietà del raggio sta nel fatto che oltre una certa distanza non siamo più in grado di valutare visivamente la lontananza dei corpi, per cui gli astri ci sembrano tutti alla stessa distanza
- Durante l'apparente moto degli astri due soli punti del cielo restano immobili: sono i *poli celesti*. La sfera celeste sembra quindi ruotare su sé stessa attorno ad un asse passante per i poli, chiamato asse celeste.
- *L'equatore celeste* è il cerchio massimo equidistante dai poli celesti che divide la sfera celeste nei due emisferi Nord e Sud



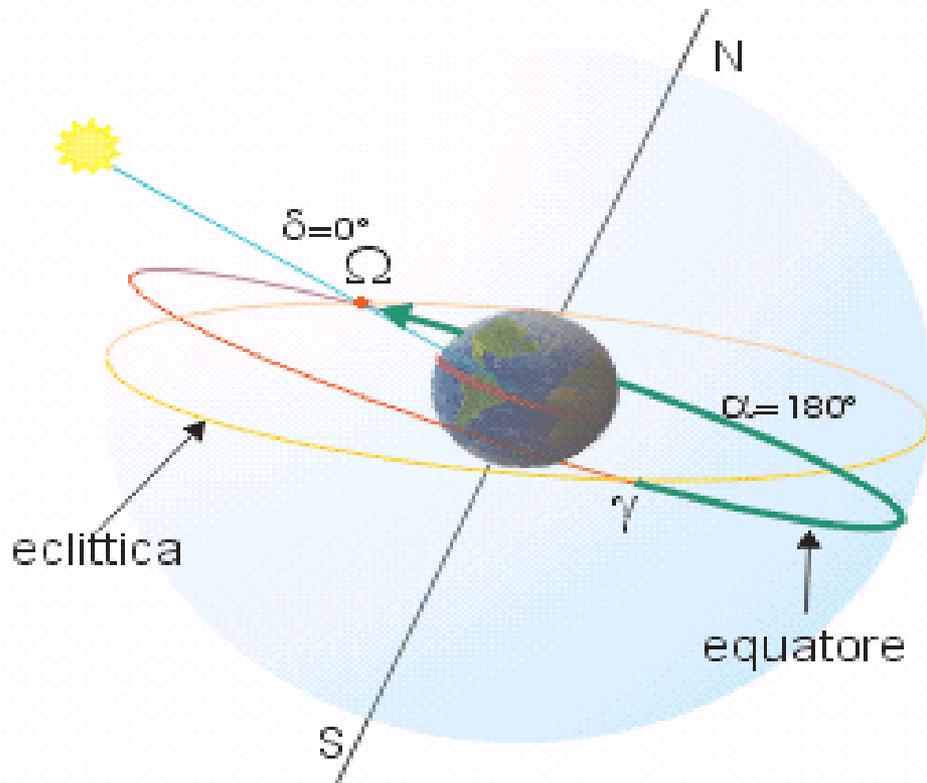
Le costellazioni zodiacali



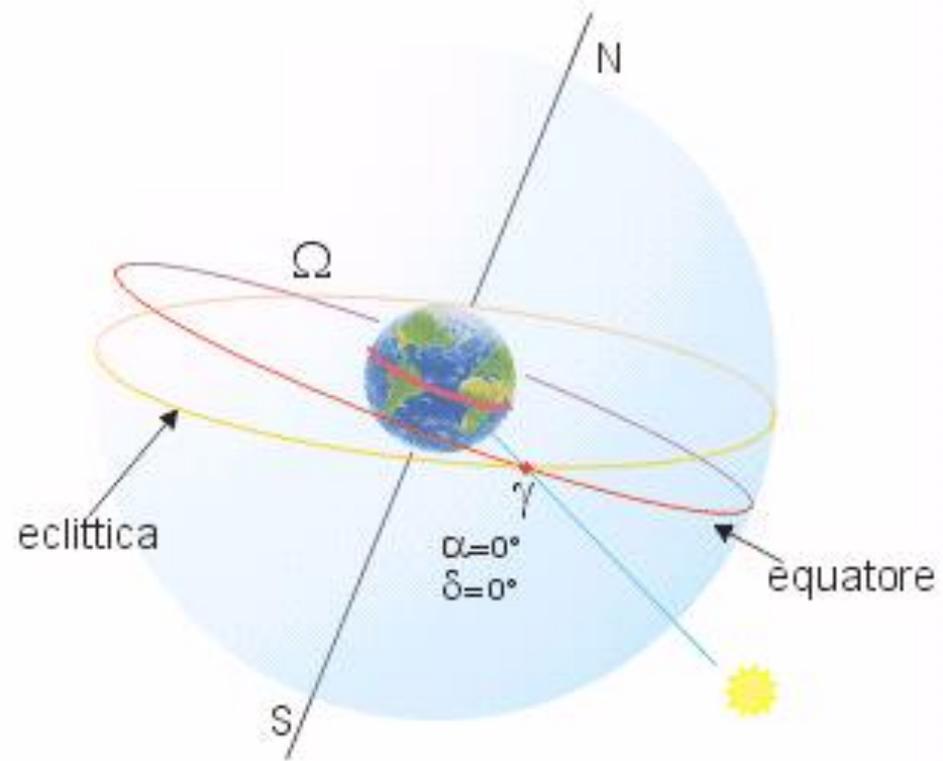
Segni Zodiacali



Punto gamma γ e omega ω

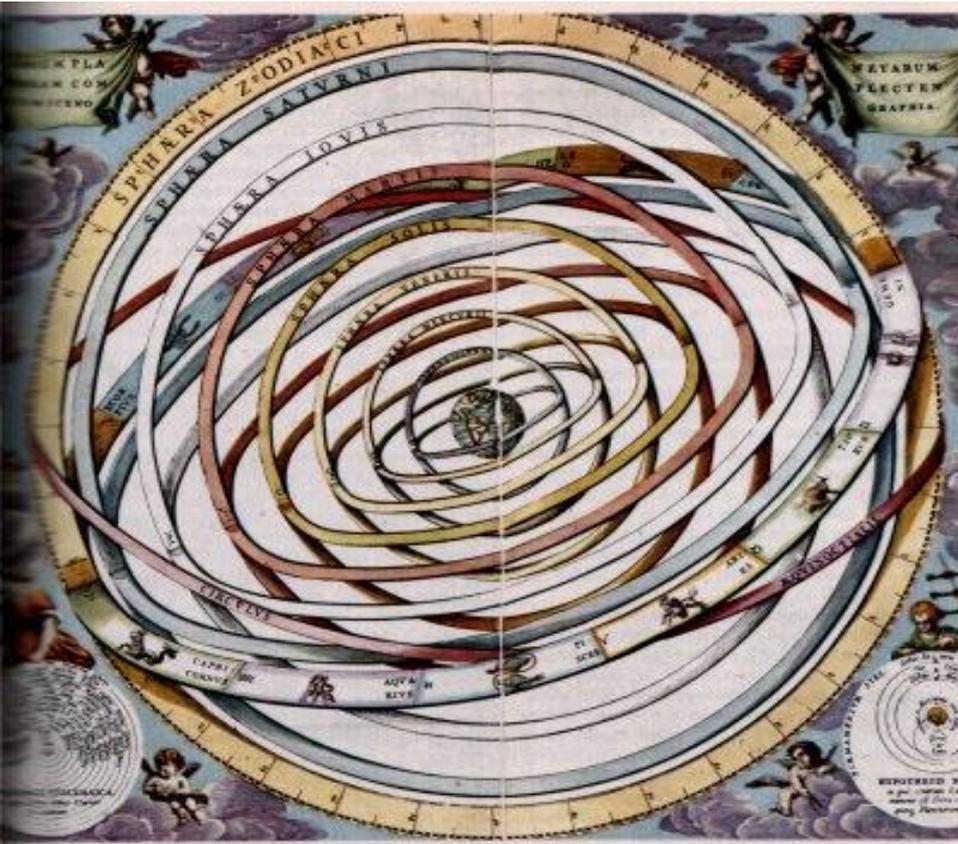


Equinozio autunno



Equinozio primavera

Come individuare una stella, il sole, un pianeta...

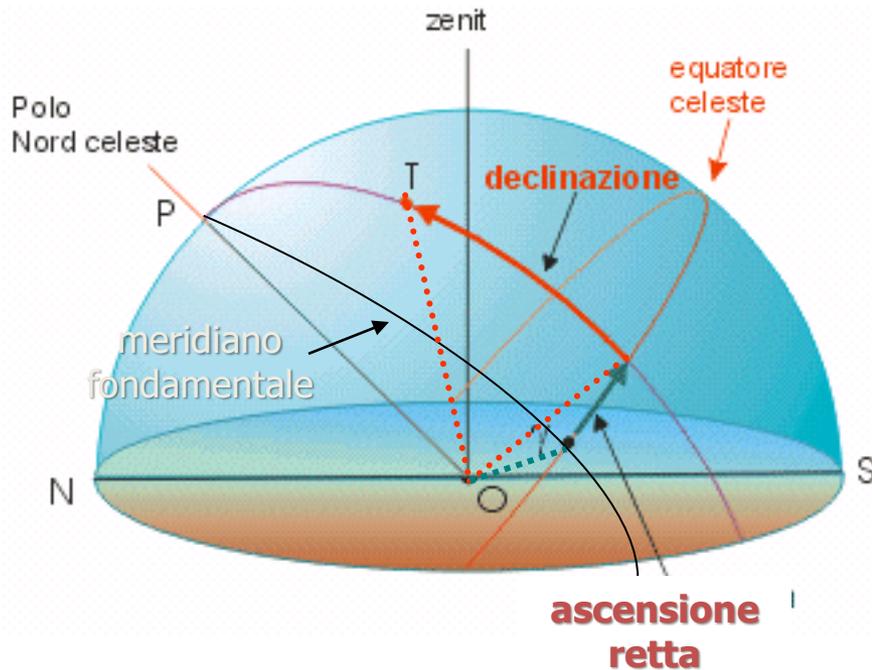


- Sistema di coordinate
altazimutali

- Sistema di coordinate
equatoriali

Sistema equatoriale

Declinazione δ → arco di meridiano compreso tra la stella T e l'equatore celeste (angolo verticale)

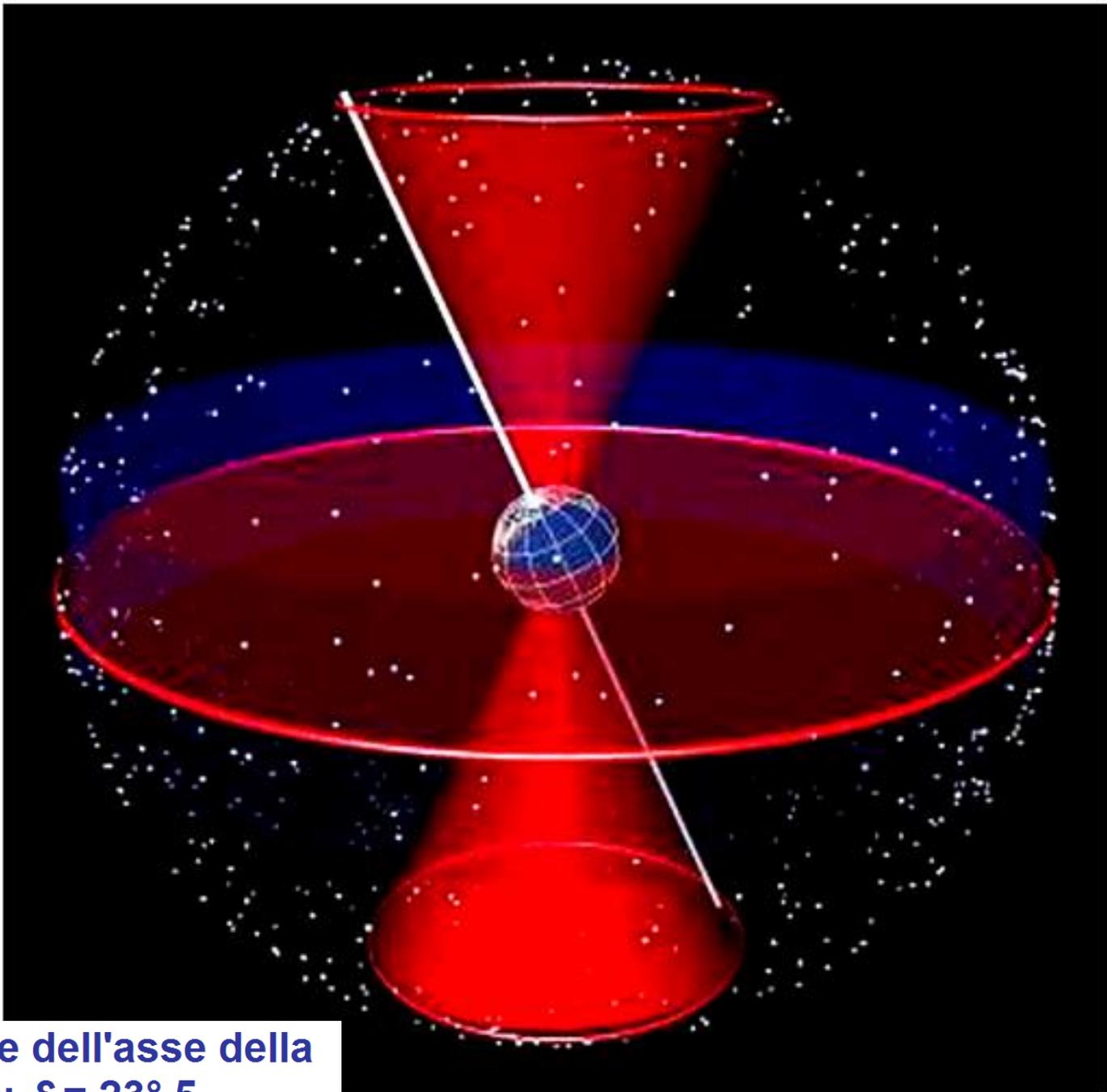


Le coordinate equatoriali variano nel tempo

Ascensione retta α → arco di equatore celeste compreso tra il meridiano fondamentale e quello passante per la stella T (angolo orizzontale)

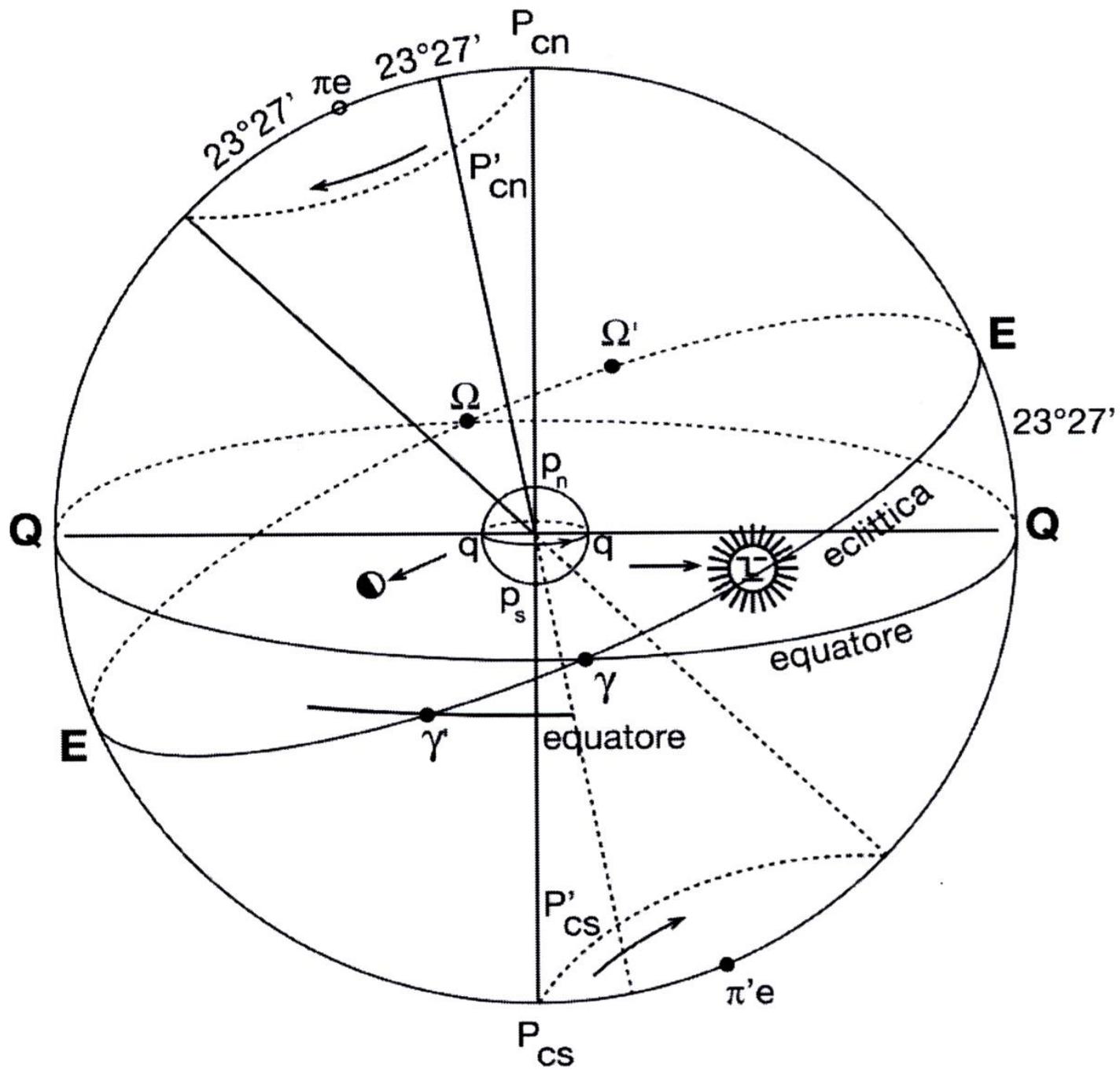
Astronomia per l'Archeoastronomia

La Precessione Lunisolare



Inclinazione dell'asse della
Terra: $\varepsilon = 23^{\circ},5$

La Terra compie un ciclo completo di precessione in circa 21000 anni. Sono due gli effetti che contribuiscono a determinare questo periodo temporale. Innanzitutto, l'asse terrestre ruota esso stesso attorno ad una retta perpendicolare al piano orbitale, con un periodo di circa 26 000 anni.



Precessione degli equinozi

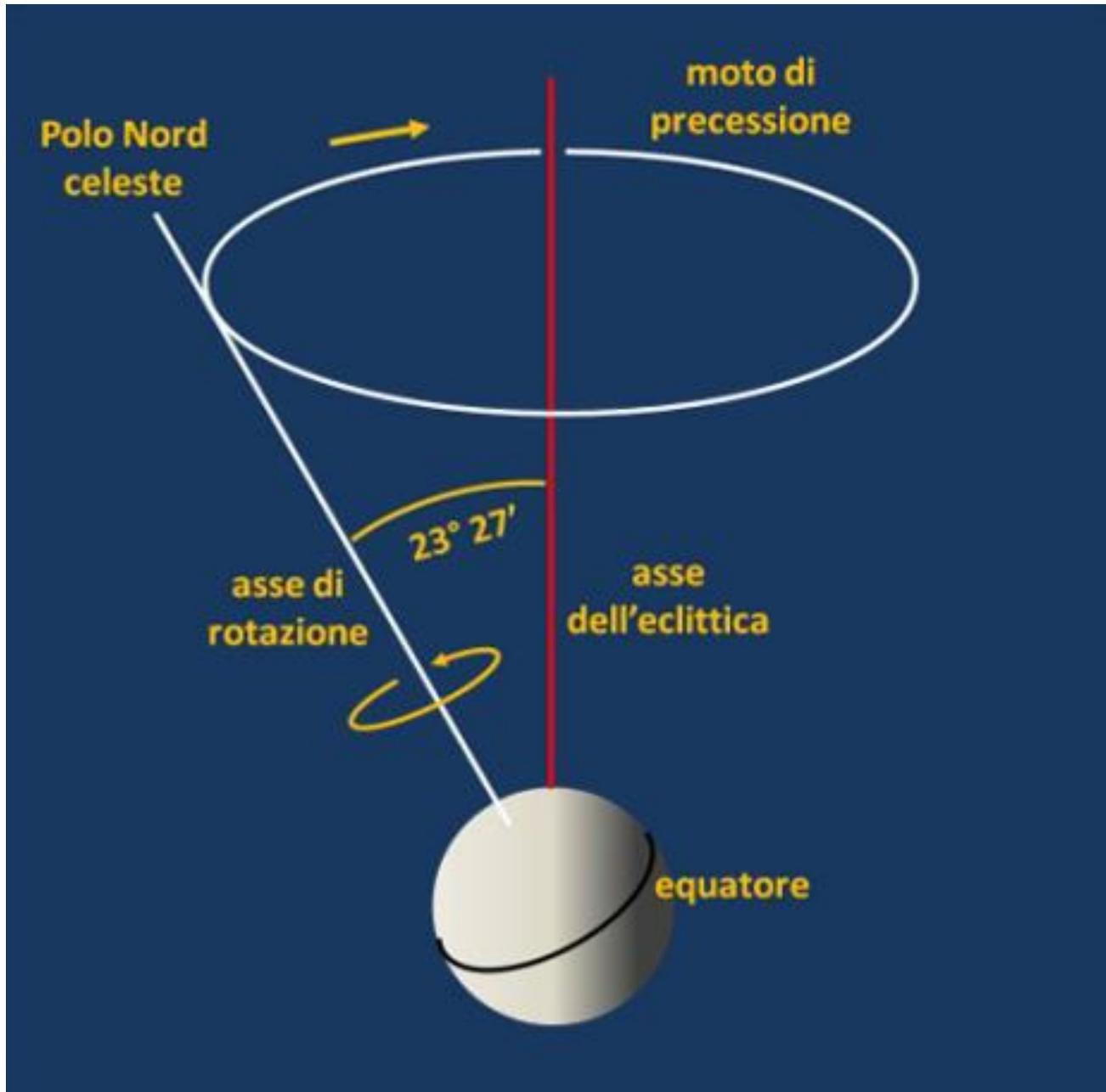
L'asse terrestre ha un'inclinazione variabile tra i $22,5^\circ$ e i $24,5^\circ$ in quanto esso si muove descrivendo una circonferenza completa in 25 800 anni (52'' annui).

Il moto è dovuto all'attrazione gravitazionale esercitata sulla Terra dal Sole e dalla Luna

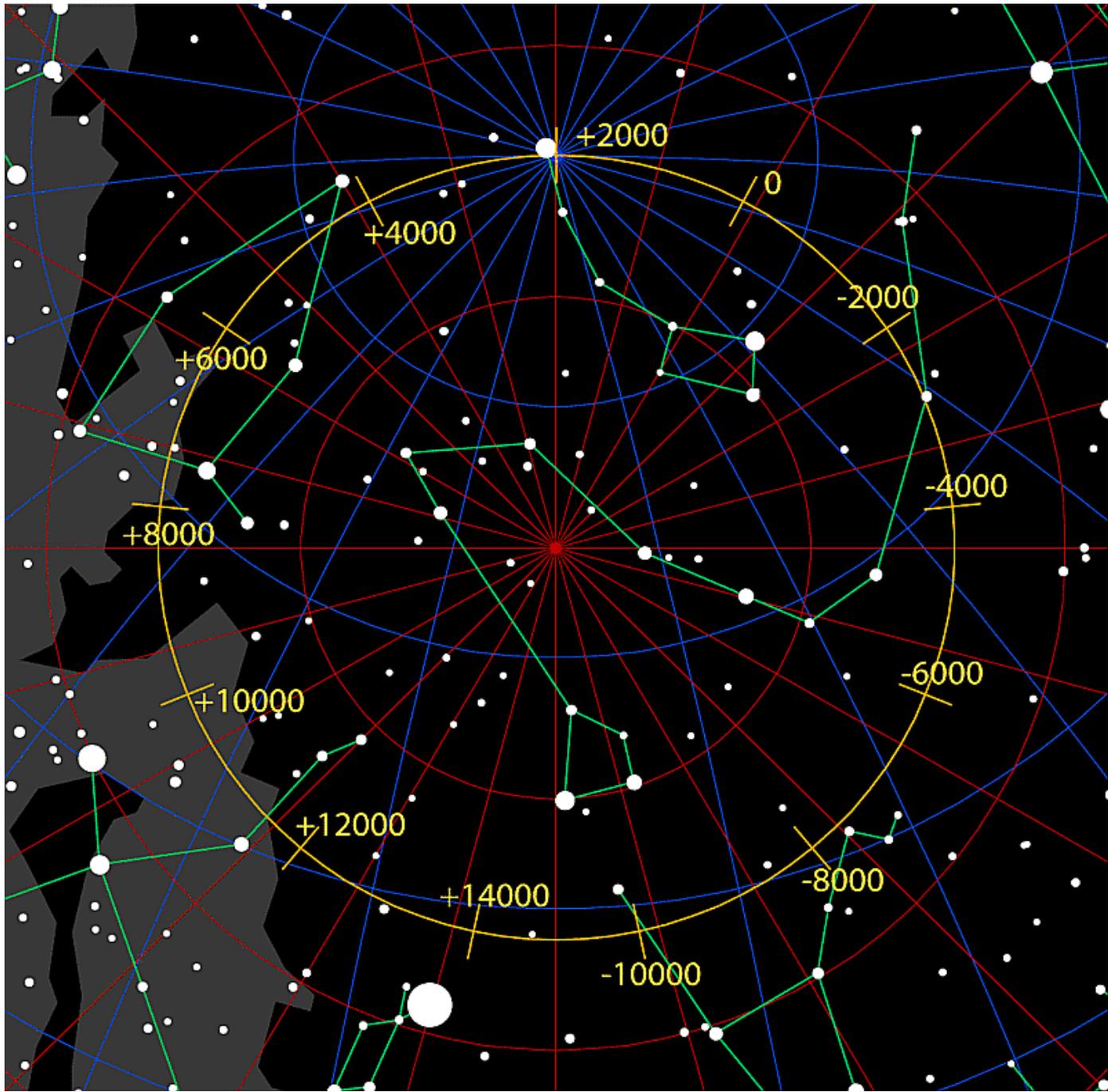
Questo moto giroscopico è causato dalle forze di marea esercitate, con effetti pressoché equivalenti, dal Sole e dalla Luna sulla terraferma ed è associato al fatto che la Terra non è una sfera perfetta, ma presenta un rigonfiamento all'equatore.

Inoltre, l'ellisse orbitale è soggetta essa stessa a precessione, principalmente a causa delle interazioni con Giove e Saturno.

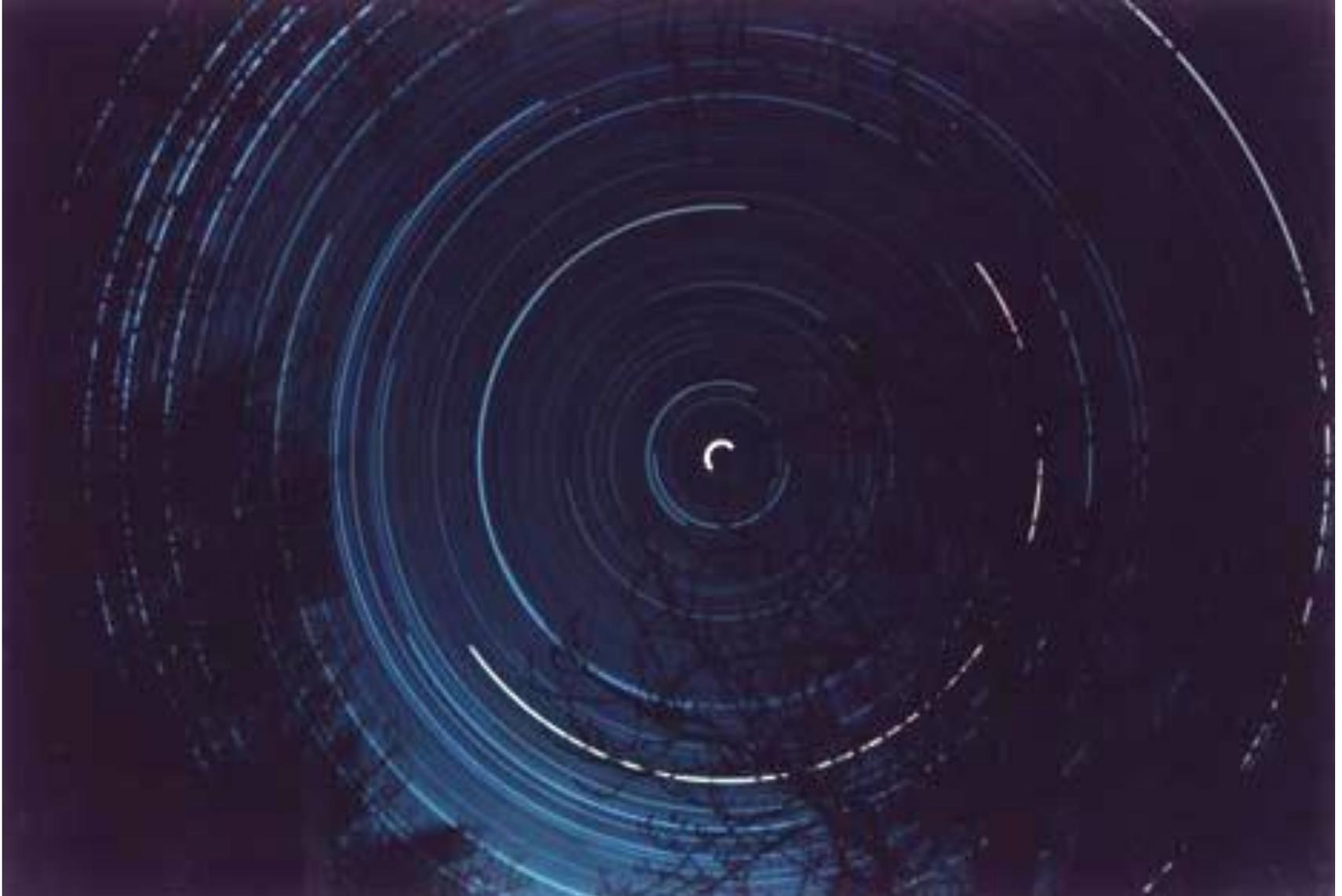
La Precessione Lunisolare



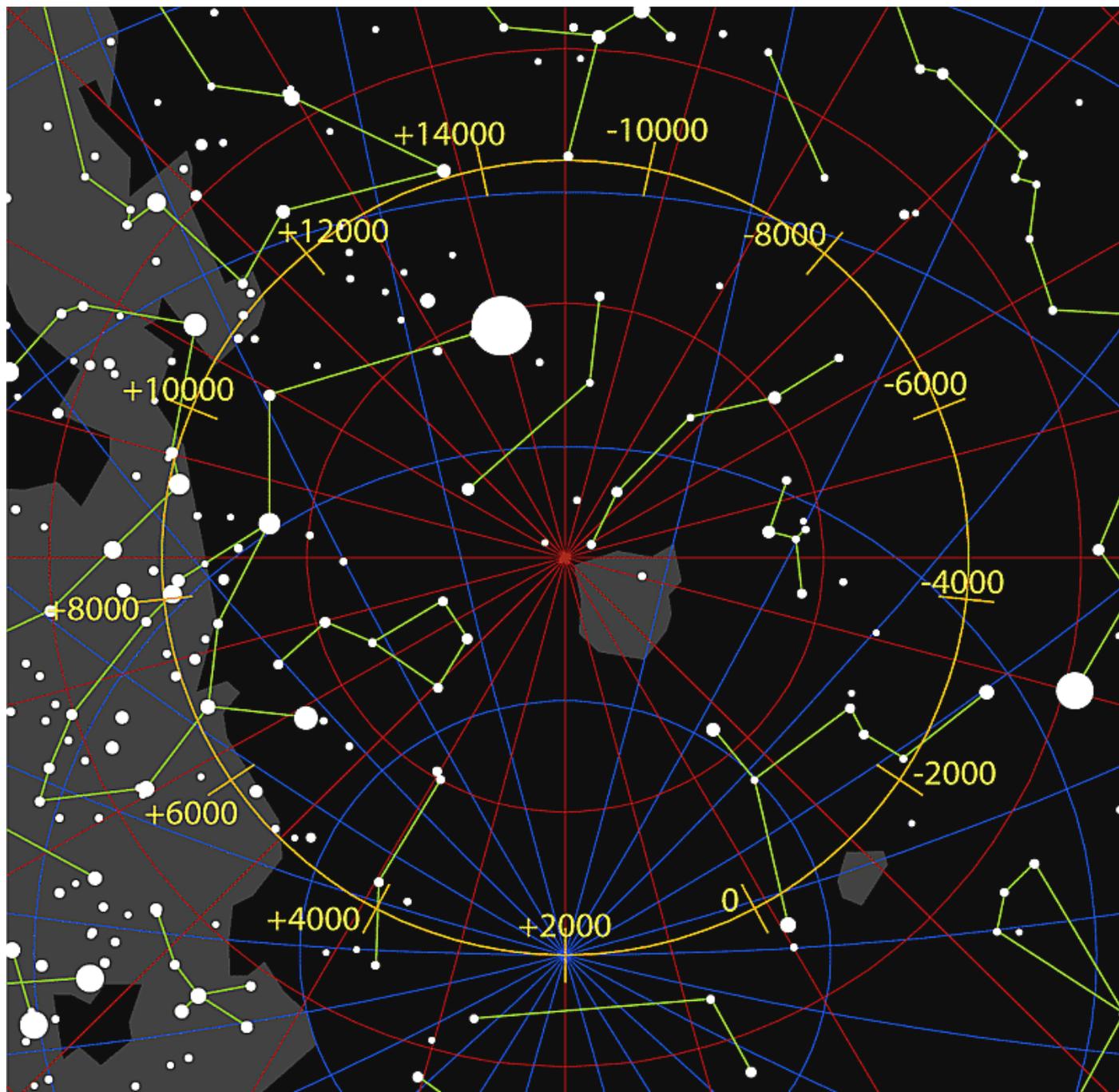
Cerchio di Precessione Nord



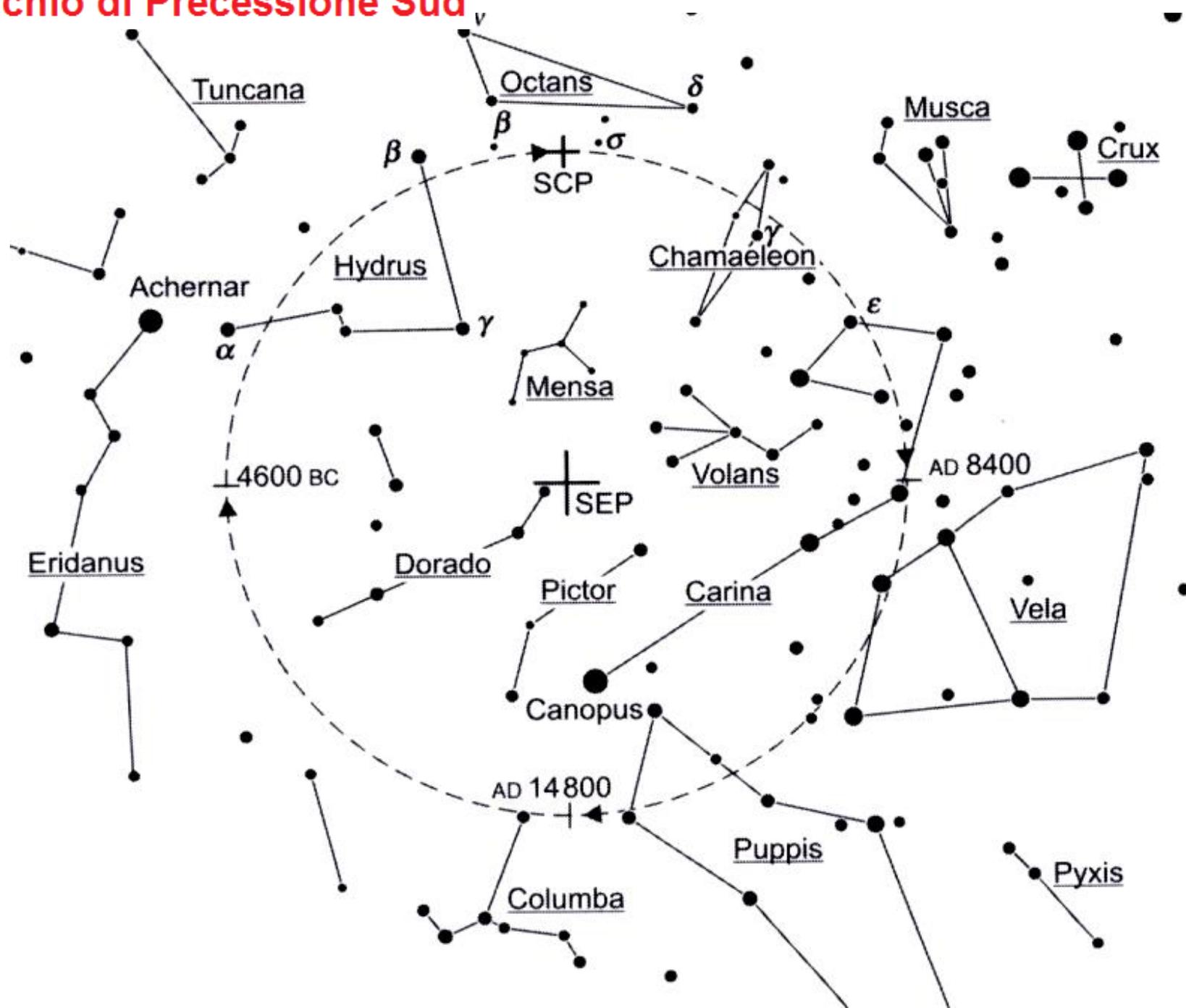
Il Polo Nord Celeste



Cerchio di Precessione Sud

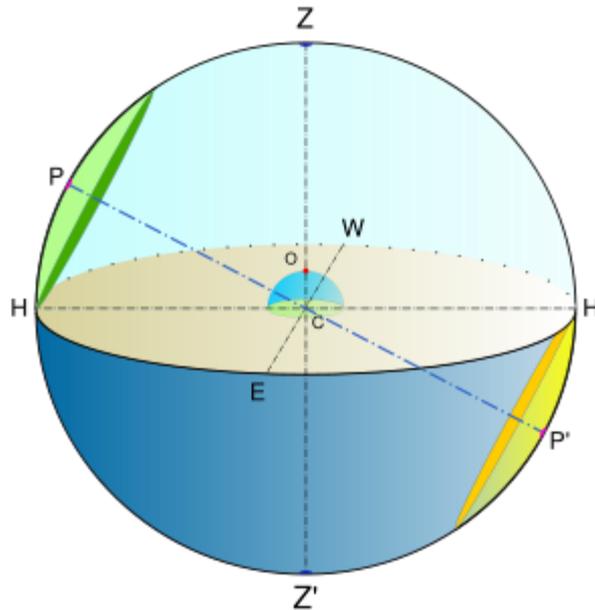


Cerchio di Precessione Sud

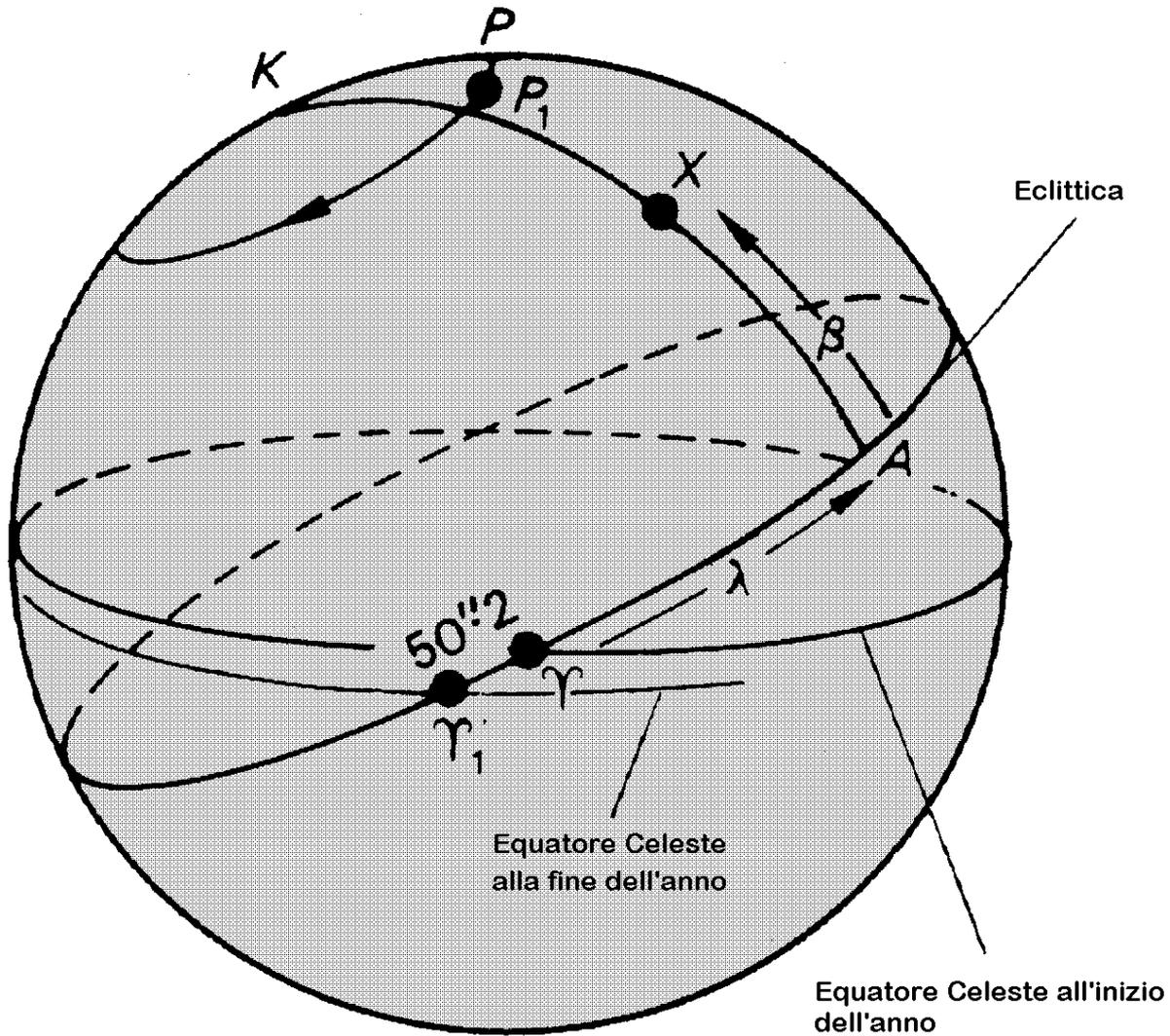


Costellazioni circumpolari

- costellazioni che nel corso della notte restano sempre sopra l'orizzonte, in altre parole non tramontano mai. A causa di ciò, esse non sono stagionali ma rimangono visibili tutto l'anno anche se, col passare dei mesi, cambiano la loro posizione attorno al Polo nord celeste.
- Il fatto che una costellazione sia o meno circumpolare dipende dalla latitudine del luogo dal quale si osservano.



Variazione della
posizione del punto
Equinoziale Primaverile
per effetto della
Precessione



Variazione delle coordinate equatoriali α, δ delle stelle e dell'Azimut Az di sorgere/tramonto

Siano α e δ le coordinate equatoriali di una stella e $\lambda(t_0)$ la sua longitudine eclittica al tempo t_0 . allora la longitudine eclittica $\lambda(t)$ al tempo t sarà data da:

$$\lambda(t) = \lambda(t_0) + \frac{360^\circ}{26000} \cdot (t - t_0) + \dots$$

con il tempo t espresso in anni solari tropici contati dall'anno 0.

stabilito che:

$$\Delta\lambda = \lambda(t) - \lambda(t_0)$$

allora le coordinate equatoriali $\alpha(t)$ e $\delta(t)$ della stella al tempo t passato o futuro saranno date da:

$$\alpha(t) = \alpha(t_0) + \Delta\alpha$$

con:

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda \cdot \left[\cos(\varepsilon) + \sin(\varepsilon) \sin(\alpha) \tan(\delta) \right]$$

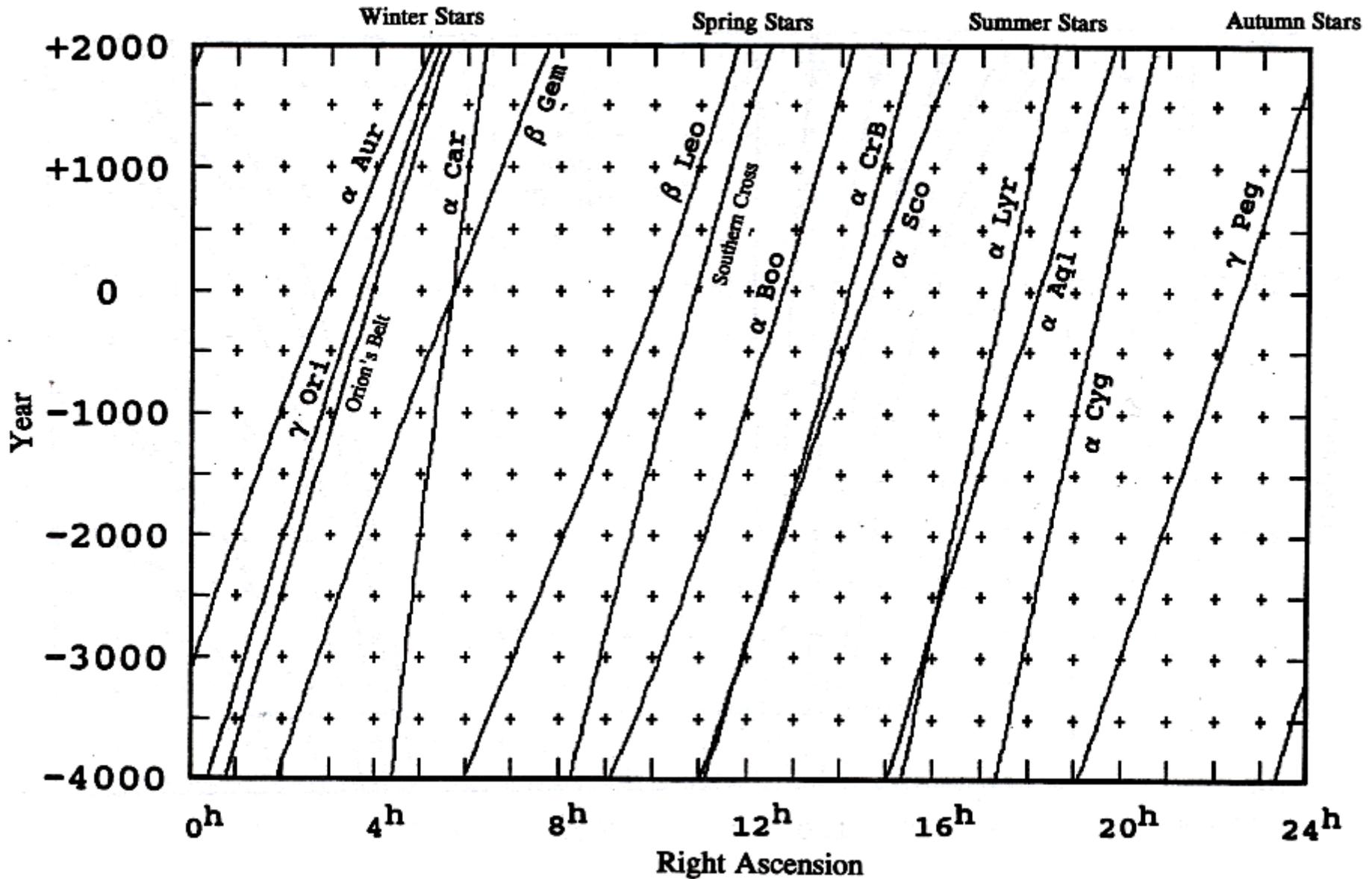
e

$$\delta(t) = \delta(t_0) + \Delta\delta$$

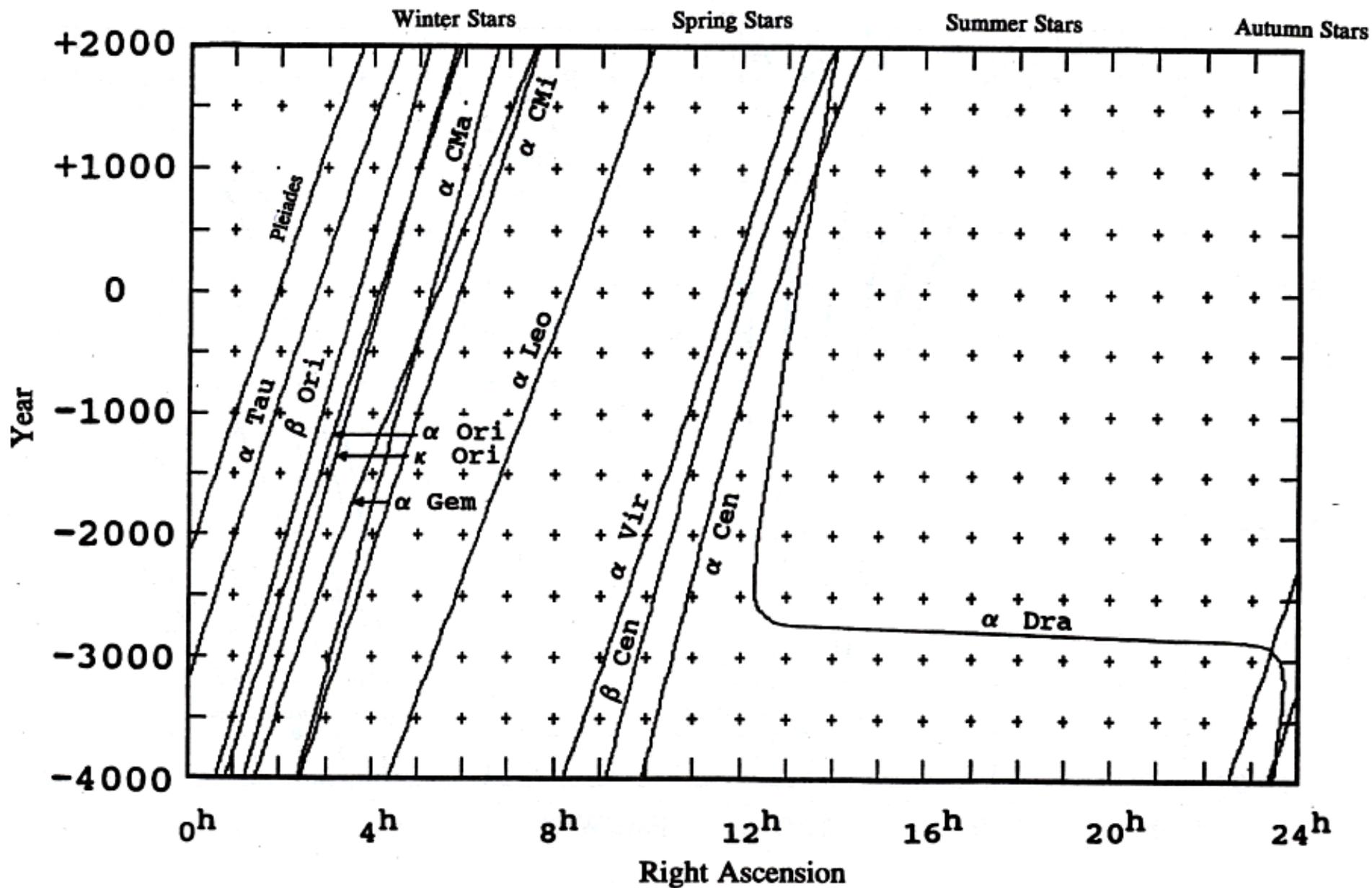
con:

$$\Delta\delta = \Delta\lambda \cdot \sin(\varepsilon) \cos(\alpha)$$

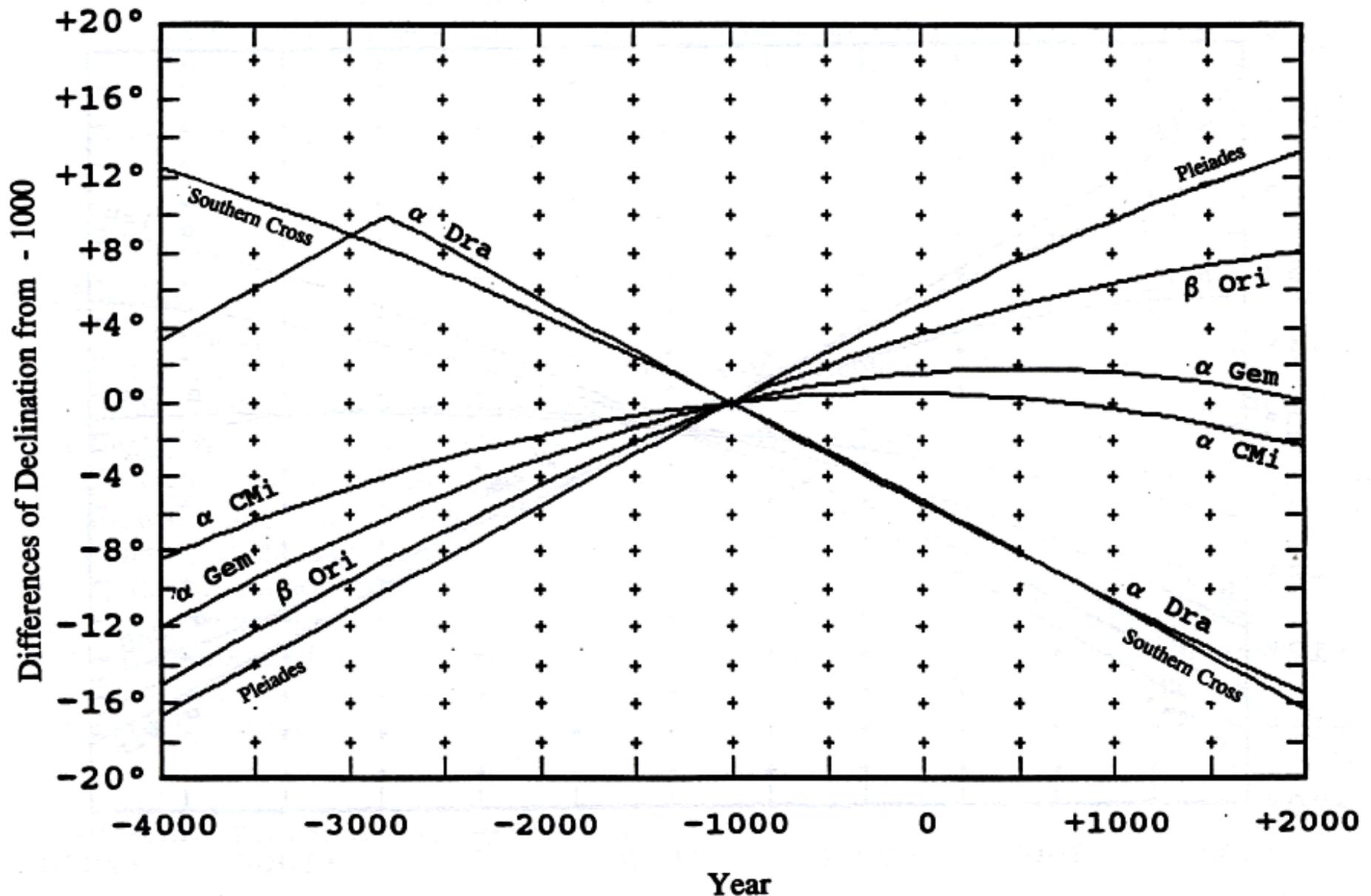
Variazione dell'Ascensione Retta delle Stelle



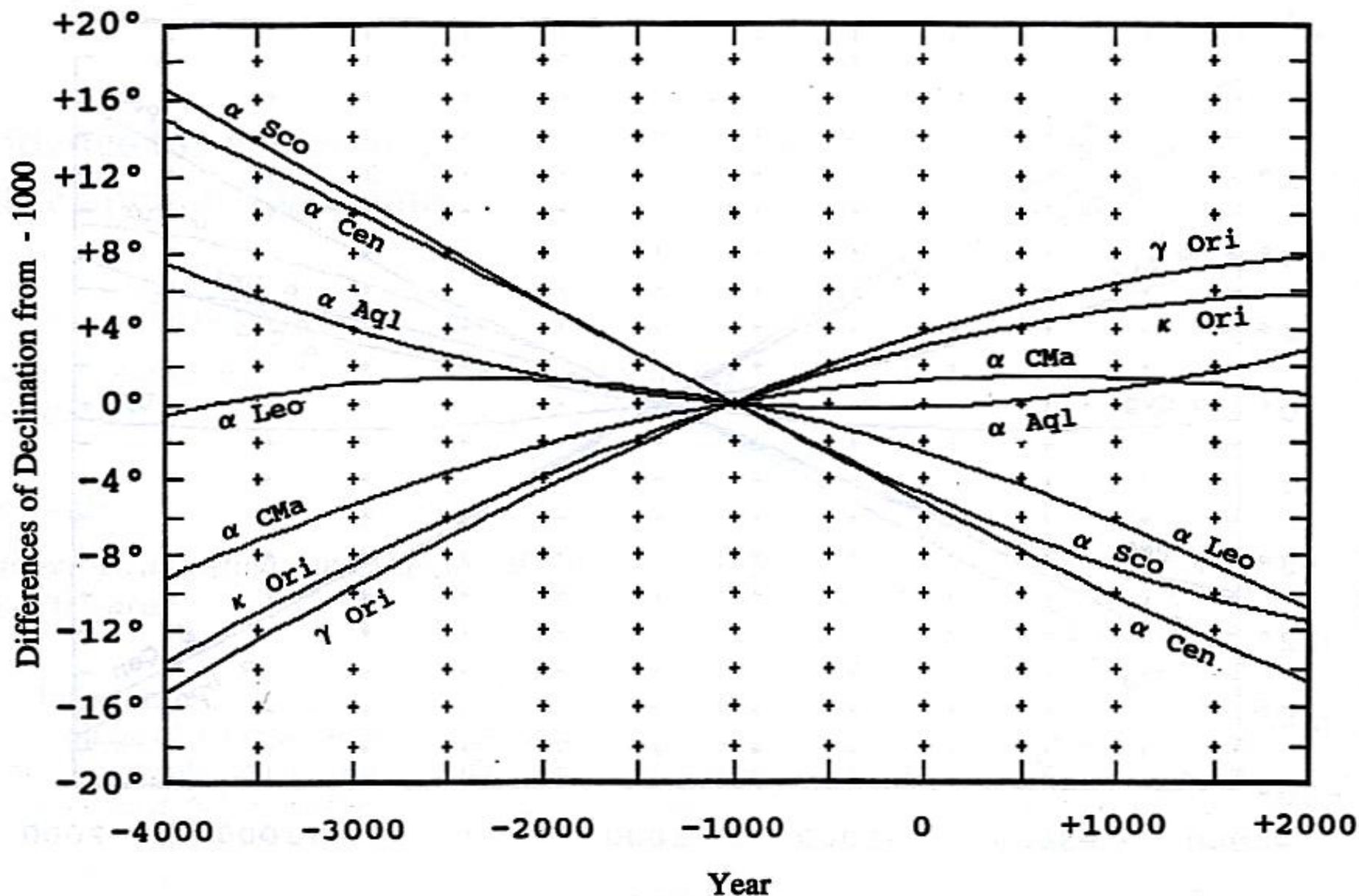
Variazione dell'Ascensione Retta delle Stelle



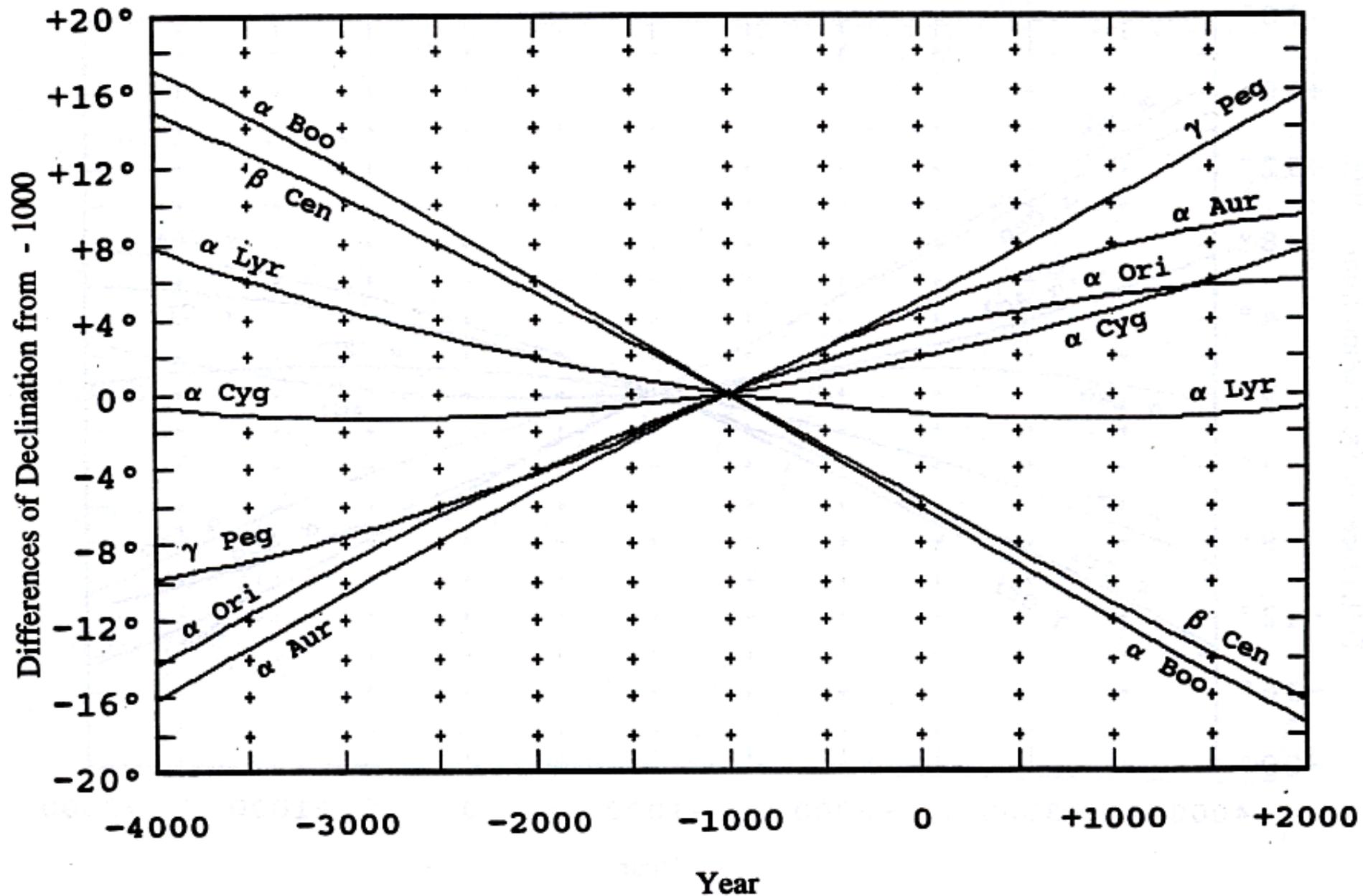
Variazione della Declinazione delle Stelle



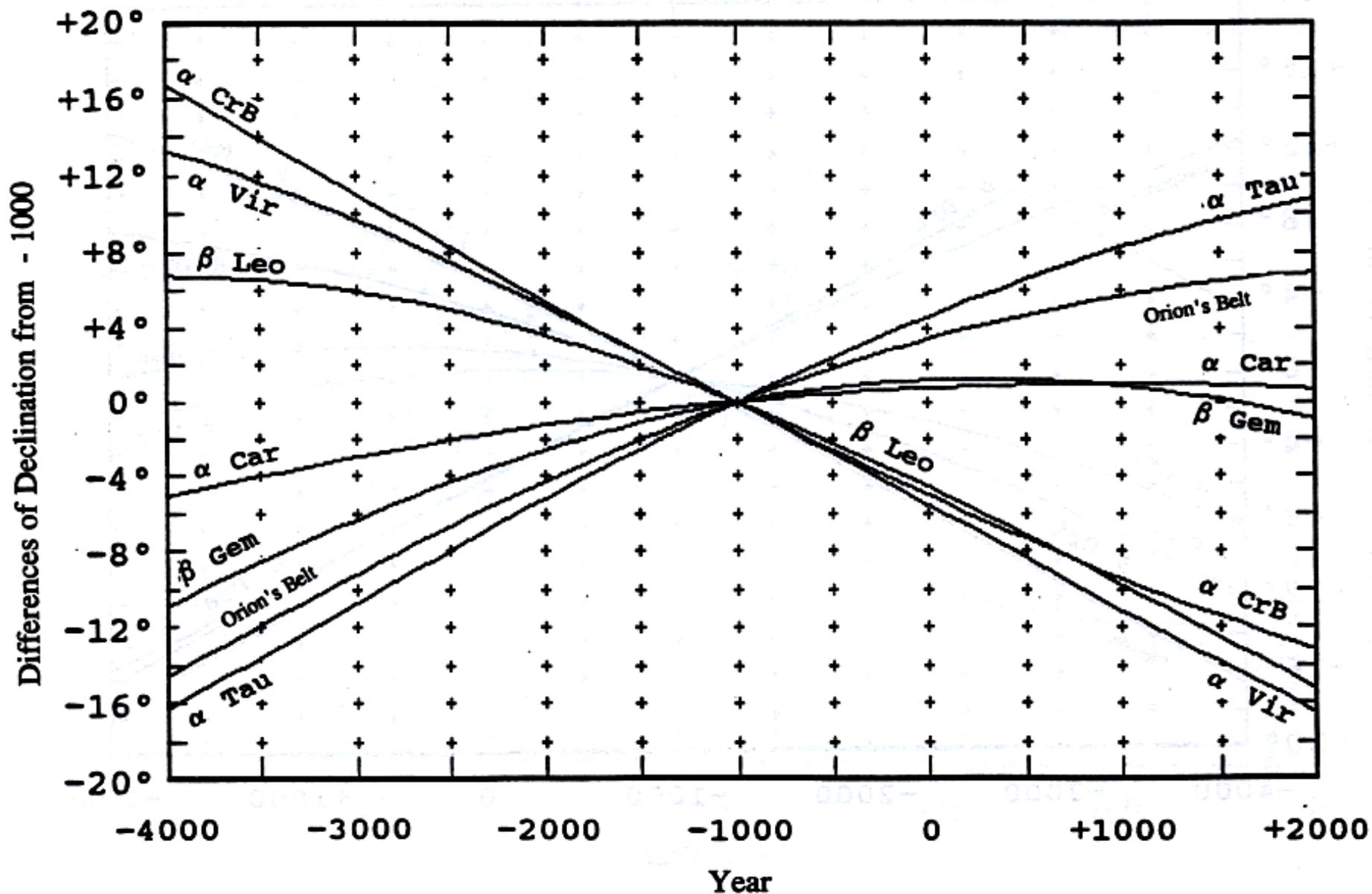
Variazione della Declinazione delle Stelle



Variazione della Declinazione delle Stelle



Variazione della Declinazione delle Stelle



Coordinate Equatorial riferite all'anno -1000

Star		Declination	Star		Declination
Name	Magnitude	for -1000	Name	Magnitude	for -1000
α Aql (Altair)	0.8 ^m	5.95°	α Leo (Regulus)	1.4 ^m	22.85°
α Aur (Capella)	0.1	36.53	β Leo (Denebola)	2.1	29.89
α Boo (Arcturus)	0.0	36.64	α Lyr (Vega)	0.0	39.57
α CMa (Sirius)	-1.5	-17.18	α Ori (Betelgeuse)	0.5	1.42
α CMi (Procyon)	0.4	7.57	β Ori (Rigel)	0.1	-16.26
α Car (Canopus)	-0.7	-53.37	γ Ori (Bellatrix)	1.6	-1.50
α Cen	-0.3	-46.12	Orion's Belt (mean of the three stars)		-7.77
β Cen	0.6	-44.09	κ Ori	2.1	-15.51
α CrB (Gemma)	2.2	39.91	γ Peg (Algenib)	2.8	-0.70
Southern Cross (center of quadrangle)		-43.33	α Sco (Antares)	1.0	-14.87
α Cyg (Deneb)	1.3	37.55	α Tau (Aldebaran)	0.9	5.67
α Dra (Thuban)	3.7	79.94	Pleiades (η Tau)		10.77
α Gem (Castor)	0.8	31.79	α Vir (Spica)	1.0	5.35
β Gem (Pollux)	1.1	28.98			

La Teoria della propagazione degli errori permette di calcolare la variazione dell'Azimut astronomico Az di sorgere e di tramontare della stella all'orizzonte astronomico locale di un sito posto ad una latitudine geografica φ mediante la:

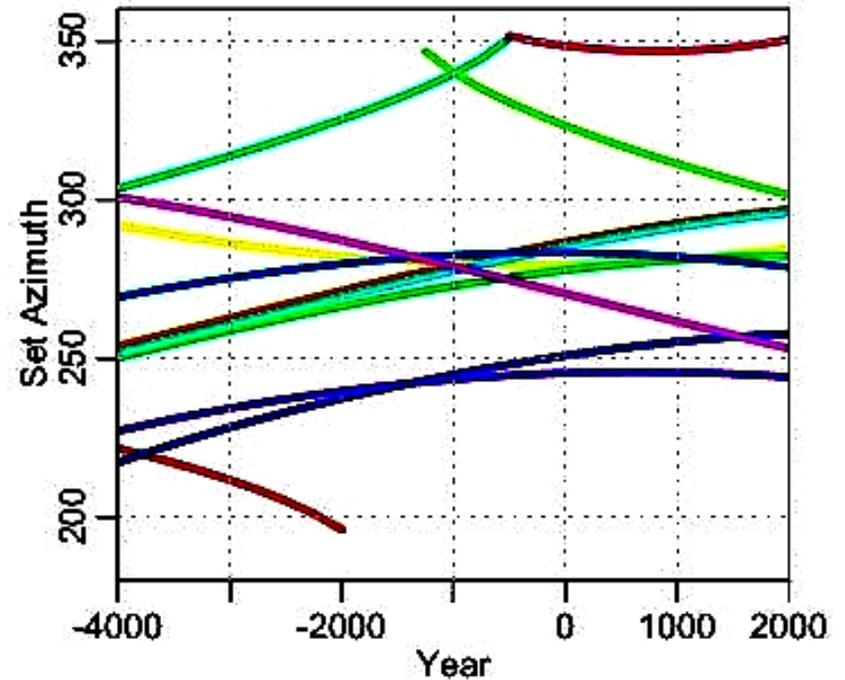
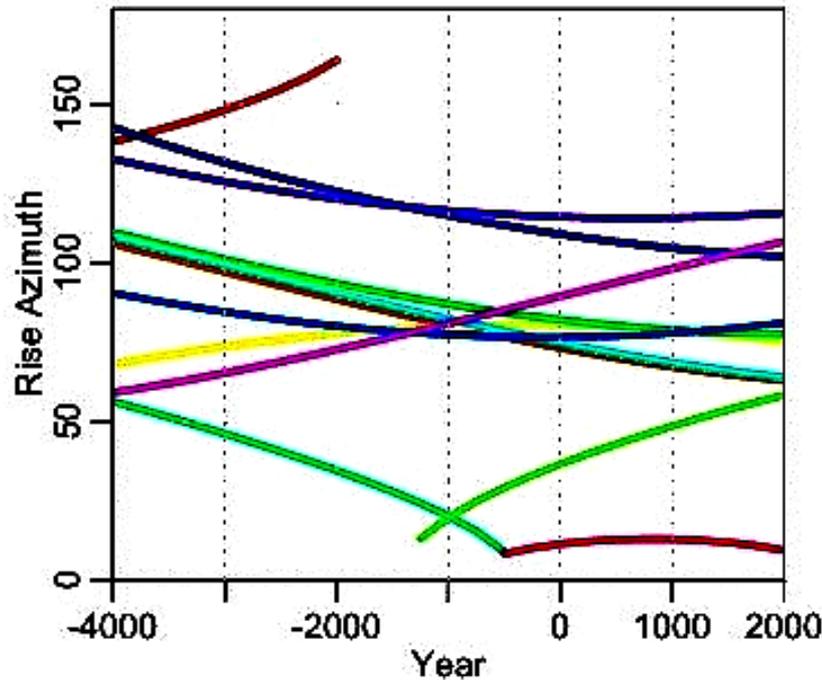
$$\Delta Az = - \frac{\Delta \delta \cdot \cos(\delta)}{\cos(\varphi) \sin(Az)}$$

quindi:

$$Az(t) = Az(t_0) + \Delta Az$$

latitude=50N and maximum magnitude=1

latitude=50N and maximum magnitude=1



- Agena
- Aldebaran
- Altair
- Arcturus
- Betelgeuse
- Capella
- Hyades
- Procyon
- Rigel
- Sirius
- Spica
- Vega

Variazione dell'Azimut di sorgere e di tramontare di alcune stelle luminose

$$Az = \arccos \left(\frac{\sin(\delta_*)}{\cos(\varphi)} \right)$$

Propagazione dell'errore sulle coordinate equatoriali astronomiche di una stella trasposte nel passato mediante la Precessione utilizzando il metodo rigoroso.

Durante l'analisi archeoastronomica di un sito archeologico è necessario ricostruire il cielo antico utilizzando le coordinate delle stelle trasposte nel passato mediante gli algoritmi di Precessione. Utilizzando l'Algoritmo Rigoroso si ottiene un ritmo di propagazione dell'errore su entrambe le coordinate equatoriali pari a:

$$d\alpha/dt = 0^{\circ}.0000385 \text{ }^{\circ}/\text{anno}$$

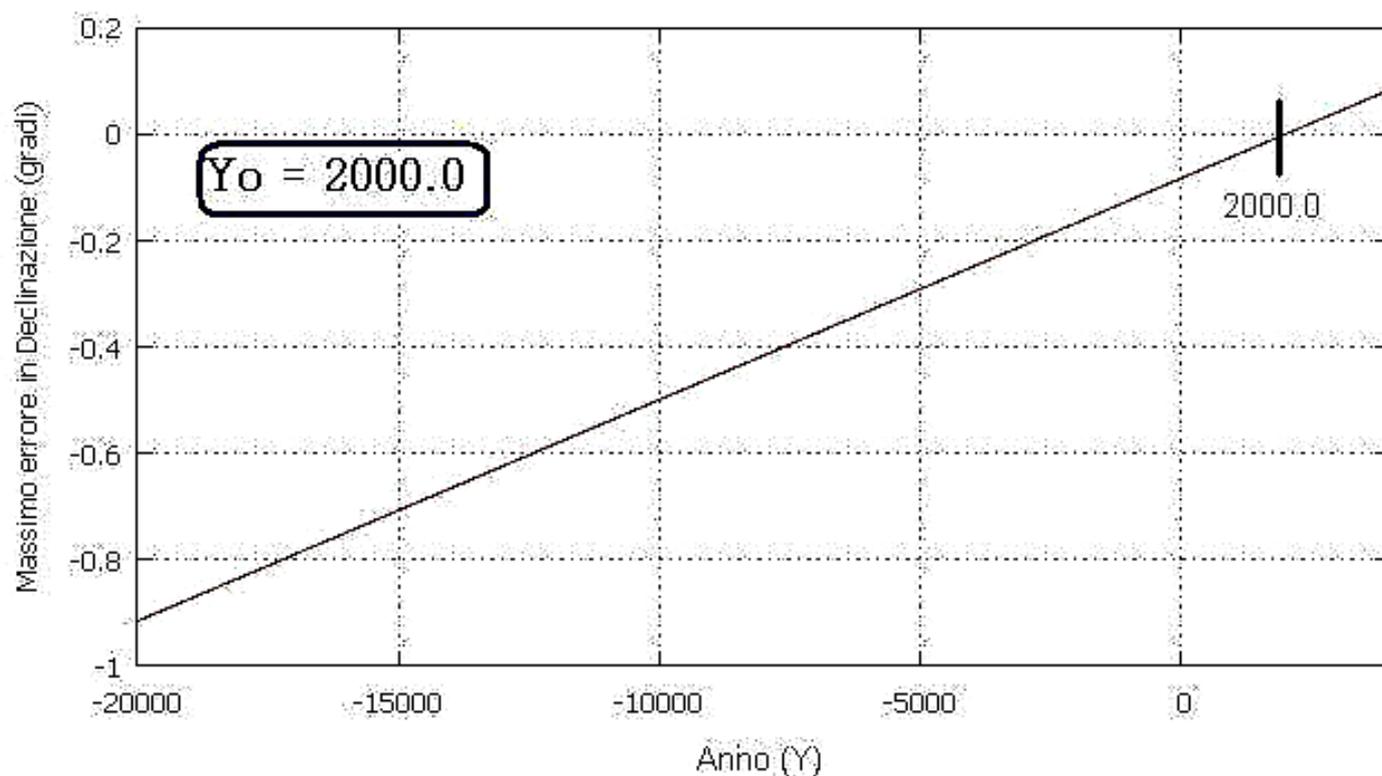
$$d\delta/dt = 0^{\circ}.0000385 \text{ }^{\circ}/\text{anno}$$

quindi il massimo errore propagato sulle coordinate equatoriali delle stelle sarà calcolabile con le seguenti approssimazioni del 1° ordine:

$$\varepsilon(\delta) = 1^{\circ} \cdot \frac{Y - Y_0}{26000} + \dots \quad \text{gradi}$$

$$\varepsilon(\alpha) = 1^{\circ} \cdot \frac{Y - Y_0}{26000} + \dots \quad \text{gradi}$$

dove Y_0 è l'anno di partenza per trasporre indietro le coordinate equatoriali delle stelle.



L'errore in declinazione produrrà un corrispondente errore sull'Azimut astronomico di sorgere e di tramontare della stella pari a:

$$\varepsilon(Az) = \left| \frac{dAz}{d\delta} \right| \cdot \varepsilon(\delta)$$

e quindi:

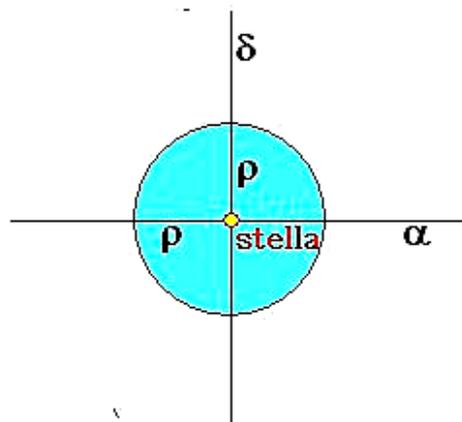
$$\varepsilon(Az) = \frac{|Y - Y_0|}{26000} \cdot \left| \frac{\cos(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \sin(Az)} \right| \quad (\text{gradi})$$

Incertezza sulle coordinate equatoriali astronomiche di una stella trasposte indietro nel tempo mediante la precessione rigorosa

Durante l'analisi archeoastronomica di un sito archeologico è necessario ricostruire il cielo antico utilizzando le coordinate delle stelle trasposte nel passato mediante gli algoritmi di Precessione. La posizione di una stella sarà quindi definita dalle sue coordinate equatoriali precesse α e δ . In realtà la sua posizione avrà uno spot di incertezza ϵ pari a:

$$\rho = 1^\circ \cdot \frac{|Y - Y_0|}{26000} + \dots \quad \text{gradi}$$

dove Y_0 è l'anno di partenza per trasporre indietro le coordinate equatoriali delle stelle e Y è l'anno per cui sono state calcolate le coordinate equatoriali della stella.



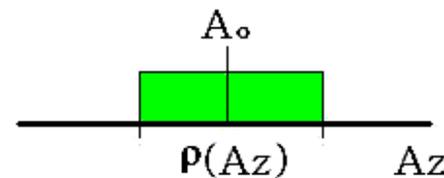
Questo errore si propaga sul valore dell'azimut astronomico di levata/tramonto della stella all'orizzonte astronomico locale all'epoca precessa Y.

$$\text{Essendo: } \varepsilon(\delta) = 1^\circ \cdot \frac{|Y - Y_0|}{26000} + \dots \quad (\text{gradi})$$

corrispondente a una variazione pari a:

$$d\alpha/dt = 0^\circ.0000385 \text{ } ^\circ/\text{anno}$$

$$d\delta/dt = 0^\circ.0000385 \text{ } ^\circ/\text{anno}$$



L'errore $\varepsilon(\delta)$ sulla declinazione della stella produce un corrispondente spot di incertezza $\rho(Az)$ sull'Azimut astronomico di sorgere/tramontare dell'astro che ha tale declinazione all'epoca remota Y pari a:

$$\rho(Az) = \frac{|Y - Y_0|}{26000} \cdot \left| \frac{dAz}{d\delta} \right| \quad (\text{gradi})$$



e quindi:

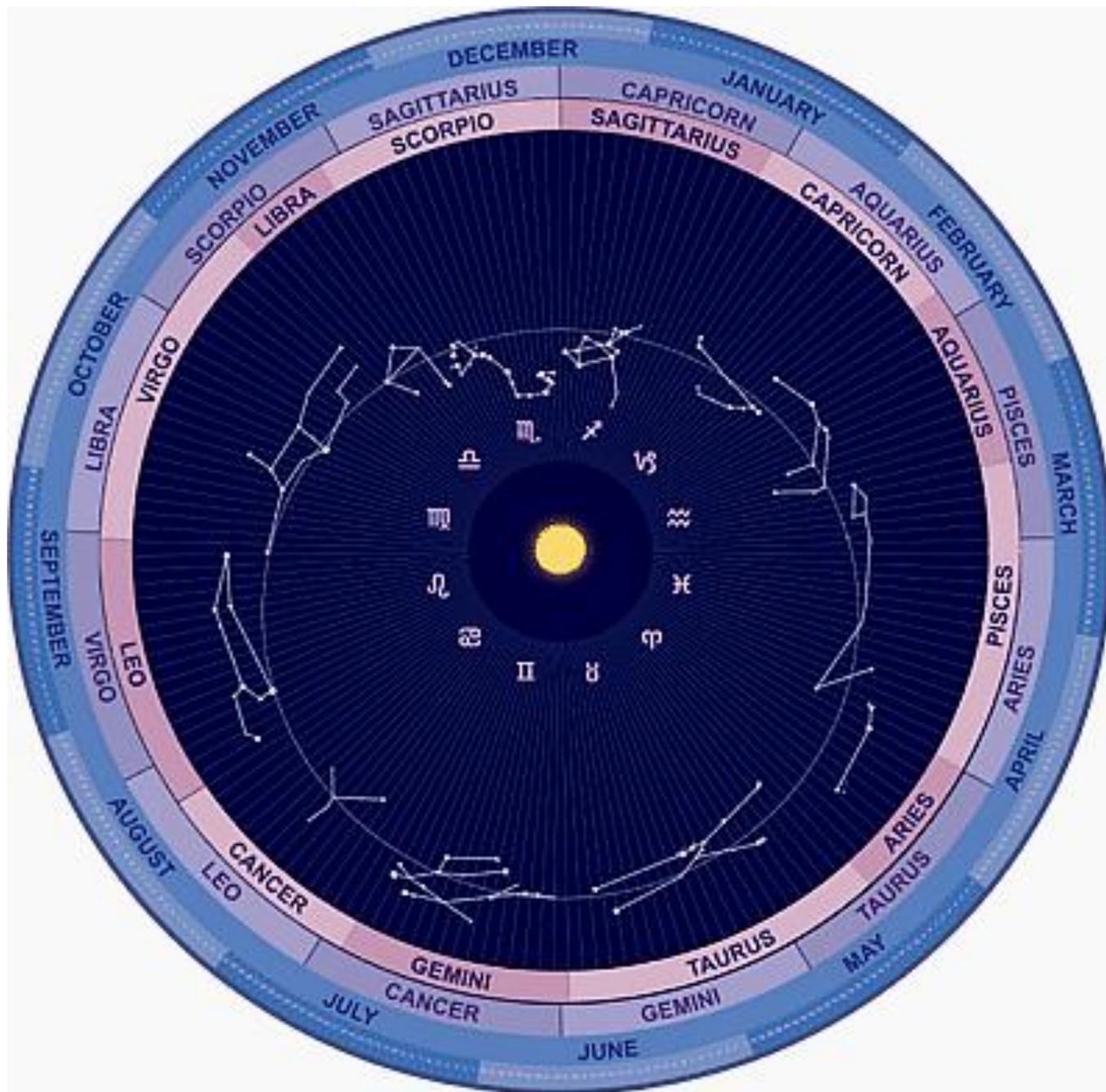
media: Az
varianza: $\rho^2(Az)$

$$\rho(Az) = \frac{|Y - Y_0|}{26000} \cdot \left| \frac{\cos(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \sin(Az)} \right| \quad (\text{gradi})$$

dove φ è la latitudine geografica del luogo di osservazione.

Lo spot di incertezza $\rho(Az)$ può essere considerato come la deviazione standard di una distribuzione Normale con media pari all'azimut Az precesso ottenuto con:

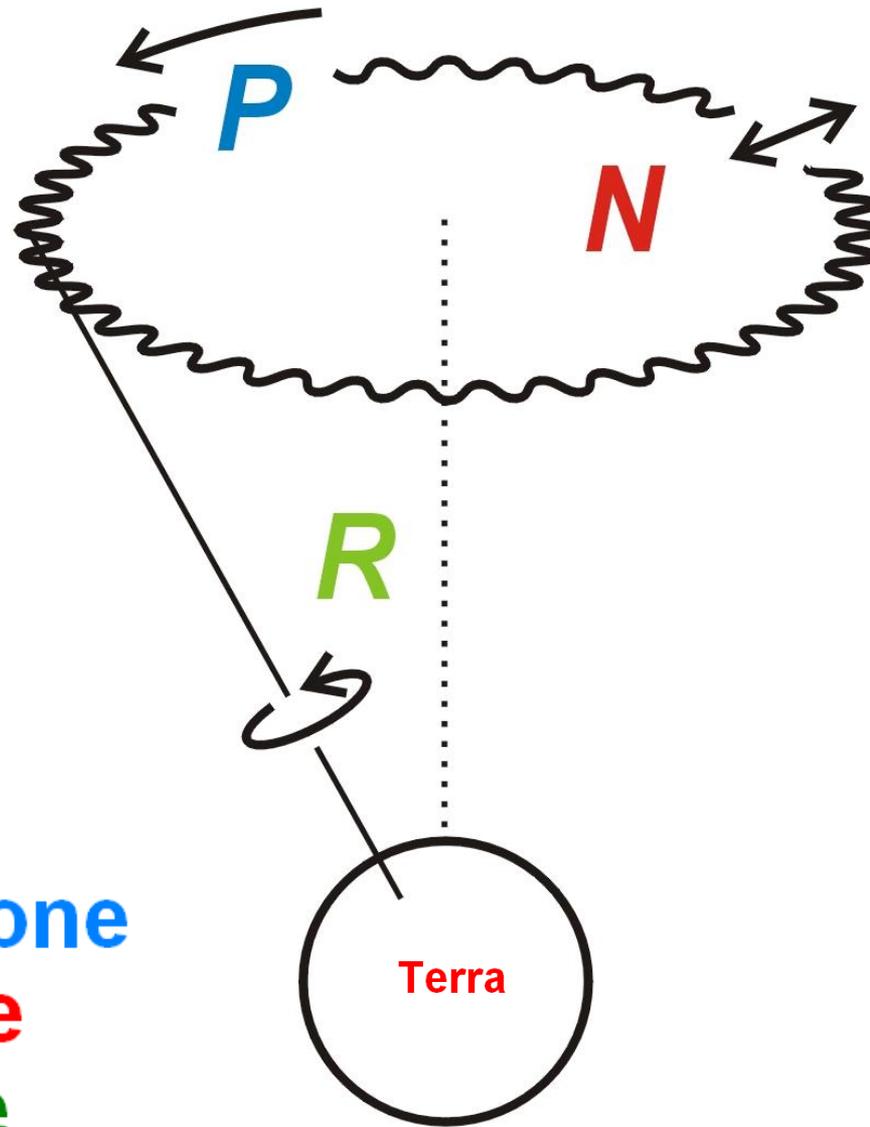
$$Az = \arccos \left(\frac{\sin(\delta)}{\cos(\varphi)} \right)$$



Nutazione

Il moto di precessione terrestre risulta essere perturbato dal fatto che la distanza tra la Luna e la Terra non è costante e di conseguenza la loro attrazione gravitazionale è variabile. Di conseguenza il cono precessionale risulta essere composto da una serie di onde di ampiezza 9'' che si ripetono ogni 18,6 anni. Questa vibrazione dell'asse terrestre prende appunto il nome di nutazione.

La Nutazione



P = precessione

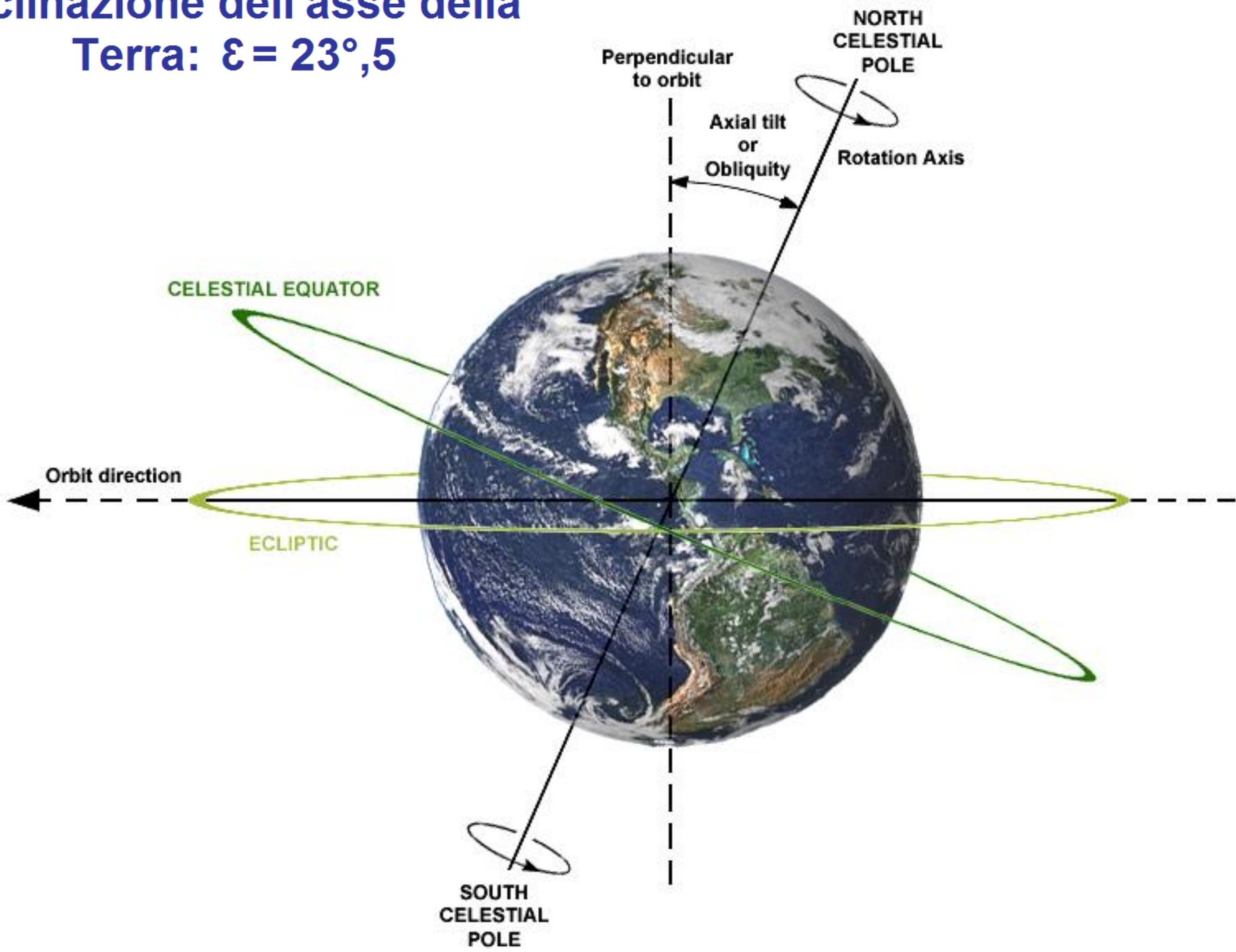
N = nutazione

R = rotazione

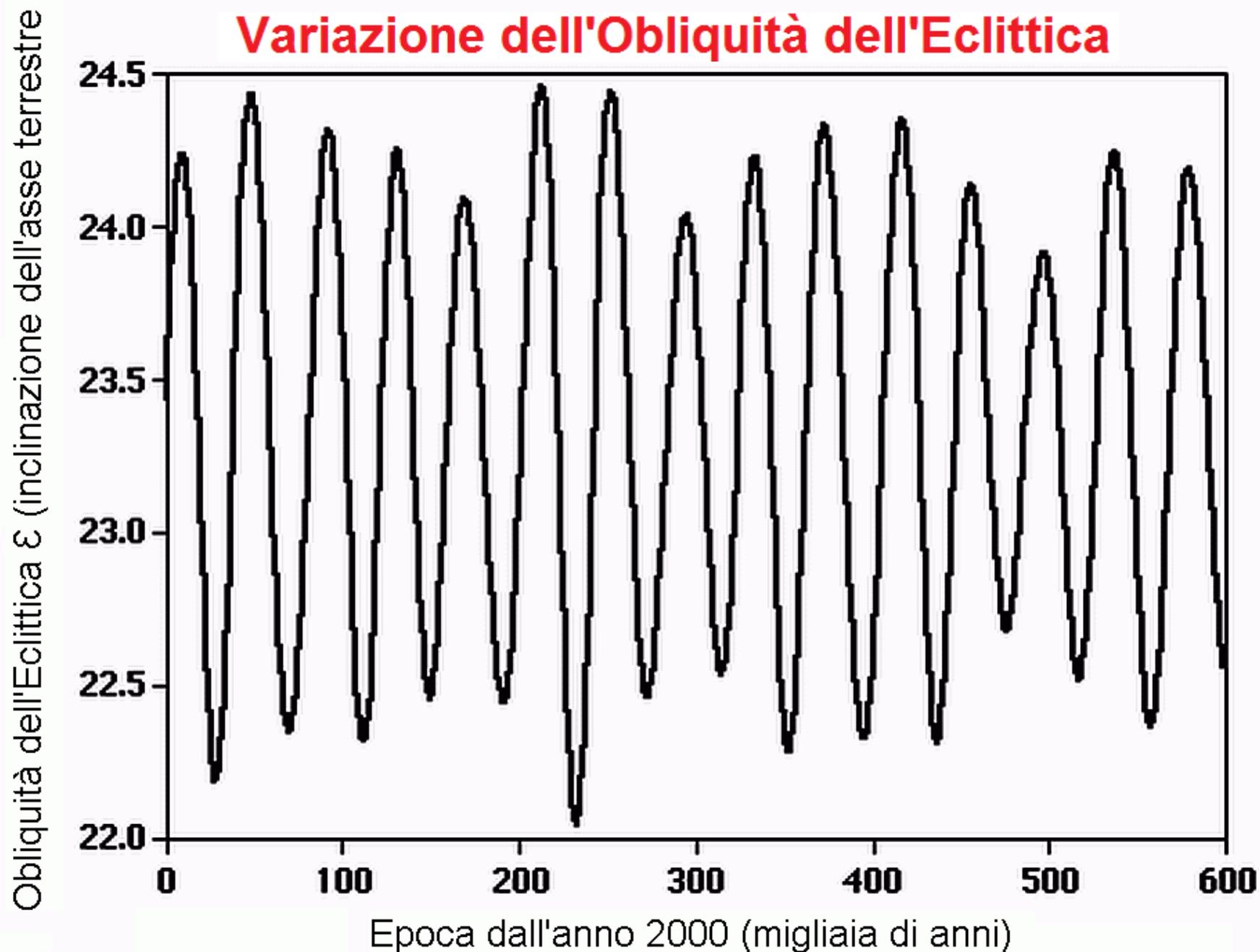
Astronomia per l'Archeoastronomia

L'inclinazione dell'asse della Terra (Obliquità dell'Eclittica)

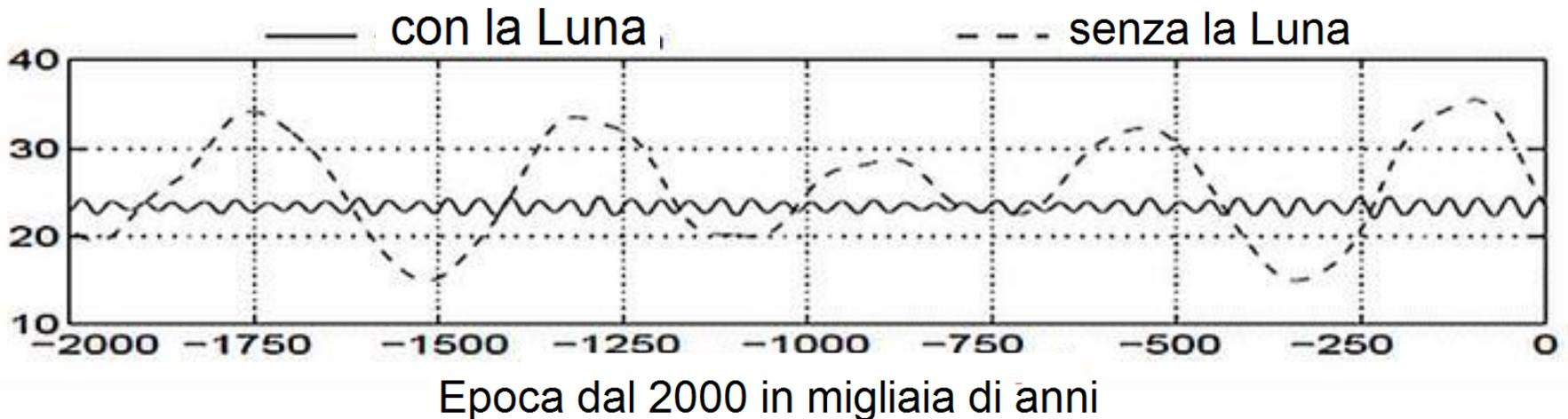
Inclinazione dell'asse della Terra: $\varepsilon = 23^{\circ},5$



Variazione dell'Obliquità dell'Eclittica

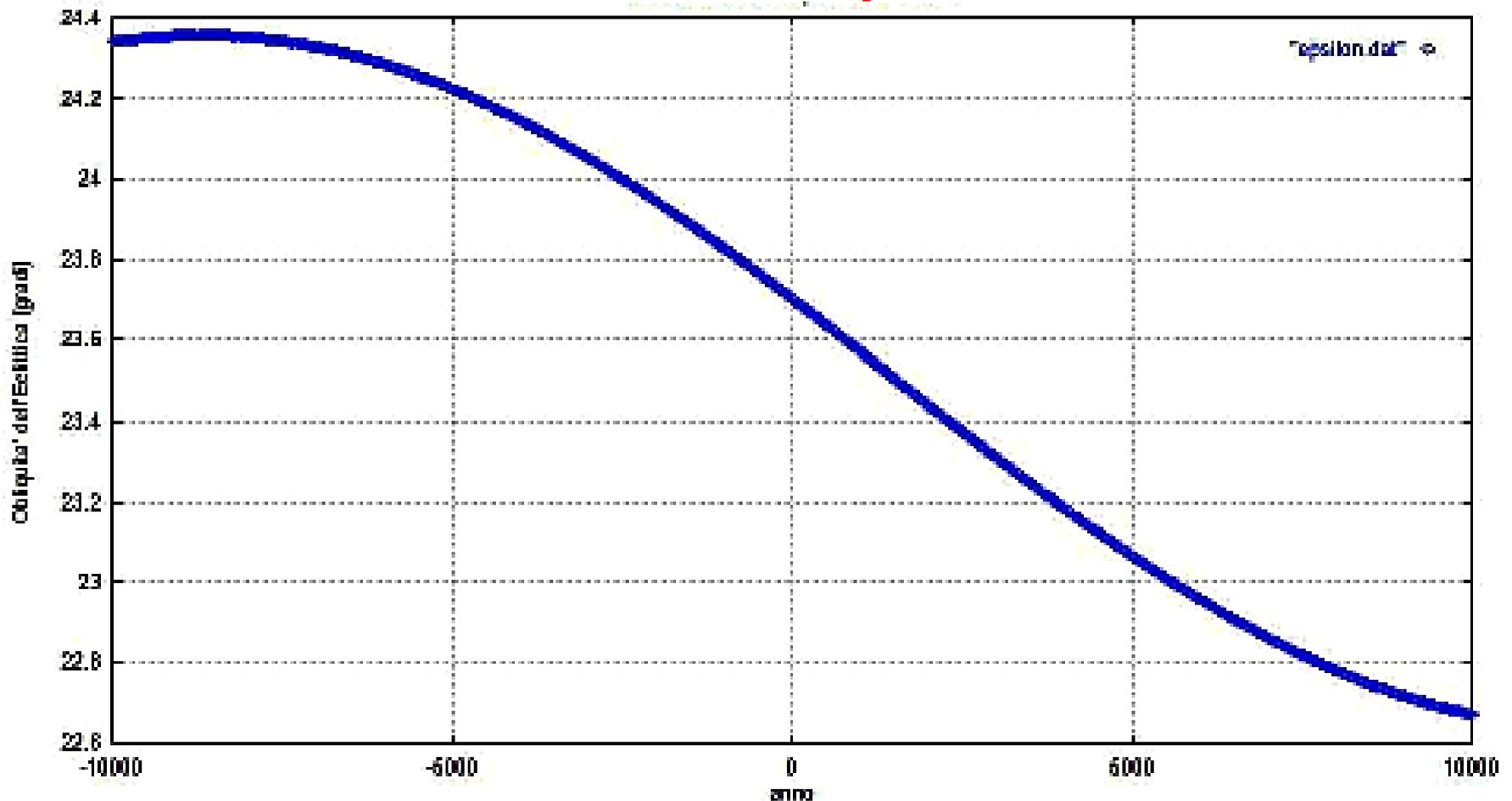


L'inclinazione dell'asse della Terra (Obliquità dell'Eclittica)



**Periodo di variazione dell'Obliquità
dell'Eclittica: 41013 anni**

Variazione dell'Obliquità dell'Eclittica



Variazione dell'inclinazione dell'orbita della Terra tra gli anni -10000 e 10000.

Variazione dell'Obliquità dell'Eclittica

Il valore dell'obliquità dell'eclittica ε deve essere quello calcolato per l'epoca di arrivo t , quindi avremo:

$$\varepsilon(t) = A_0 + A_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

in cui:

$$A_0 = 23^\circ,496932$$

$$A_1 = -0,860$$

$$\omega = 0,0087777 \text{ } ^\circ/\text{anno}$$

$$\phi = 13^\circ,69324$$

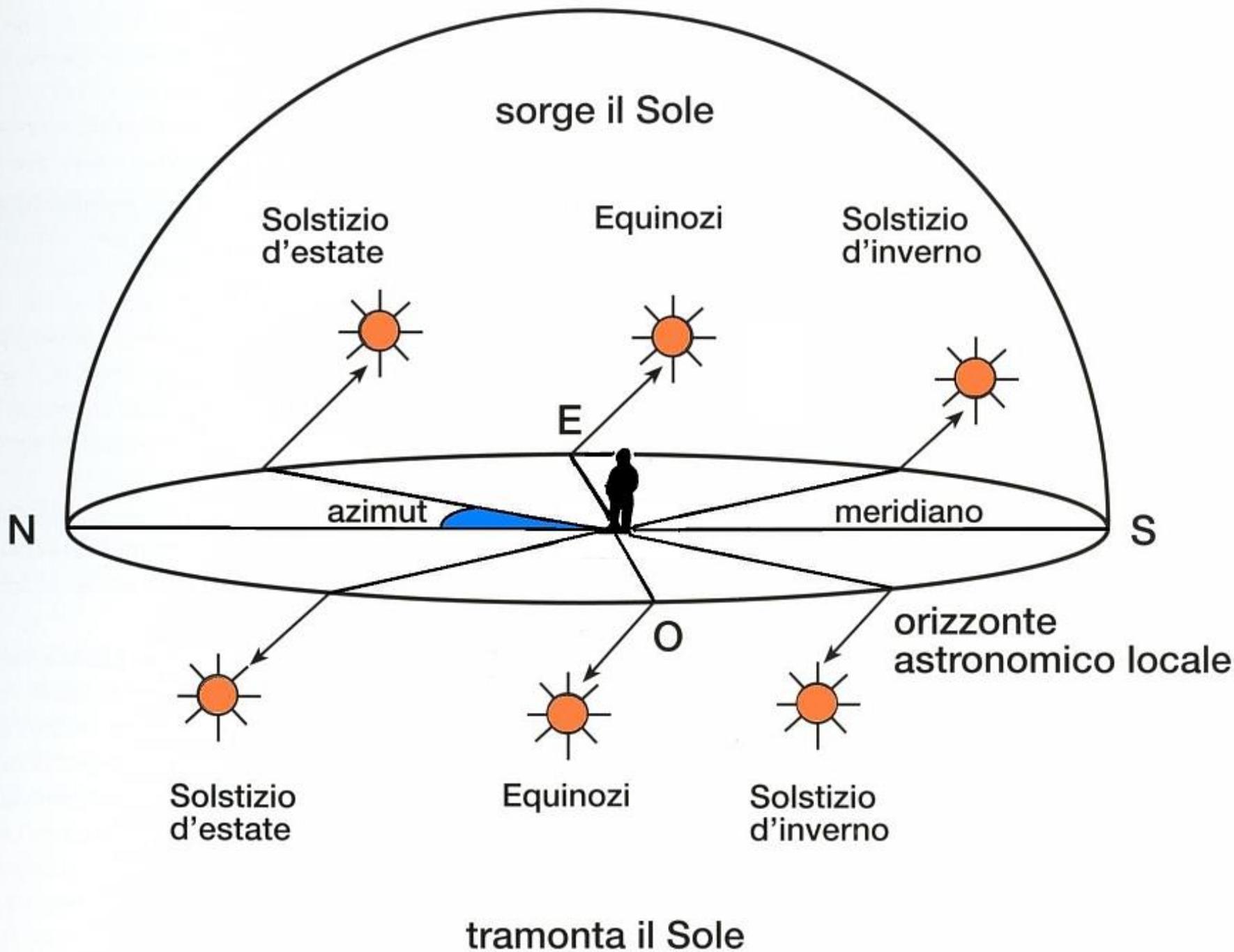
Il periodo di variazione dell'obliquità dell'eclittica è:

$$P_\omega = \frac{360^\circ}{\omega} = 41013,07 \text{ anni solari tropici}$$

Da ricordare bene....

Precessione: varia la posizione di sorgere e tramontare delle stelle all'orizzonte astronomico locale.

Variazione dell'obliquità dell'eclittica: varia la posizione di sorgere e di tramontare del Sole e della Luna all'orizzonte astronomico locale



Azimut Astronomico di sorgere del Sole:

$$Az = \arccos \left[\frac{\sin(\delta_{\odot}) - \sin(\varphi) \cdot \sin(hr)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(hr)} \right]$$

Azimut Astronomico di tramontare del Sole:

$$Az = \arccos \left[\frac{\sin(\delta_{\odot}) - \sin(\varphi) \cdot \sin(hs)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(hs)} \right]$$

dove:

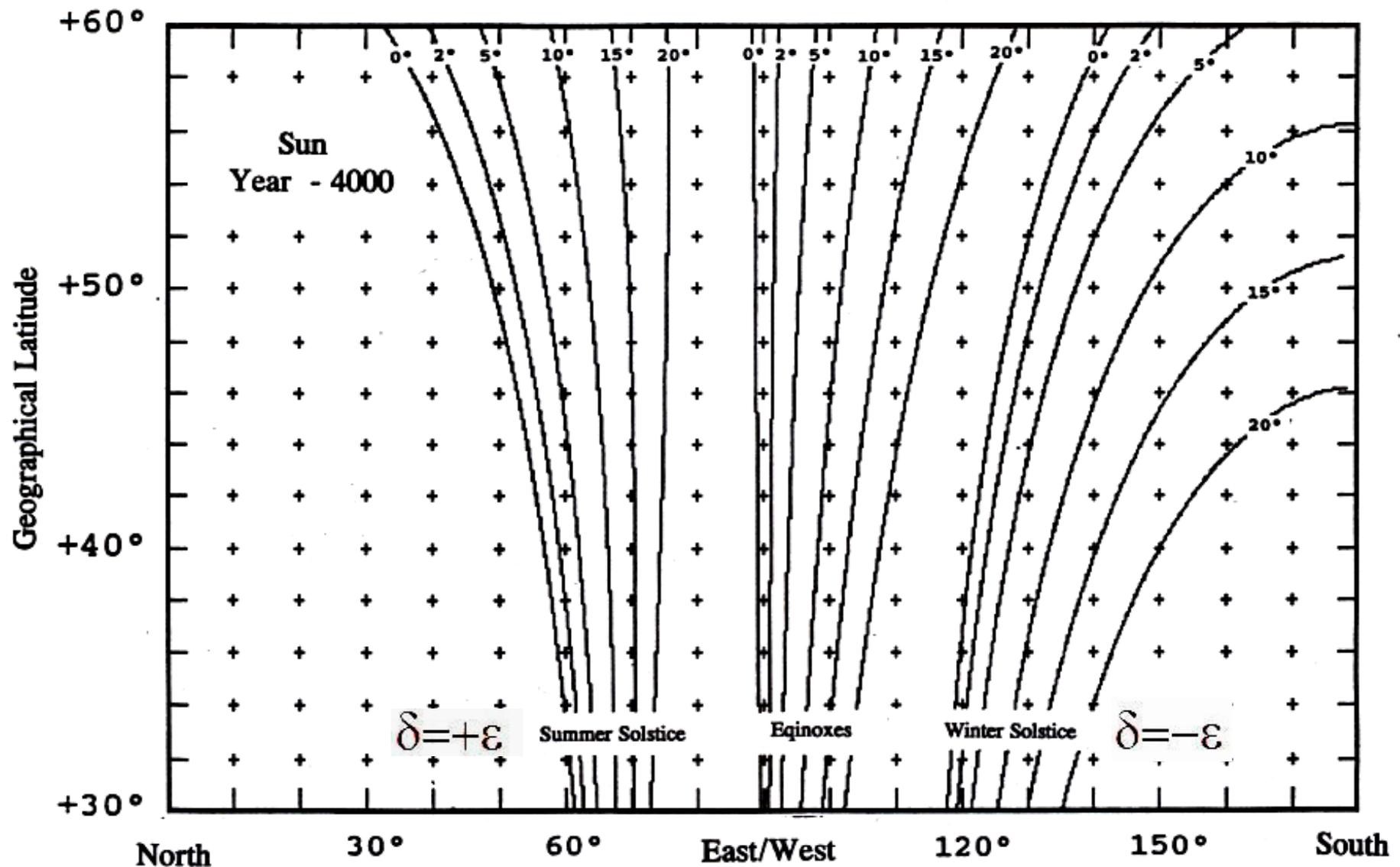
φ = Latitudine geografica

δ_{\odot} = Declinazione del Sole

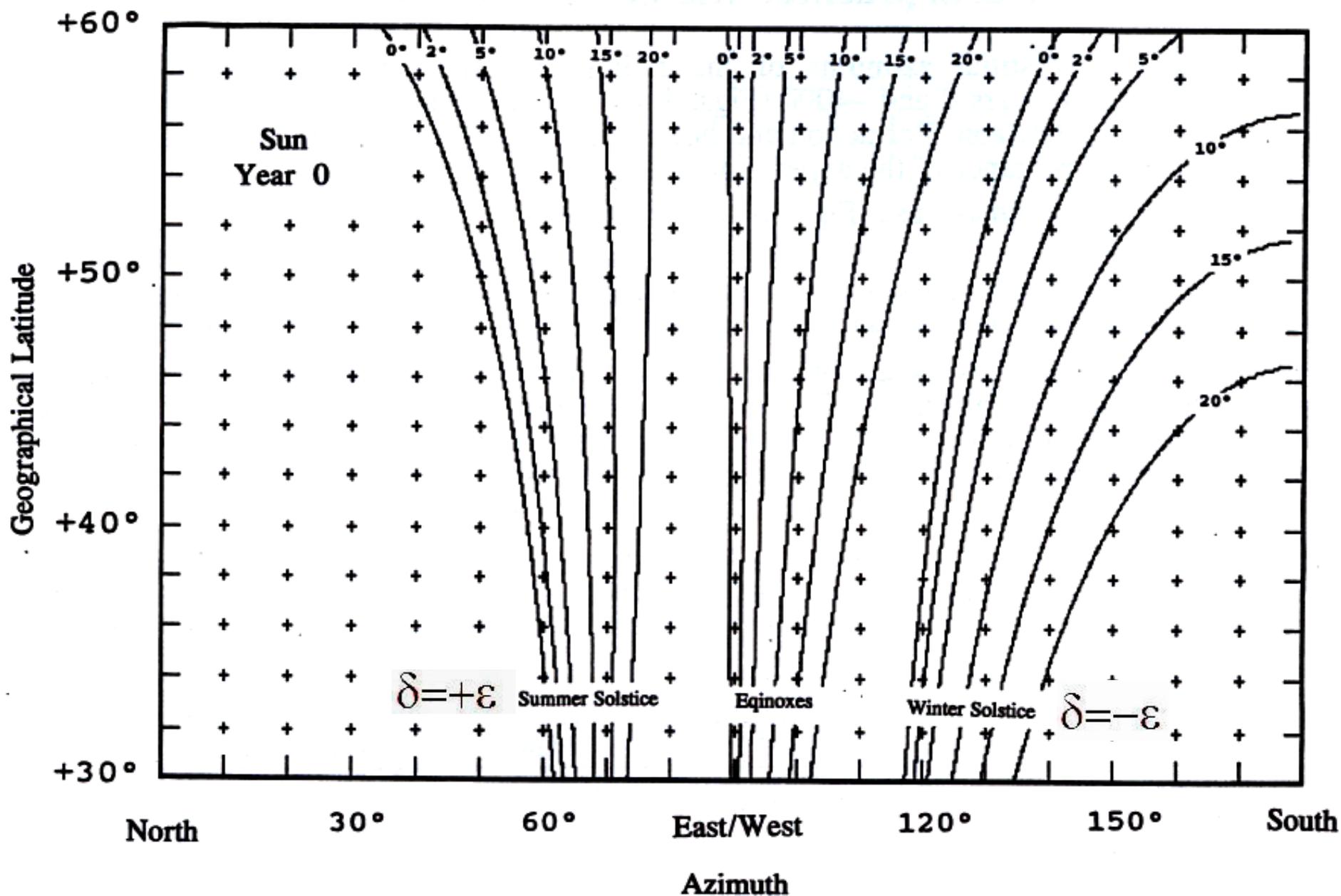
hr = Altezza angolare apparente dell'orizzonte naturale locale nella direzione di levata del Sole

hs = Altezza angolare apparente dell'orizzonte naturale locale nella direzione del tramonto del Sole

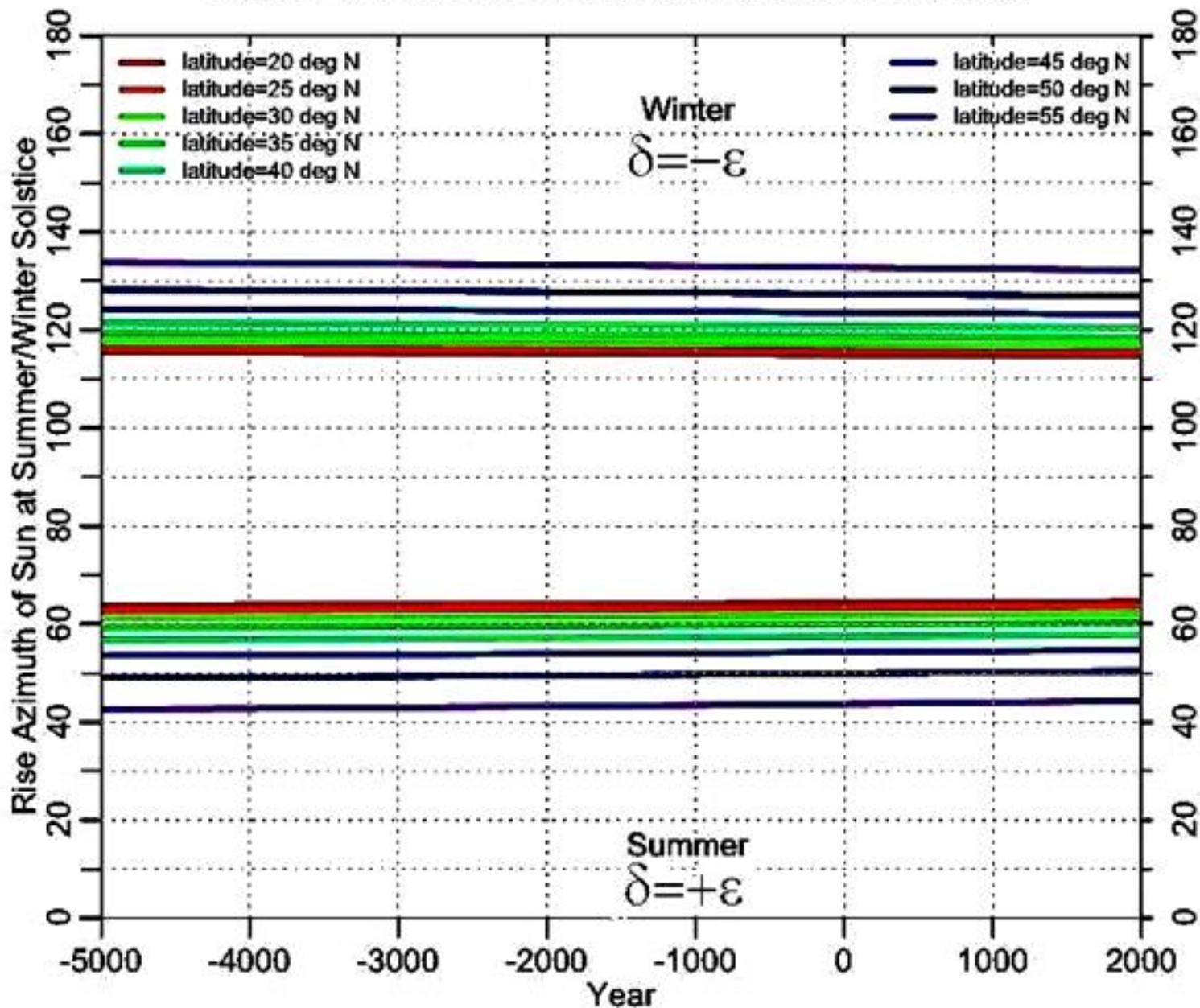
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare del Sole



Azimut Astronomico di sorgere/tramontare del Sole



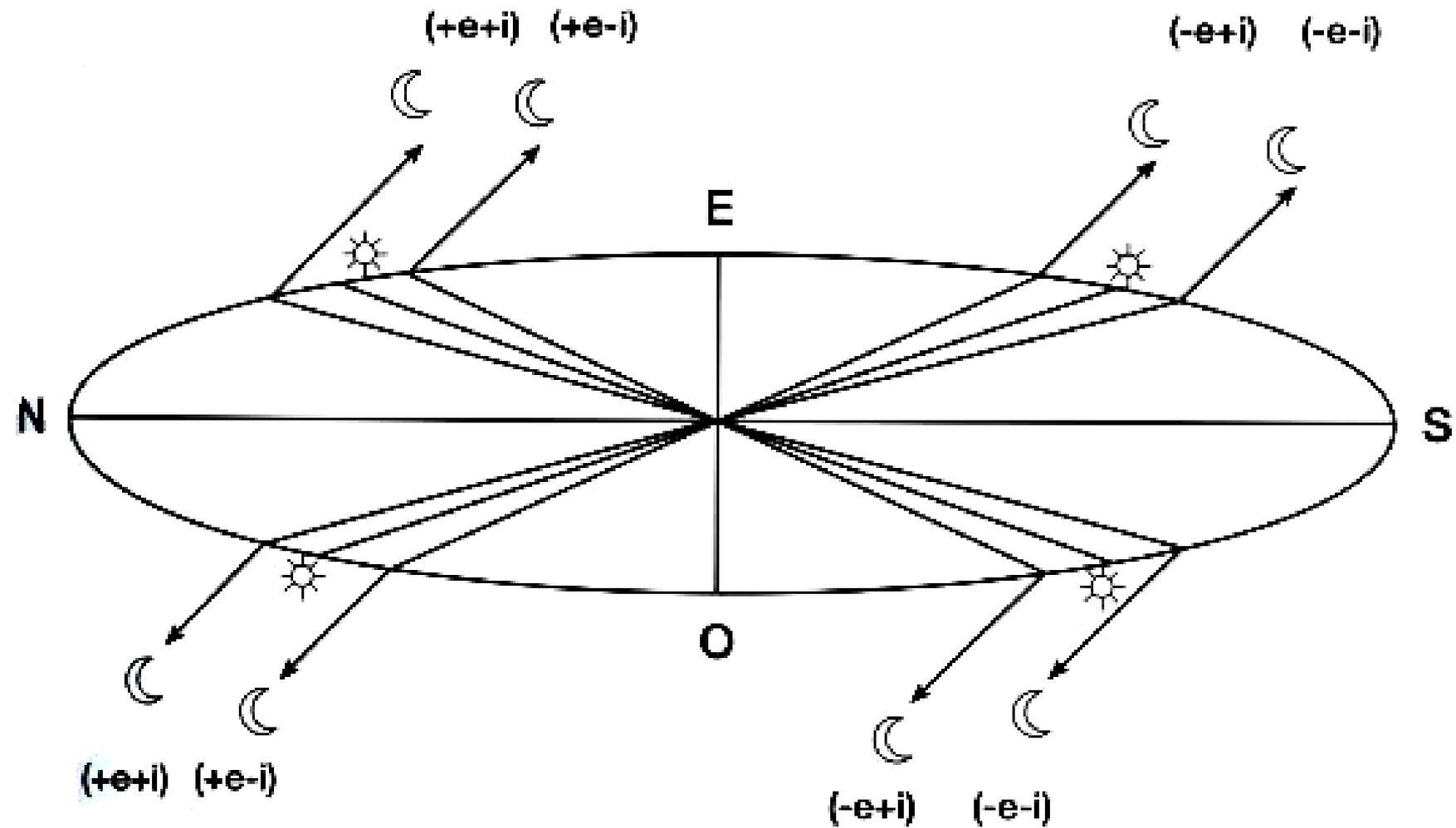
Rise Azimuth of Sun at Summer/Winter Solstice



sorge la Luna

Lunistizi superiori

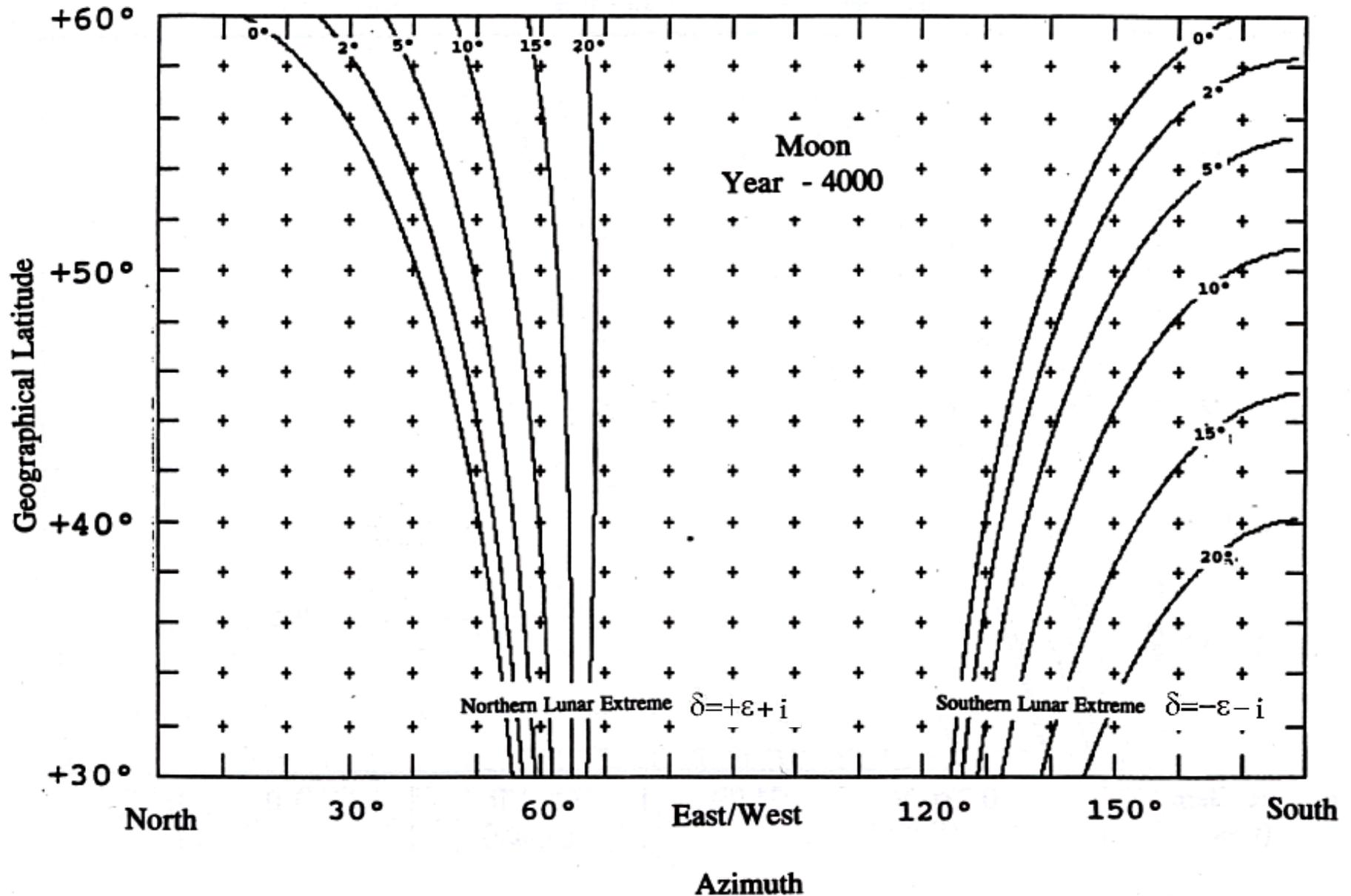
Lunistizi inferiori



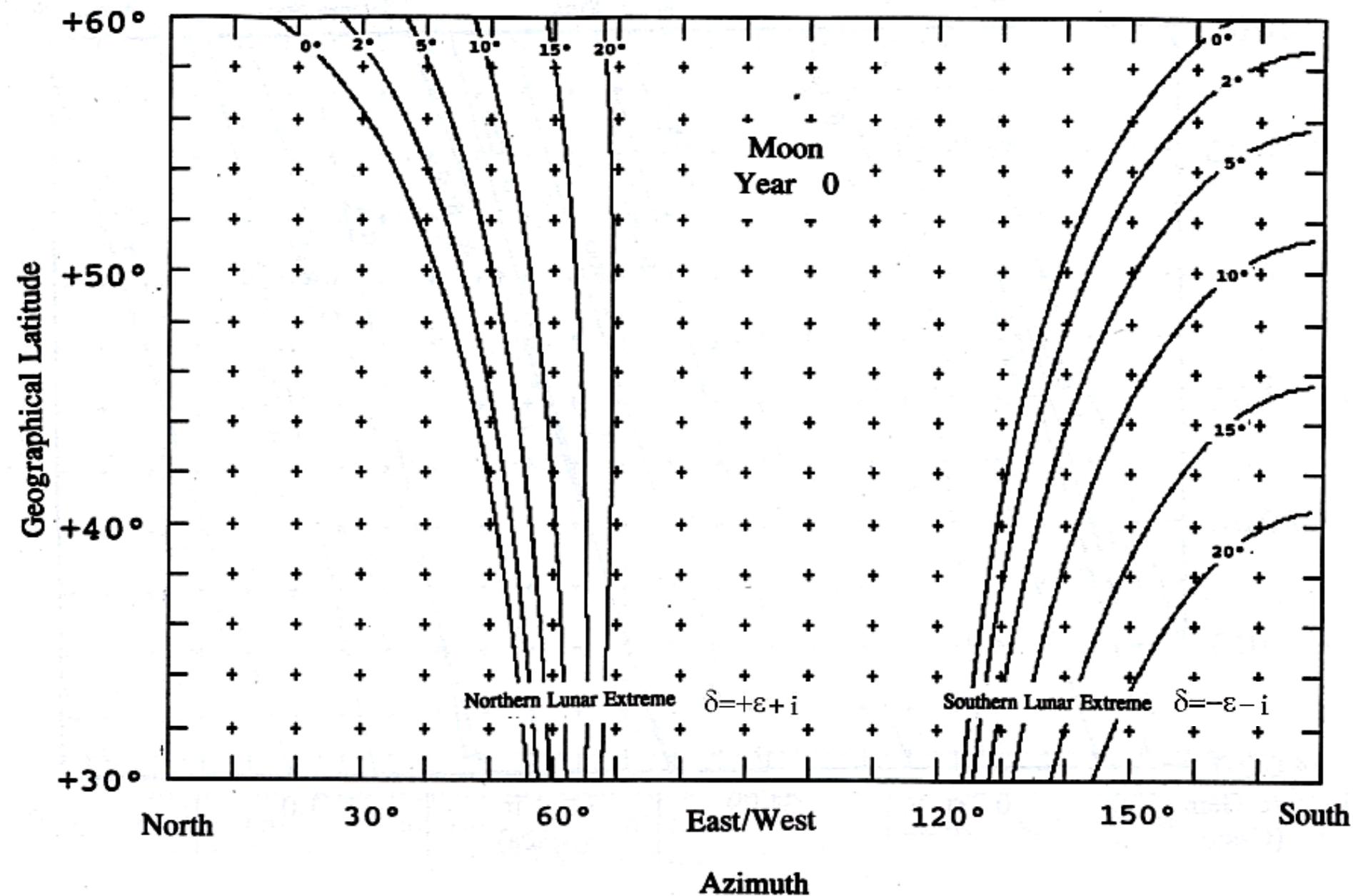
Lunistizi superiori

Lunistizi inferiori

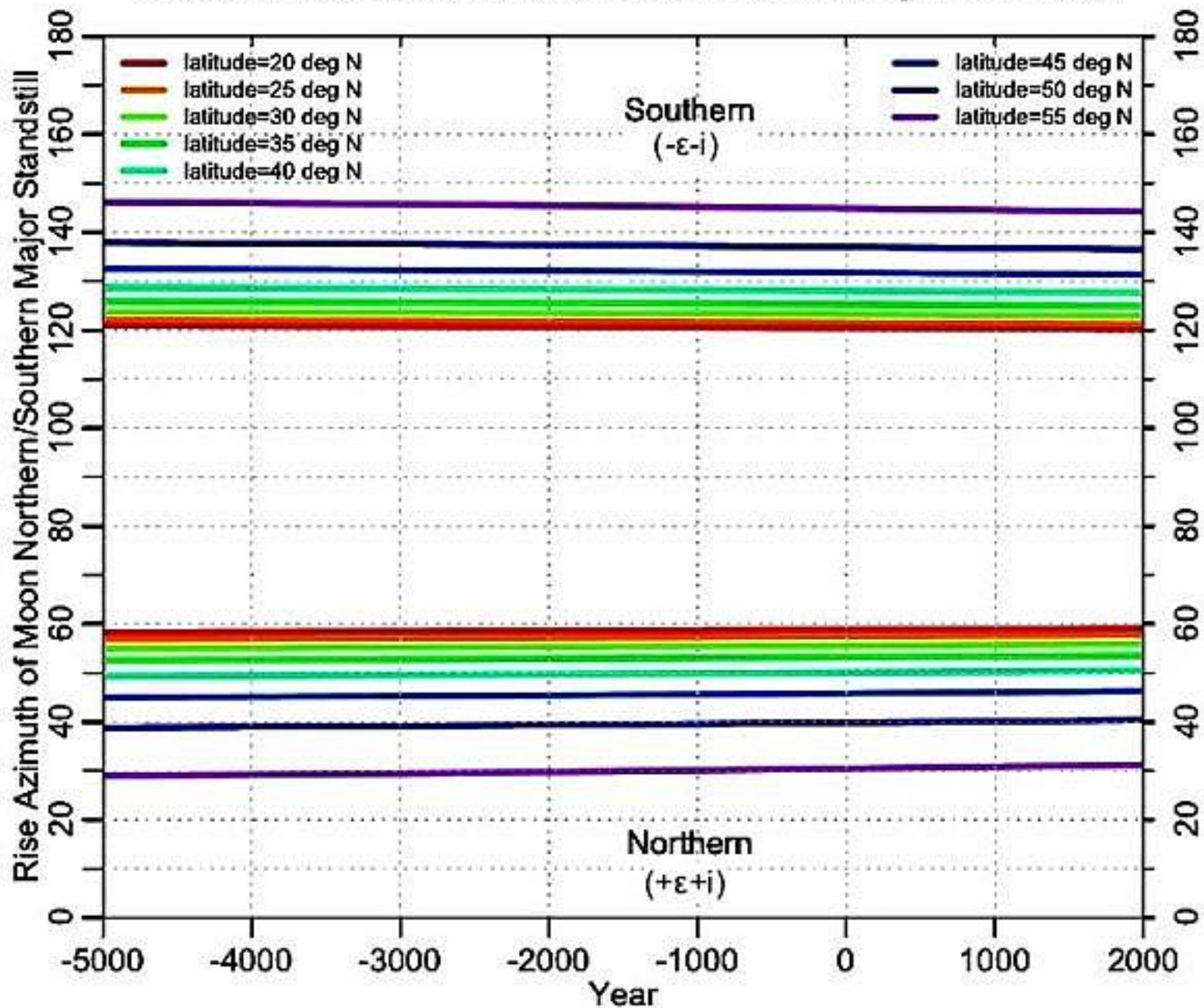
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare della Luna



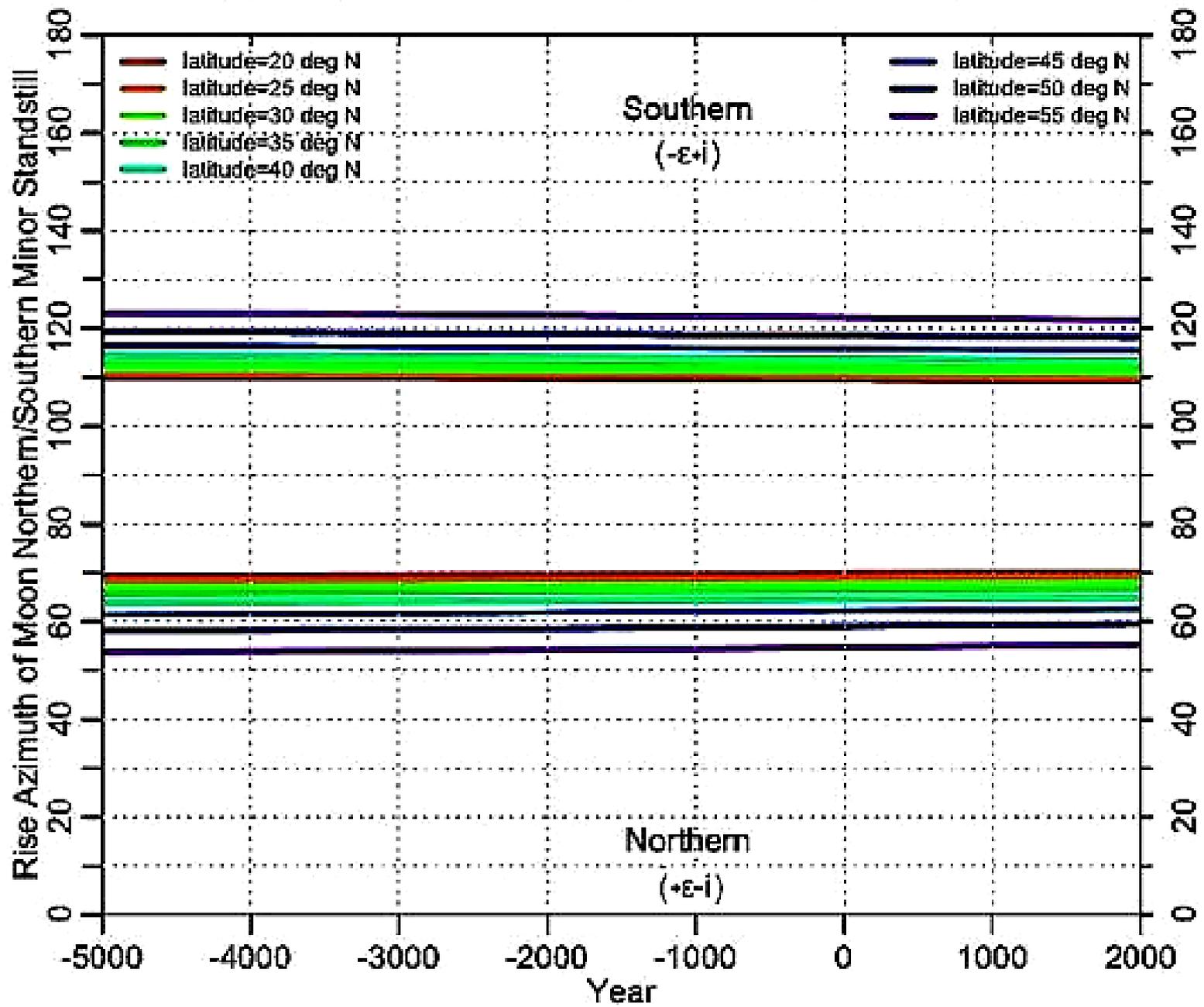
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare della Luna



Rise Azimuth of Moon Northern/Southern Major Standstill



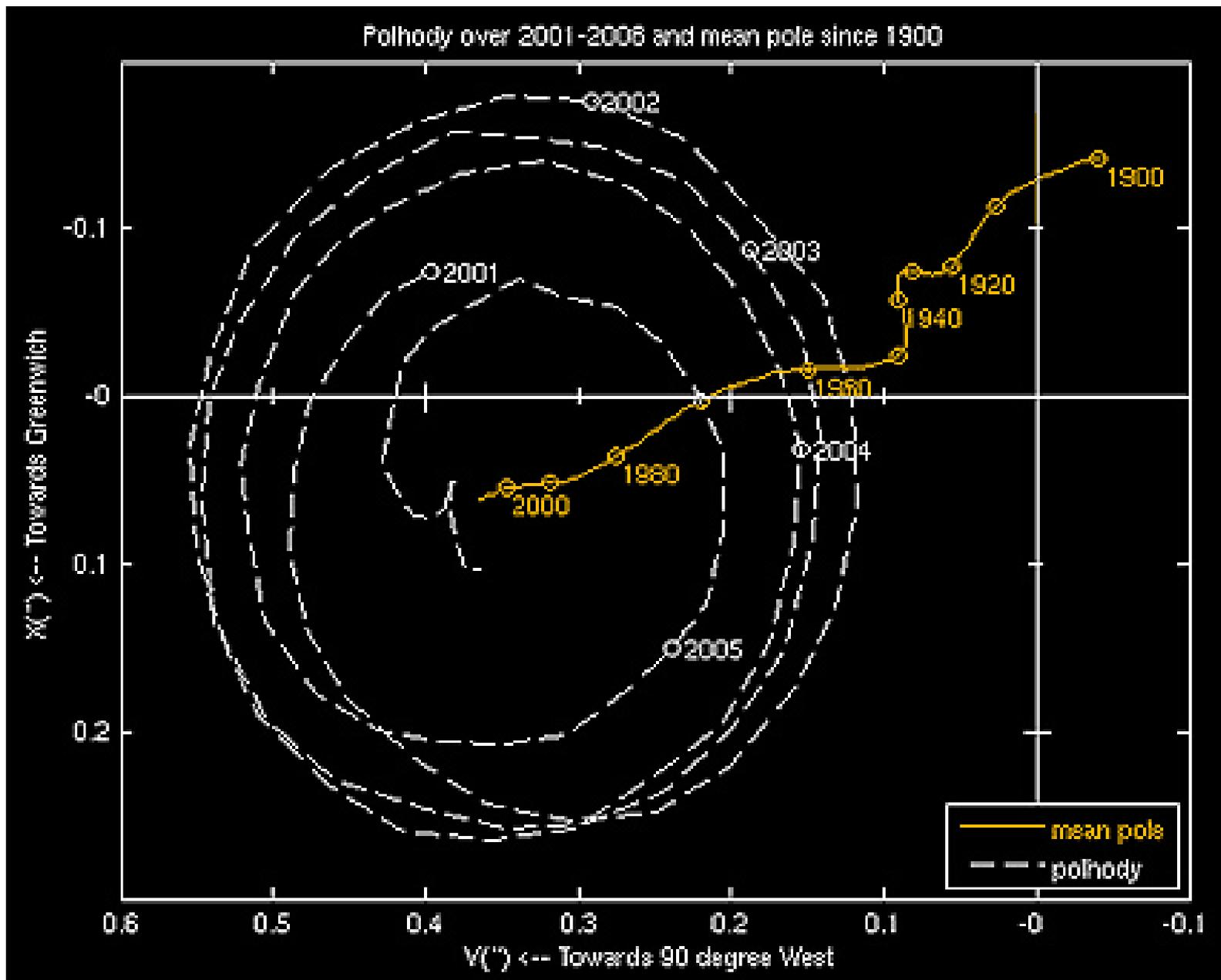
Rise Azimuth of Moon Northern/Southern Minor Standstill



Polodia

A causa di eventi, come spostamenti di masse d'acqua o movimenti interni al globo terrestre, i poli del nostro pianeta subiscono dei continui ed imprevedibili spostamenti. La linea che essi proiettano sulla terra lungo il loro percorso è detta polodia, cioè “strada dei poli”

Polodia



Variazione di eccentricità dell'orbita della Terra

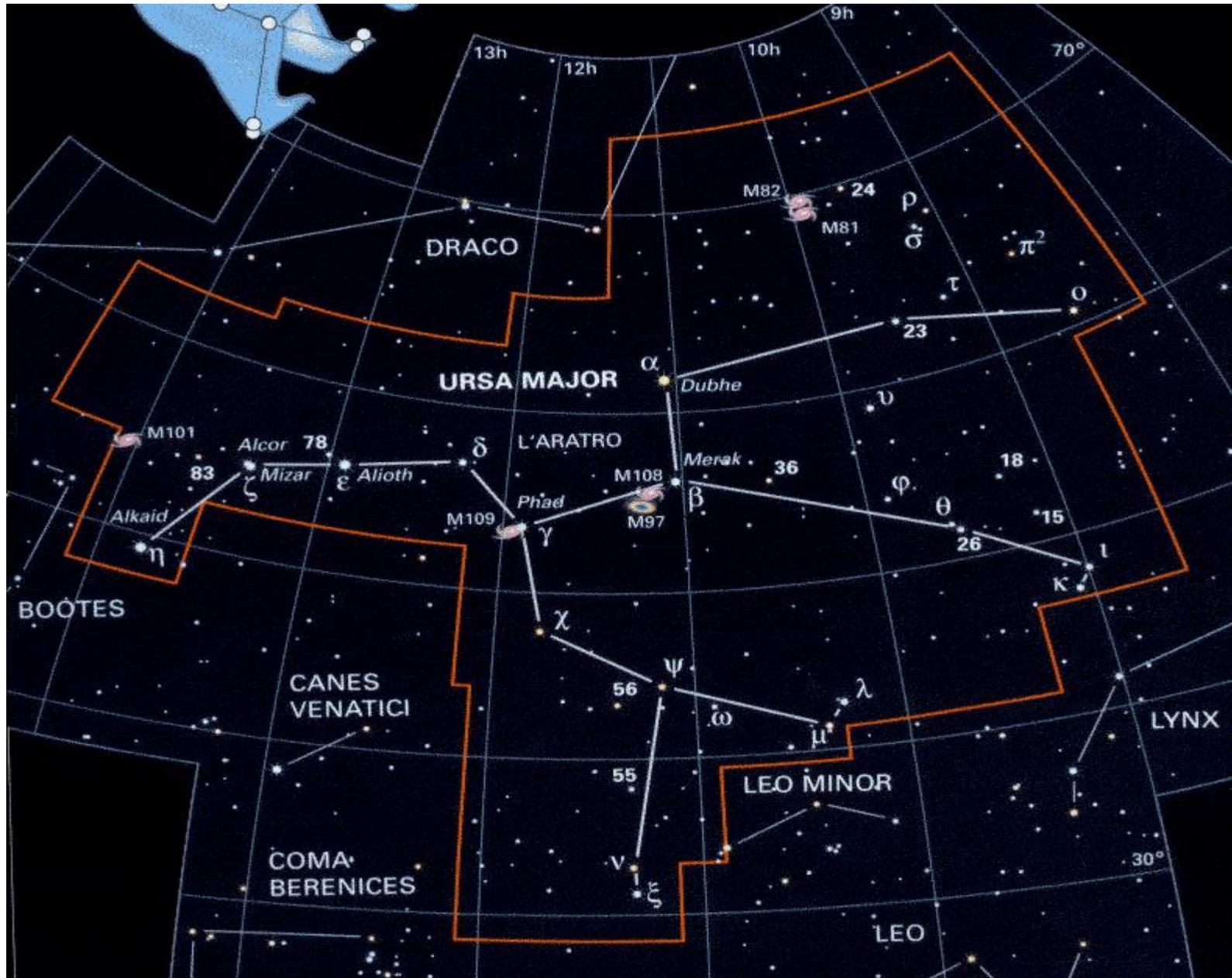
- A causa della forza di gravità che i pianeti esercitano sulla Terra, l'eccentricità del nostro pianeta varia con un periodo di 92 000 anni

Rallentamento della rotazione terrestre

- A causa dell' attrito delle masse d'acqua che si spostano durante le maree, il movimento di rotazione terrestre risulta essere leggermente rallentato ciclicamente

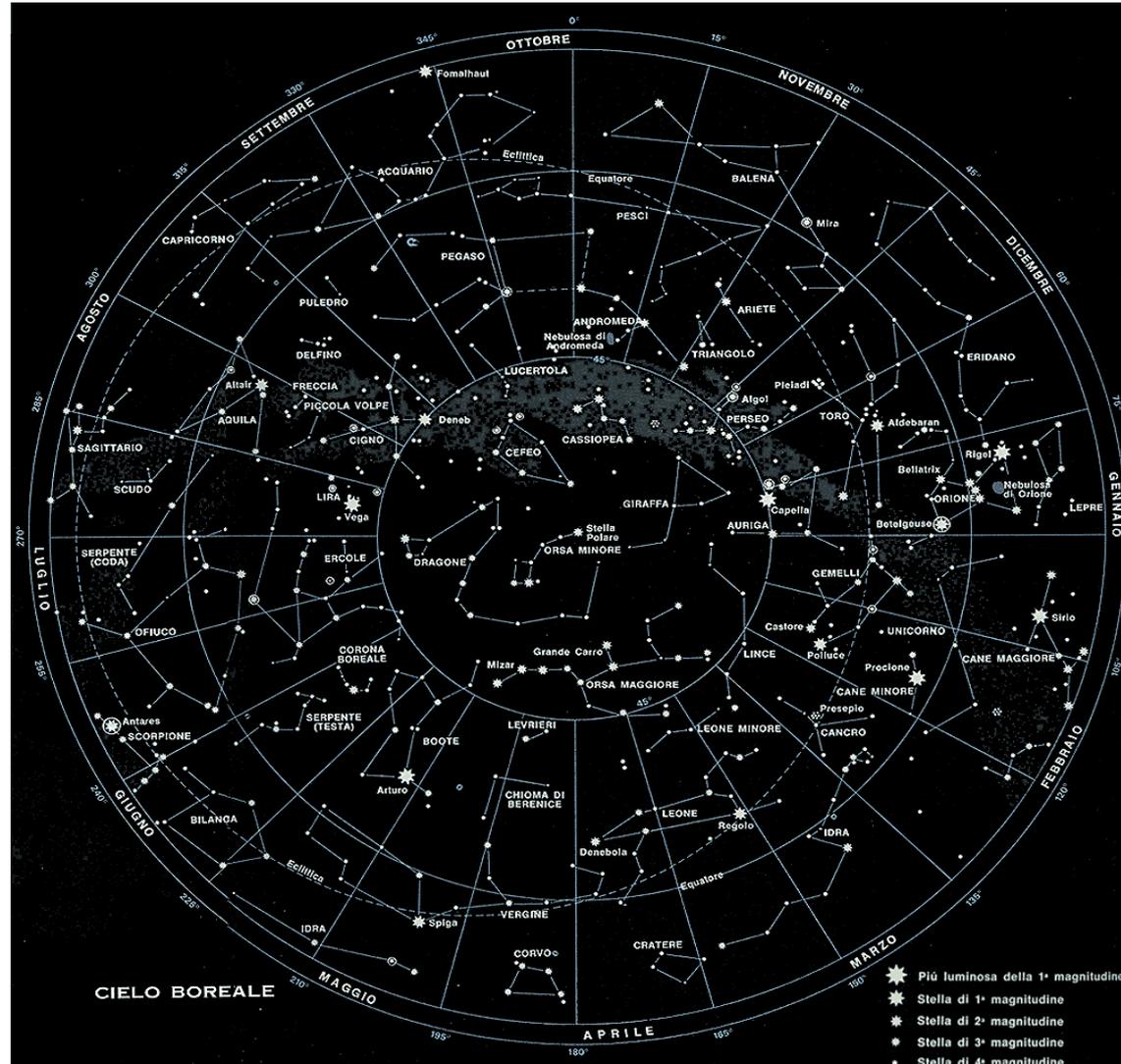
importante per il calcolo delle eclissi antiche

Mappa stellare



Le costellazioni oggi

- L'Unione Astronomica Internazionale (UAI) divide il cielo in 88 costellazioni ufficiali con confini precisi, di modo che ogni direzione appartenga esattamente a una costellazione. Queste sono basate principalmente sulle costellazioni della tradizione dell'antica Grecia, tramandate attraverso il Medioevo



Sorgere delle stelle e delle costellazioni



**Le coordinate di ciascun astro
variano nel tempo...**

**...è quindi necessario ricostruire,
mediante simulazione, l'aspetto del
cielo visibile nell'antichità.**

Modalità di Analisi

**Esistono tre modi per eseguire l'analisi
archeoastronomica di un sito archeologico**

- 1) Mediante il calcolo astronomico manuale,**
- 2) Interattivamente (usando un software di
simulazione del cielo antico),**
- 3) Mediante un sistema di analisi automatizzata
basato su tecniche di intelligenza artificiale.**

Mediante il calcolo astronomico manuale,

Dall'Azimut Astronomico di ciascun allineamento e dall'altezza angolare apparente dell'orizzonte naturale locale, si calcola la corrispondente declinazione (con il suo margine d'errore) la quale identifica una fascia sulla Sfera Celeste. Gli astri presenti in tale fascia in una determinata epoca sono tutti possibili targets astronomici per quell'allineamento.

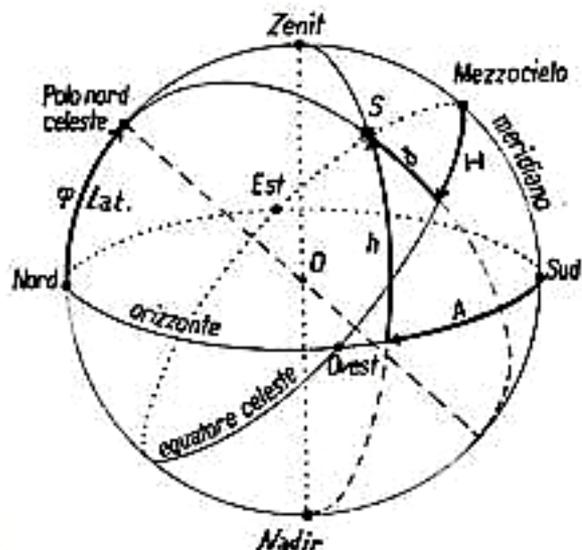
Formule di Eulero

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(H)$$

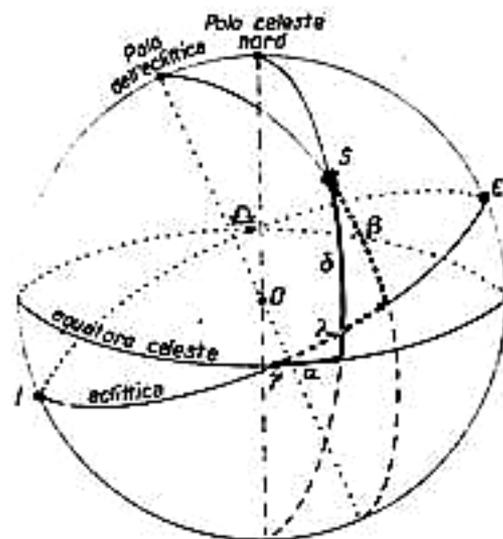
$$\cos(Az) = [\sin(\delta) - \sin(\varphi) \sin(h)] / [\cos(\varphi) \cos(h)]$$

da cui:

$$\sin(\delta) = \sin(h) \sin(\varphi) - \cos(h) \cos(Az) \cos(\varphi)$$



Rappresentazione sulla sfera celeste delle coordinate altazimutali (h, A) ed orarie (δ, H).



Rappresentazione sulla sfera celeste delle coordinate equatoriali celesti (δ, α) ed eclittiche (β, λ).

TRASFORMAZIONI DI COORDINATE

Il sistema di coordinate orarie e quello altazimutale sono legati dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \cos h \cos A &= \cos \delta \cos H \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi \\ \cos h \sin A &= \cos \delta \sin H \\ \sin h &= \cos \delta \cos H \cos \varphi + \sin \delta \sin \varphi \end{aligned}$$

e inversamente:

$$\begin{aligned} \cos \delta \cos H &= \cos h \cos A \sin \varphi + \sin h \cos \varphi \\ \cos \delta \sin H &= \cos h \sin A \\ \sin \delta &= \sin h \sin \varphi - \cos h \cos A \cos \varphi \end{aligned}$$

indicando con φ la latitudine geografica dell'osservatore.

Analisi Interattiva

Richiede un software di simulazione del cielo antico installato su computer

la magnitudine delle stelle più deboli che servono per l'Archeoastronomia e la terza

Però.....

L'Astronomia Sferica e la Meccanica Celeste permettono di calcolare la posizione reciproca degli oggetti celesti avanti e indietro nel tempo.

Esiste del Software per farlo...

Software di Simulazione del Cielo

a) Adatti all'Archeoastronomia

=> Consentono di ricostruire il cielo molti secoli indietro nel tempo con precisione

=> Consentono il calcolo delle effemeridi (tabelle di coordinate dei corpi celesti) calcolate molto indietro nel tempo. Soprattutto la Luna...

=> Il livello di accuratezza deve essere noto

b) Non adatti...

Tutti gli altri...

Programmi attualmente disponibili

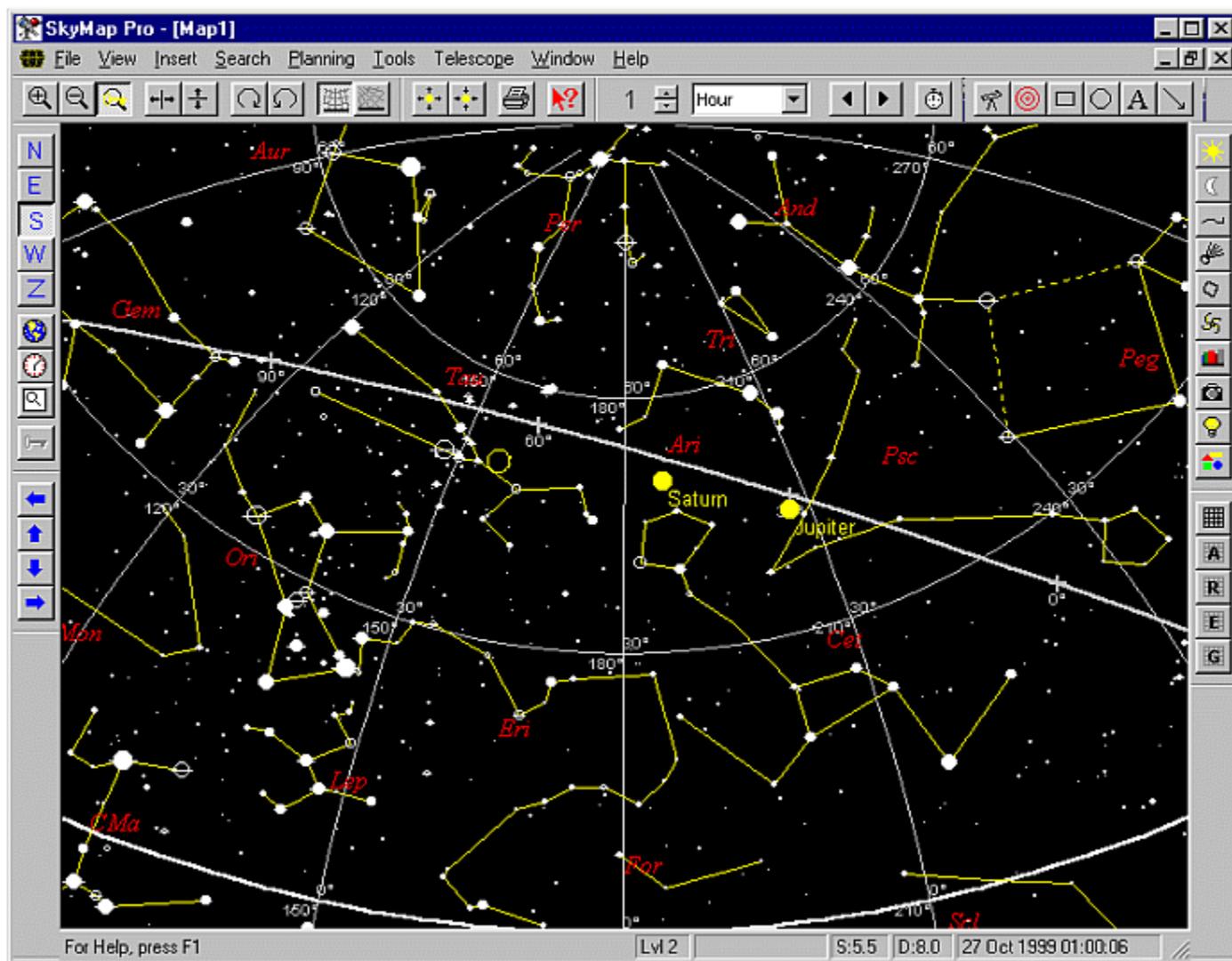
(Adatti all'Archeoastronomia)

SkyMap Pro 12	\$
Stellarium	gratis
CIEL	\$
Star Chart	\$
Perseus	\$
Solex	gratis
Starry Night	\$
Guide	\$
Voyager (MacOS)	\$

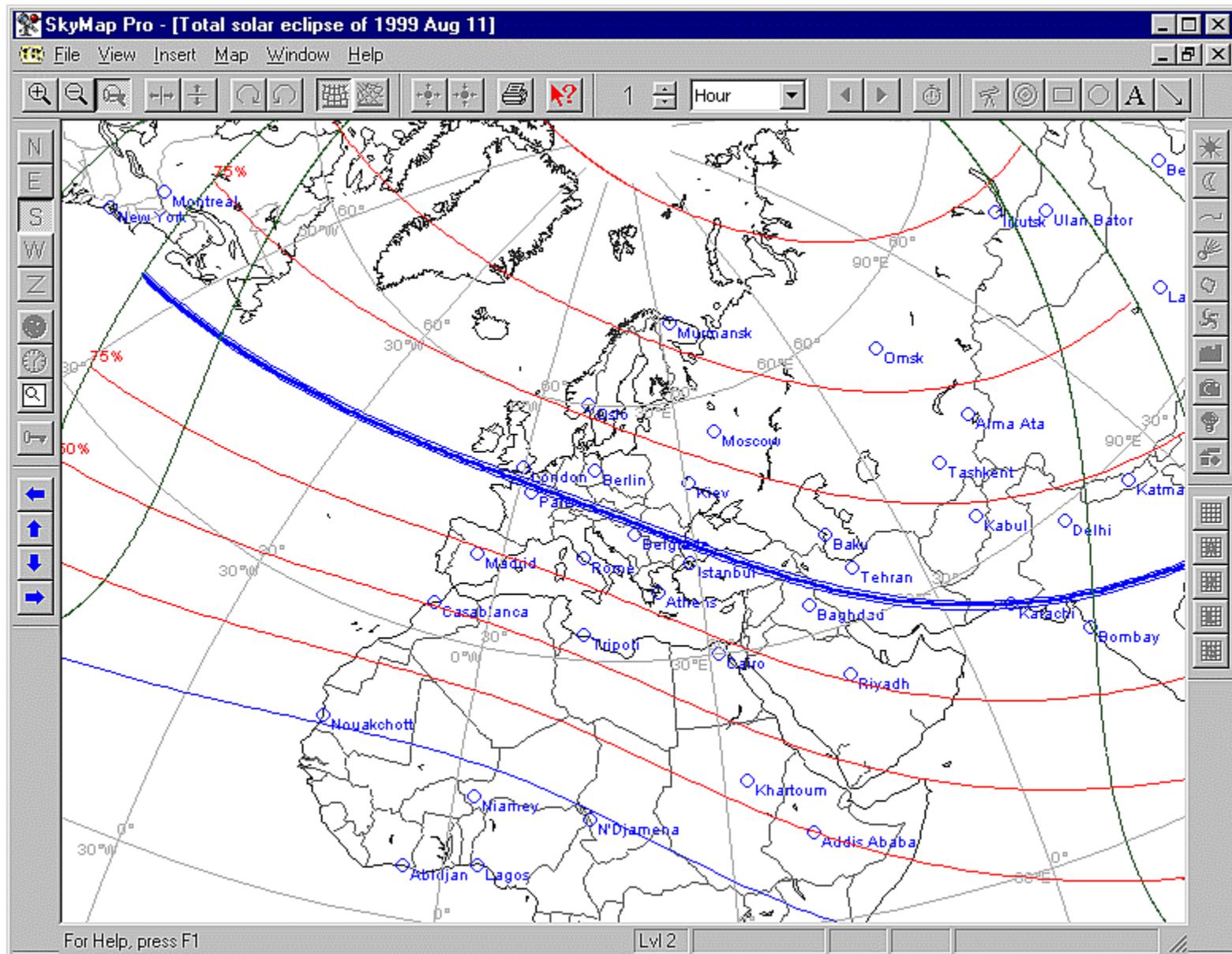


SkyMap Pro Sample 1

General Map View



Calcolo delle Eclissi con SkyMap Pro



Calcolo delle Eclissi con SkyMap Pro

