



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

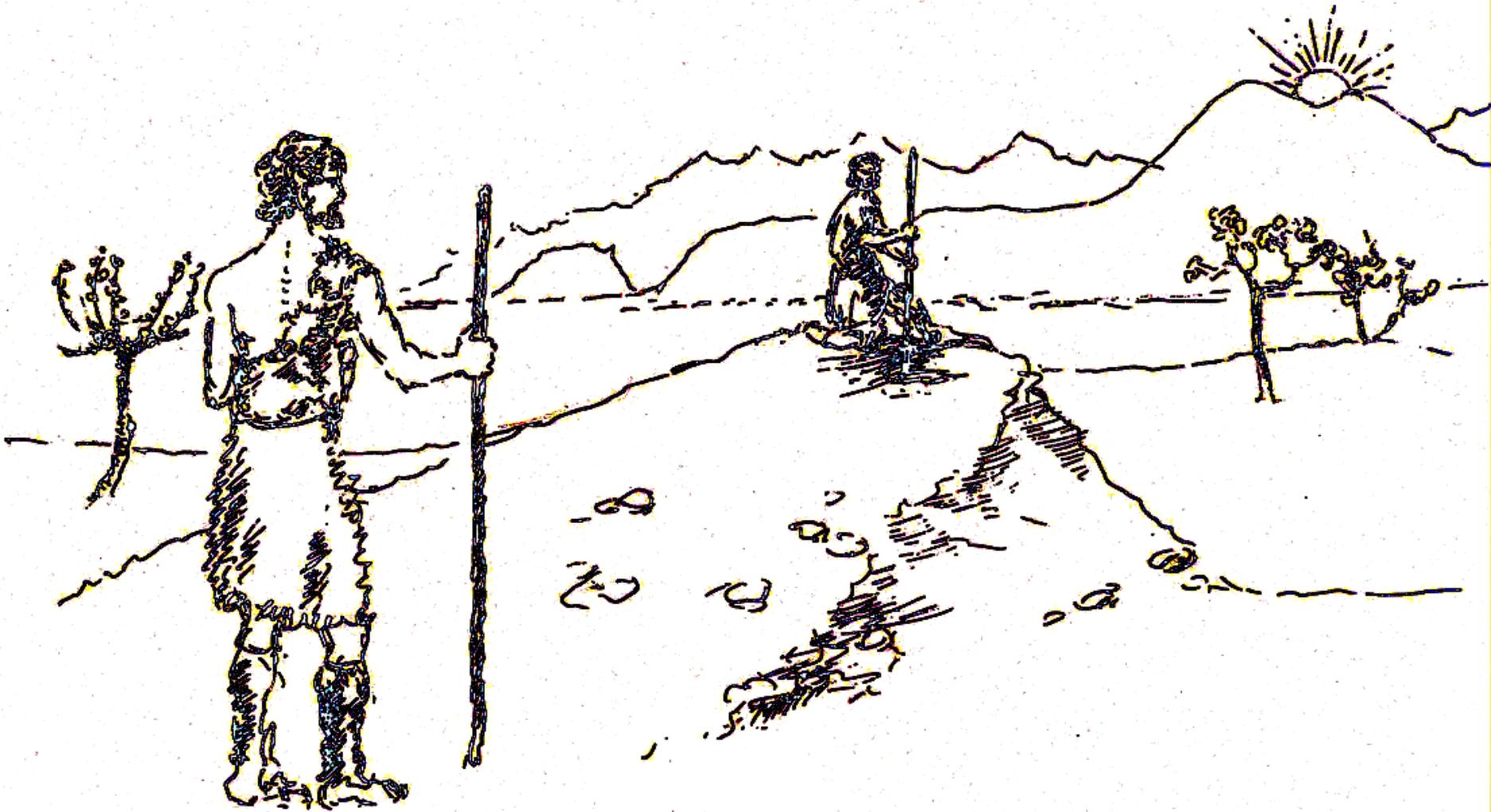
Corso di Archeoastronomia

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 26

Il Calcolo Astronomico e la Simulazione del Cielo Antico

Allineamento astronomico



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

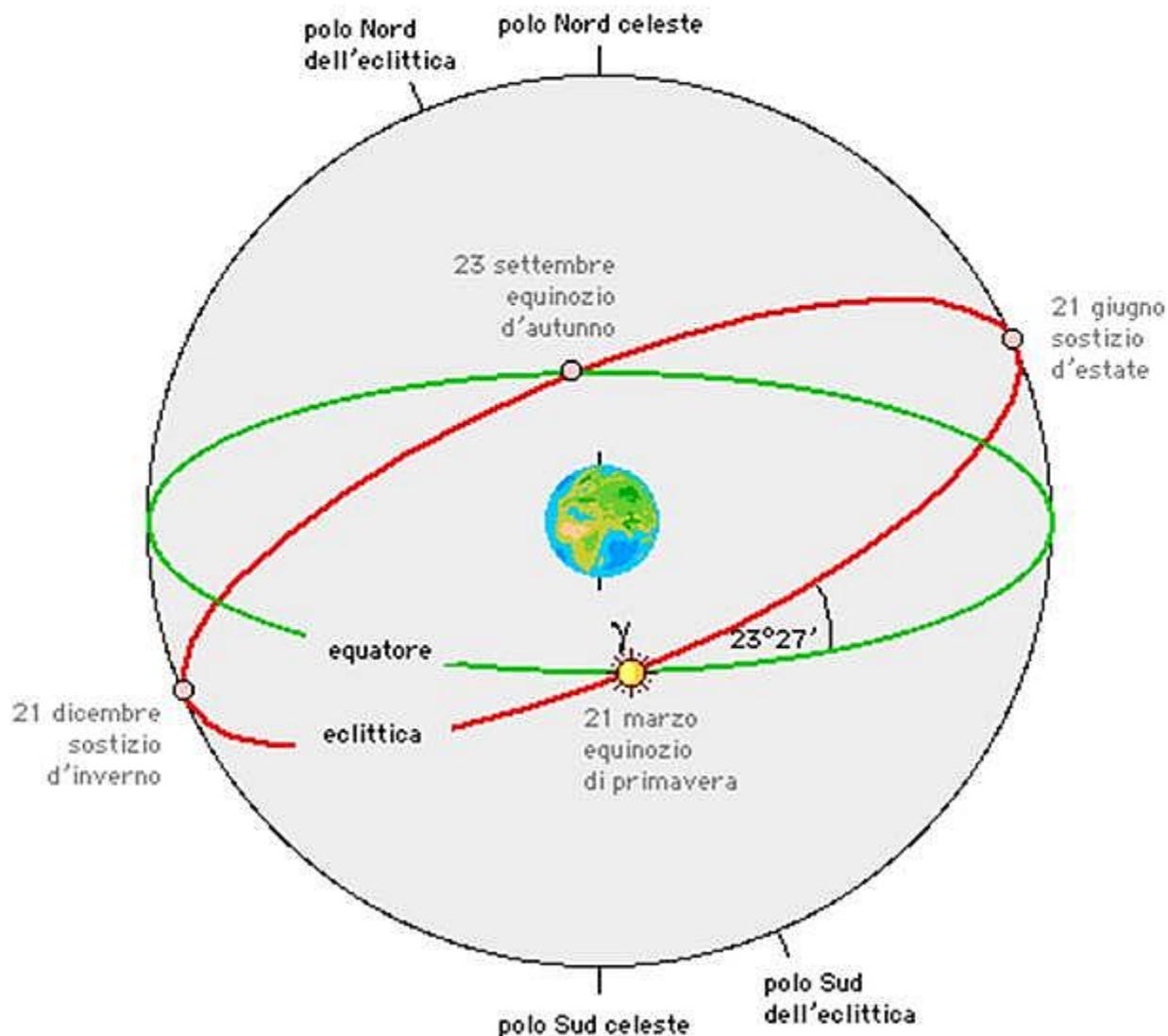
I moti millenari della Terra

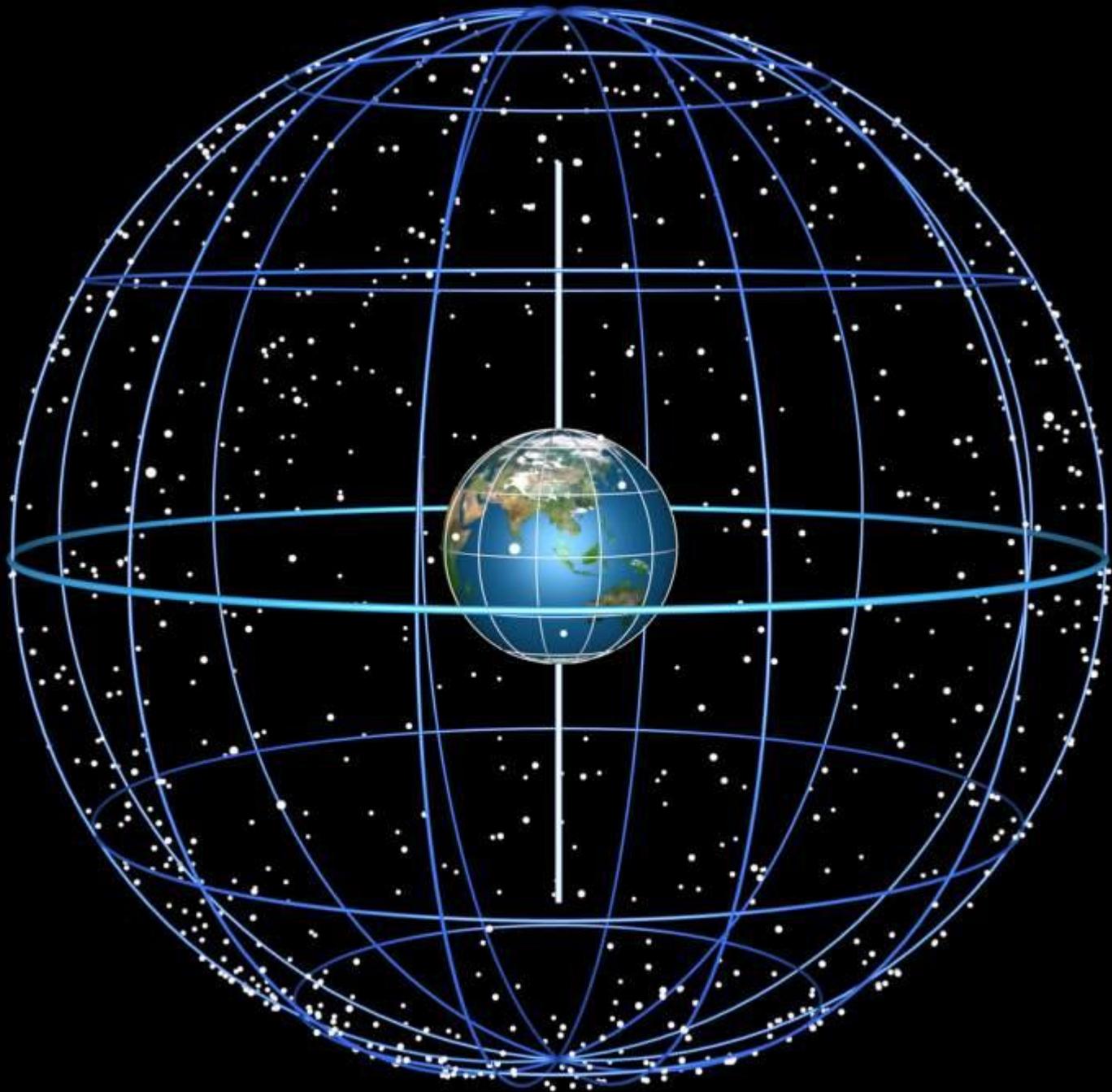
- Precessione
- Nutazione
- Polodia
- Movimenti secondari



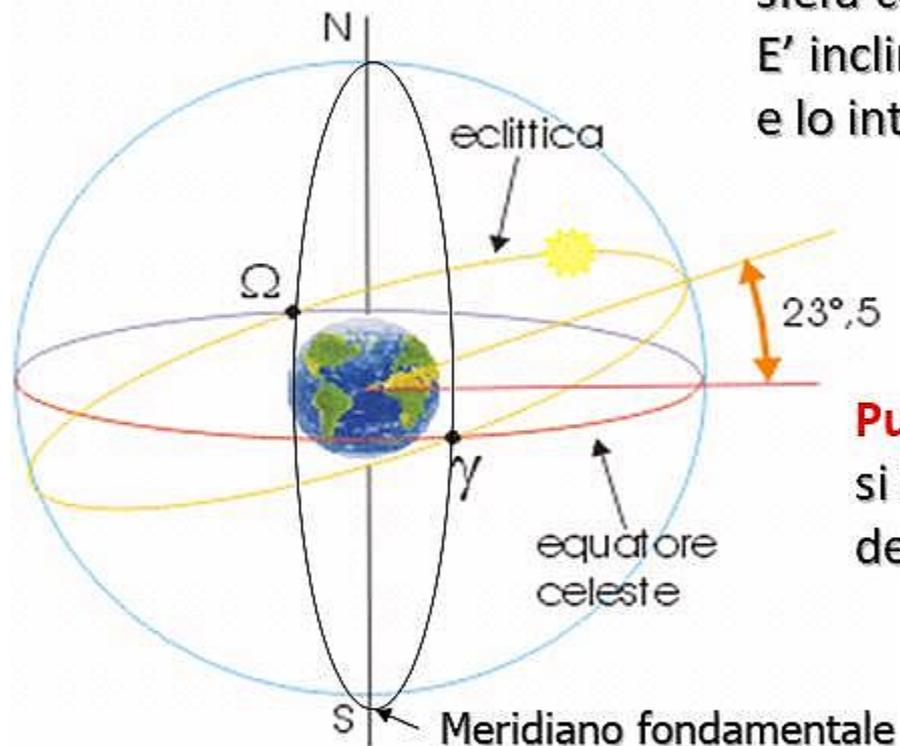
**tutti producono una variazione
della posizione dei corpi
celesti nel tempo...**

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

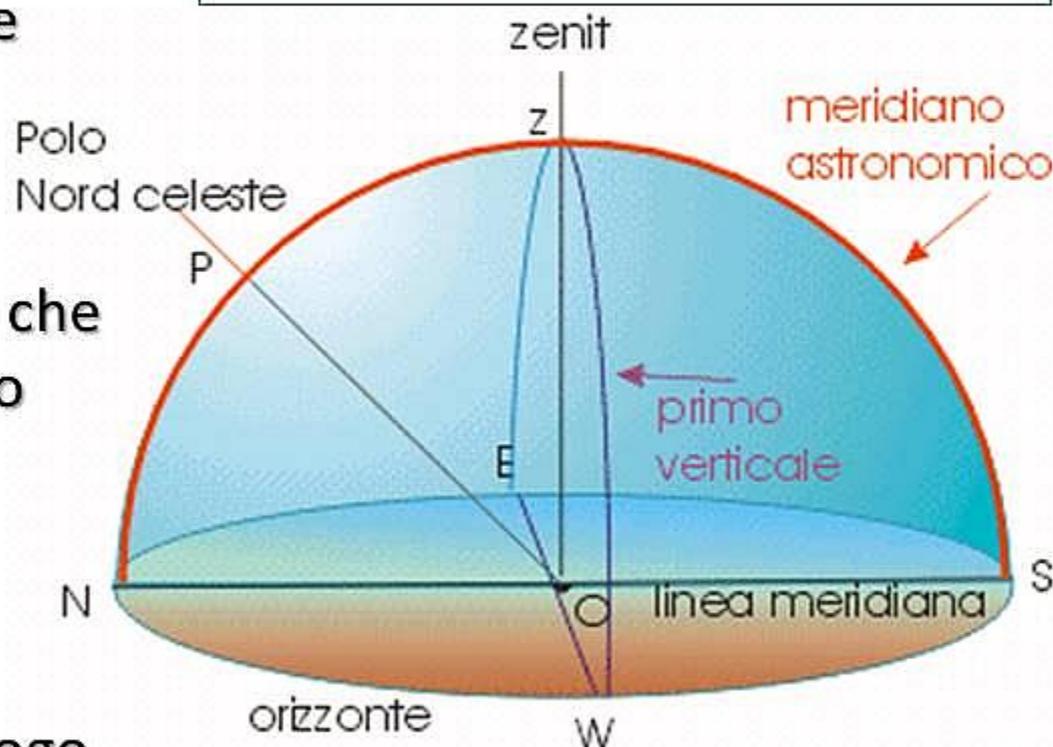
Volta celeste

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

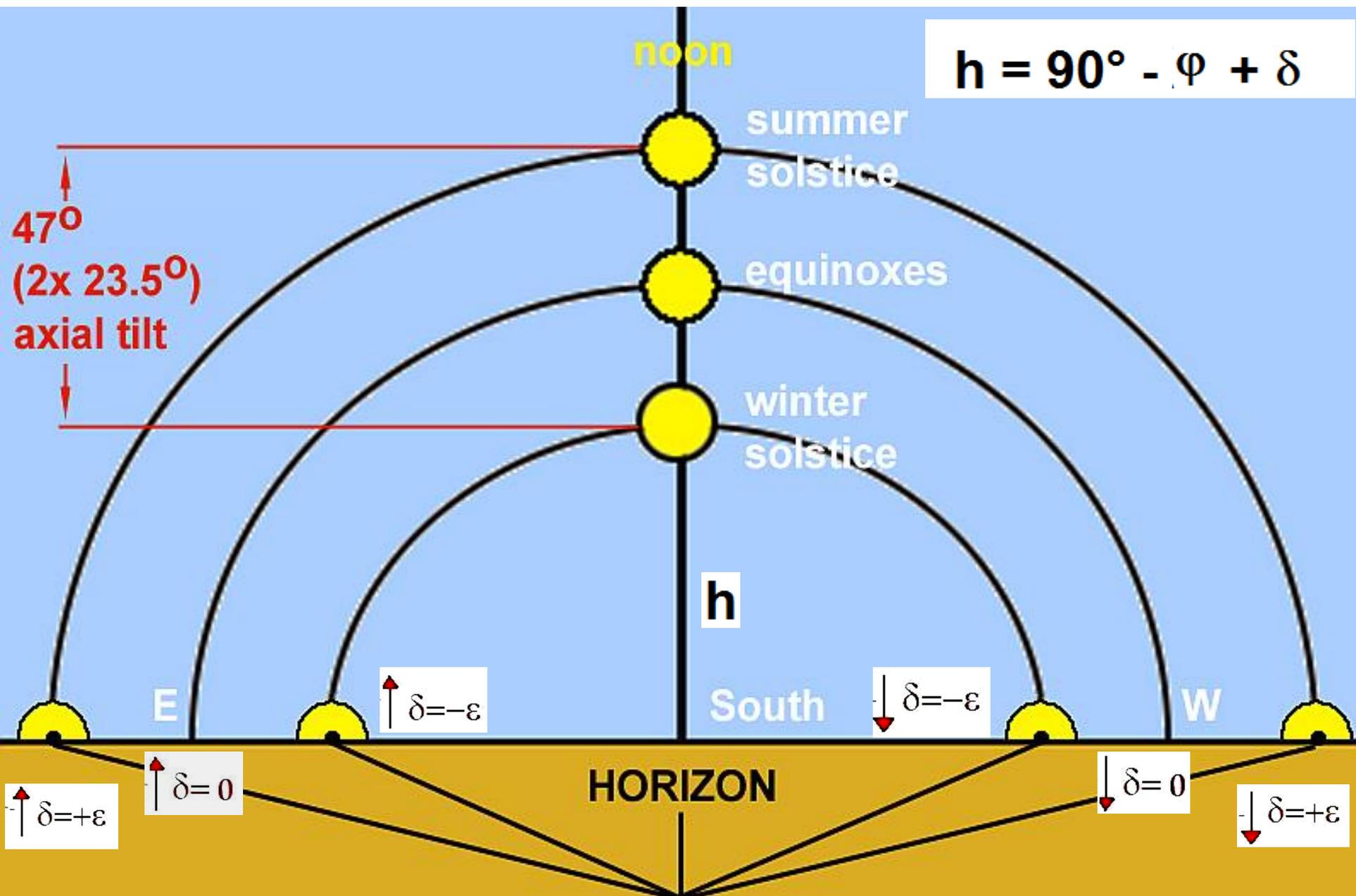
Meridiano astronomico → circolo verticale passante per i poli celesti e lo zenit del luogo

Zenit → intersezione della perpendicolare all'osservatore con la volta

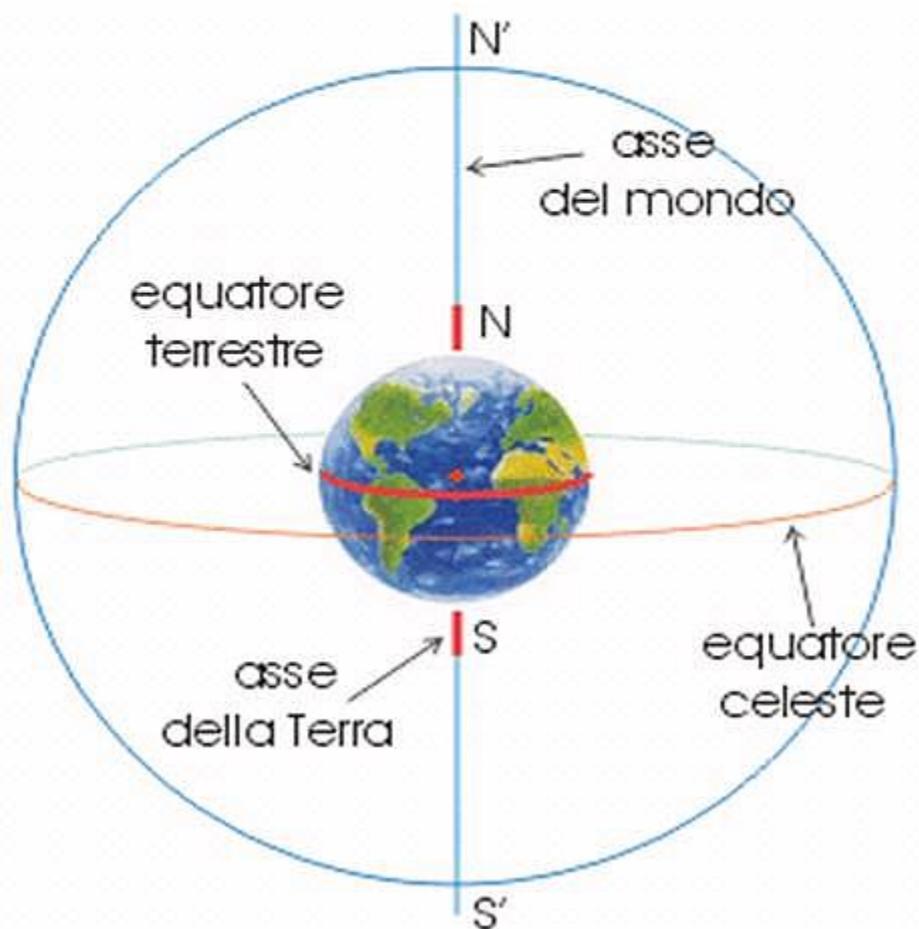


Culminazione → punto più alto sull'orizzonte raggiunto da un astro nel suo cammino apparente sulla volta celeste

Culminazione Solare



asse del mondo e equatore celeste

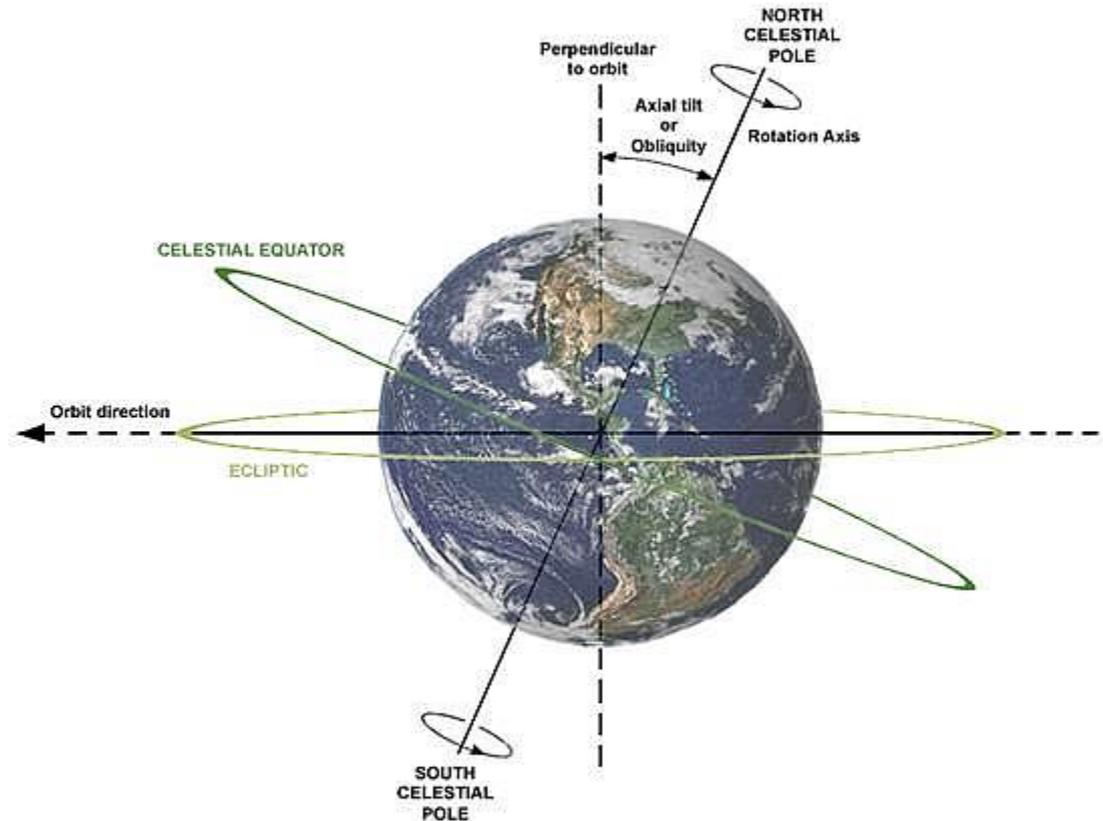


Asse del mondo → asse di rotazione della sfera celeste. La Terra occupa il centro della sfera e l'asse del mondo è il prolungamento dell'asse di rotazione terrestre fino a incontrare la sfera celeste nei due poli celesti

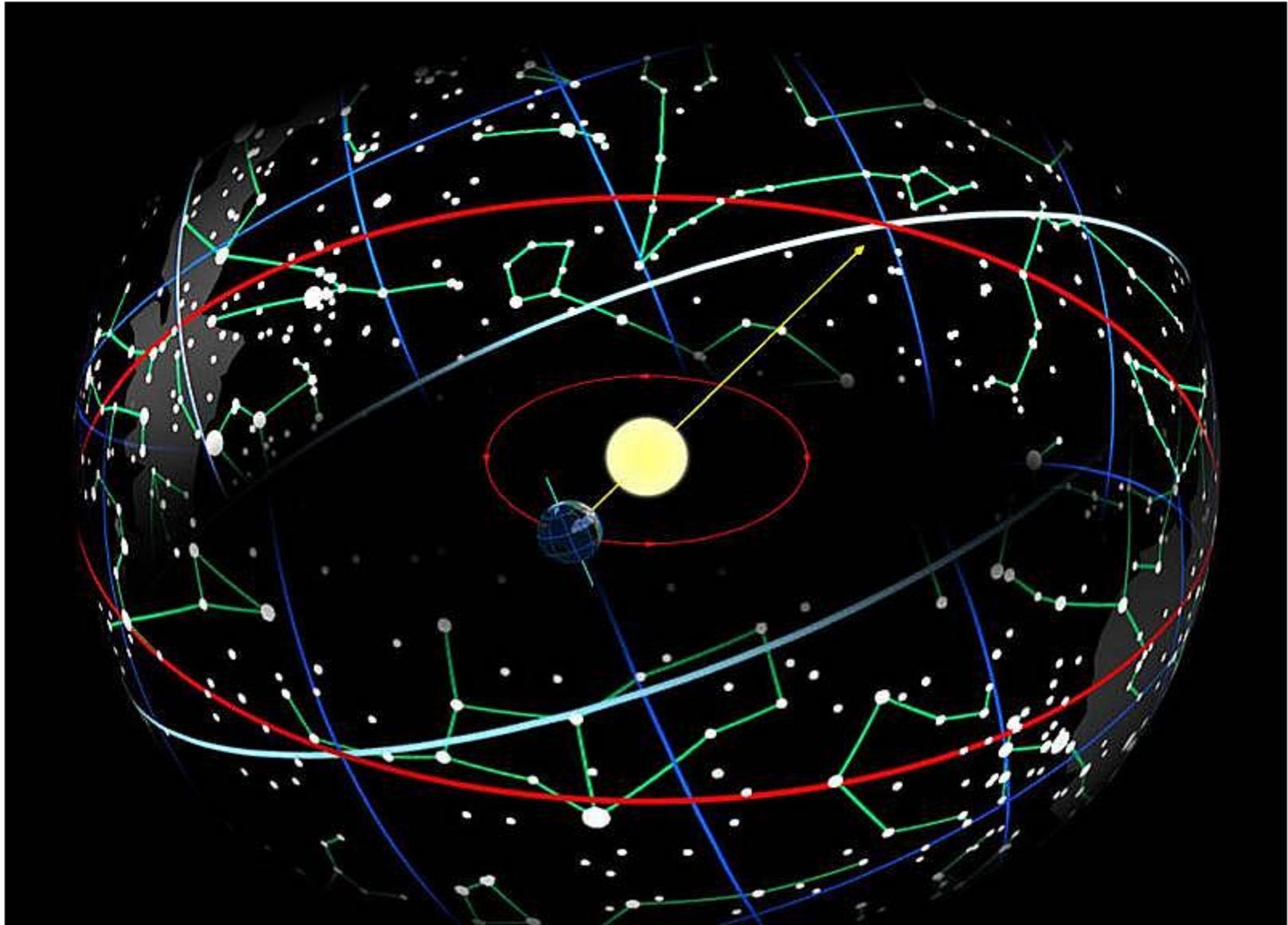
Equatore celeste → linea di intersezione tra il piano perpendicolare all'asse del mondo passante per il centro della Terra e la sfera celeste. Proiezione sulla sfera celeste dell'equatore terrestre

La sfera celeste

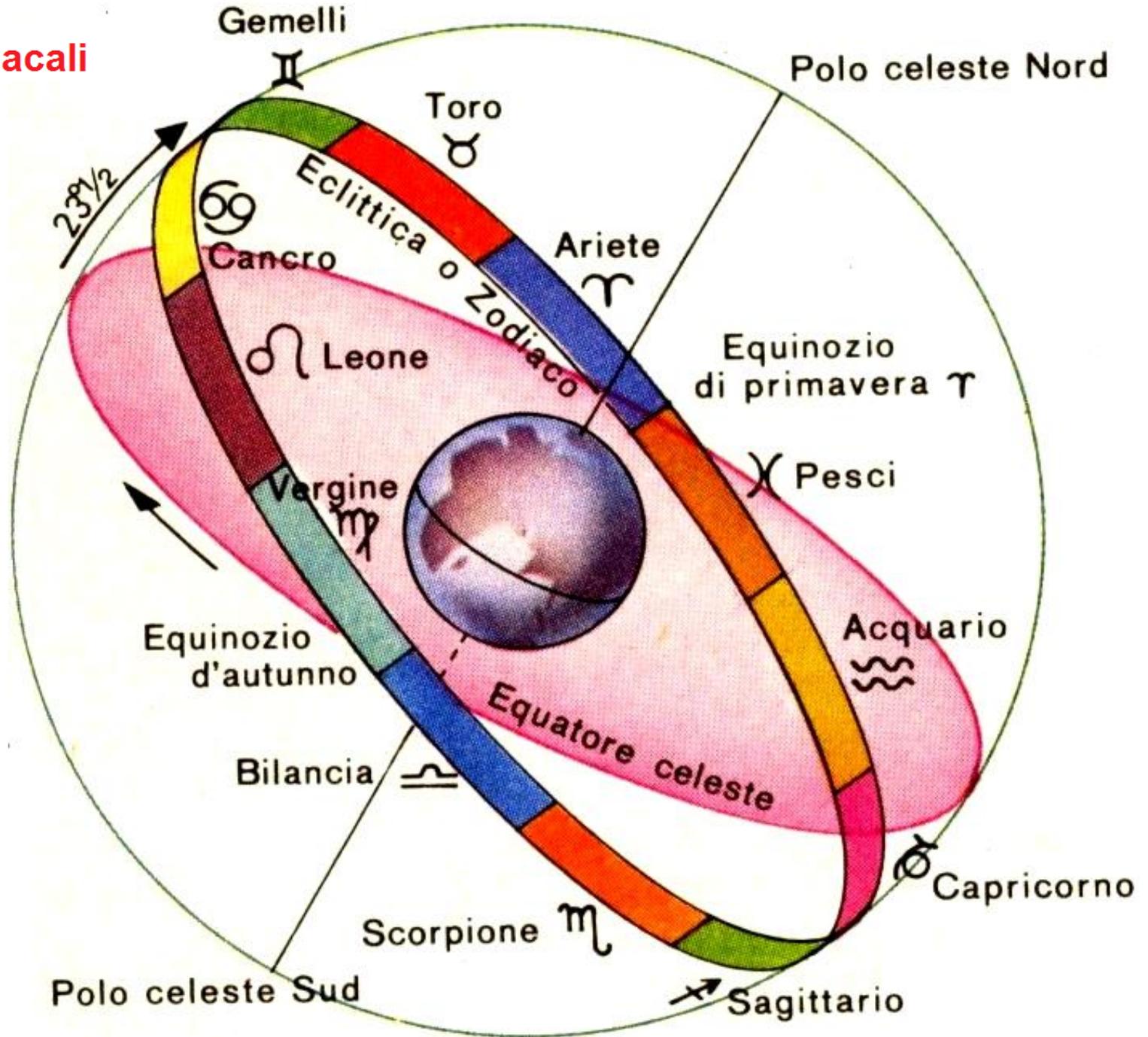
- Ha un raggio arbitrario e sulla superficie sono proiettati tutti gli astri.
- L'origine dell'arbitrarietà del raggio sta nel fatto che oltre una certa distanza non siamo più in grado di valutare visivamente la lontananza dei corpi, per cui gli astri ci sembrano tutti alla stessa distanza
- Durante 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



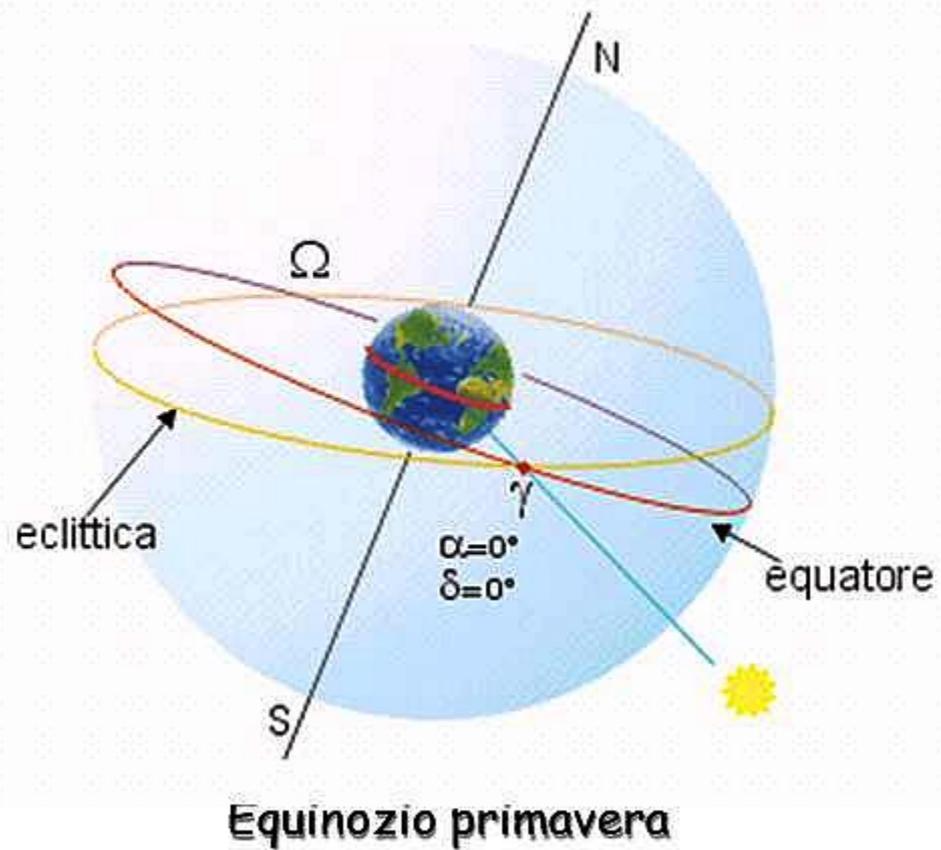
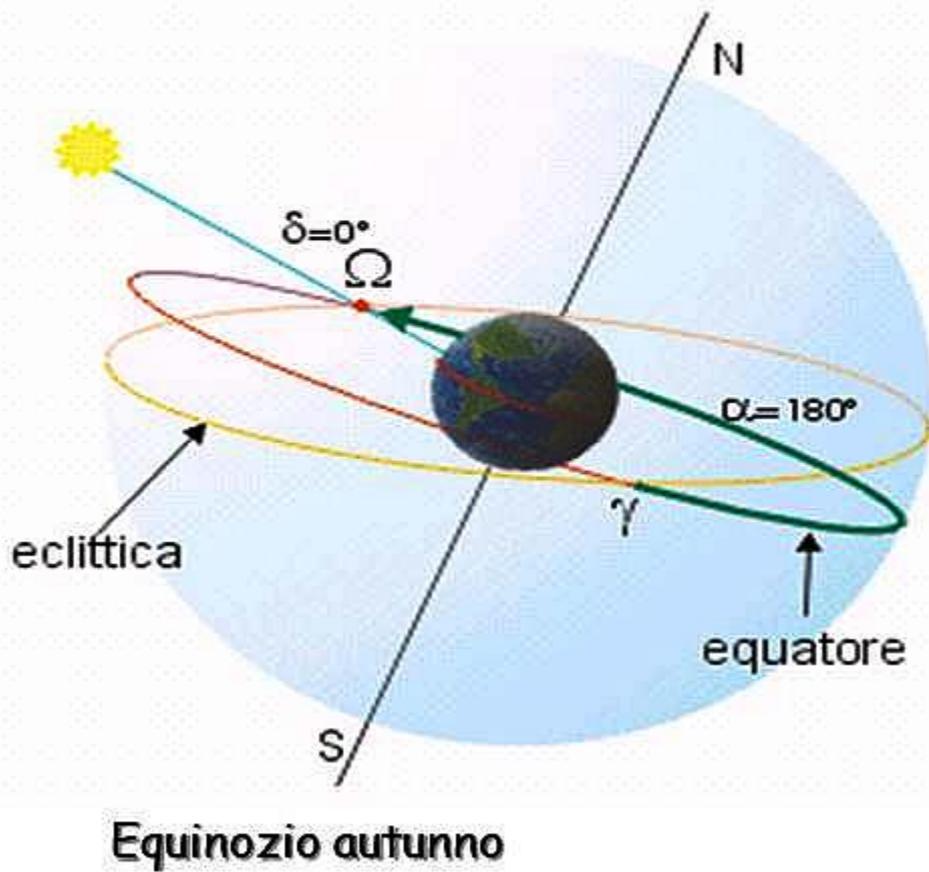
Le costellazioni zodiacali



Segni Zodiacali



Punto gamma γ e omega ω



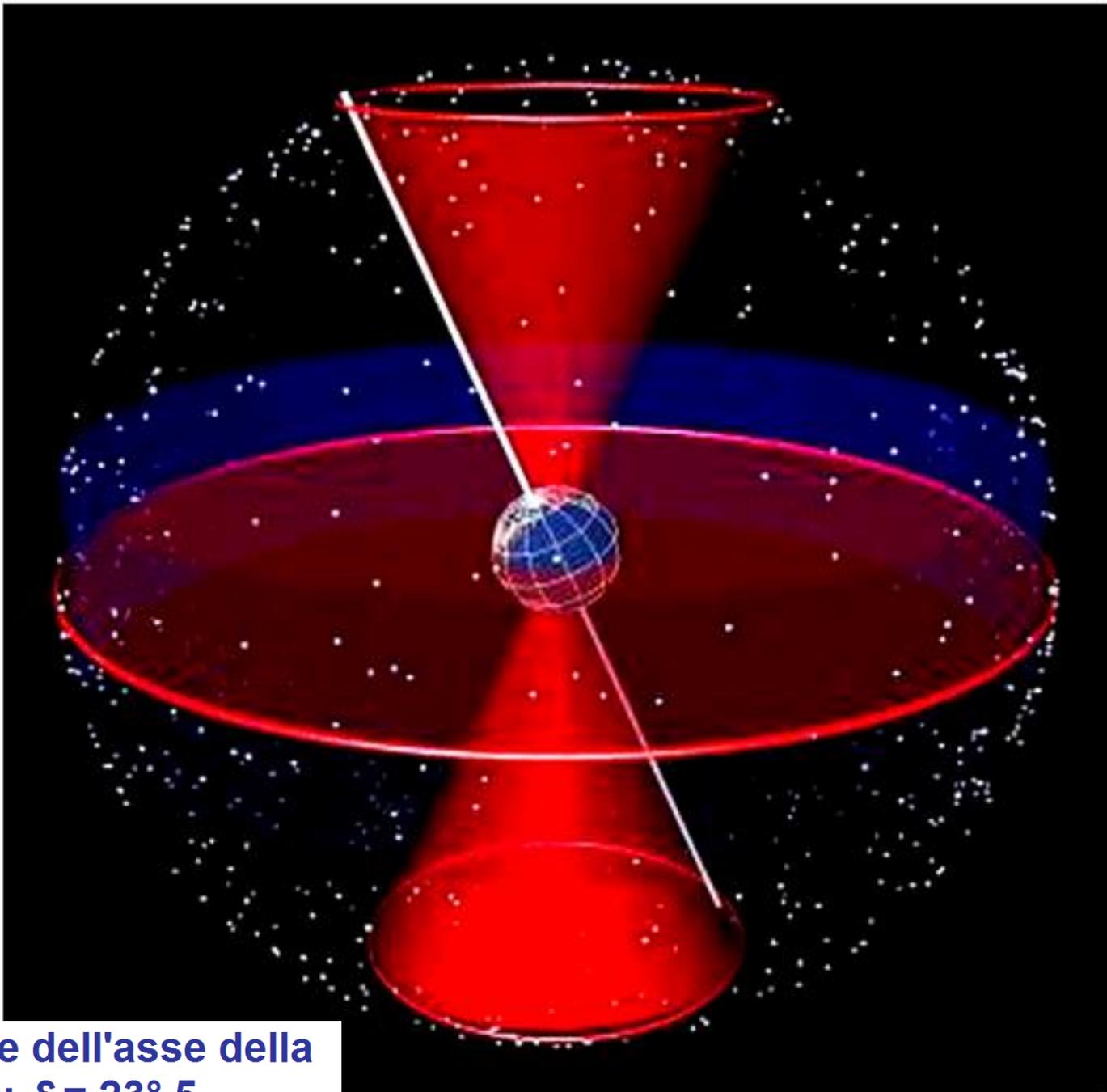
Da ricordare bene....

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

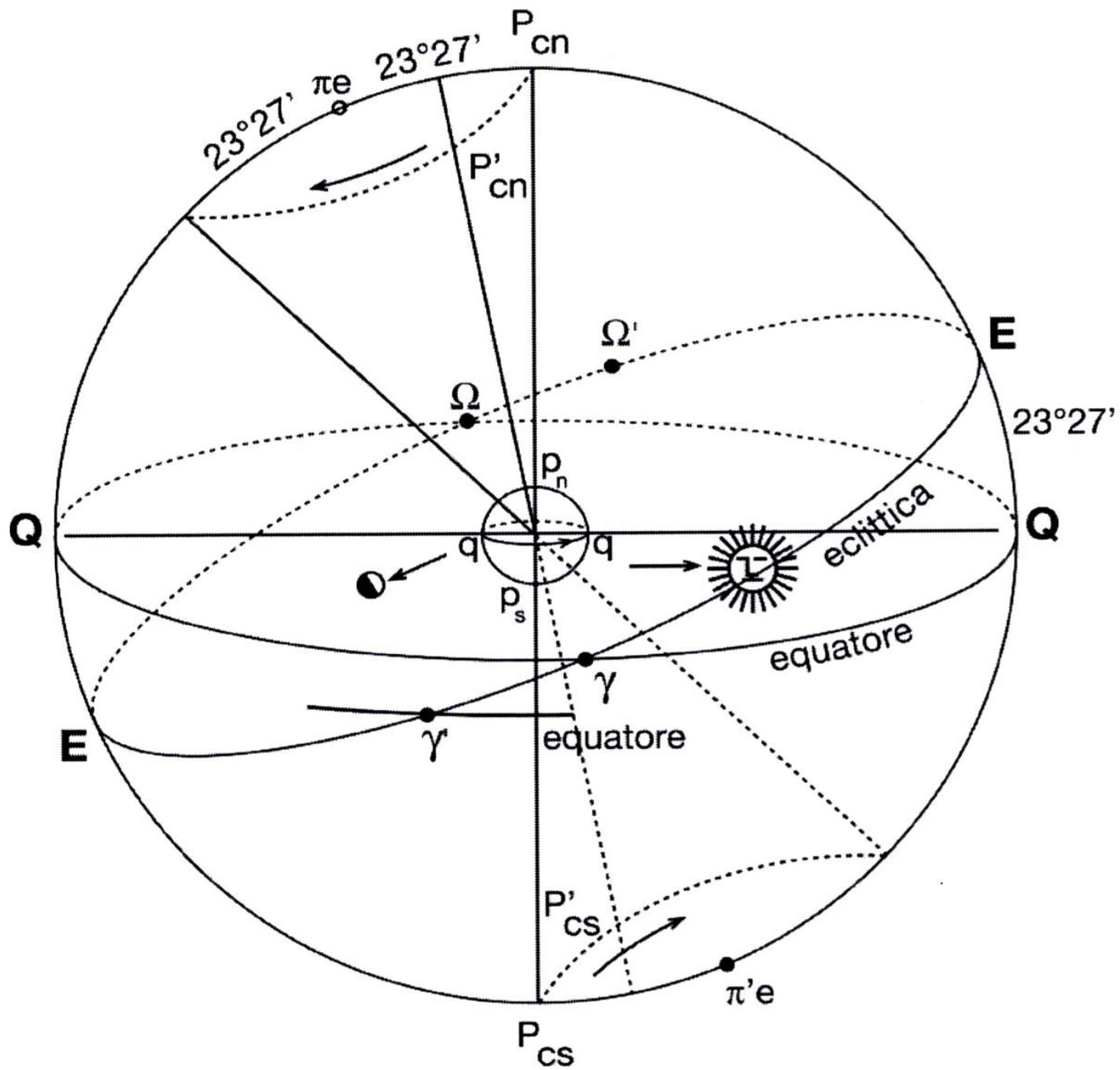
Variazione dell'obliquità dell'eclittica: varia la posizione di sorgere e di tramontare del Sole e della Luna all'orizzonte astronomico locale

Astronomia per Datare

La Precessione Lunisolare



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



Precessione degli equinozi

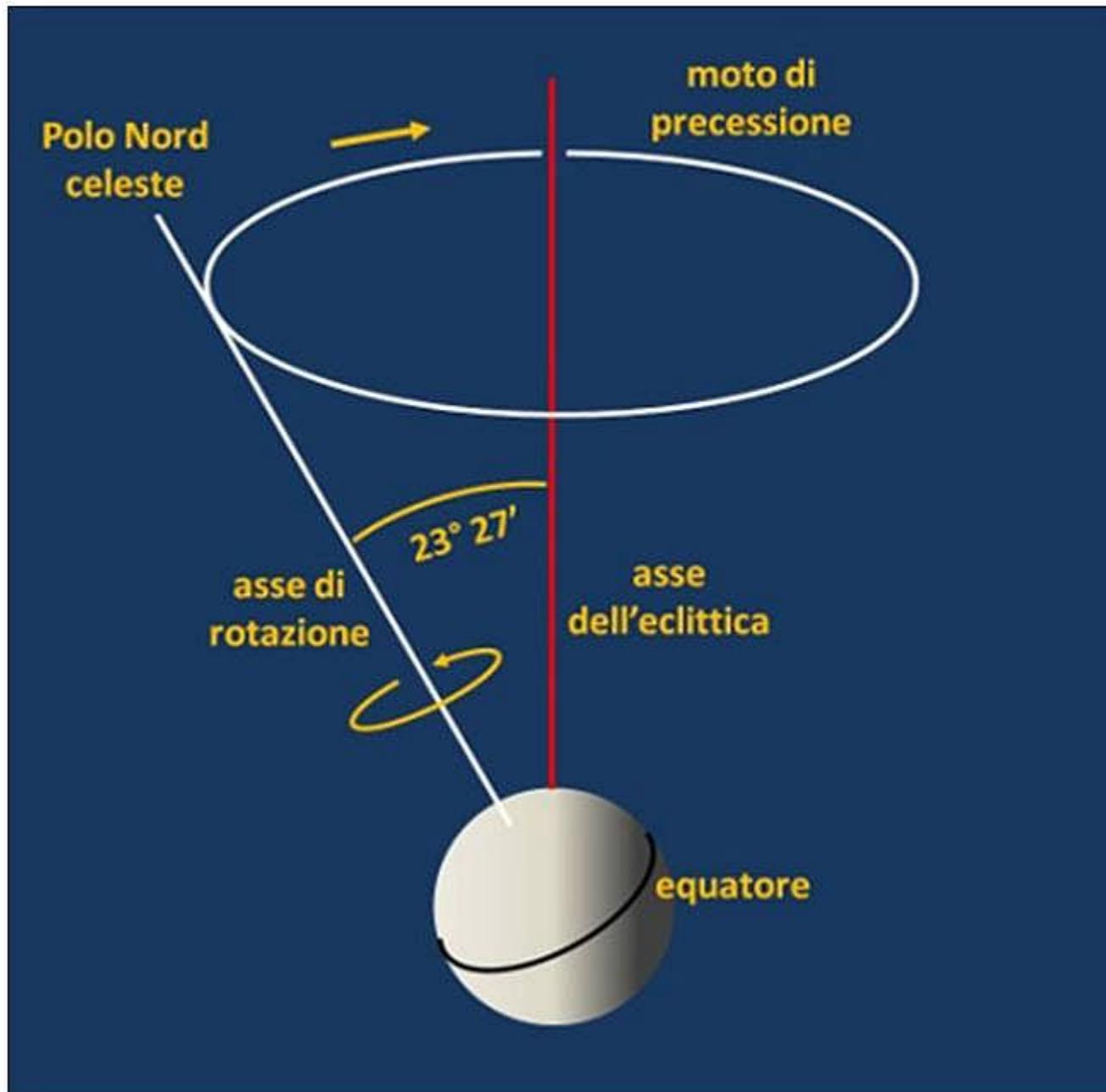
L'asse terrestre ha un'inclinazione variabile tra i $22,5^\circ$ e i $24,5^\circ$ in quanto esso si muove descrivendo una circonferenza completa in 25 800 anni (52'' annui).

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

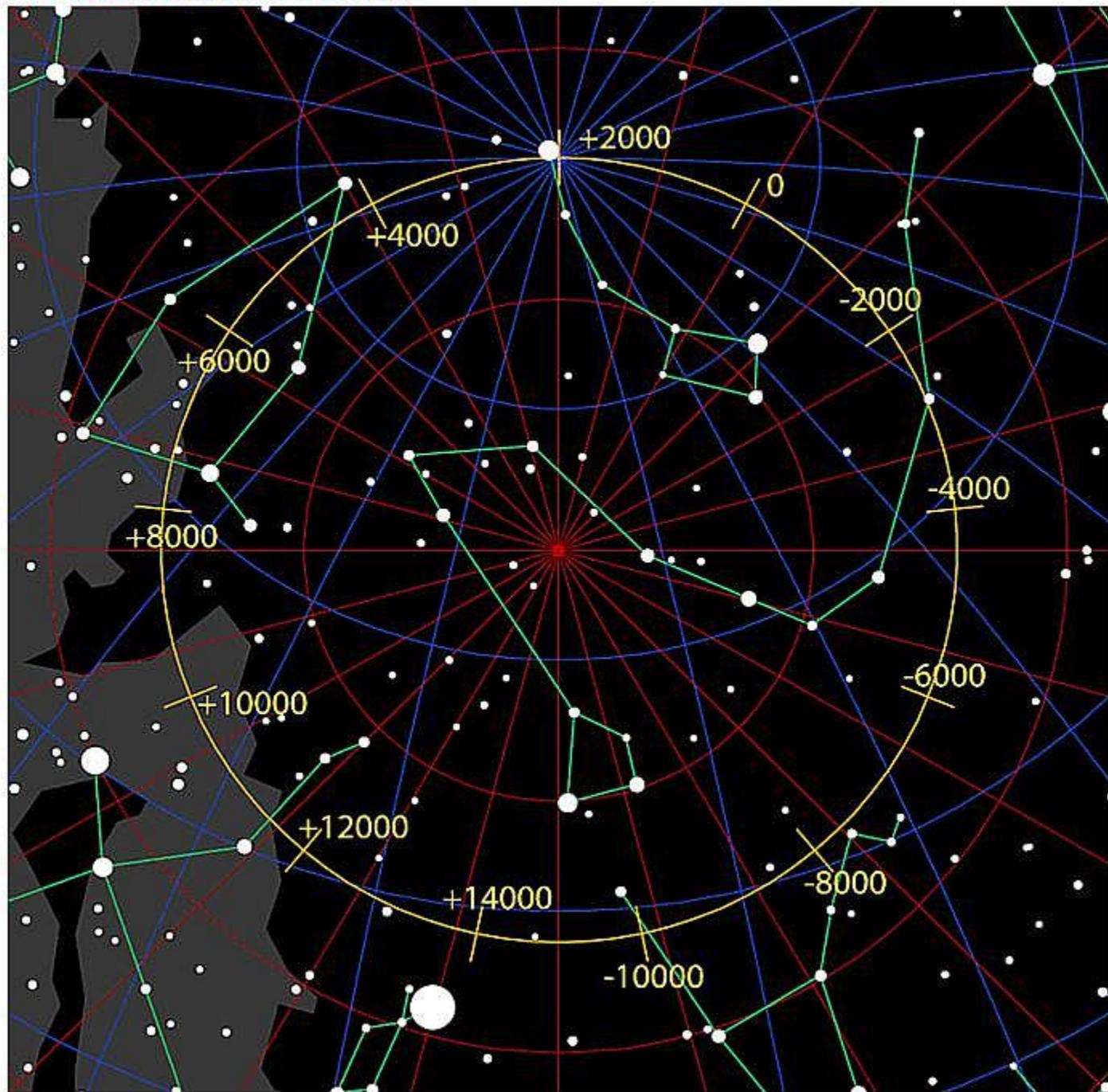
Questo moto giroscopico è causato dalle forze di marea esercitate, con effetti pressoché equivalenti, dal Sole e dalla Luna sulla terraferma ed è associato al fatto che la Terra non è una sfera perfetta, ma presenta un rigonfiamento all'equatore.

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

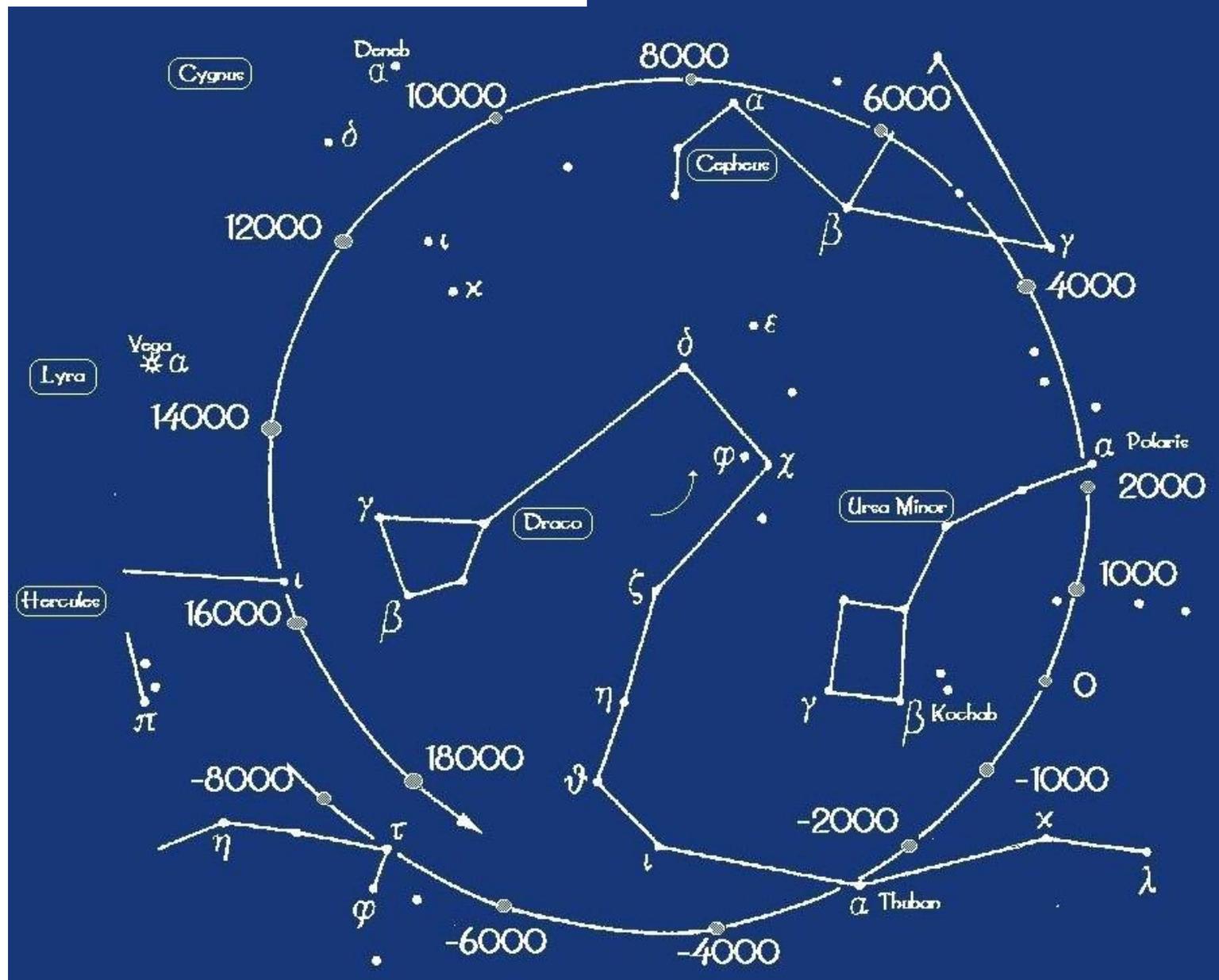
La Precessione Lunisolare



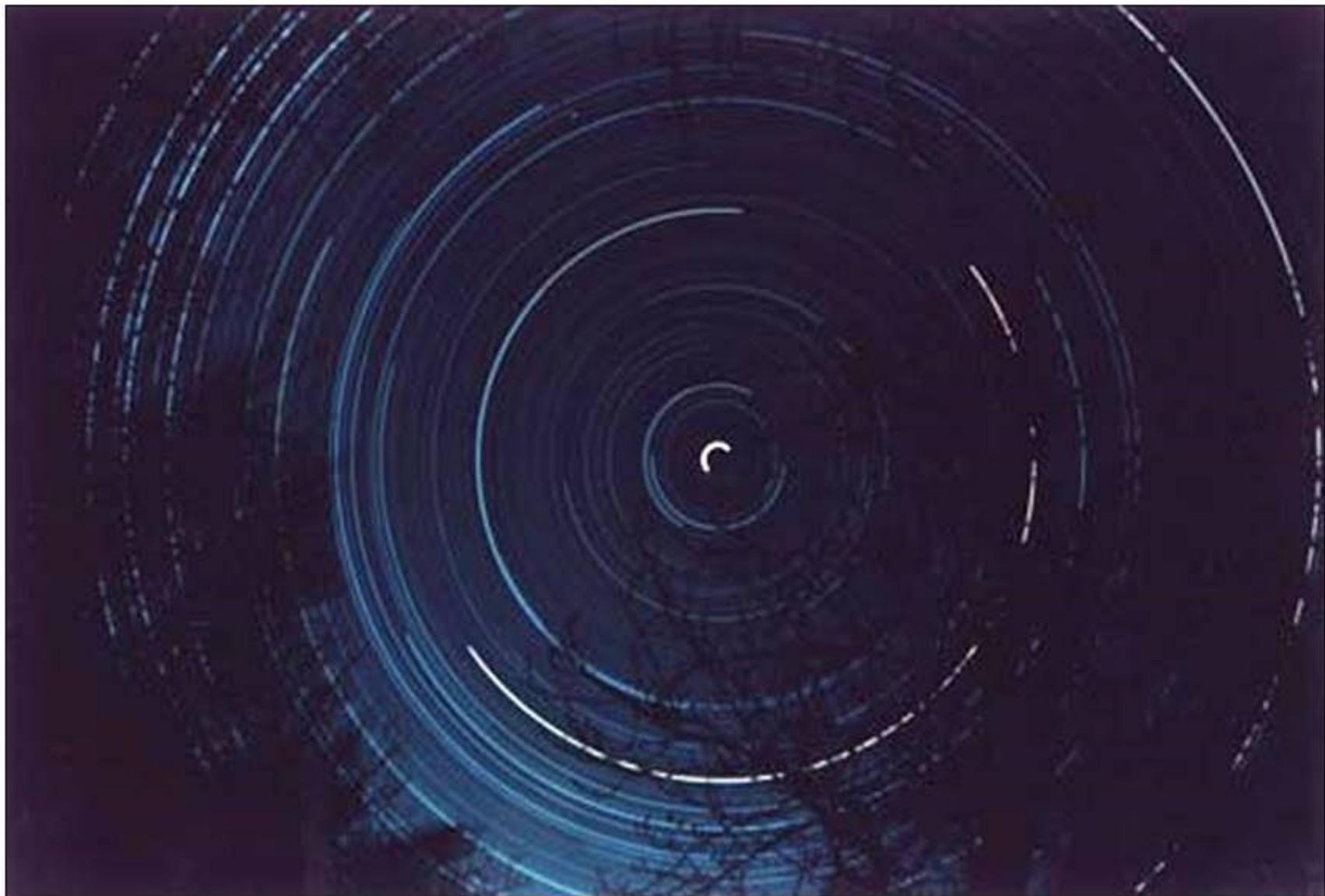
Cerchio di Precessione Nord



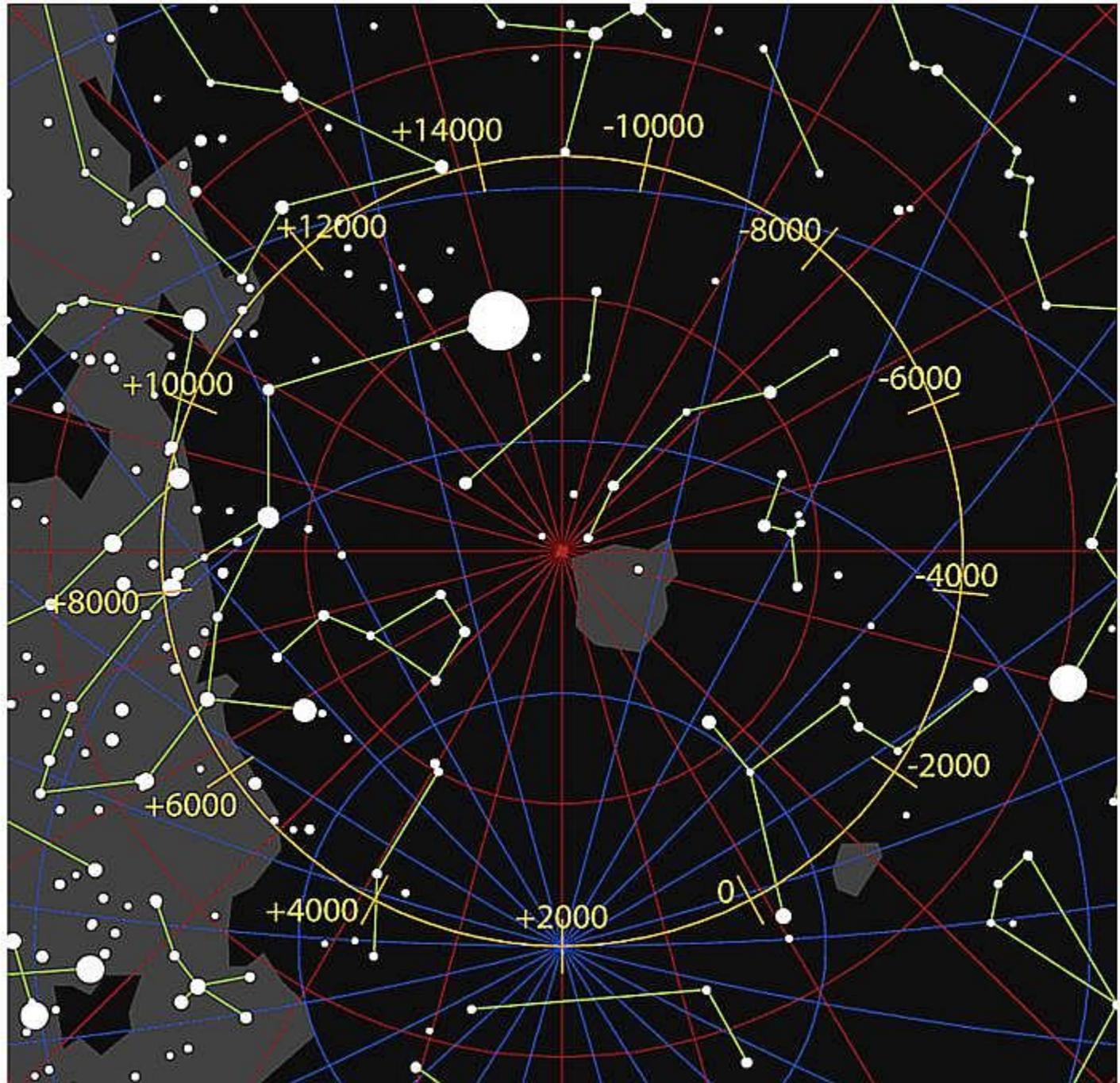
Traiettoria del Polo Nord Celeste



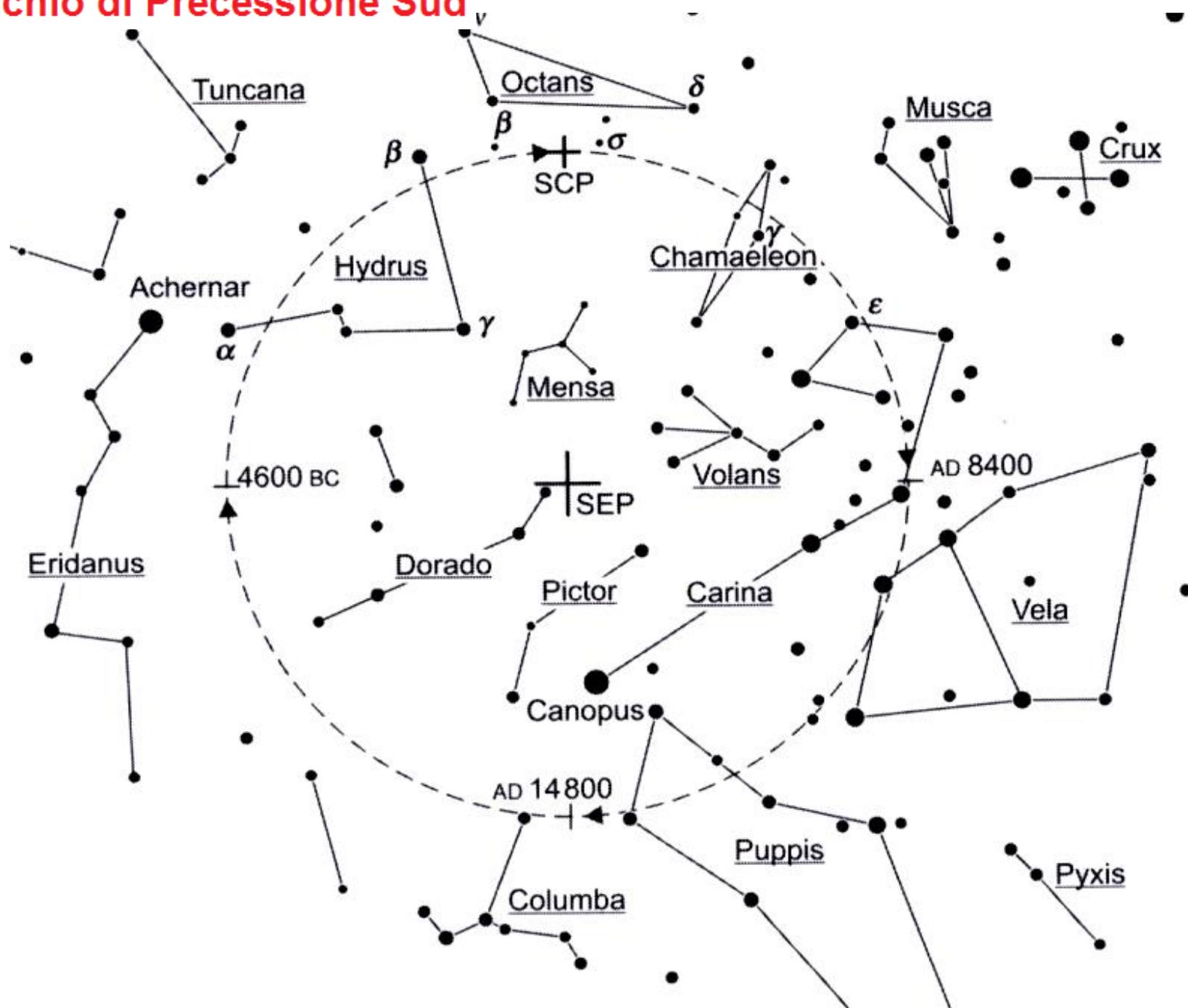
Il Polo Nord Celeste



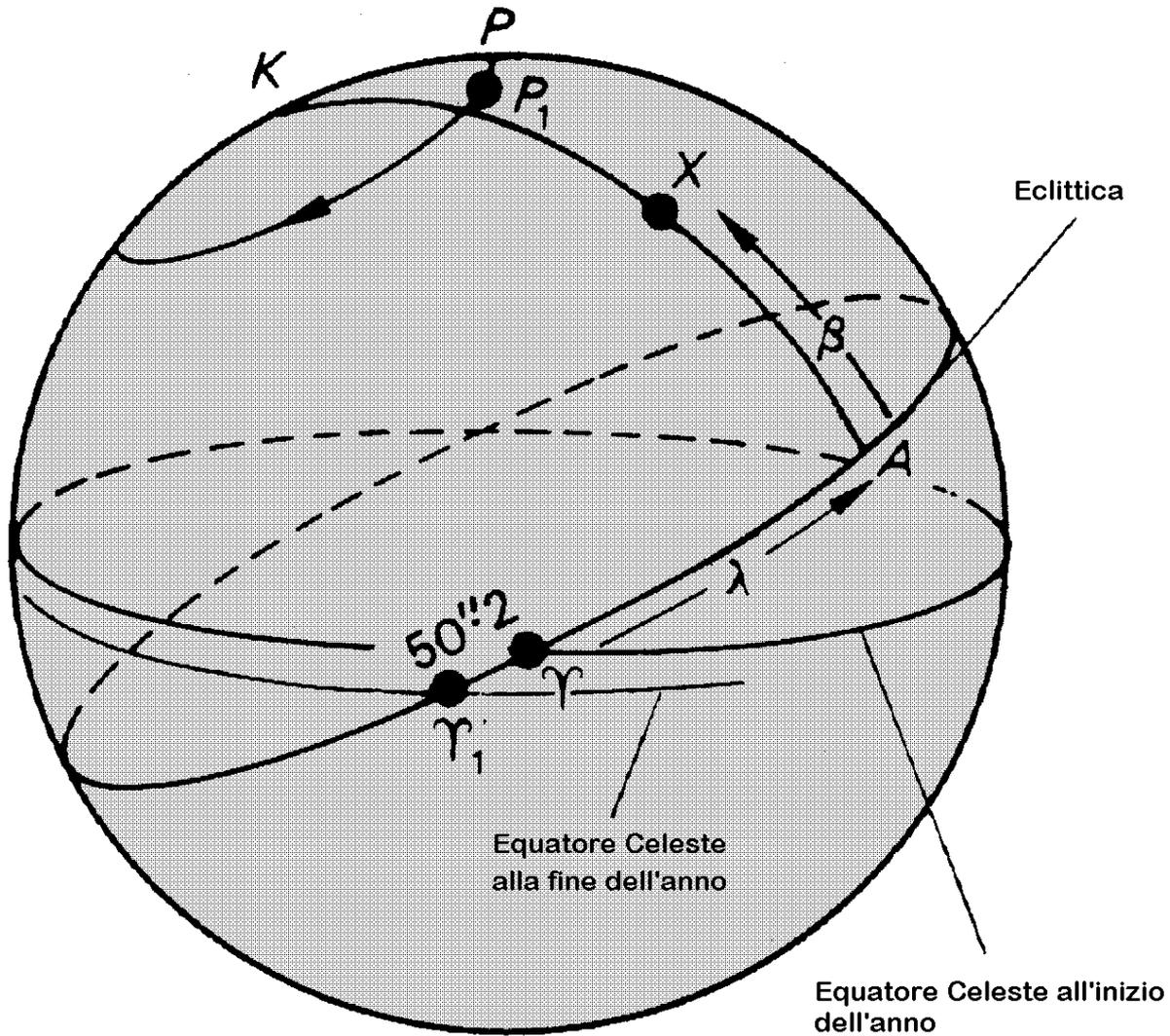
Cerchio di Precessione Sud



Cerchio di Precessione Sud



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:

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

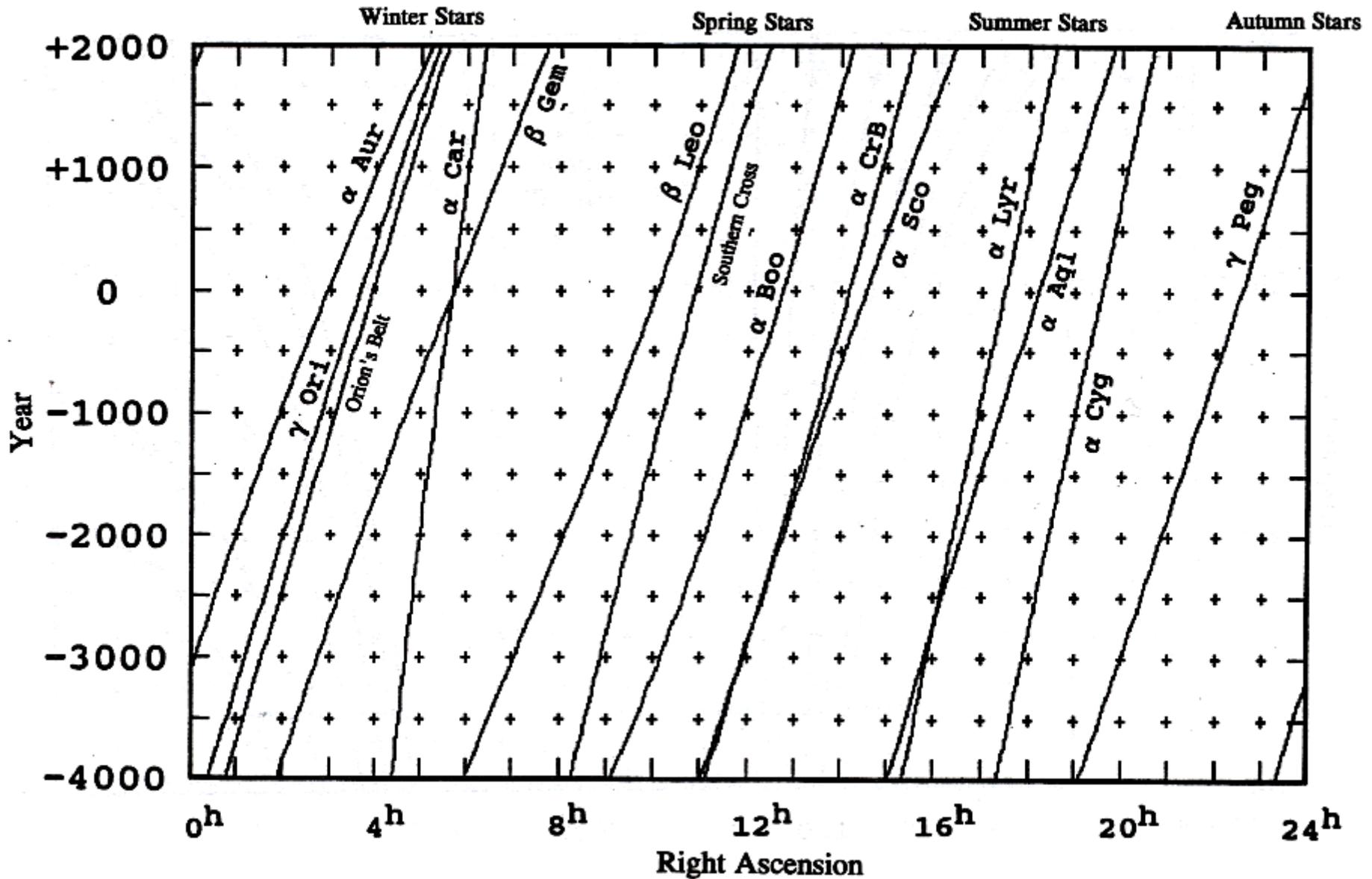
e

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

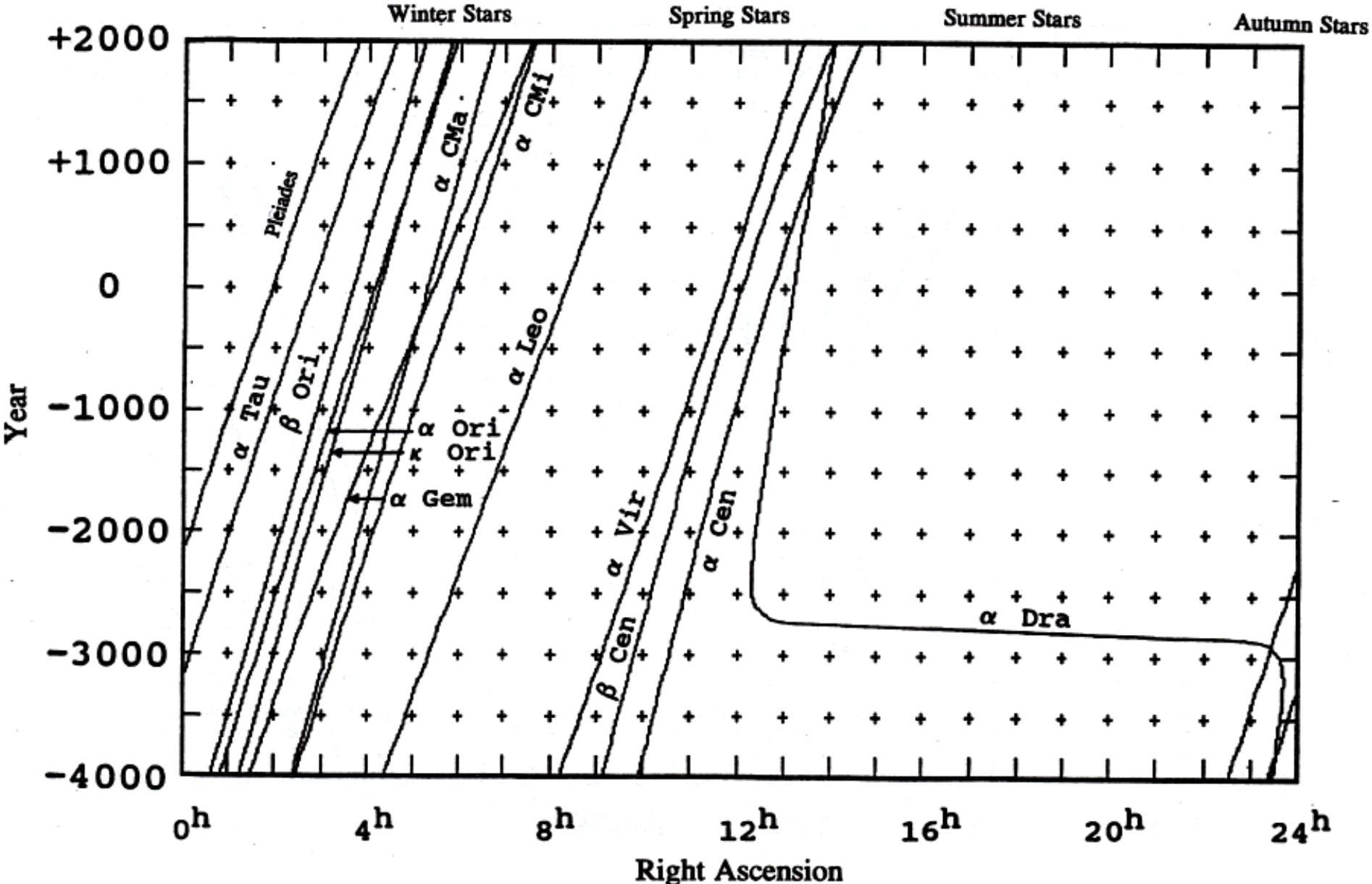
con:

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

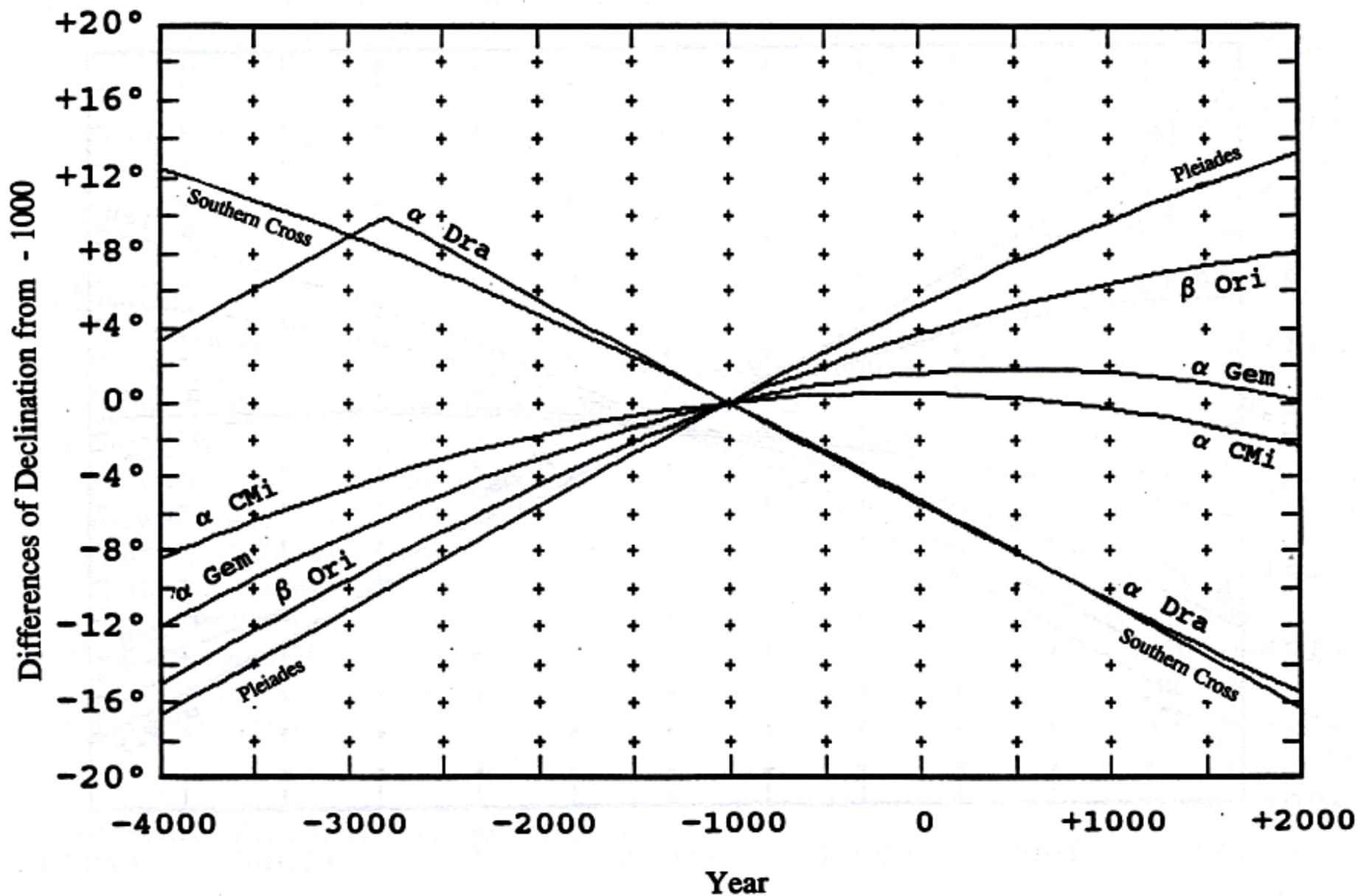
Variazione dell'Ascensione Retta delle Stelle



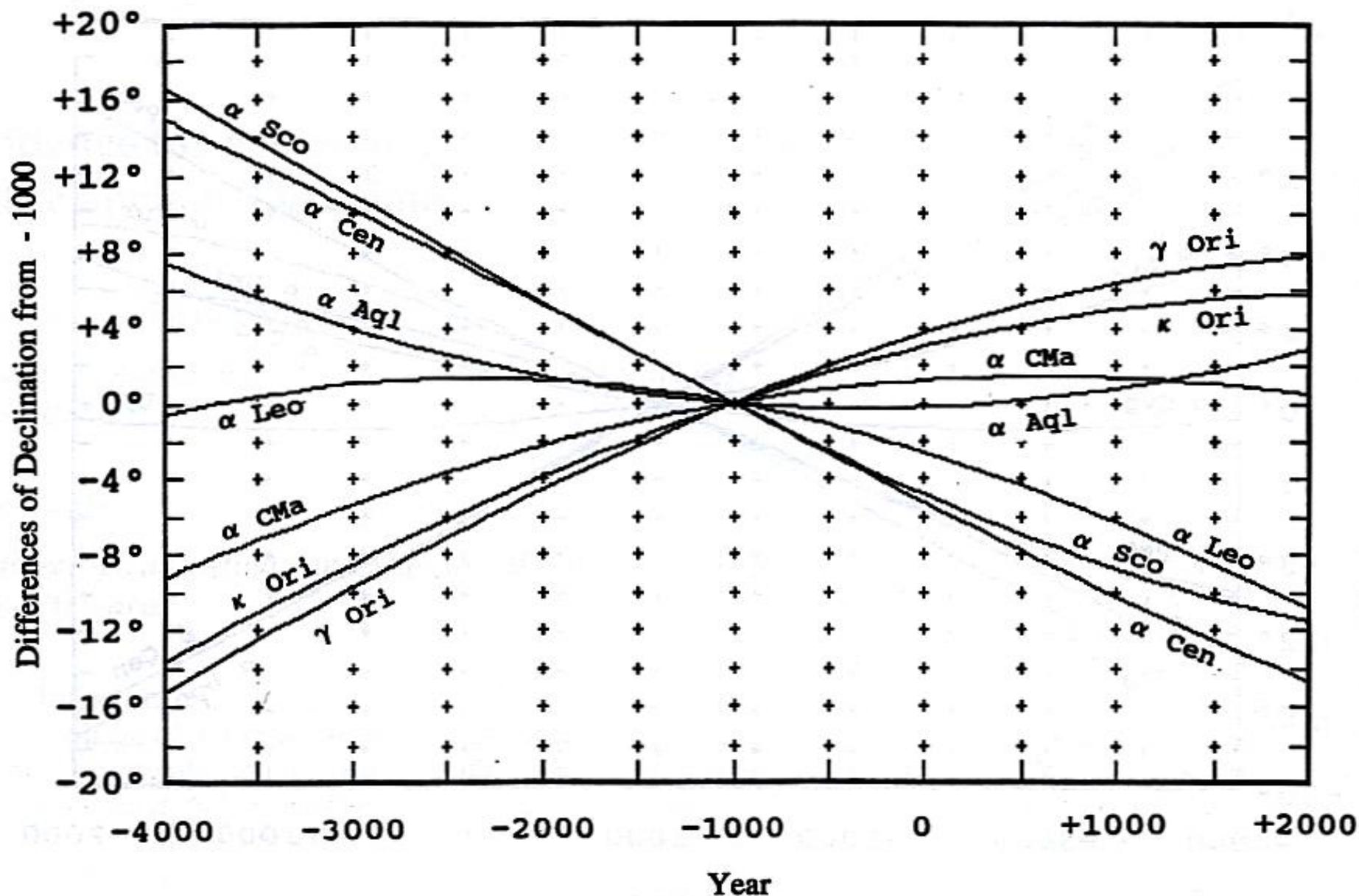
Variazione dell'Ascensione Retta delle Stelle



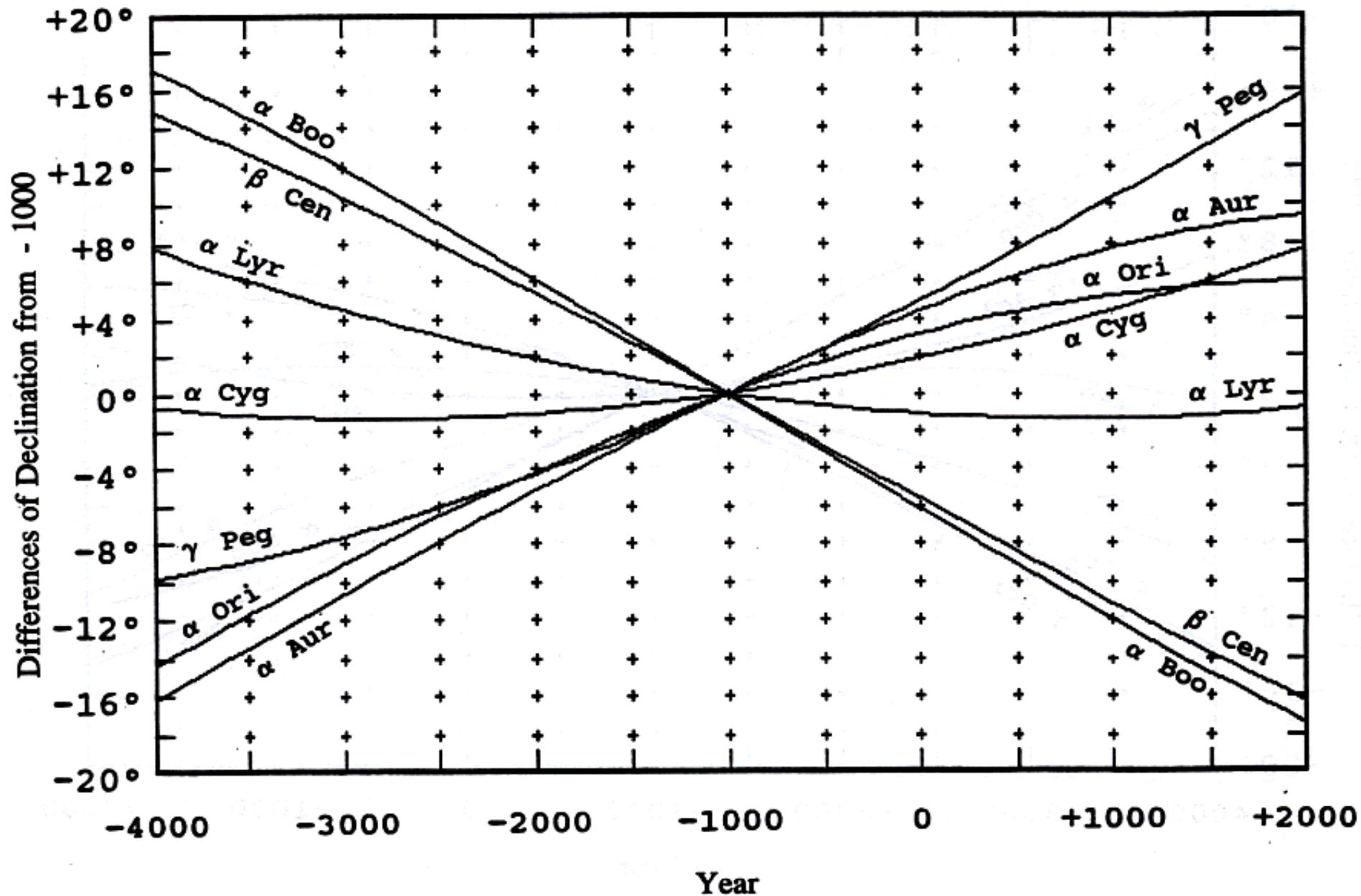
Variazione della Declinazione delle Stelle



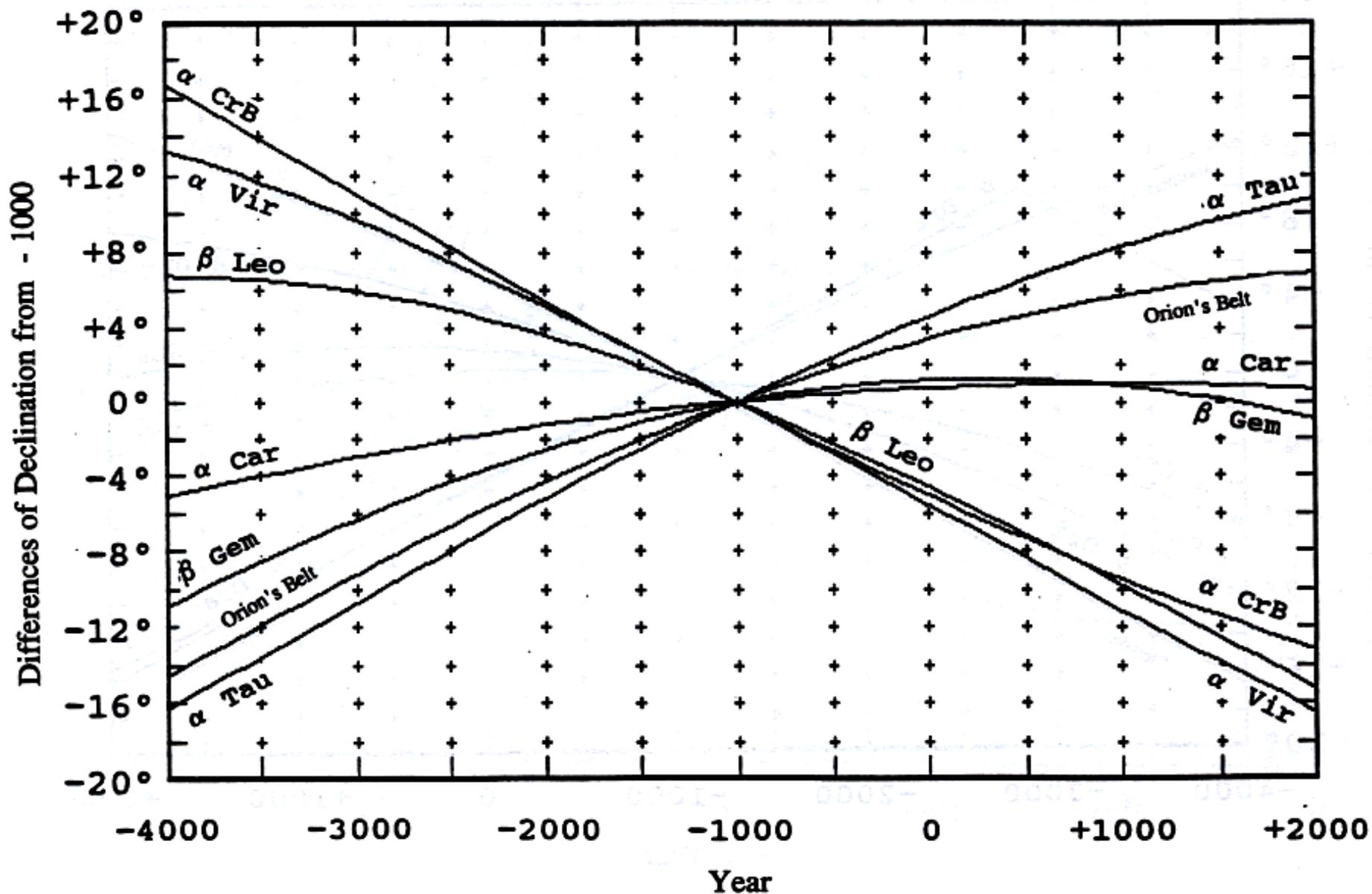
Variazione della Declinazione delle Stelle



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 derivata prima della declinazione di una stella rispetto al tempo dipende dalle coordinate della stella ed è diversa per ciascuna...

$$\frac{d\delta(t)}{dt} = f(\delta_{\star}(t), \alpha_{\star}(t))$$

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:

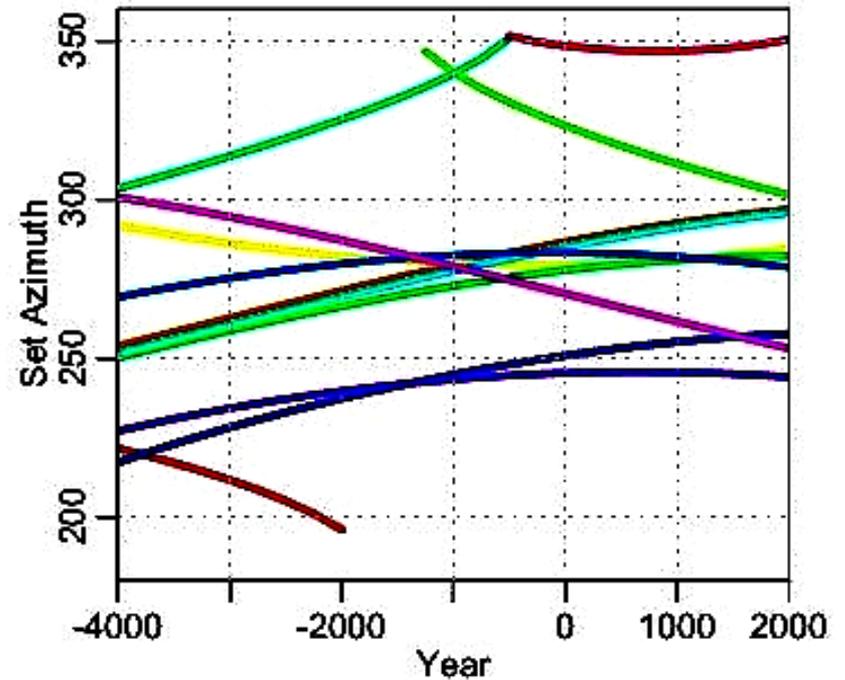
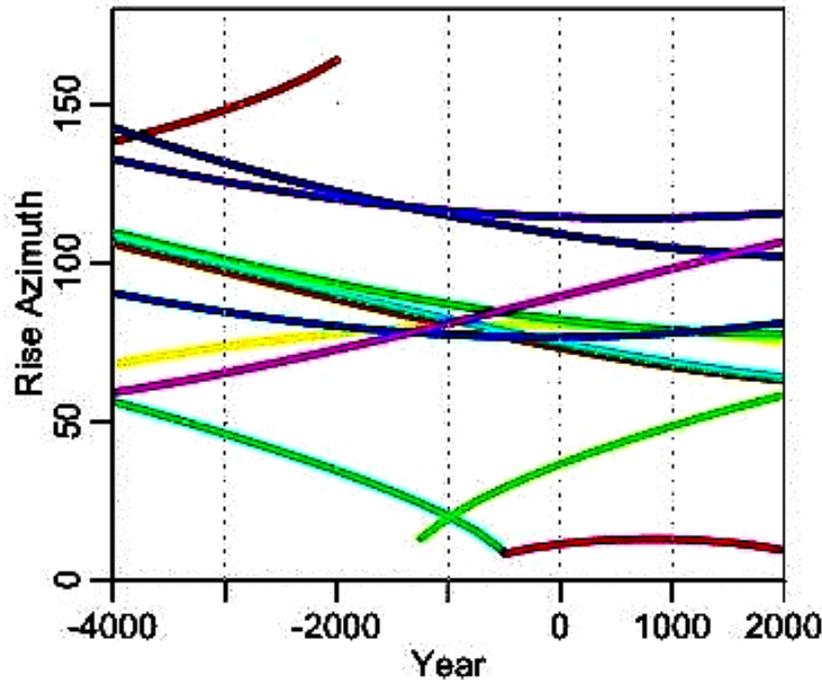
$$\Delta Az = - \frac{\Delta \delta \cdot \cos(\delta)}{\cos(\varphi) \sin(Az)}$$

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:

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

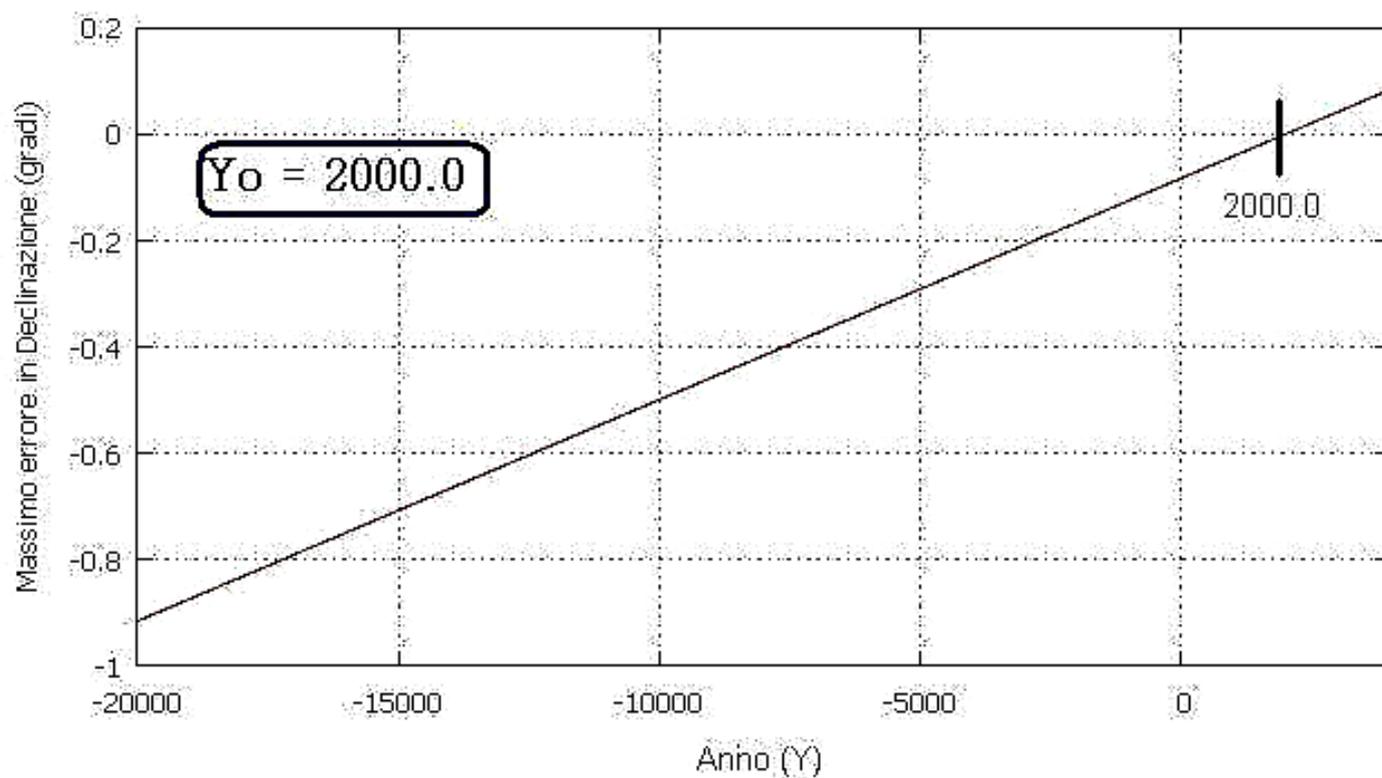
$$d\delta/dt = 0^{\circ}.0000385 \text{ } ^{\circ}/\text{anno}$$

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:

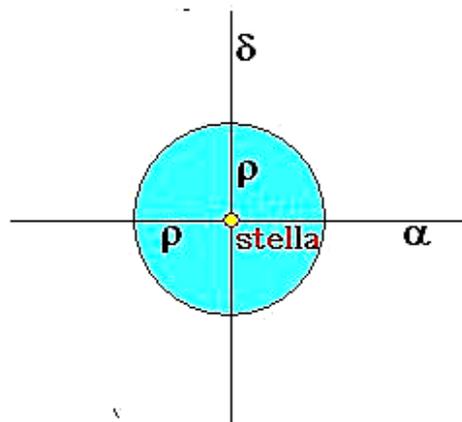
$$\varepsilon(Az) = \frac{|Y - Y_0|}{26000} \cdot \left| \frac{\cos(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \sin(Az)} \right| \quad (\text{gradi})$$

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.



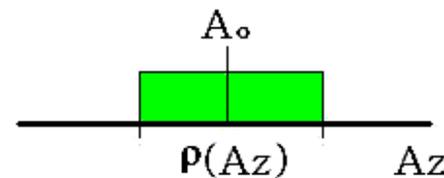
Questo errore si propaga sul valore dell'azimut astronomico di levata/tramonto della stella all'orizzonte astronomico locale all'epoca precessa Y.

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

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:

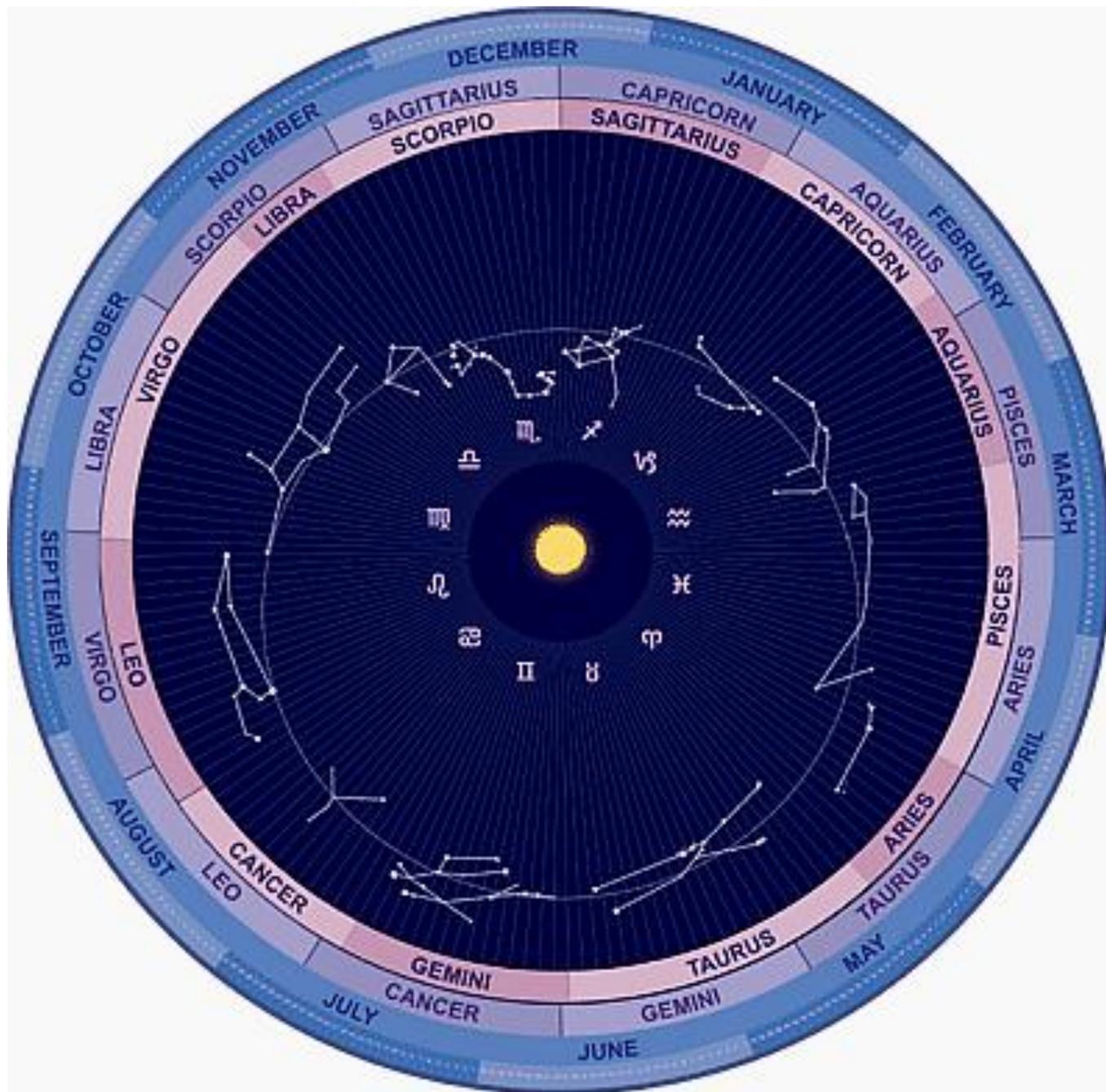
media: Az
varianza: $\rho^2(Az)$

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

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:

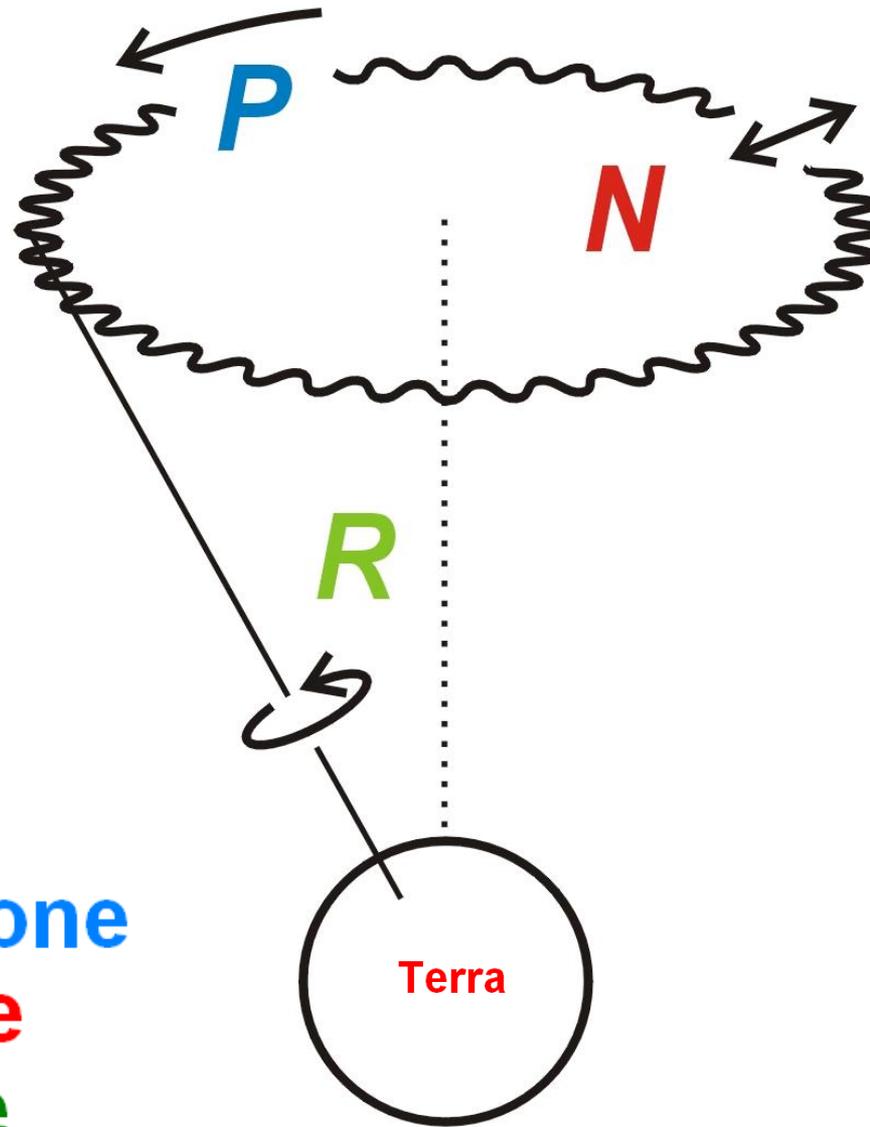
$$Az = \arccos \left(\frac{\sin(\delta)}{\cos(\varphi)} \right)$$



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

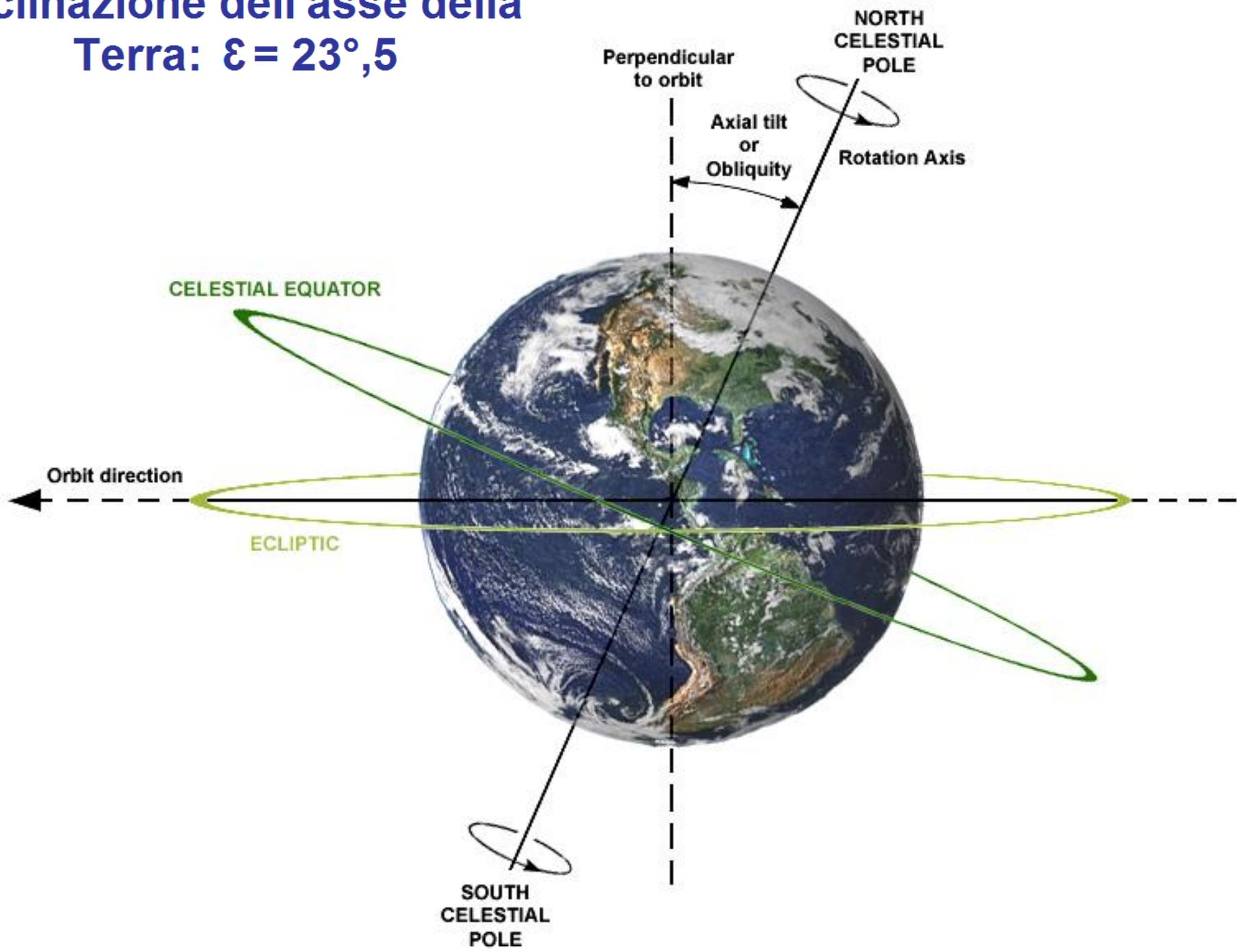
N = nutazione

R = rotazione

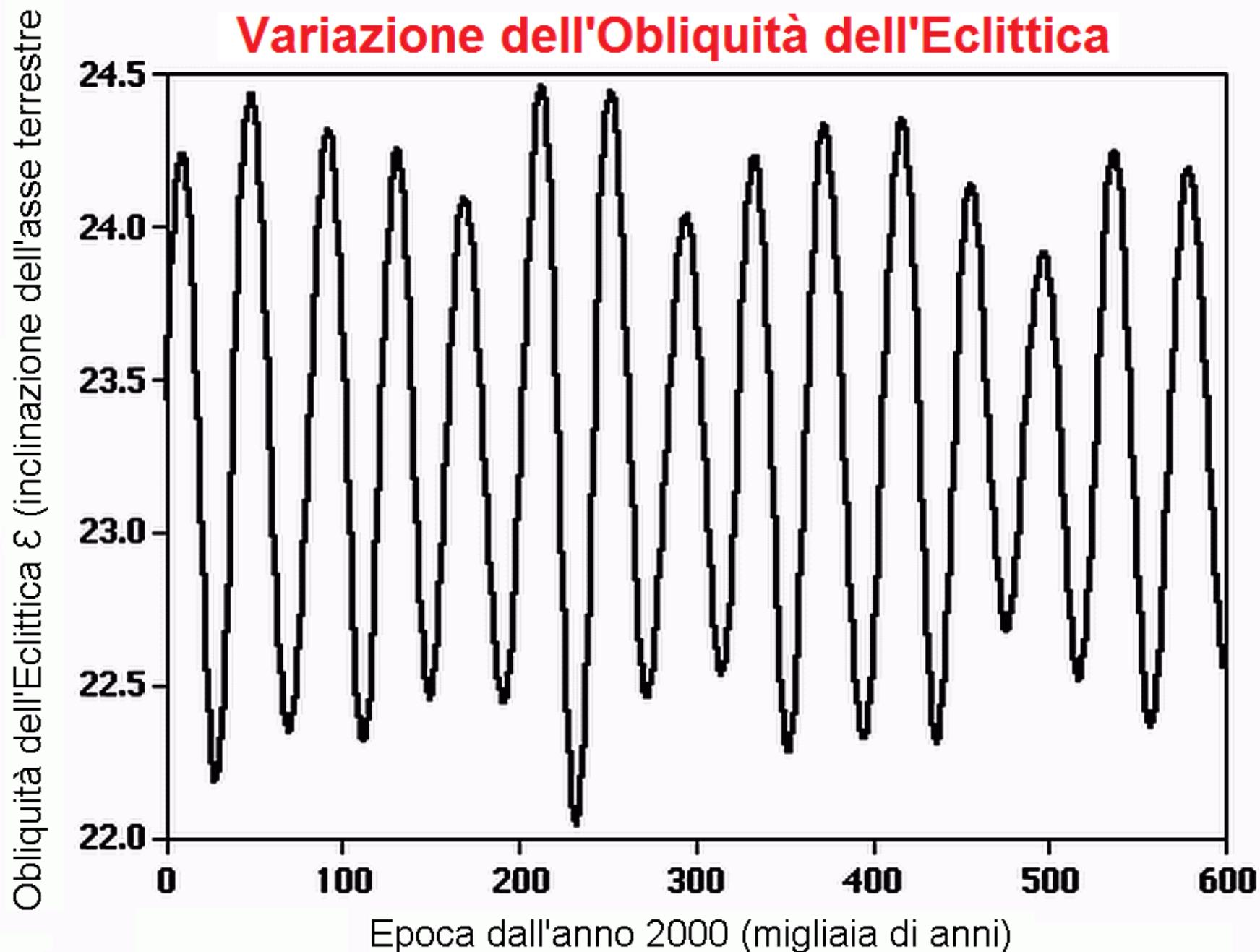
Astronomia per l'Archeoastronomia

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

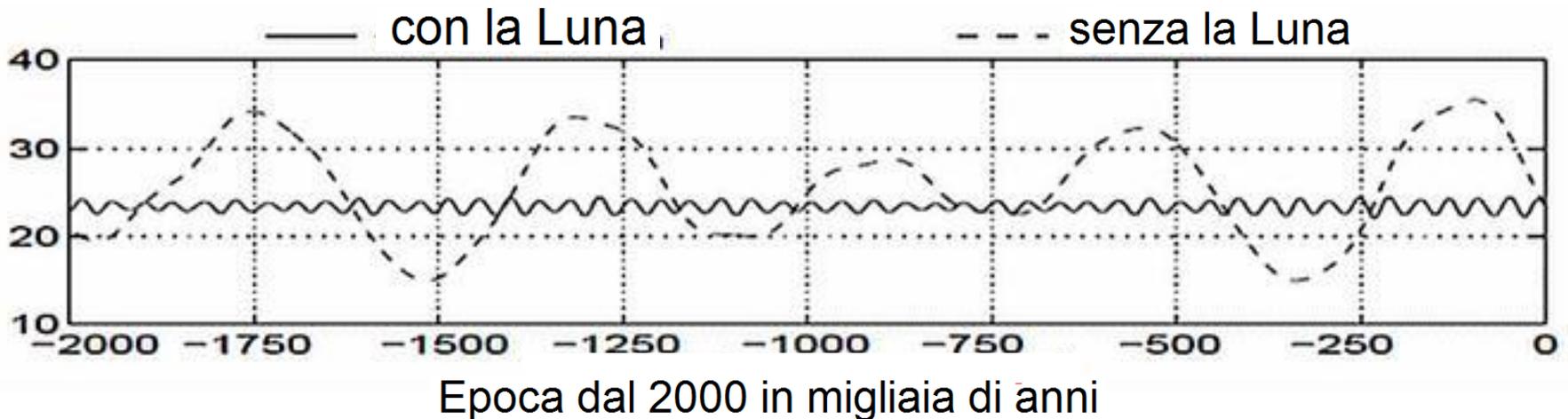
Inclinazione dell'asse della Terra: $\varepsilon = 23^{\circ},5$



Variazione dell'Obliquità dell'Eclittica

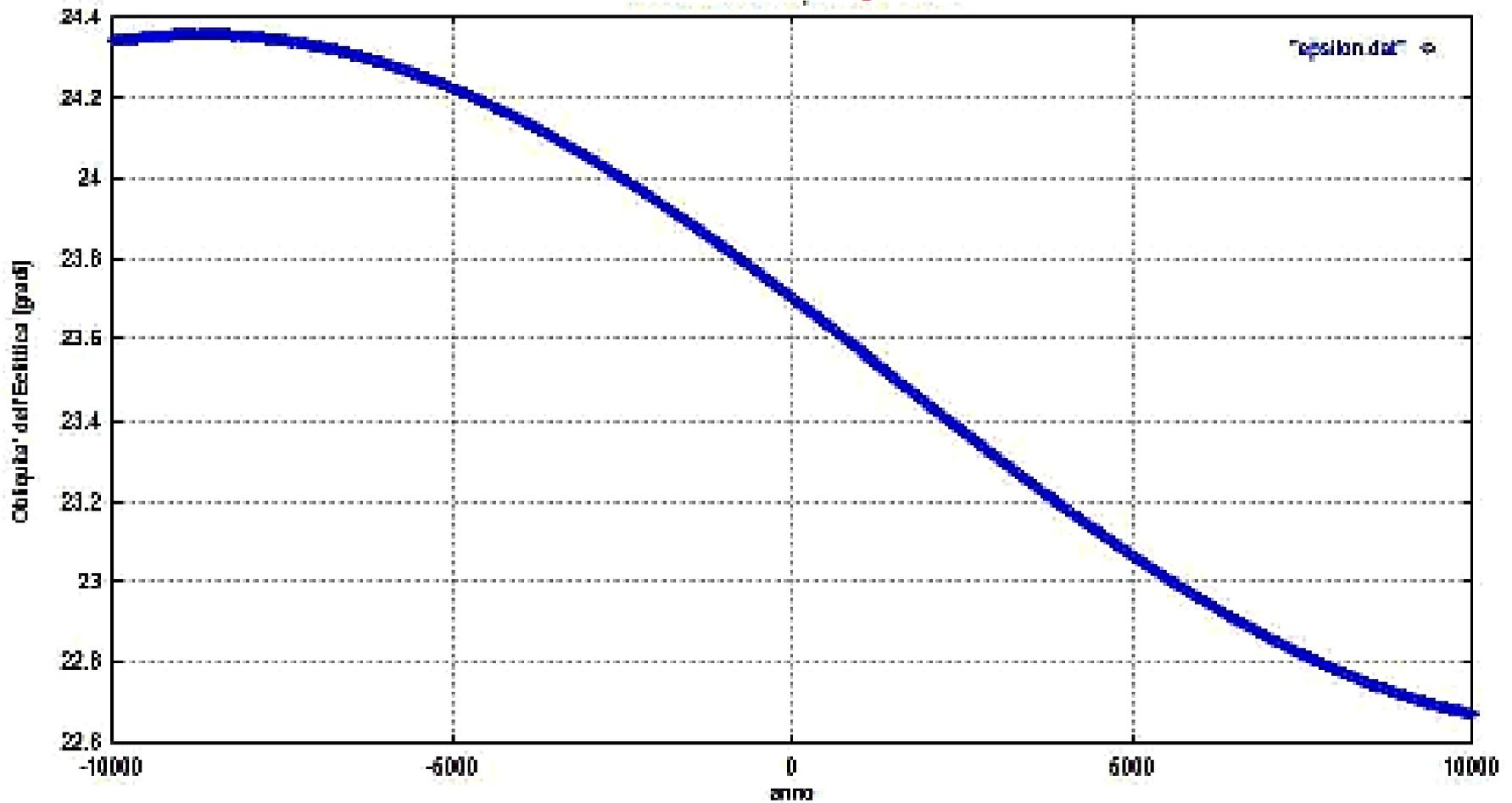


L'inclinazione dell'asse della Terra (Obliquità dell'Eclittica)



**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:

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

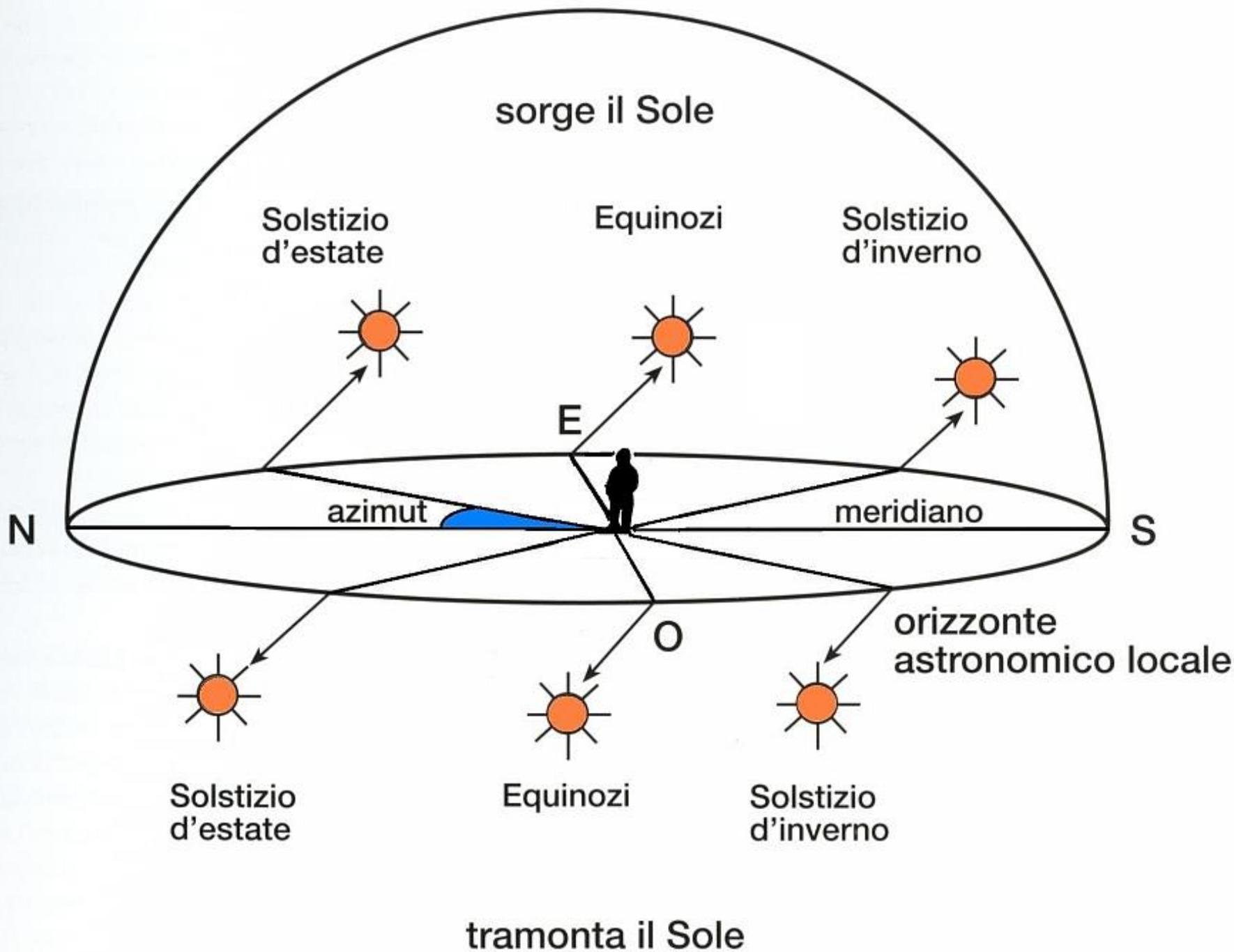
$$A_1 = -0,860$$

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

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

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

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



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:

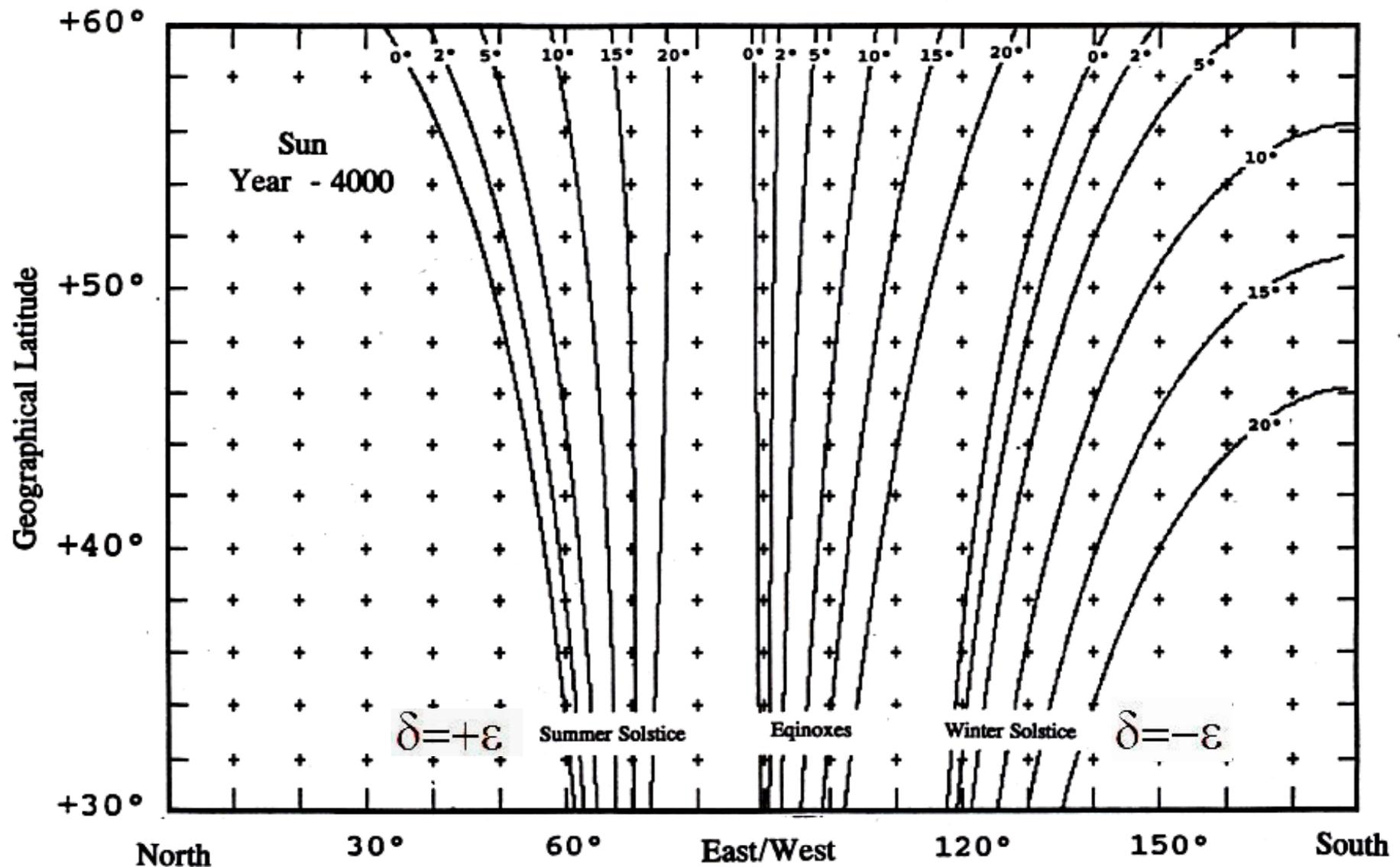
φ = Latitudine geografica

δ_{\odot} = Declinazione del Sole

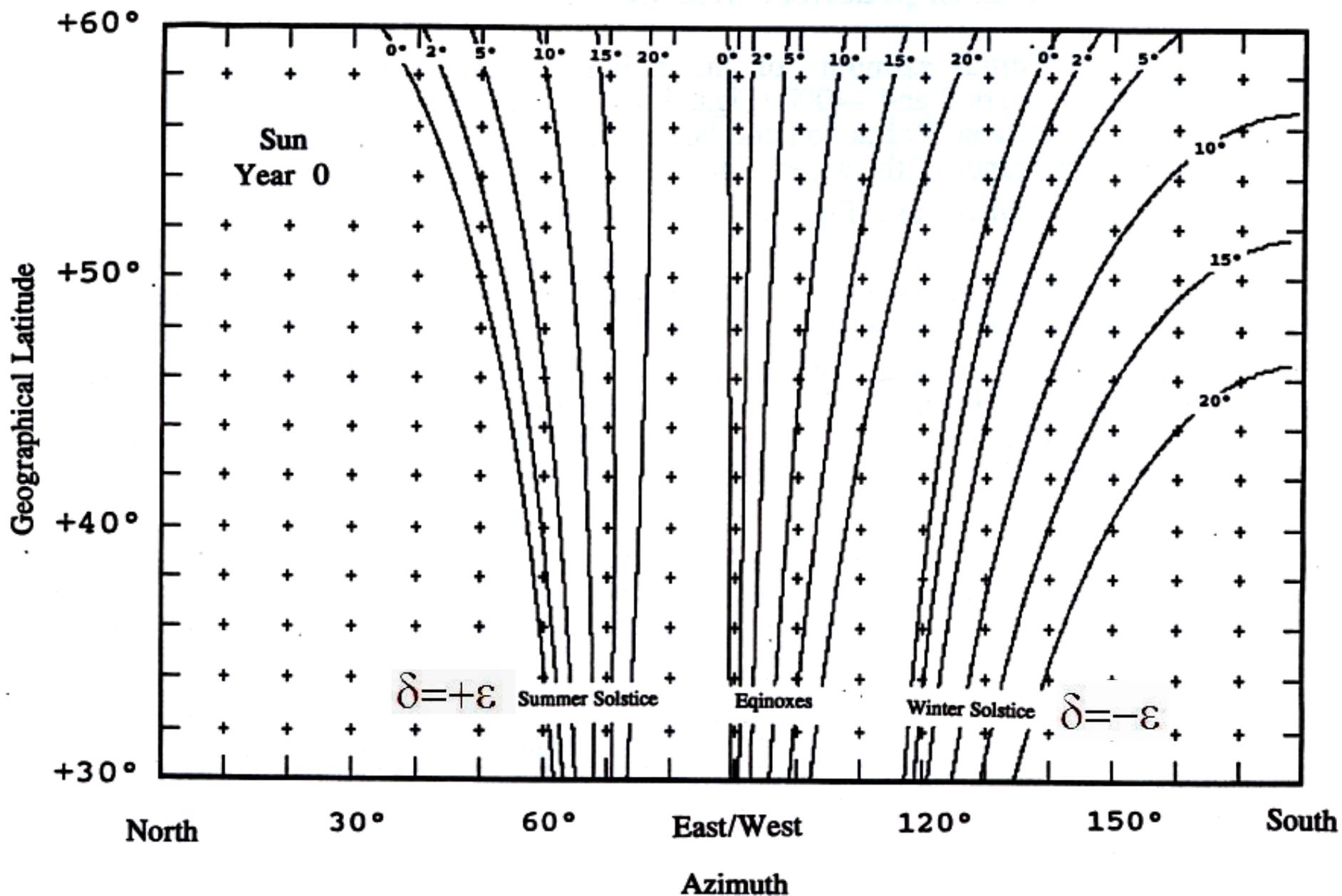
hr = Altezza angolare apparente dell'orizzonte naturale locale nella direzione di levata del Sole

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

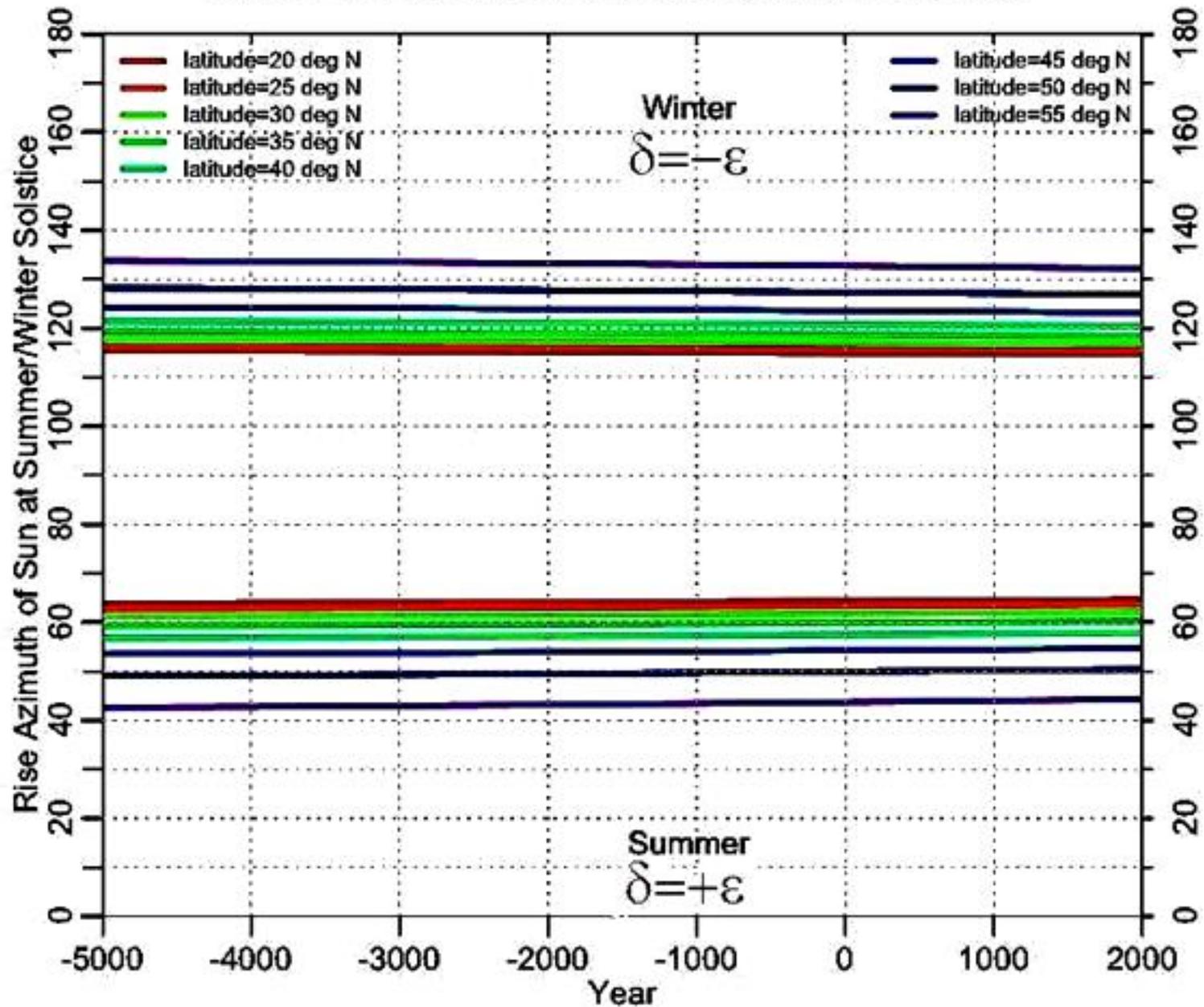
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare del Sole



Azimut Astronomico di sorgere/tramontare del Sole



Rise Azimuth of Sun at Summer/Winter Solstice



La variazione dell'Obliquità dell'Eclittica tra il 5000 a.C. e il 5000 d.C. approssimabile con:

$$\varepsilon(t) = 23.66 - 0.000112 \cdot t + \dots$$

dove:

t = anno (partendo dall'anno 0)

$\varepsilon(t)$ = Obliquità dell'eclittica (in gradi)

La derivata prima di $\varepsilon(t)$ rispetto al tempo t (=velocità di variazione nel tempo) è data da:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = - 0.000112 \quad \text{°/anno}$$

invertendo $\varepsilon(t)$ si può trovare $t(\varepsilon)$

$$t(\varepsilon) = -(\varepsilon(t) - 23^\circ.66) / 0.000112$$

dove $t(\varepsilon)$ è l'anno nel quale l'Obliquità dell'Eclittica fu pari ad $\varepsilon(t)$.

La derivata prima del tempo t rispetto all'obliquità dell'Eclittica $\varepsilon(t)$ è pari a:

$$\frac{dt}{d\varepsilon(t)} = - 8928.57 \quad \text{anni/}^\circ$$

$\varepsilon(t)$ può essere ottenuto dall'Azimut astronomico di sorgere/tramontare del Sole ai solstizi.

Solstizio d'Estate

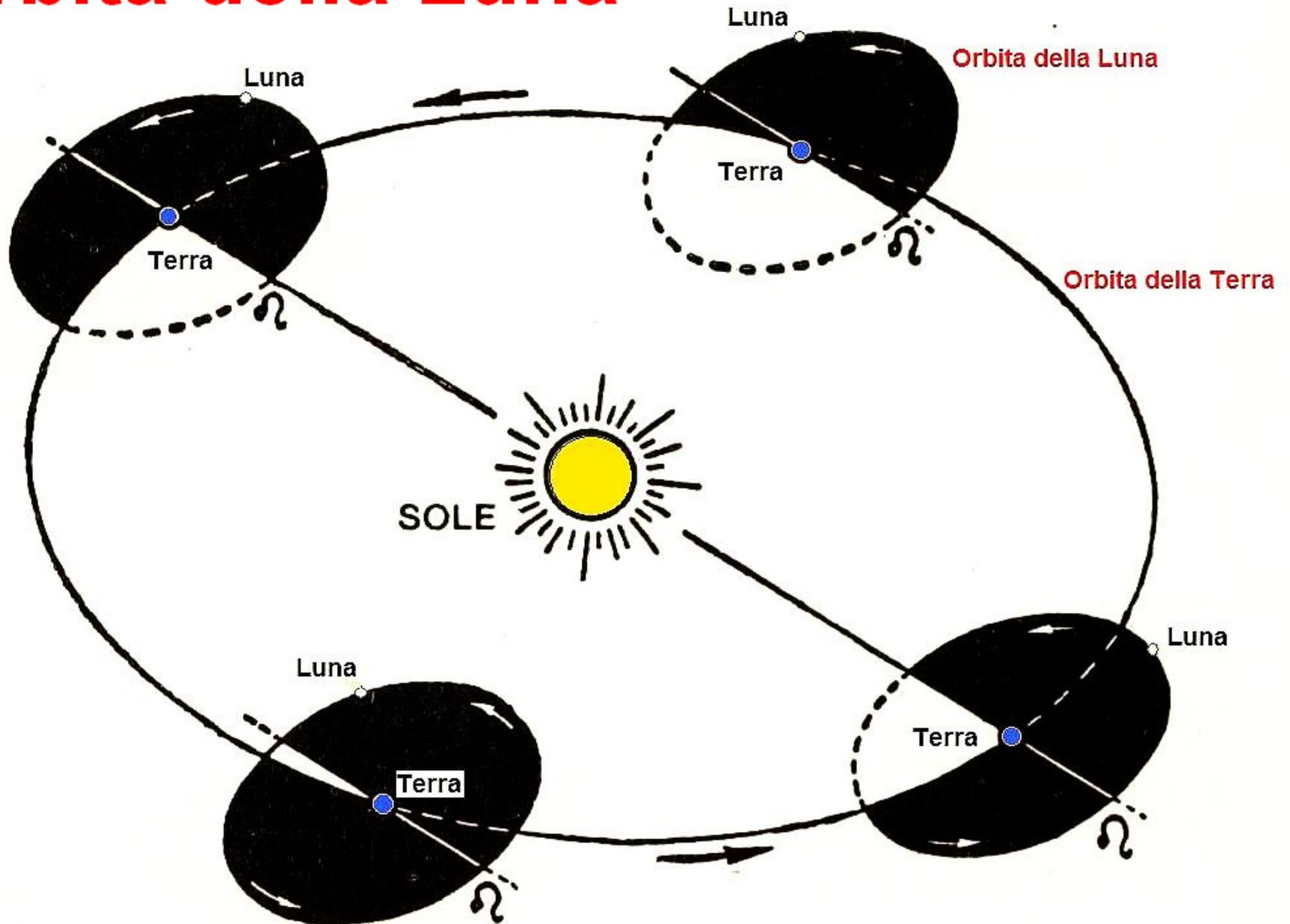
$$\varepsilon(t) = \arcsin(\cos(F) \cos(A_{SE}))$$

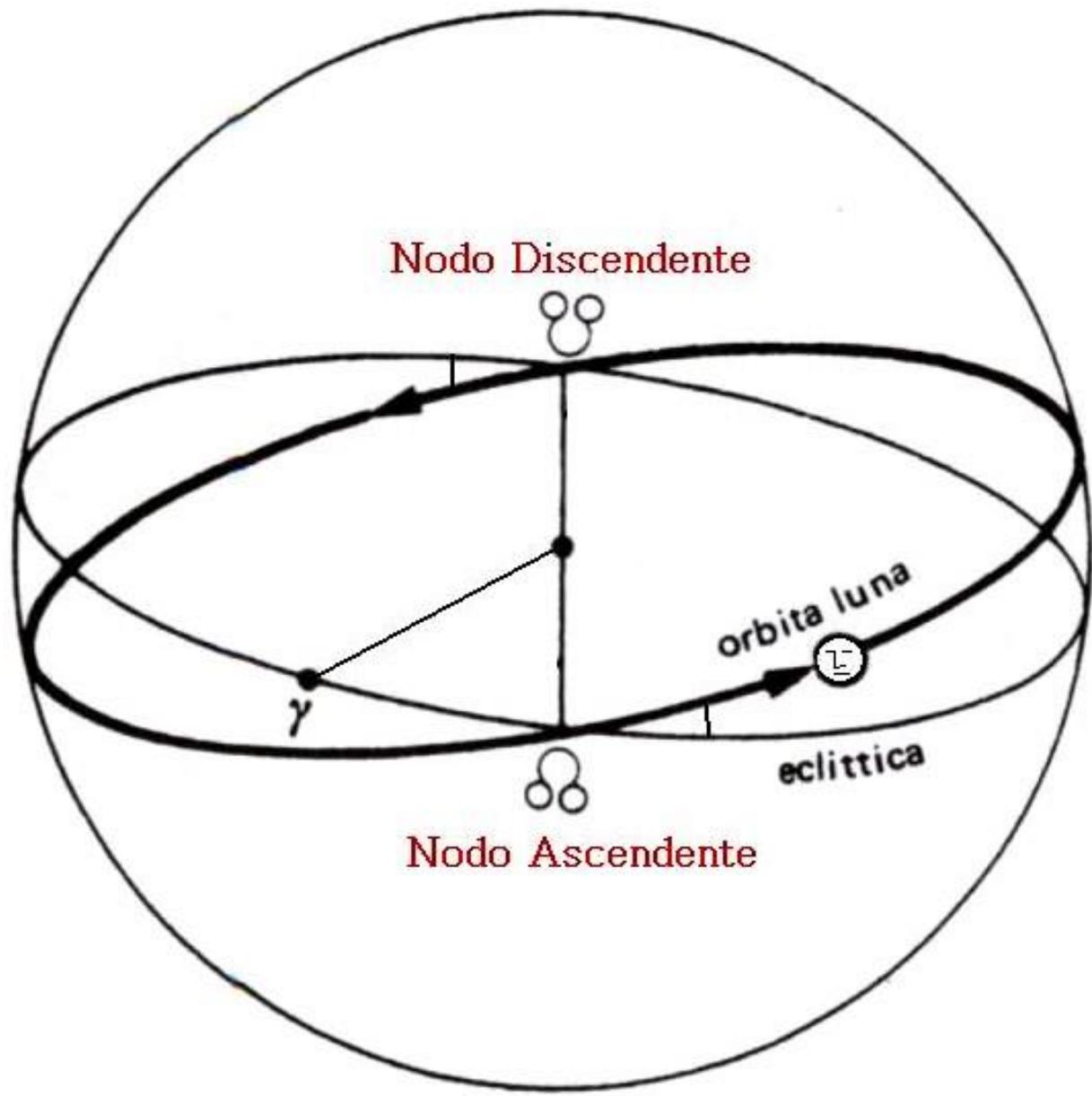
Solstizio d'Inverno

$$\varepsilon(t) = - \arcsin(\cos(F) \cos(A_{SI}))$$

F = Latitudine Geografica del sito.

Orbita della Luna





Nodo Discendente



orbita luna

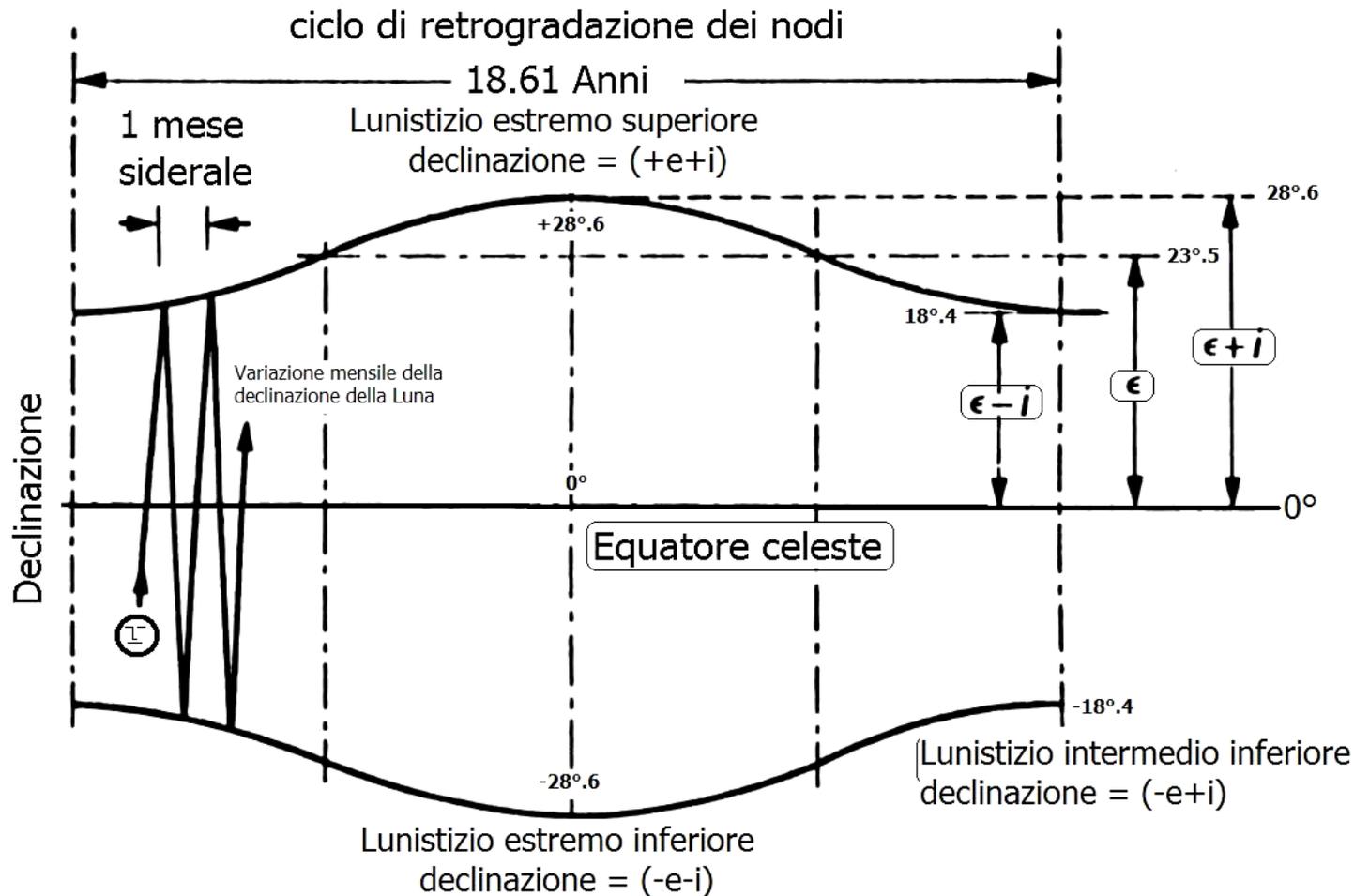
eclittica

γ



Nodo Ascendente

Variazione della declinazione geocentrica della Luna durante il ciclo di retrogradazione dei nodi (18,61 anni)



Variatione periodica della declinazione della Luna in 18.6 anni solari tropici corrispondente ad 1 ciclo di retrogradazione dei nodi. Ogni mese siderale lunare la declinazione della Luna oscilla entro gli estremi stabiliti dalla posizione dei nodi in quel mese ed indicati, nella figura, dalle due curve simmetriche poste una sopra ed una sotto la linea dell'equatore celeste. I valori di massima e minima declinazione lunare sono soggetti anche ad una variazione periodica con un periodo pari a 173.3 giorni a causa della variazione dell'inclinazione della sua orbita.

e può essere approssimato con la seguente formula:

$$\delta = \left(\varepsilon + i \cos\left(\frac{360^\circ}{P_r} t\right) + \Delta i \cos\left(\frac{360^\circ}{P_i} t\right) \right) \cos\left(\frac{360^\circ}{P_d} t\right) + \dots$$

dove t è il tempo espresso in giorni solari medi partendo dalla data di un lunistizio estremo superiore quando $\lambda(N)=0$ e quindi $\delta_{\text{luna}} \equiv \gamma$ e allora $\delta = (+\varepsilon+i)$ e dove:

ε = obliquità dell'eclittica; $\varepsilon = 23^\circ.45$

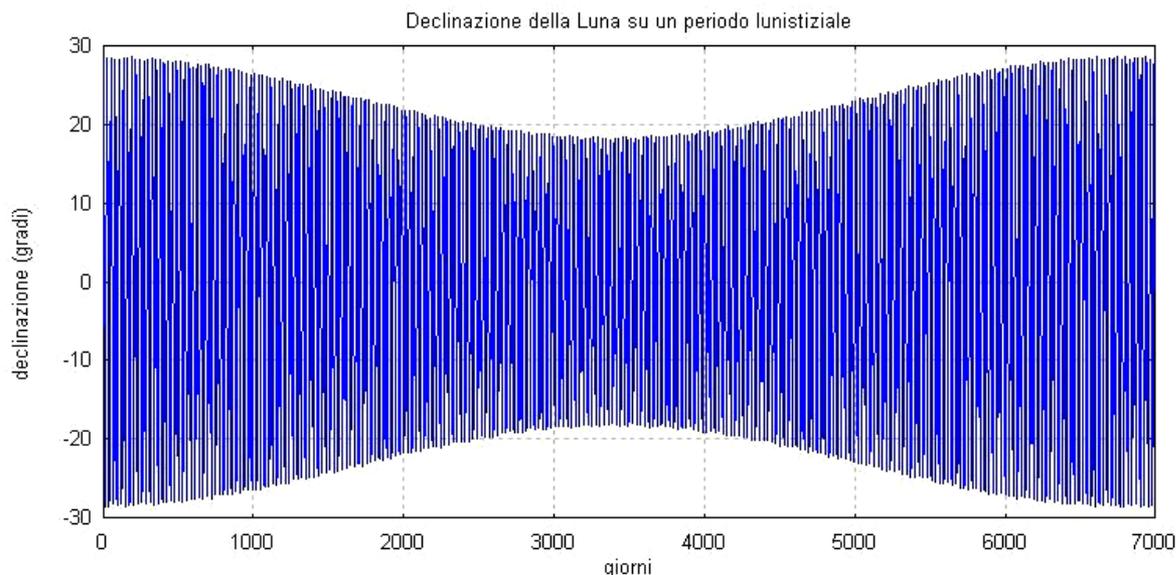
i = inclinazione media dell'orbita lunare; $i = 5^\circ.145$

Δi = semiampiezza di variazione dell'inclinazione dell'orbita della Luna; $\Delta i = 0^\circ.145$

P_r = periodo di retragradazione dei nodi = 18,61 anni solari tropici, $P_r = 6797,15$ giorni

P_i = semiperiodo latitudinale; $P_i = 173,3$ giorni solari medi

P_d = periodo (mese) draconitico della Luna; $P_d = 27,21$ giorni solari medi



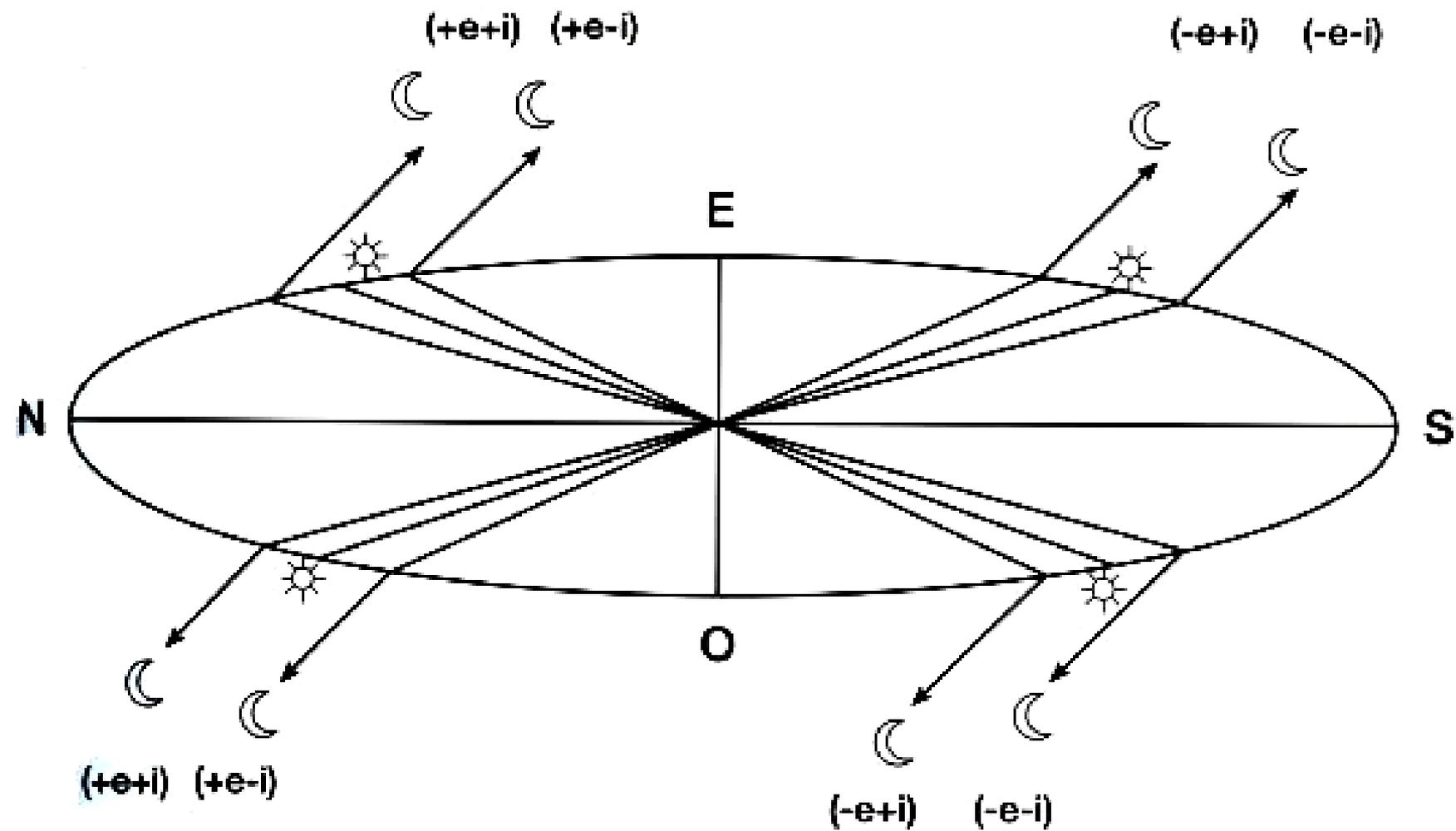
Se le funzioni trigonometriche sono calcolate in radianti allora si ha:

$$\text{Decl} = (23.45 + 5.145 \cdot \cos(0.000925 \cdot x) + 0.145 \cdot \cos(0.036256 \cdot x)) \cdot \cos(0.230915 \cdot x)$$

sorge la Luna

Lunistizi superiori

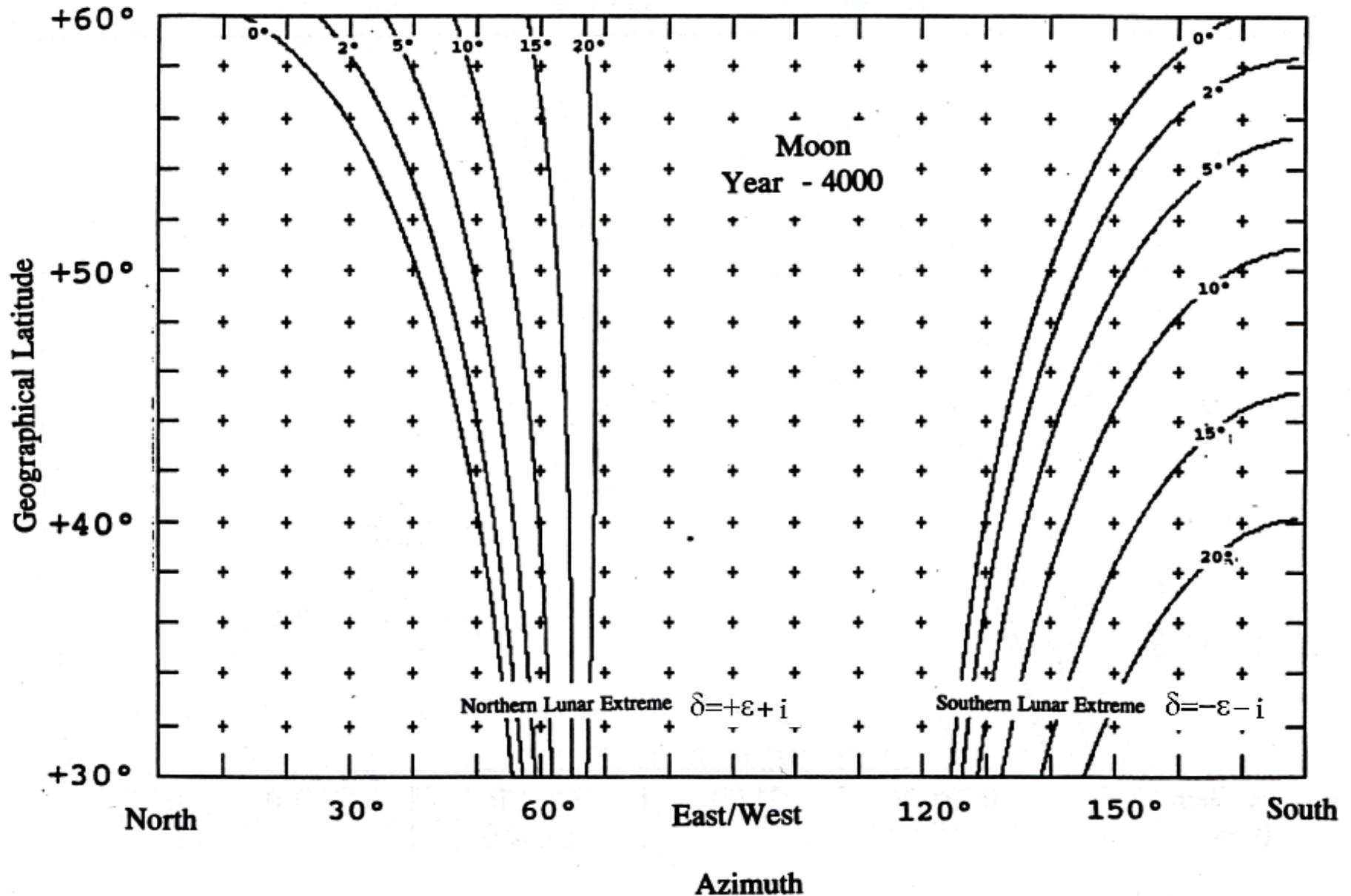
Lunistizi inferiori



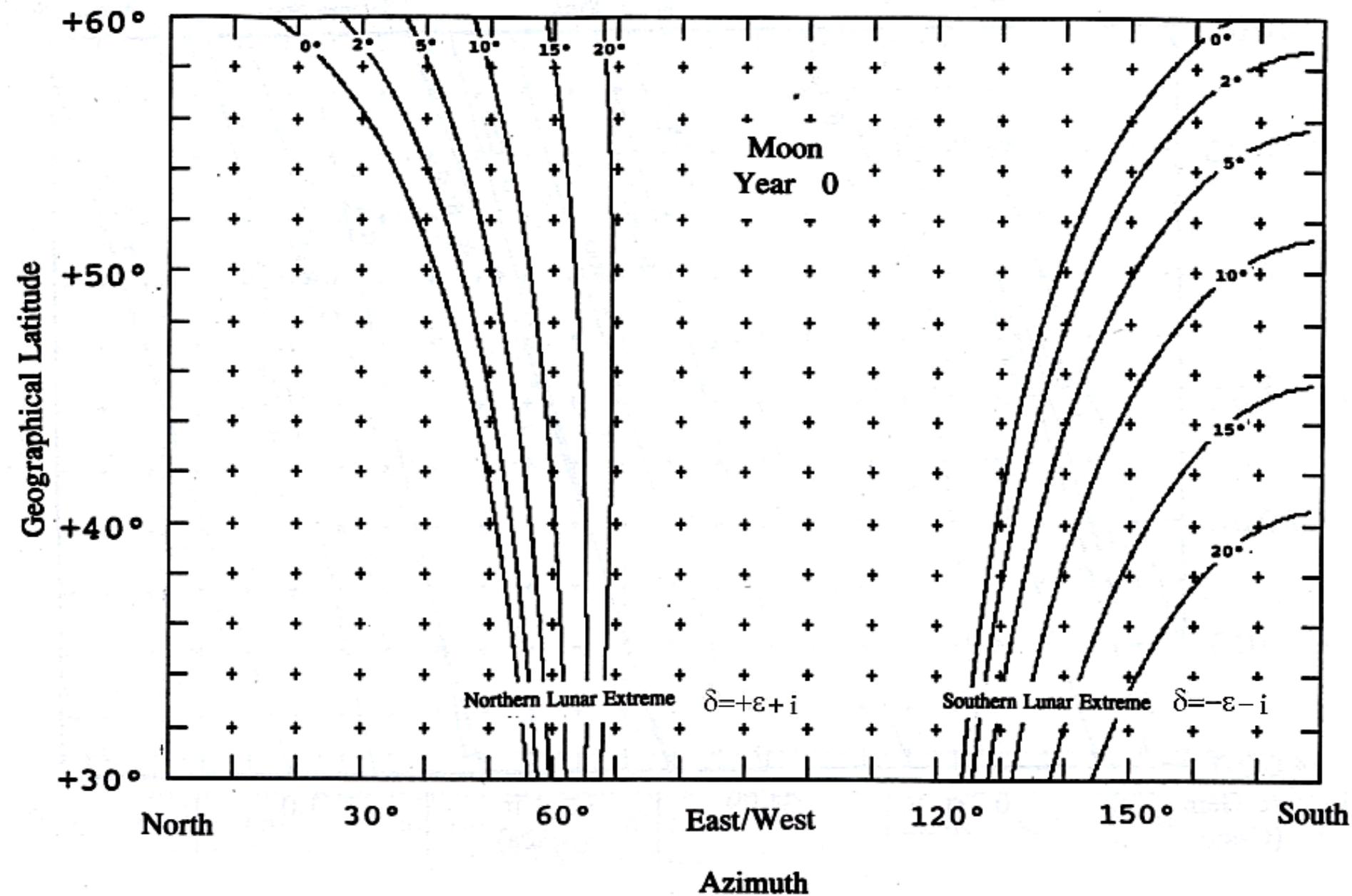
Lunistizi superiori

Lunistizi inferiori

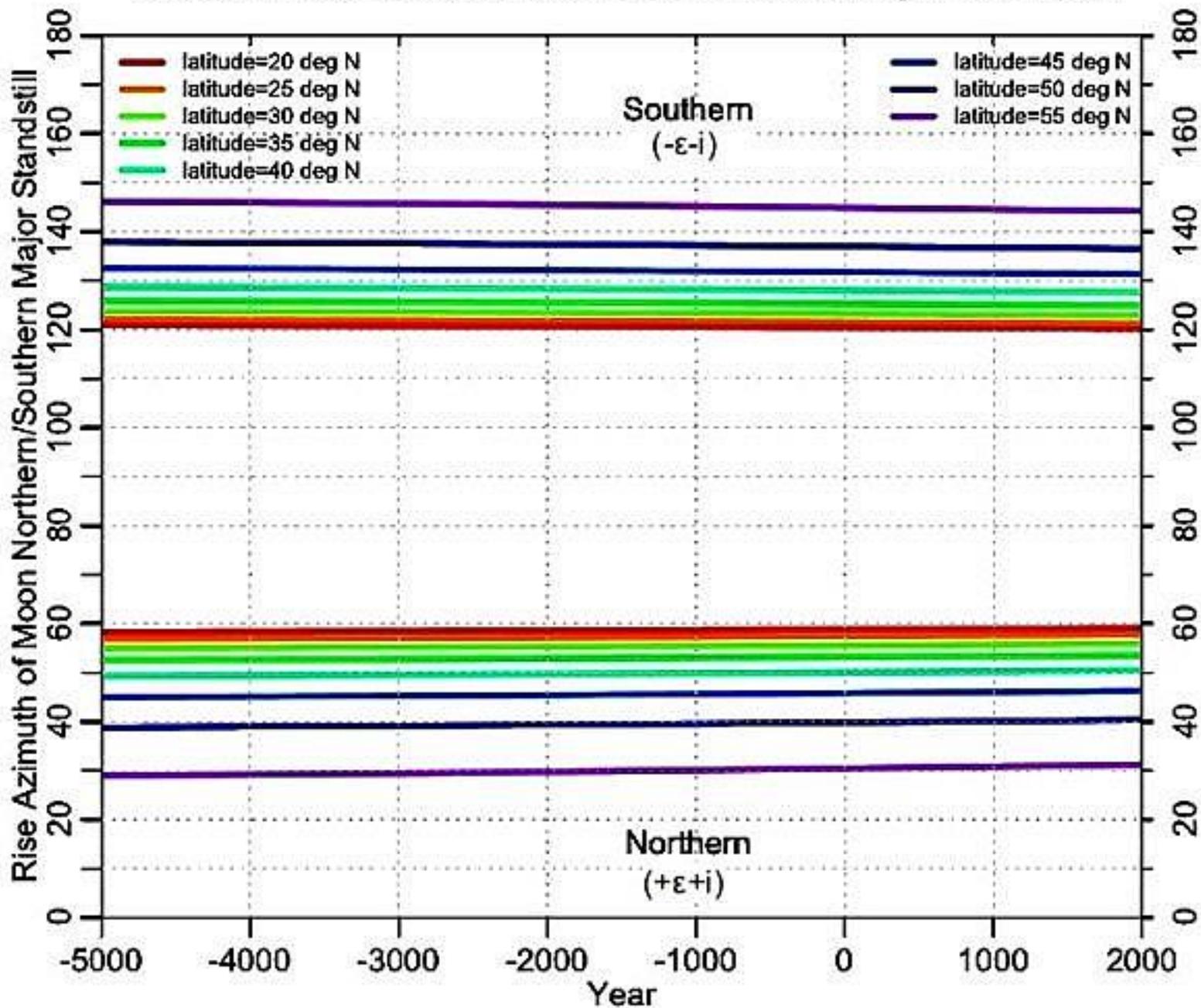
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare della Luna



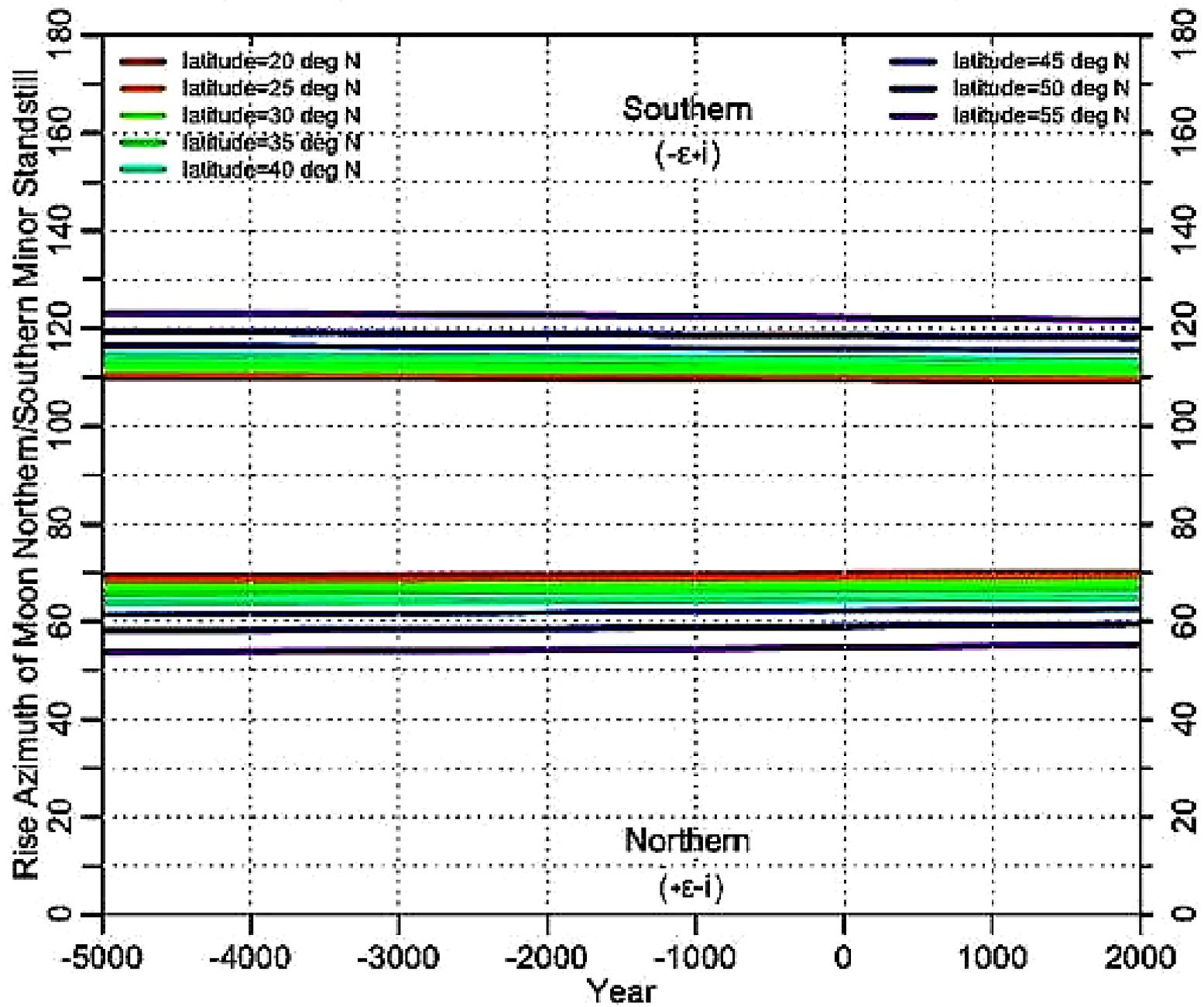
Azimut Astronomico di sorgere/tramontare della Luna



Rise Azimuth of Moon Northern/Southern Major Standstill



Rise Azimuth of Moon Northern/Southern Minor Standstill



in teoria si potrebbe ricavare $\varepsilon(t)$ dagli allineamenti lunari lunistiziali...

Assumendo, in prima approssimazione che la variazione della declinazione geocentrica $\delta_{\zeta}(t)$ della Luna vari nel tempo secondo una semplice funzione del tipo:

$$\delta_{\zeta} = \left(\varepsilon + i \cos\left(\frac{360^{\circ}}{P_r} t\right) + \Delta i \cos\left(\frac{360^{\circ}}{P_i} t\right) \right) \cos\left(\frac{360^{\circ}}{P_d} t\right) + \dots = \delta(t)$$

dove t è il tempo espresso in giorni solari medi partendo dalla data di un lunistizio estremo superiore quando $\lambda(N)=0$ e quindi $\delta_{\text{luna}} \equiv \gamma$ e allora $\delta_{\zeta} = (+\varepsilon+i)$ e dove:

ε = obliquità dell'eclittica; $\varepsilon = 23^{\circ}.45$

i = inclinazione media dell'orbita lunare; $i = 5^{\circ}.145$

Δi = semiampiezza di variazione dell'inclinazione dell'orbita della Luna; $\Delta i = 0^{\circ}.145$

P_r = periodo di retragradazione dei nodi = 18,61 anni solari tropici, $P_r = 6797,15$ giorni

P_i = semiperiodo latitudinale; $P_i = 173,3$ giorni solari medi

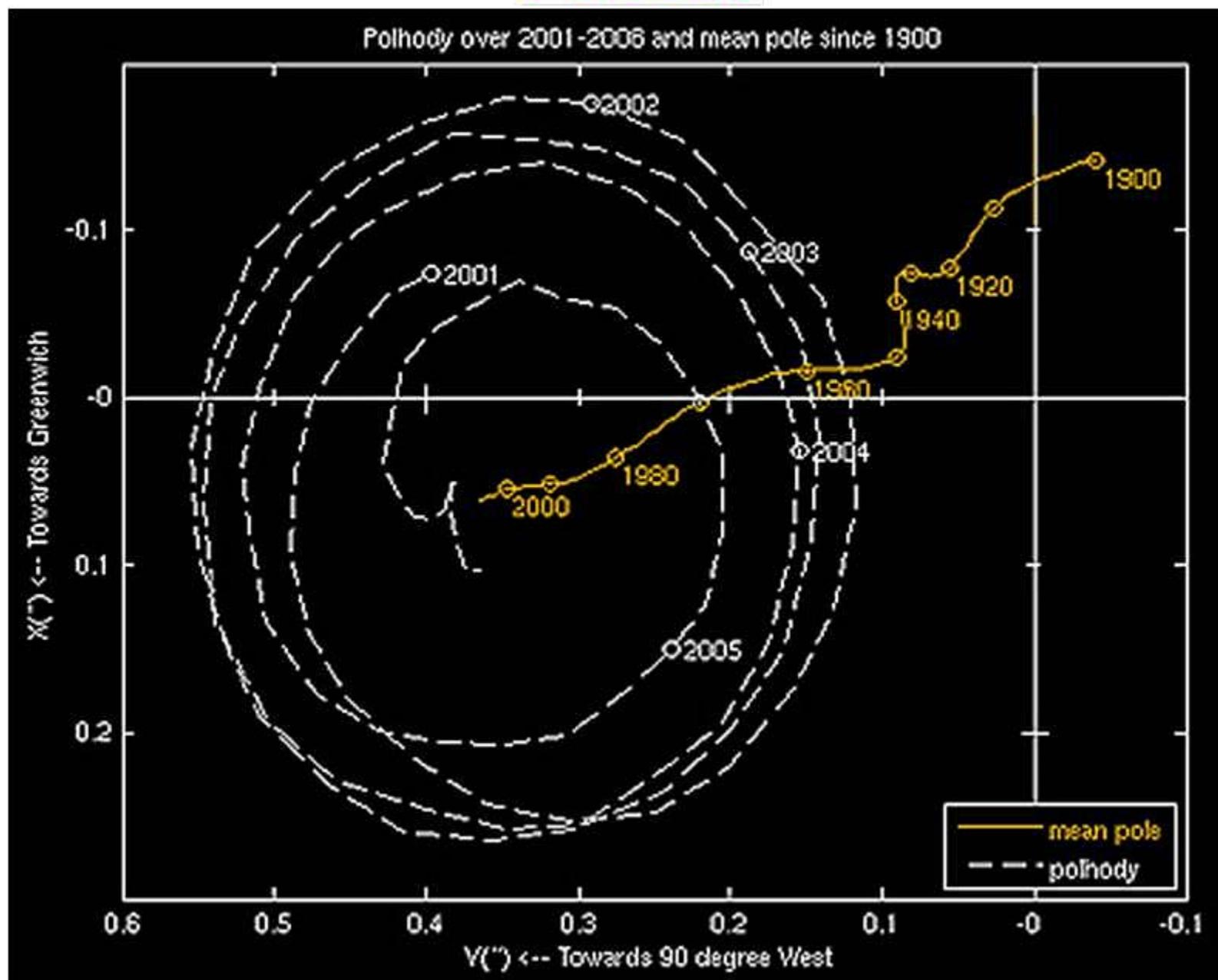
P_d = periodo (mese) draconitico della Luna; $P_d = 27,21$ giorni solari medi

...ricadendo nel caso precedente.

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

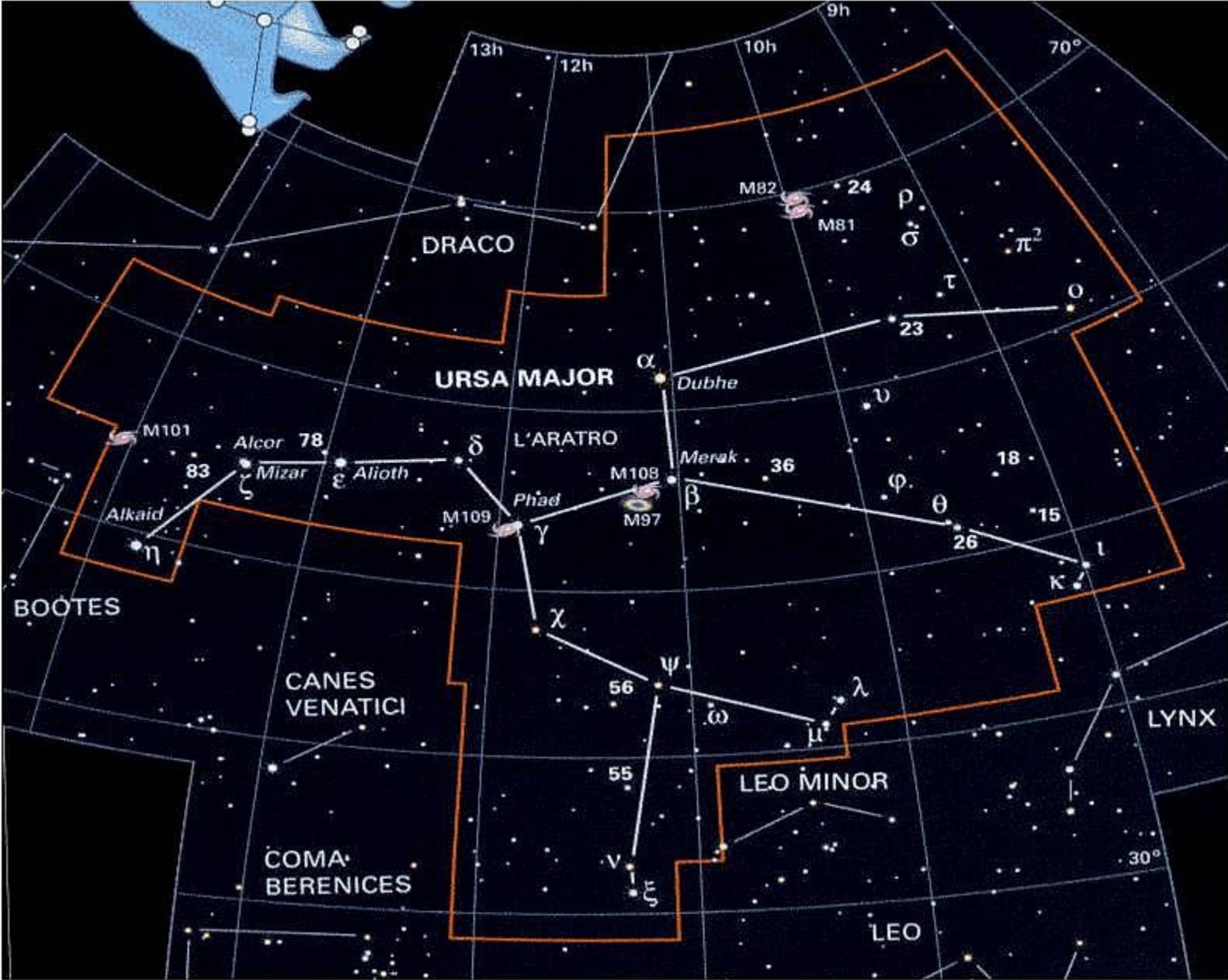
- A causa della forza di gravità che i pianeti esercitano sulla Terra, l'eccentricità del nostro pianeta varia con un periodo di 92 000 anni

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



Sorgere delle stelle e delle costellazioni



orizzonte astronomico locale

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

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

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...

Rigel

```
*=====
*  RIGEL.FOR : Neuro-Fuzzy System for Pattern Recognition and
*              Analysis of Sites of Archaeoastronomical interest.
*=====
*
** AG1995,1996,1997,1998 **
*
* Release 8.0.0 (1998, August)
*
* Neuro-Fuzzy system for pattern recognition and analysis of the
* allignments present in a site of Archaeoastronomical interest.
* This program is based on the application of the Fuzzy Logic
* (as known as Soft Computing) to the interpretation of the sites.
* The system is able to perform automatic scanning of the local
* horizon of a site searching for the stars (up to the visual
* magnitude 3.0) that fit well the directions marked by the
* allignments present into the site.
* The coded procedure takes in account both the height of the
* local physical horizon, the atmospheric refraction, the
* atmospheric extinction and the elevation of the site on the
* level of the sea.
*
* The artificial neural net was trained with data extracted from
* the star-catalogue of Hawkins et. Al. covering the time range
* from the year 0 to 2500 BC.
* The net shows higher accuracy at the year -1000.
*
*-----
*
*..
```

Rigel

```

***** RIGEL *****
|   By: A.Gaspani (1998) - Rel. 8.0.0   |
|-----|
|   Neuro-Fuzzy system discovering correlations |
|   between a set of measured azimuths of a number |
|   of alignments identified by pairs of markers |
|   in a site of Archaeoastronomical interest. |
|-----|
*****

```

Site: Geoglifo Swastica
Year: -800.0000000

Uncertainty on the dating: 1000.0000000 years
Geographical Latitude: 50.1100000 degrees
Height of the Physical Horizon: .0000000 degrees
Elevation of the Site on Sea Level: 144.0000000 mt

Standard Atmospheric Data adopted:
Air Temperature: T=10.0 oC
Atmospheric Pressure P=1010.0 millibar
Limiting Visual Magnitude at the Zenith Mz=6.0
Atmospheric Extinction Coefficient: 2.000000E-001 m/am
Atmospheric Transparency Factor: 8.317637E-001

** Results of the Neuro-Fuzzy Processing **

Markers Codes	Measured Azimuth (Deg.)	Pointing Error (Deg.)	Star Pattern	Fuzzy Correlation Coefficient	Probability of Random Alignment
1 1	69.16	-1.492	rising of Alpheratz	.653	.012
1 1	69.16	-2.118	rising of Alhena	.296	.008
1 1	69.16	-3.800	rising of Porrima	.173	.013
1 1	69.16	3.791	rising of Alpha Ser	.206	.013
1 1	69.16	-1.923	rising of Scheat	.442	.010
1 2	249.16	3.687	setting of Rigel	.028	.011
1 2	249.16	-1.122	setting of Menkar	.789	.015
1 2	249.16	2.988	setting of Nair	.196	.010
1 2	249.16	-3.408	setting of Beta Crv	.288	.013
1 2	249.16	.470	setting of Dzuba	.909	.014
1 2	249.16	-2.920	setting of Acrab	.435	.014
2 1	14.38	-1.258	rising of Schedar	.645	.010
2 1	14.38	-3.805	rising of Izar	.044	.011
2 2	194.38	1.857	setting of Pi Pup	.381	.008
2 2	194.38	-2.828	setting of Theta Sco	.203	.010
3 1	130.30	1.186	rising of Menkent	.763	.014
3 1	130.30	2.769	rising of Rho Pup	.077	.008
3 1	130.30	-.080	rising of Iota Cen	.983	.013
3 1	130.30	-.644	rising of Lambda Sgr	.789	.008
3 2	310.30	-.667	setting of Almak	.853	.013
3 2	310.30	-.733	setting of Algol	.844	.013
3 2	310.30	.002	setting of Epsilon Per	1.000	.012
3 2	310.30	2.661	setting of Vindemiatrix	.384	.012
3 2	310.30	-4.750	setting of Beta Her	.256	.018
3 2	310.30	1.524	setting of Gifnar	.492	.008

Fuzziness on Planimetry Orientation: 3.0000000 deg.
Overall Classification Fuzziness: 3.4481140 deg.

The number listed in the last column is the cross correlation parameter indicating how the alignment found is correlated with the target star recognized.



input file

id1	id2	Az	d
1	1	69.16	33
1	2	249.16	33
2	1	14.38	31
2	2	194.38	31
3	1	130.30	35
3	2	310.30	35

NetSun

```
*=====
* NETSUN.FOR : Solar Extreme Azimuts of rising and setting
*=====
*
* **AG1995,1997,1998**
*
* Neuro-fuzzy System discovering correlations between a set of measured
* azimuths of a number of allignments identified by pairs of markers
* present in an archaeoastronomical site and the Azimuts of rising and
* setting Sun at the Solstices and at the Equinoxes.
*
* By: A.Gaspani - Rel. 4.0 - 1998 February
*
*-----
*
```

NetSun

```
*----- NETSUN -----*
| By: A.Gaspani - Rel. 4.0 - 1998 February |
|-----|
| Neuro-fuzzy system discovering correlations |
| between a set of measured azimuths of a number |
| of alignments identified by pairs of markers |
| in an archaeoastronomical site and the Azimuts |
| rising and setting Sun at the Solstices and at |
| the Equinoxes. |
|-----*
```

Geographical Place: Geoglifo Swastica
Geographical Latitude: 50.11000000000000 Degrees
Elevation of the Site: 144.00000000000000 mt
Height of the Physical Horizon: .00000000000000 Degrees

Atmospheric Model Parameters for the Refraction
Temperature: T=+10 oC
Pressure: P: 1010 Millibars

Year: -800.00000000000000

obliquity of the Ecliptic = 23.80113663545800 Degrees

** Extreme Declinations and Azimuts of the Sun **

	Decl.	Az(Rise)	Az(set)	
winter solstice:	-23.8	127.6	232.4	Degrees
Equinoxes:	.0	88.9	271.1	Degrees
Summer solstice:	23.8	49.6	310.4	Degrees

Decl.: Declination of the sun (degrees)
Az(Rise) : Azimuth of the rising sun (degrees)
Az(Set) : Azimuth of the setting sun (degrees)
(measured eastward from the North direction).

** Julian Dates of solstices and Equinoxes **

Spring Equinox: March 29.1
Summer solstice: June 31.4
Autumn Equinox: September 31.2
Winter Solstice: December 28.6

```
*****
*** Results of the Fuzzy ***
*** Neural Autoassociative Processing ***
*****
```

Uncertainty of the orientation
of the Planimetry of the Site: 3.0000000 Degrees

Absolute Fuzziness due to the Run on the solar
Disk crossing the Local Horizon: 5.982054E-001 Degrees

Overall Radius Confusion Spot: 3.0000000 Degrees

Markers Codes	Measured Azimuth (Deg.)	Pointing Error (Deg.)	Sun Pattern	
3 1	130.30	2.707	Sun rising at the winter solstice	.098
3 2	310.30	-.141	Sun setting at the summer solstice	.953

The number listed in the last column refers to the fuzzy correlation factor between the alignment and the listed solar direction.



NetMoon

```
*=====
* NETMOON.FOR : Lunar Extreme Azimuts of rising and setting
*=====
*
*
* **AG1995,1997**
*
* Neuro-fuzzy system discovering correlations between a set of measured
* azimuths of a number of allignments identified by pairs of markers
* present in an archaeoastronomical site and the Azimuts of rising and
* setting Moon at the Lunistics.
*
* By: A.Gaspani - Rel. 3.0 - 1997 August.
*
*-----
*
```

NetMoon

```
*===== NETMOON =====*
| By: A.Gaspani - Rel. 3.0 - 1997 August |
|-----|
| Artificial Neural Net discovering correlations |
| between a set of measured azimuths of a number |
| of alignments identified by pairs of markers |
| in a megalithic site of astro-archaeological |
| interest and the azimuths of rising and setting |
| of the Moon at the Major and Minor Standstills. |
|-----|
*=====*
```

Geographical Place: Zinchebra
Geographical Latitude: 26.52000000000000 Degrees
Elevation of the Site: 500.00000000000000 mt
Height of the Physical Horizon: 1.00000000000000 Degrees

Atmospheric Model Parameters for the Refraction
Temperature: T=+10 oC
Pressure: P: 1010 Millibars

Year: -850.00000000000000

** Extreme Declinations and Azimuts of the Moon **

	Az(Rise)	Az(Set)		Az(Rise)	Az(Set)
+e+i+d	57.5	302.5	+e-i-d	57.9	302.1
-e-i+d	123.0	237.0	-e-i-d	123.4	236.6
+e-i-d	69.6	290.4	+e-i+d	69.3	290.7
-e+i+d	111.2	248.8	-e+i-d	111.5	248.5

D : Extreme Declination of the Moon
e : Obliquity of the Ecliptic = 23.80728935540600 Degrees
i : Inclination of the Lunar Orbit on the Ecliptic
d : Amplitude of the main periodic term affecting i

Az(Rise) : Azimuth of the rising Moon (degrees)
Az(Set) : Azimuth of the setting Moon (degrees)
(measured eastward from the North direction).

```
*****
*** Results of the Fuzzy ***
*** Neural Autoassociative Processing ***
*****
```

Uncertainty on the Orientation
of the Planimetry of the Site: 3.0000000 Degrees

Absolute Fuzziness due to the Run on the Lunar
Disk crossing the Local Horizon: 5.500000E-001 Degrees

Overall Radius Confusion Spot: 3.0000000 Degrees

Markers	Measured	Pointing	Moon		
Codes	Azimuth	Error	Pattern		
Na	Nb	(Deg.)	(Deg.)		
4	2	234.01	-2.959	Moon setting at D=(-e-i+d)	.014
4	2	234.01	-2.620	Moon setting at D=(-e-i-d)	.127
6	1	68.22	-1.387	Moon rising at D=(+e-i-d)	.538
6	1	68.22	-1.059	Moon rising at D=(+e-i+d)	.647
6	2	248.22	-.589	Moon setting at D=(-e+i+d)	.804
6	2	248.22	-.259	Moon setting at D=(-e+i-d)	.914

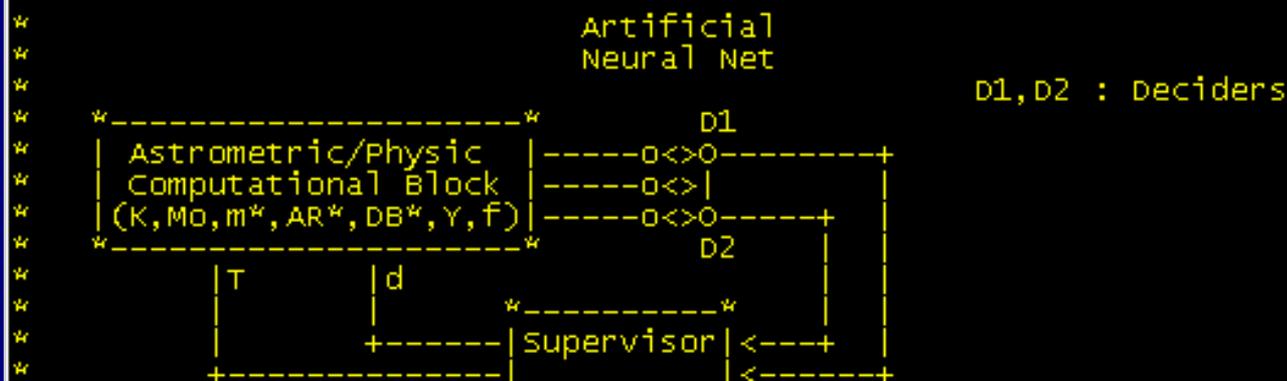
The number listed in the last column refers to
the fuzzy correlation factor between the
alignment and the listed lunar direction.



Helnet

```
=====
* HELNET.FOR : Neuro-Fuzzy System for computing the date
*               of the Heliacal Rising or Setting of Stars
*=====
*
* ** AG1996,2000 **      Version 3.0 - 2000 August 7
*
*
* Neuro-Fuzzy System for computing the date of the Heliacal Rising
* or Setting of Stars for an arbitrary historical epoch.
* This program predicts the calendar date in which heliacal rising
* or setting of a given star (or planet) happens.
* The program implements the theory developed by B. Schafer (1987)
* It takes in account the atmospheric diffusion of the solar light
* at twilight.
```

* The Neuro-Fuzzy System has the following structure:



```
* The Astrometric/Physic Computational Block optimizes the reciprocal
* positions of the sun and the star on the Local Celestial sphere
* in order to make the Heliacal Rising/Setting visible taking in
* account the optical properties of the local Earth's atmosphere.
* The same block optimizes also the date of visibility as well as the
* "Arcus visionis" at the latitude of the observer.
* The precession applied for the stars is made by the rigorous
* method, so the star's positions would be accurate up to 10000 BC.
```

HelStar

```
=====
*   *** HELSTAR.FOR
*   Search Allignments related to Heliacal Phenomena of Stars.
*   =====
*
*   **AG1996,1997,1998**
*
*   Testing for Heliacal Phenomena Coded with stones/Holes Allignments
*   in an Archaeoastronomical site and classifying them into various
*   classes related with the heliacal rising of a number of stars.
*
*   -----
*
*   ..
```

```

*===== HELSTAR =====*
| Neuro-Fuzzy System searching for the |
| correlation between Stellar Heliacal |
| Phenomena and Alignments available |
| in an Archaeoastronomical site.    |
|-----|
| by A.Gaspari (1998) - Rel 5.0      |
*=====

```

HelStar

Site: Quadrato Ushtogaysky

Geographical Latitude: F= 50.8300000
 Year: -800.0000000

First visibility Azimuths of Heliacal Rising Stars.
 Standard Atmospheric Extinction Coefficient: Kv=0.2
 Limit Visual Magnitude at the Zenith Mv=6.0

```

H. Rising of Antares      Az(F.V.)= 125.6731000 Degrees
H. Rising of Capella     Az(F.V.)= 20.2869100 Degrees
H. Rising of Aldebaran   Az(F.V.)= 90.0034800 Degrees
H. Rising of Sirius      Az(F.V.)= 125.4471000 Degrees

```

```

H. Rising of Arcturus    Az(F.V.)= 42.1988900 Degrees
H. Rising of Procyon    Az(F.V.)= 87.3247300 Degrees
H. Rising of Vega       Az(F.V.)= 19.8518600 Degrees
H. Rising of Deneb      Az(F.V.)= 28.2231100 Degrees
H. Rising of Altair     Az(F.V.)= 90.8078200 Degrees
H. Rising of Plejades   Az(F.V.)= 86.3590800 Degrees
H. Rising of Spica      Az(F.V.)= 86.8619500 Degrees
H. Rising of Regulus    Az(F.V.)= 62.2859000 Degrees
H. Rising of Rigel      Az(F.V.)= 123.0732000 Degrees
H. Rising of Betelgeuse Az(F.V.)= 95.0892200 Degrees
H. Rising of Algenib    Az(F.V.)= 96.6548500 Degrees
H. Rising of Scheat     Az(F.V.)= 71.9386700 Degrees
H. Rising of Markab     Az(F.V.)= 92.9301800 Degrees
H. Rising of Mira       Az(F.V.)= 133.7216000 Degrees
H. Rising of Sirah      Az(F.V.)= 78.0931200 Degrees
H. Rising of Hamal      Az(F.V.)= 87.2850900 Degrees

```

Fuzziness due to the Atmospheric optics: 1.0000000 degrees

Fuzziness due to the Uncertainty on the Orientation of the Planimetry : 3.0000000 degrees

Overall Fuzziness: 3.0000000 degrees

Markers Codes	Measured Azimuth	Error	Star Pattern	P(A, A*)	
2	1	72.54	.601	Heliacal Rising of Scheat	.564
5	1	25.35	-2.873	Heliacal Rising of Deneb	.147
6	1	27.44	-.783	Heliacal Rising of Deneb	.506

Number of processed azimuths: 12
 Number of successfull alignments found: 3

P(A, A*) is the estimated probability that the azimuth A (of the alignment) and A* (of the star) are correlated each other under an overall fuzziness level: R= 3.0000000 degrees.

Probability of a single alignment is correlated with an heliacally rising stars as cosequence of a combination of random factors: P(rand)= 8.333334E-003



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

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

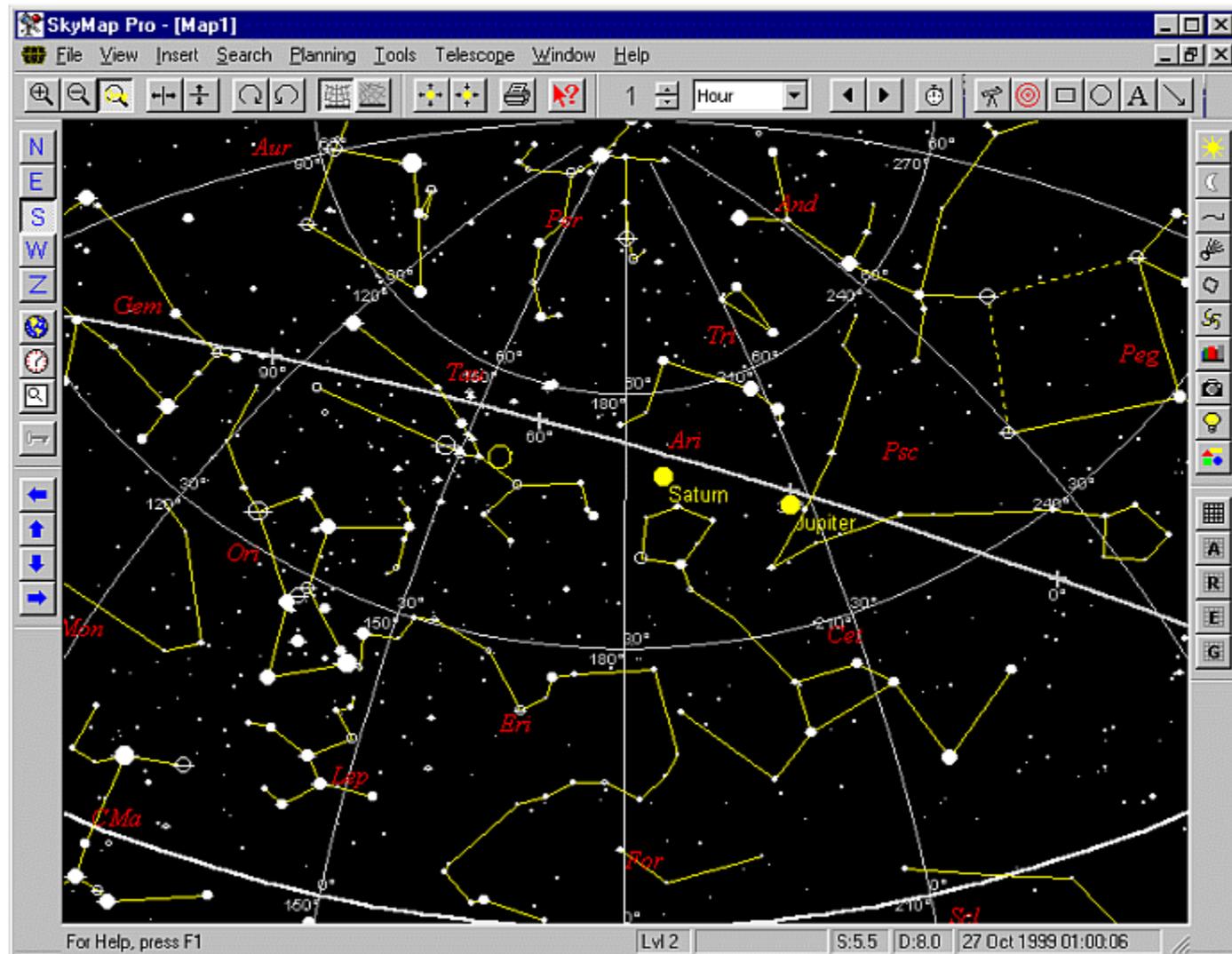
(Adatti all'Archeoastronomia)

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

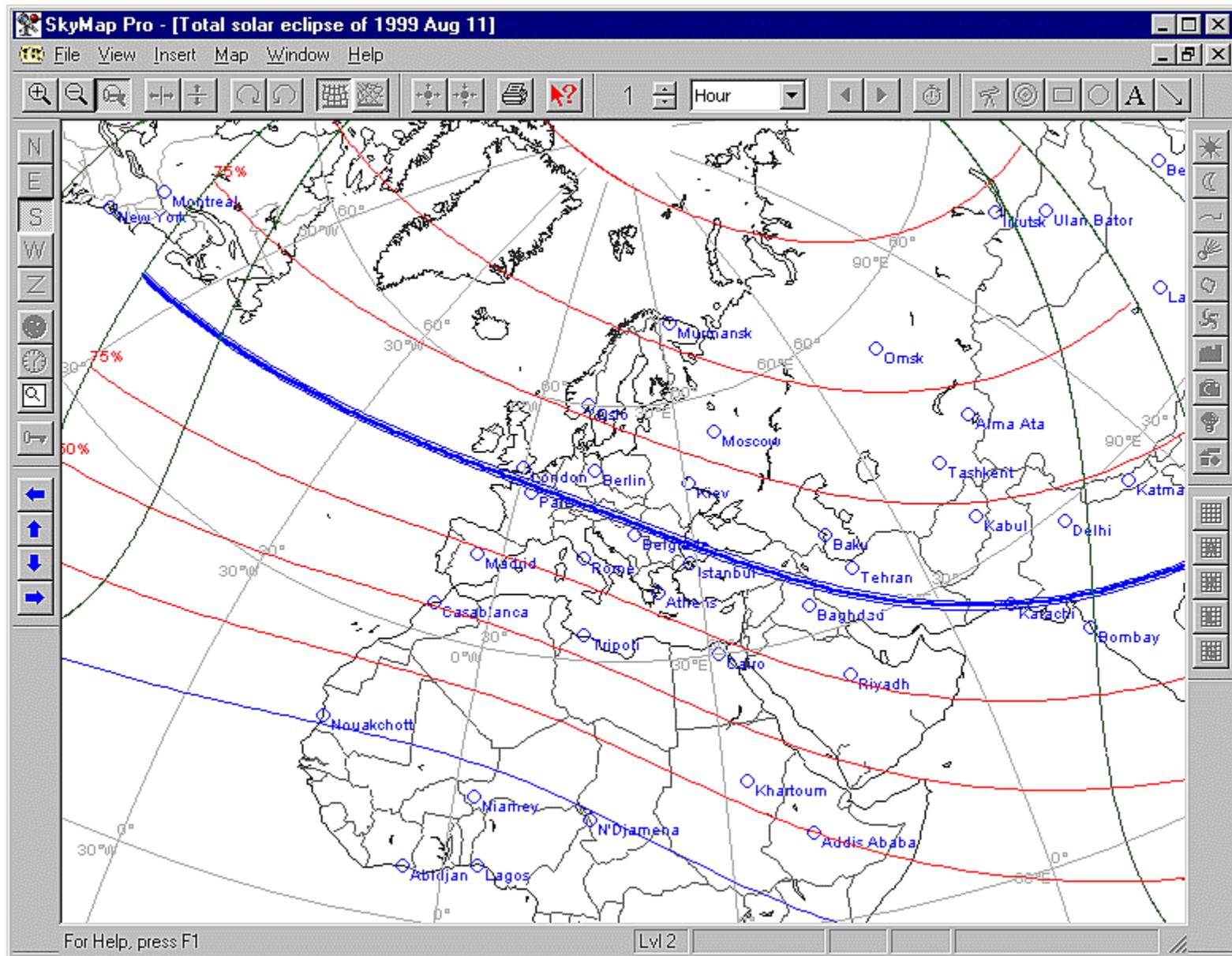


SkyMap Pro Sample 1

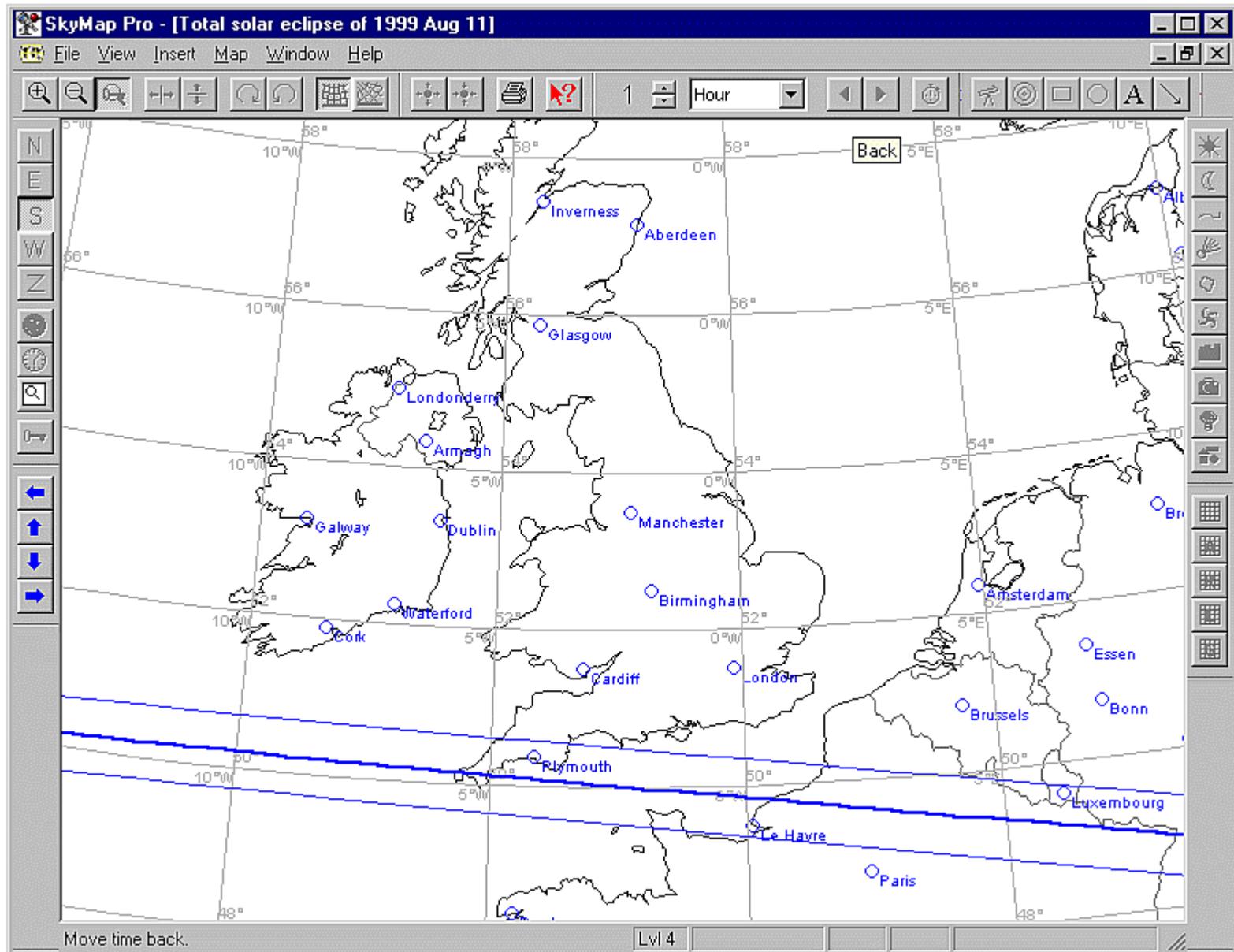
General Map View



Calcolo delle Eclissi con SkyMap Pro



Calcolo delle Eclissi con SkyMap Pro



**Talvolta è necessario
andare molto indietro
nel tempo....**

Catalogo di Hawkins-Rosenthal

SMITHSONIAN
CONTRIBUTIONS
to
ASTROPHYSICS



Smithsonian Institution
Astrophysical Observatory

Volume 10, Number 2

**5,000- and 10,000-Year
Star Catalogs**

by Gerald S. Hawkins
and Shoshana K. Rosenthal

Washington, D.C.

TABLE 2.—The 5,000-year star catalog—Continued

NO. (MAG)	Q206 (2.48)		Q207 (2.69)		Q209 (2.89)		Q210 (1.75)		Q215 (2.75)		132444* (2.05)	
	ORI	DELTA	LEP	ALPHA	ORI	LOTA	ORI	EPSILON	COL	ALPHA	ORI	ZETA
YEAR	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.
-2500	27.81	-14.27	34.88	-30.55	30.70	-19.24	29.16	-14.76	45.45	-44.55	30.52	-15.05
-2400	29.00	-13.78	35.94	-30.09	31.84	-18.75	30.33	-14.26	46.31	-44.16	31.69	-14.57
-2300	30.18	-13.28	36.99	-29.63	32.99	-18.27	31.51	-13.78	47.16	-43.77	32.87	-14.09
-2200	31.36	-12.80	38.05	-29.19	34.14	-17.80	32.69	-13.30	48.01	-43.39	34.04	-13.62
-2100	32.55	-12.32	39.10	-28.74	35.29	-17.34	33.86	-12.83	48.87	-43.02	35.21	-13.15
-2000	33.73	-11.84	40.16	-28.31	36.44	-16.88	35.04	-12.36	49.72	-42.65	36.39	-12.69
-1900	34.92	-11.38	41.21	-27.88	37.59	-16.43	36.23	-11.90	50.58	-42.29	37.57	-12.24
-1800	36.10	-10.92	42.27	-27.46	38.74	-15.98	37.41	-11.45	51.43	-41.93	38.74	-11.80
-1700	37.29	-10.46	43.32	-27.04	39.89	-15.55	38.59	-11.00	52.29	-41.58	39.92	-11.36
-1600	38.48	-10.02	44.38	-26.63	41.04	-15.12	39.78	-10.57	53.15	-41.24	41.11	-10.93
-1500	39.68	-9.58	45.44	-26.23	42.20	-14.69	40.97	-10.13	54.01	-40.91	42.29	-10.51
-1400	40.87	-9.15	46.49	-25.84	43.35	-14.28	42.15	-9.71	54.87	-40.58	43.47	-10.10
-1300	42.07	-8.73	47.55	-25.46	44.51	-13.87	43.35	-9.30	55.73	-40.26	44.66	-9.69
-1200	43.27	-8.31	48.61	-25.08	45.67	-13.48	44.54	-8.89	56.59	-39.95	45.85	-9.29
-1100	44.47	-7.90	49.67	-24.71	46.83	-13.09	45.74	-8.49	57.45	-39.64	47.04	-8.91
-1000	45.67	-7.51	50.73	-24.35	47.99	-12.70	46.93	-8.11	58.32	-39.34	48.24	-8.53
-900	46.88	-7.12	51.79	-24.00	49.16	-12.33	48.14	-7.73	59.18	-39.05	49.43	-8.15
-800	48.09	-6.74	52.85	-23.65	50.33	-11.97	49.34	-7.35	60.05	-38.76	50.63	-7.79
-700	49.30	-6.36	53.91	-23.32	51.49	-11.61	50.54	-6.99	60.92	-38.49	51.83	-7.44
-600	50.51	-6.00	54.98	-22.99	52.67	-11.27	51.75	-6.64	61.79	-38.22	53.04	-7.10
-500	51.73	-5.65	56.05	-22.67	53.84	-10.93	52.96	-6.30	62.66	-37.96	54.24	-6.76
-400	52.95	-5.31	57.11	-22.36	55.01	-10.60	54.18	-5.96	63.54	-37.70	55.45	-6.44
-300	54.17	-4.97	58.18	-22.06	56.19	-10.29	55.39	-5.64	64.41	-37.46	56.66	-6.13
-200	55.40	-4.65	59.25	-21.77	57.37	-9.98	56.61	-5.32	65.29	-37.22	57.88	-5.82
-100	56.62	-4.33	60.32	-21.49	58.55	-9.68	57.83	-5.02	66.16	-36.99	59.09	-5.53
-0	57.86	-4.03	61.40	-21.22	59.74	-9.39	59.06	-4.73	67.04	-36.77	60.31	-5.25
100	59.09	-3.74	62.47	-20.95	60.92	-9.11	60.28	-4.44	67.92	-36.55	61.54	-4.97
200	60.32	-3.45	63.55	-20.70	62.11	-8.85	61.51	-4.17	68.81	-36.35	62.76	-4.71
300	61.56	-3.18	64.63	-20.45	63.30	-8.59	62.75	-3.91	69.69	-36.15	63.99	-4.46
400	62.81	-2.92	65.71	-20.22	64.49	-8.34	63.98	-3.66	70.57	-35.96	65.22	-4.22
500	64.05	-2.67	66.79	-19.99	65.69	-8.11	65.22	-3.42	71.46	-35.78	66.45	-3.99
600	65.30	-2.43	67.87	-19.77	66.89	-7.88	66.46	-3.19	72.35	-35.61	67.68	-3.77
700	66.55	-2.20	68.95	-19.57	68.09	-7.67	67.70	-2.97	73.24	-35.44	68.92	-3.57
800	67.80	-1.99	70.04	-19.37	69.29	-7.46	68.95	-2.76	74.13	-35.28	70.16	-3.37
900	69.05	-1.78	71.13	-19.19	70.49	-7.27	70.19	-2.57	75.02	-35.14	71.40	-3.19
1000	70.31	-1.59	72.22	-19.01	71.70	-7.09	71.44	-2.38	75.91	-35.00	72.65	-3.01
1100	71.57	-1.40	73.31	-18.85	72.91	-6.92	72.70	-2.21	76.81	-34.87	73.89	-2.85
1200	72.83	-1.23	74.40	-18.69	74.12	-6.76	73.95	-2.05	77.70	-34.74	75.14	-2.70
1300	74.10	-1.07	75.49	-18.54	75.33	-6.61	75.21	-1.90	78.60	-34.63	76.39	-2.57
1400	75.36	-0.93	76.59	-18.41	76.54	-6.48	76.47	-1.77	79.50	-34.52	77.64	-2.44
1500	76.63	-0.79	77.68	-18.29	77.76	-6.36	77.73	-1.64	80.40	-34.43	78.90	-2.33
1600	77.90	-0.67	78.78	-18.17	78.97	-6.24	78.99	-1.53	81.30	-34.34	80.15	-2.23
1700	79.17	-0.56	79.88	-18.07	80.19	-6.14	80.25	-1.43	82.20	-34.26	81.41	-2.14
1800	80.45	-0.46	80.98	-17.98	81.41	-6.05	81.52	-1.34	83.10	-34.19	82.67	-2.06
1900	81.72	-0.37	82.08	-17.89	82.64	-5.98	82.78	-1.27	84.01	-34.13	83.93	-2.00
2000	83.00	-0.30	83.18	-17.82	83.86	-5.91	84.05	-1.20	84.91	-34.07	85.19	-1.94
2100	84.28	-0.24	84.29	-17.76	85.08	-5.86	85.32	-1.15	85.82	-34.03	86.45	-1.90
2200	85.56	-0.19	85.39	-17.71	86.31	-5.81	86.59	-1.11	86.73	-33.99	87.72	-1.87
2300	86.84	-0.15	86.50	-17.67	87.53	-5.78	87.87	-1.08	87.63	-33.97	88.98	-1.86
2400	88.12	-0.13	87.60	-17.64	88.76	-5.77	89.14	-1.07	88.54	-33.95	90.25	-1.85
2500	89.41	-0.12	88.71	-17.63	89.99	-5.76	90.41	-1.07	89.45	-33.94	91.51	-1.86

50. 2

5,000- AND 10,000-YEAR STAR CATALOGS

TABLE 3.—The 10,000-year star catalog—Continued

NO. (MAG)	C504 (2.56)		0509 (1.91)		0513 (2.80)		0518 (0.86)		C520 (2.26)		0526 (0.24)	
	CEN EPSILON		UNA NU		BOO ETA		CEN BETA		CEN THETA		BOO ALPHA	
YEAR	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.
-10000	66.29	-17.69	337.50	50.43	16.44	38.57	73.69	-20.72	59.40	0.88	16.19	48.86
-9500	72.04	-16.53	342.77	53.33	23.99	41.48	79.22	-19.93	66.11	2.26	24.28	51.53
-9000	77.74	-15.67	348.09	56.27	31.87	44.18	84.69	-19.45	72.77	3.30	32.91	53.97
-8500	83.40	-15.11	353.71	59.23	40.14	46.63	90.10	-19.25	79.40	3.99	42.16	56.12
-8000	89.01	-14.87	359.71	62.20	48.86	48.76	95.46	-19.35	85.99	4.33	52.07	57.90
-7500	94.57	-14.91	6.28	65.14	58.02	50.52	100.77	-19.72	92.53	4.32	62.61	59.24
-7000	100.09	-15.25	13.67	68.02	67.59	51.86	106.03	-20.36	99.01	3.97	73.63	60.06
-6500	105.57	-15.86	22.24	70.79	77.48	52.72	111.25	-21.26	105.42	3.30	84.92	60.32
-6000	111.01	-16.75	32.53	73.36	87.55	53.08	116.44	-22.41	111.75	2.32	96.19	60.01
-5500	116.42	-17.89	45.20	75.61	97.63	52.92	121.59	-23.79	118.00	1.04	107.14	59.14
-5000	121.79	-19.27	60.89	77.34	107.54	52.26	126.71	-25.39	124.17	-0.51	117.55	57.76
-4500	127.14	-20.88	79.55	78.31	117.12	51.14	131.83	-27.20	130.27	-2.31	127.29	55.94
-4000	132.48	-22.70	99.53	78.33	126.27	49.60	136.94	-29.19	136.30	-4.33	136.31	53.76
-3500	137.81	-24.72	118.24	77.40	134.95	47.70	142.08	-31.35	142.27	-6.56	144.67	51.28
-3000	143.16	-26.91	134.02	75.72	143.14	45.51	147.26	-33.67	148.21	-8.97	152.43	48.59
-2500	148.54	-29.26	146.77	73.53	150.88	43.08	152.50	-36.12	154.12	-11.52	159.67	45.73
-2000	153.99	-31.74	157.14	71.03	158.20	40.48	157.84	-38.69	160.05	-14.19	166.49	42.76
-1500	159.53	-34.33	165.78	68.35	165.18	37.75	163.31	-41.36	166.00	-16.96	172.97	39.72
-1000	165.19	-37.02	173.23	65.58	171.86	34.94	168.96	-44.09	172.03	-19.80	179.18	36.64
-500	171.03	-39.78	179.84	62.77	178.31	32.08	174.86	-46.88	178.15	-22.67	185.19	33.57
-0	177.09	-42.57	185.87	59.97	184.57	29.23	181.06	-49.69	184.41	-25.54	191.06	30.52

NO. (MAG)	C537 (2.65)		053 (0.33)		0541 (2.89)		083500* (2.71)		0548 (2.90)		0550 (2.24)	
	CEN ETA		CEN ALPHA		LUP ALPHA		BOO EPSILON		LIB ALPHA		UMI BETA	
YEAR	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.
-10000	66.92	-3.02	87.28	-16.08	70.64	-6.94	17.58	52.23	56.01	21.19	295.93	52.40
-9500	73.44	-1.91	92.73	-16.05	76.95	-6.01	25.71	55.15	63.73	22.80	298.85	53.78
-9000	79.92	-1.15	98.08	-16.29	83.20	-5.42	34.49	57.83	71.49	24.01	301.64	55.26
-8500	86.34	-0.73	103.35	-16.80	89.40	-5.17	44.07	60.21	79.28	24.82	304.29	56.86
-8000	92.71	-0.66	108.53	-17.56	95.53	-5.25	54.53	62.20	87.06	25.22	306.80	58.55
-7500	99.02	-0.92	113.64	-18.56	101.60	-5.64	65.86	63.72	94.79	25.20	309.15	60.33
-7000	105.26	-1.50	118.67	-19.77	107.61	-6.35	77.90	64.67	102.45	24.79	311.33	62.19
-6500	111.44	-2.39	123.65	-21.20	113.56	-7.34	90.33	65.00	109.98	24.00	313.31	64.13
-6000	117.55	-3.57	128.57	-22.82	119.44	-8.61	102.70	64.70	117.37	22.85	315.04	66.13
-5500	123.59	-5.02	133.46	-24.61	125.27	-10.14	114.60	63.80	124.60	21.37	316.47	68.17
-5000	129.57	-6.72	138.32	-26.57	131.04	-11.90	125.72	62.30	131.66	19.61	317.51	70.26
-4500	135.50	-8.65	143.17	-28.67	136.79	-13.87	135.92	60.52	138.54	17.58	318.02	72.37
-4000	141.38	-10.78	148.03	-30.90	142.50	-16.04	145.20	58.33	145.26	15.33	317.80	74.48
-3500	147.25	-13.09	152.97	-33.24	148.22	-18.38	153.66	55.88	151.84	12.90	316.52	76.57
-3000	153.11	-15.56	157.87	-35.68	153.95	-20.87	161.40	53.26	158.30	10.32	313.65	78.58
-2500	158.99	-18.15	162.90	-38.20	159.73	-23.48	168.57	50.53	164.67	7.62	308.33	80.45
-2000	164.93	-20.85	168.05	-40.78	165.59	-26.18	175.28	47.73	170.97	4.85	299.30	82.04
-1500	170.95	-23.61	173.35	-43.41	171.56	-28.95	181.61	44.92	177.24	2.03	285.42	83.13
-1000	177.09	-26.42	178.86	-46.06	177.69	-31.75	187.67	42.11	183.50	-0.79	267.72	83.46
-500	183.39	-29.23	184.63	-48.70	184.01	-34.57	193.52	39.35	189.80	-3.59	250.69	82.93
-0	189.89	-32.03	190.71	-51.32	190.59	-37.36	199.21	36.66	196.16	-6.34	238.14	81.71

```

*-----
*   ** P2TAB   : Generation of the Table of the Equatorial
*                 Coordinates, as well as Rising and Setting Azimuts
*                 of 143 stars brighter than the visual magnitude 3.0
*                 from -20000 to +4100.
*-----
*
* **AG1997**
*
* Generation of the table of the Equatorial Coordinates as well as
* Rising and Setting Azimuts of 143 stars brighter than visual
* magnitude 3.0 trasposing them from an equinox to another under
* effect of the precession, with the rigorous method from -20000 to
* +4100.
*
* The maximum absolute errors on the equatorial cooldinates of this
* procedure are 0.00004 degrees/year, so for a given year Y we have:
*
*   e(AR) = (Y-2000)/24000   degrees
*   e(DB) = (Y-2000)/24000   degrees
*
*-----
*

```

Precessione Lunisolare rigorosa

La trasformazione delle coordinate equatoriali di un punto della Sfera Celeste da un'epoca ad un'altra può essere eseguito utilizzando l'algoritmo rigoroso di precessione.

Inizialmente si stabilisce l'anno Y di arrivo delle coordinate equatoriali e si calcola il numero T di secoli trascorsi dall'anno di partenza (ad esempio il 2000.0):

$$T = 0.01 \cdot (Y - 2000.0)$$

A questo punto si calcolano i parametri di precessione equatoriale Z_1 , Z_2 , Z_3 :

$$Z_1 = (2306''.2181 \cdot T + 0''.30188 \cdot T^2 + 0''.017998 \cdot T^3) / 3600''$$

$$Z_2 = (2306''.2181 \cdot T + 1''.09468 \cdot T^2 + 0''.018203 \cdot T^3) / 3600''$$

$$Z_3 = (2004''.3109 \cdot T + 0''.42665 \cdot T^2 + 0''.041833 \cdot T^3) / 3600''$$

Quindi si calcolano gli angoli ausiliari A, B, C:

$$A = \cos(\delta_{2000}) \cdot \sin(\alpha_{2000} + Z1)$$

$$B = \cos(Z3) \cdot \cos(\delta_{2000}) \cdot \cos(\alpha_{2000} + Z1) - \sin(Z3) \cdot \sin(\delta_{2000})$$

$$C = \sin(Z3) \cdot \cos(\delta_{2000}) \cdot \cos(\alpha_{2000} + Z1) + \cos(Z3) \cdot \sin(\delta_{2000})$$

e poi le coordinate equatoriali $\alpha(Y)$ e $\delta(Y)$ per l'anno Y di arrivo:

$$\alpha(Y) = \text{atan}(A/B) + Z2 \quad (\text{gradi})$$

$$\delta(Y) = \arcsin(C) \quad (\text{gradi})$$

risolvendo il problema.

Qualora δ_{2000} sia prossimo a 90° allora una valutazione più precisa è:

$$\delta(Y) = \arccos(\sqrt{A^2 + B^2})$$