

versione	del
01	08/08/2014

# NAVIGAZIONE ASTRONOMICA (cenni)



IBN EDITORE

[www.ibneditore.it](http://www.ibneditore.it)

prof. Francesco Iaccarino

[iaccarinofr@gmail.com](mailto:iaccarinofr@gmail.com)

*Per eventuali suggerimenti o correzioni rivolgersi  
all'autore*

Sole

# ASTRONOMIA

Navigazione astronomica

Mercurio

Venere

Terra



Marte

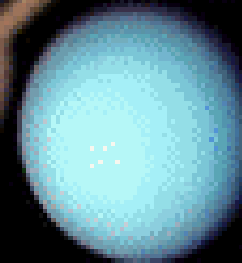
Giove



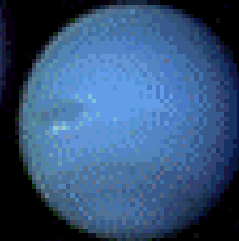
Saturno



Urano



Nettuno



Plutone



# ... gli astronomi famosi ...

TOLOMEO

- Ha determinato la posizione di circa 1000 stelle utilizzando il modello geocentrico.
- Ha classificato le stelle in base alla magnitudine apparente.

COPERNICO

- Primo sostenitore dell'eliocentrismo.
- Il centro della Terra non è il centro dell'Universo, ma solo il centro della massa terrestre e della sfera lunare.

KEPLERO

- Orbite ellittiche dei pianeti.
- Leggi di Keplero.

# ... gli astronomi famosi ...

GALILEO  
GALILEI

- Uso per prima il telescopio per osservare il cielo.
- Dimostrò che vi erano nuove stelle.

ISAAC  
NEWTON

- Leggi della dinamica.
- Legge di gravitazione universale.

Hubble

- Espansione dell'Universo.
- Telescopio Spaziale Hubble (in suo onore).

# ... storia dell'astronomia ...

2000 anni a.C. Origine  
dell'astronomia

1600 anni a.C. I Cinesi

144 a.C. Egiziani

# ... storia dell'astronomia ...

Epoca arcaica  
Greci

Medioevo  
Arabi

Cinquecento  
Copernico  
e Galilei

# ... storia dell'astronomia ...

Seicento  
Newton  
Telescopio

Settecento  
Meccanica  
celeste  
Formazione  
del sistema  
solare

Ottocento  
Scoperta  
degli  
asteroidi  
Spettro  
elementi  
chimici  
Spettroscopia

# ... storia dell'astronomia ...

Novecento

Galassie

Buchi neri

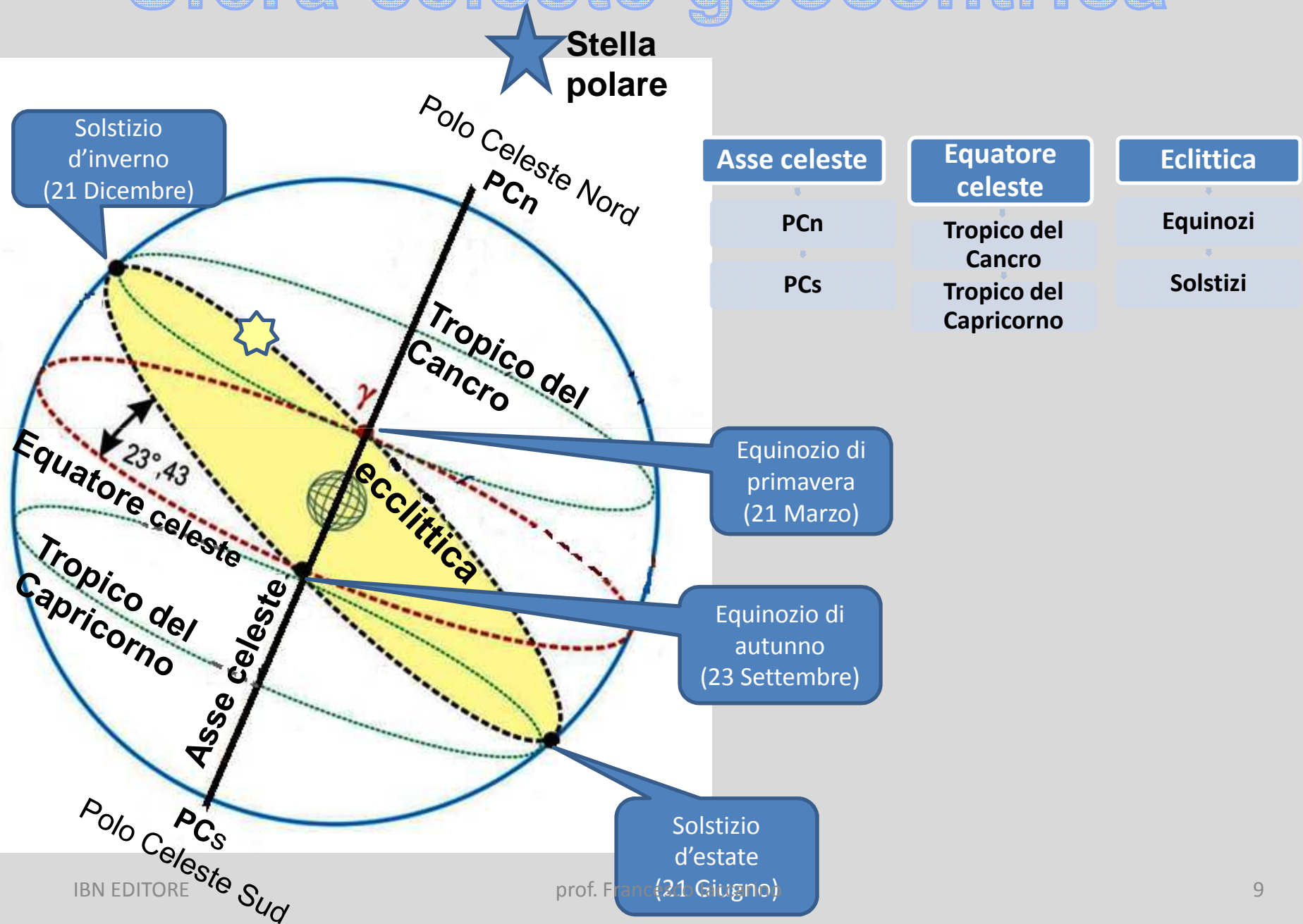
Sviluppo  
dell'astronautica

Duemila

Pianeti  
extrasolari

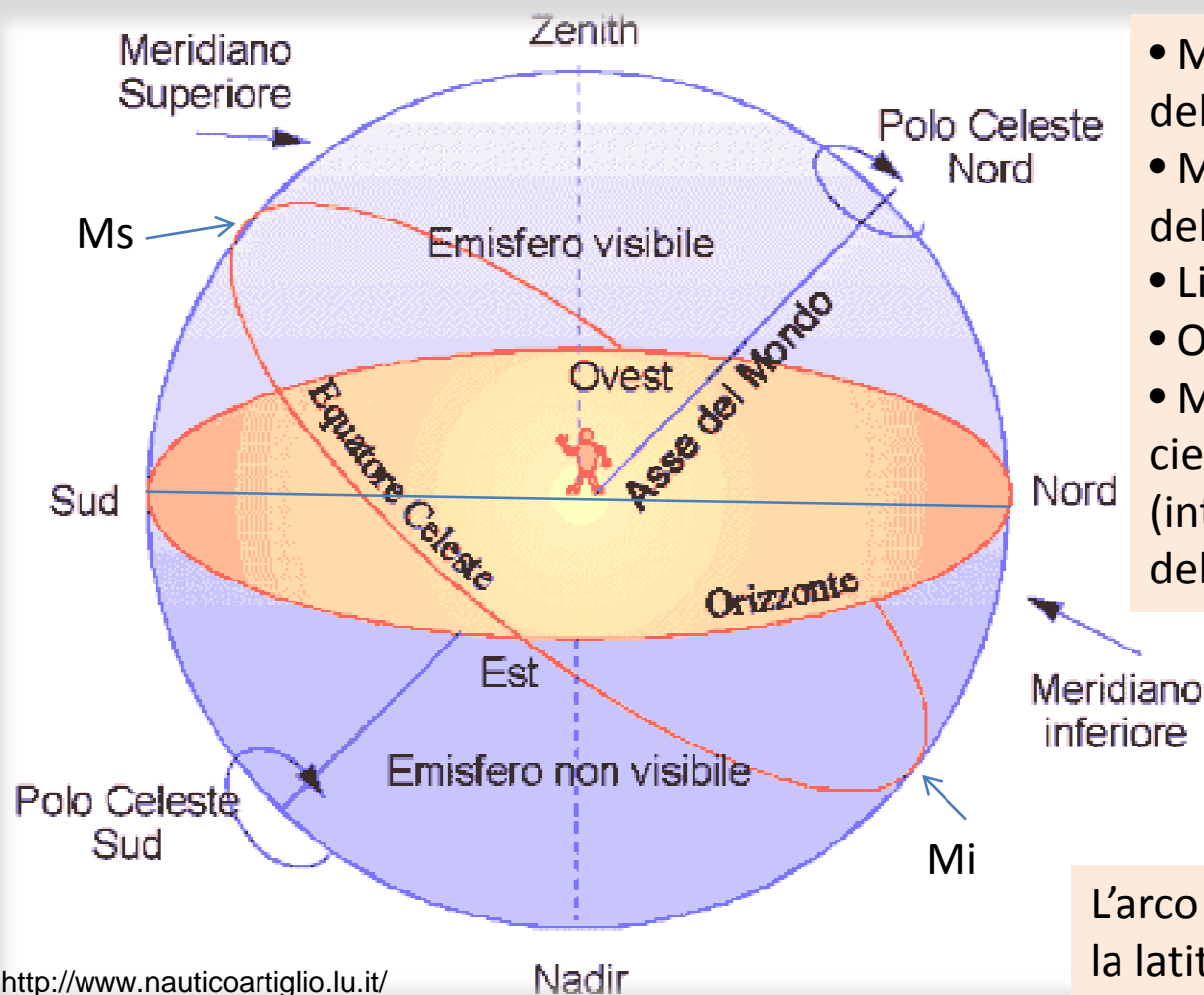


# Sfera celeste geocentrica



# Sfera celeste

(per un osservatore a 45°N)



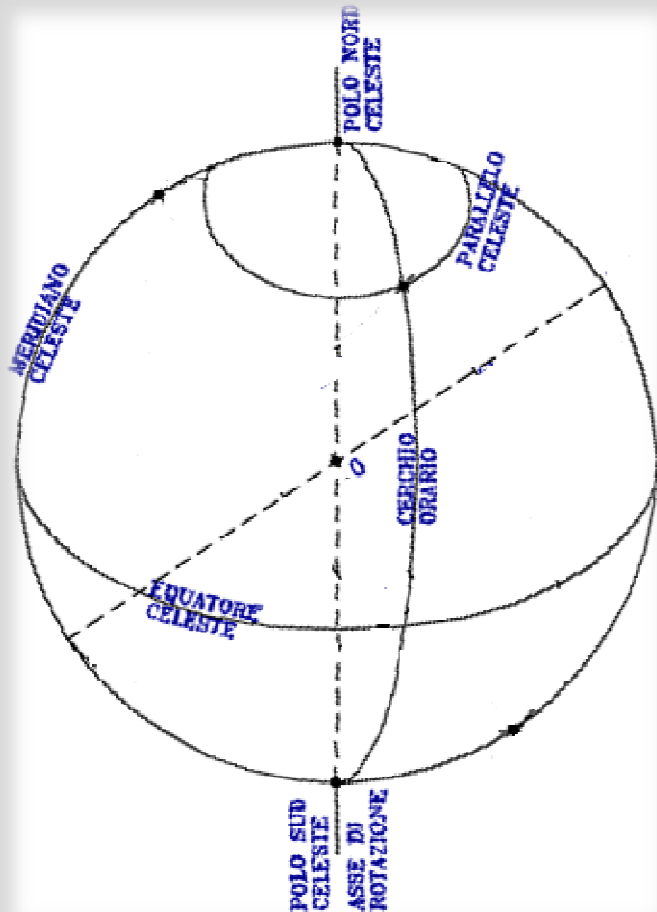
- Meridiano (celeste) superiore dell'osservatore.
- Meridiano (celeste) inferiore dell'osservatore.
- Linea meridiana (Nord/Sud).
- Orizzonte (astronomico) o vero.
- Ms e Mi sono il punto Mezzo cielo superiore ed inferiore. (intersezione del meridiano dell'osservatore con l'equatore).

L'arco Ms-Zenit rappresenta la latitudine dell'osservatore

<http://www.nauticoartiglio.lu.it/>

*N.B. Meridiano celeste è il cerchio massimo passante per lo zenit, il nadir ed i poli celesti.*

# Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate all'asse terrestre/celeste

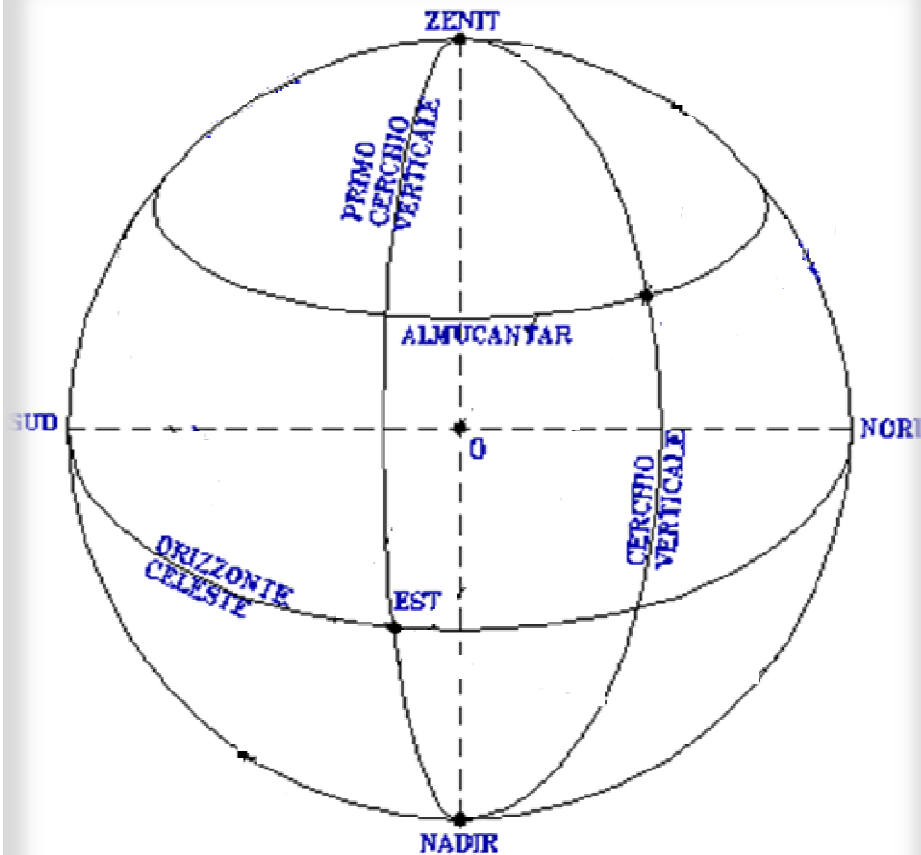


Il Polo celeste che si trova sopra l'orizzonte (non è rappresentato in figura) è chiamato **POLO CELESTE ELEVATO**; quello che capita sotto l'orizzonte è chiamato **POLO CELESTE DEPRESSO**.

- EQUATORE CELESTE
- PARALLELO DI DECLINAZIONE o PARALLELO CELESTE
- ORARI o CERCHIO ORARIO (circoli massimi passanti per i poli celesti)

L'orario che passa per l'est e l'ovest si chiama **PRIMO ORARIO**: orientale quello per est e occidentale quello per ovest.

# Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate alla verticale dell'osservatore

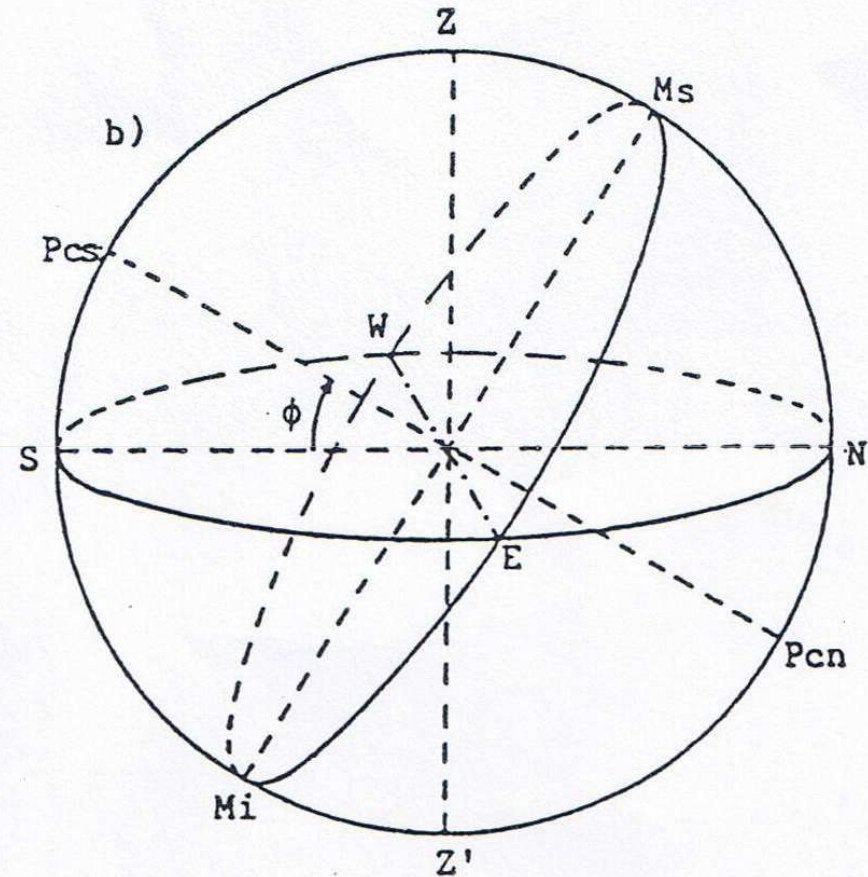
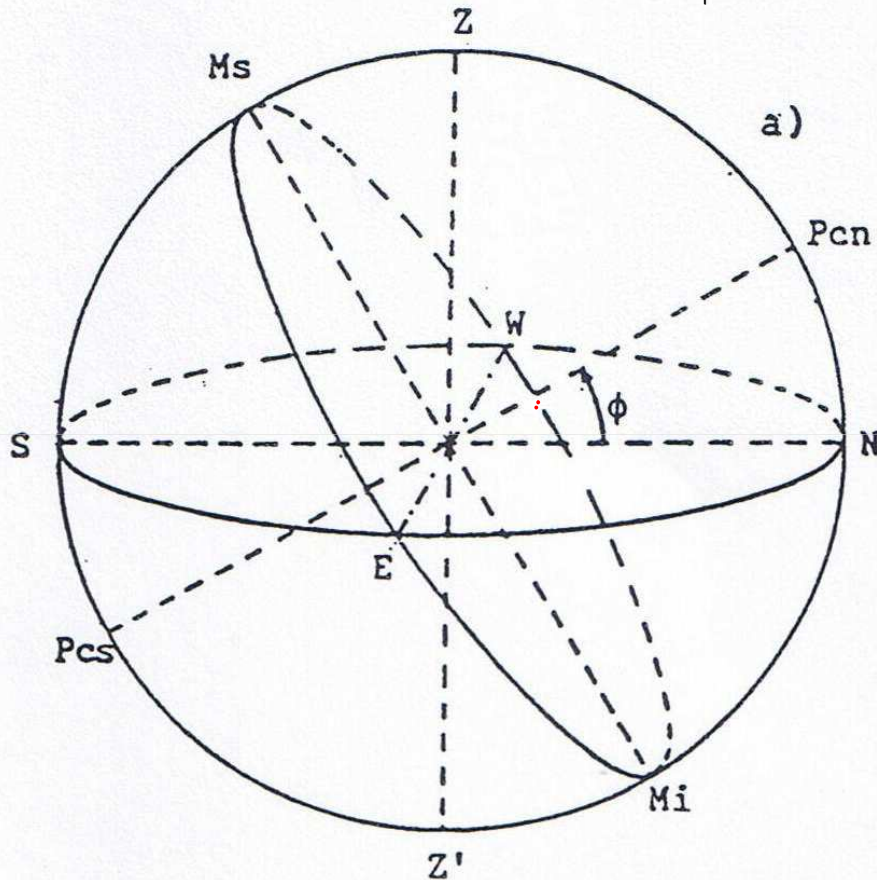


- ORIZZONTE ASTRONOMICO o VERO o CELESTE
- ALMICANTARAT
- VERTICALI o CERCHIO VERTICALE
- Nord – Sud – Est - Ovest

Il Verticale che passa per l'est e l'ovest si chiama PRIMO VERTICALE: orientale quello per est e occidentale quello per ovest. prof. Francesco Iaccarino

# Esempi di sfera celeste

$$\text{LAT} = \phi = \widehat{\text{MsZ}} = \widehat{\text{PcnN}}$$



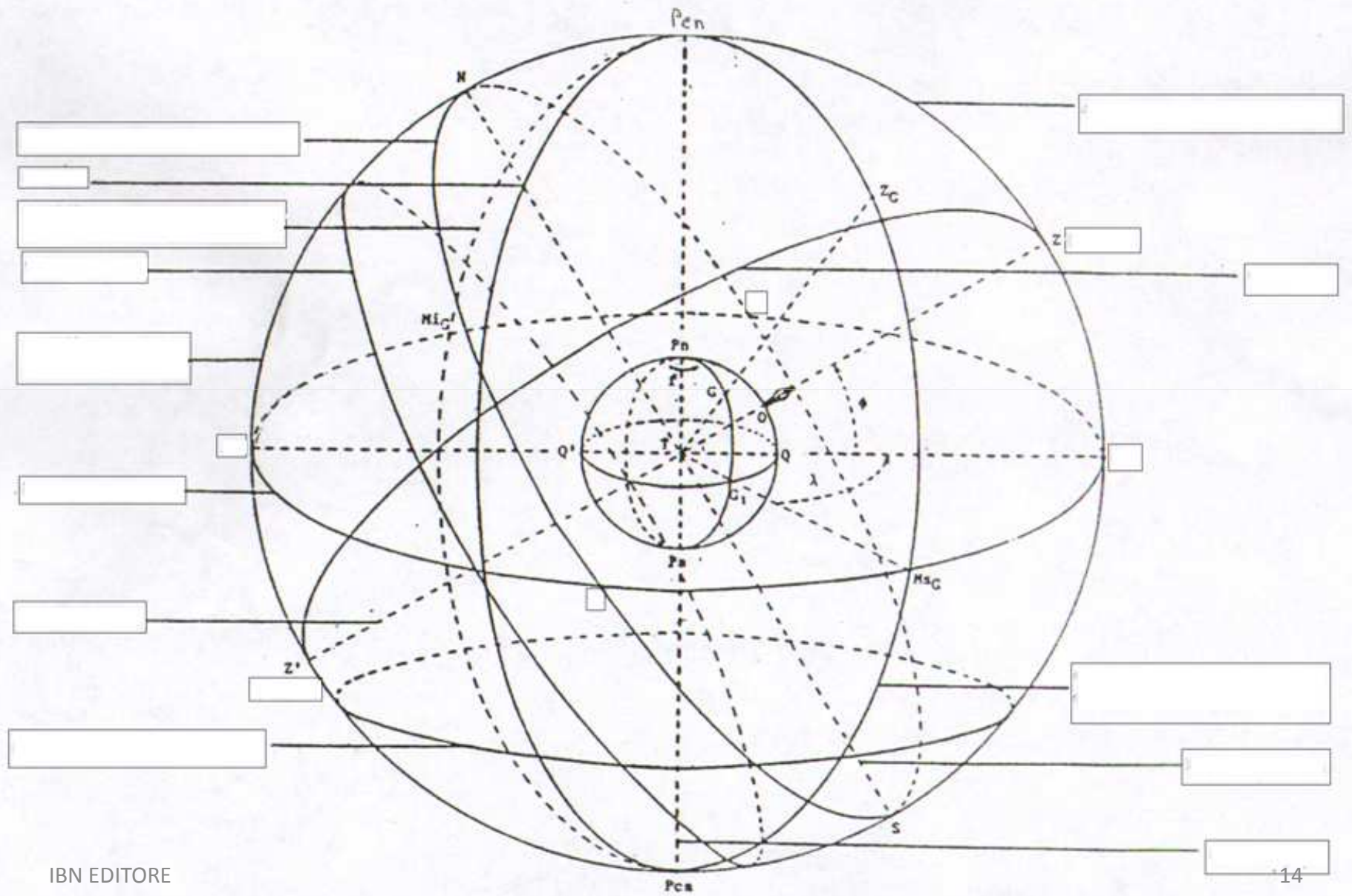
Orientata per un osservatore situato  
in un punto della Terra di latitudine

$\phi = 30^\circ\text{N}$

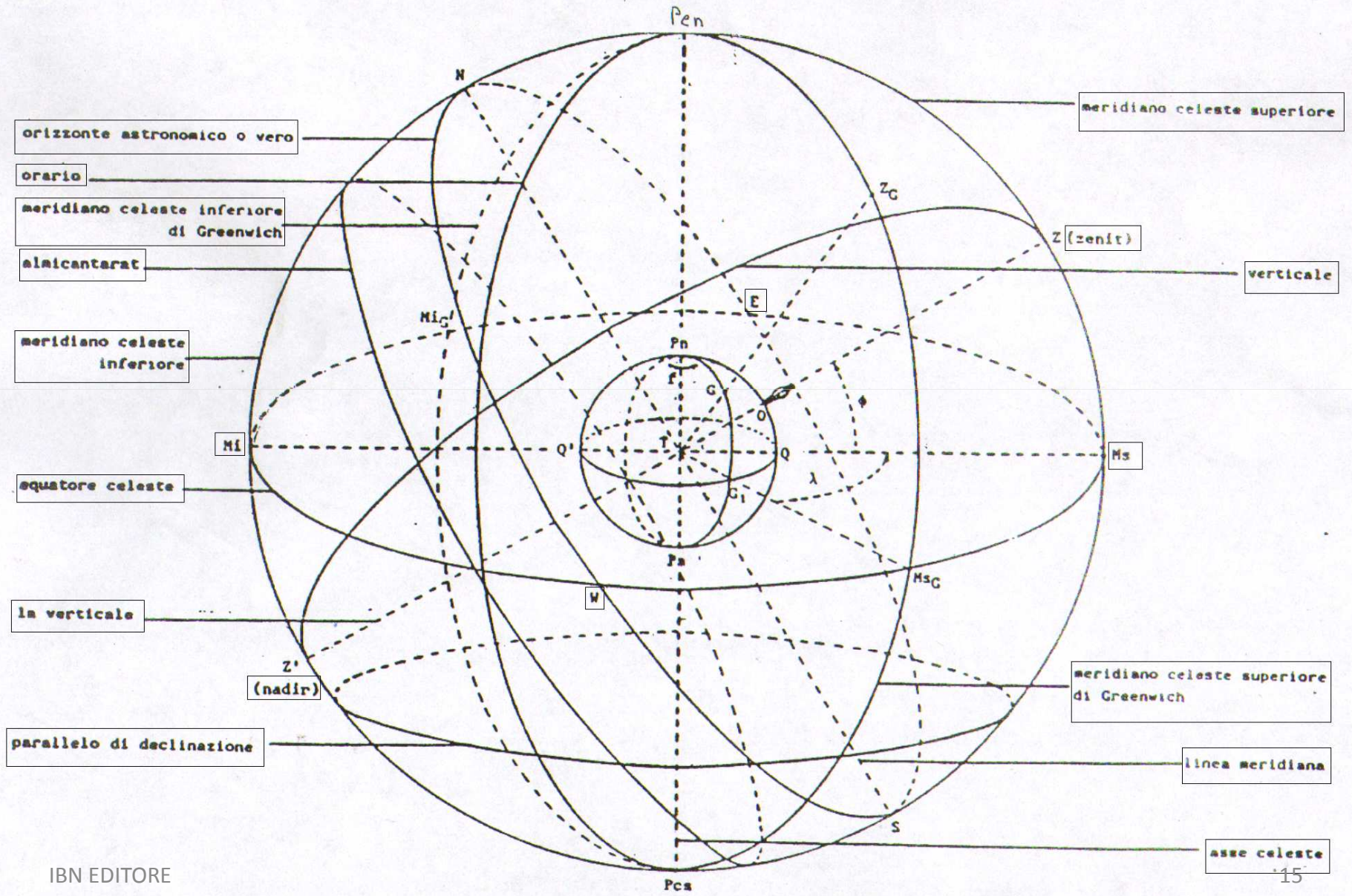
Orientata per un osservatore situato  
in un punto della Terra di latitudine

$\phi = 30^\circ\text{S}$

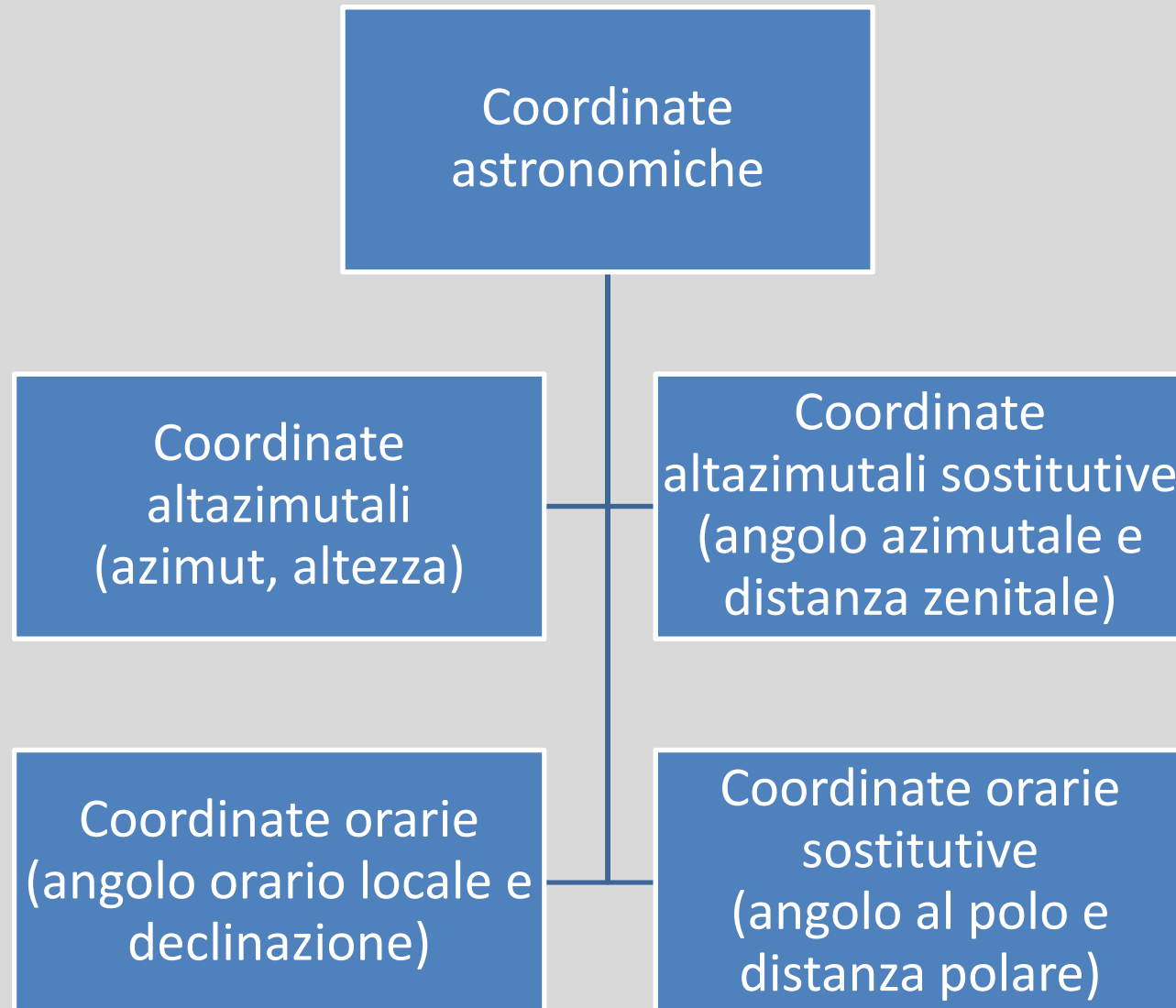
# Sfera celeste



# Sfera celeste



# Coordinate astronomiche

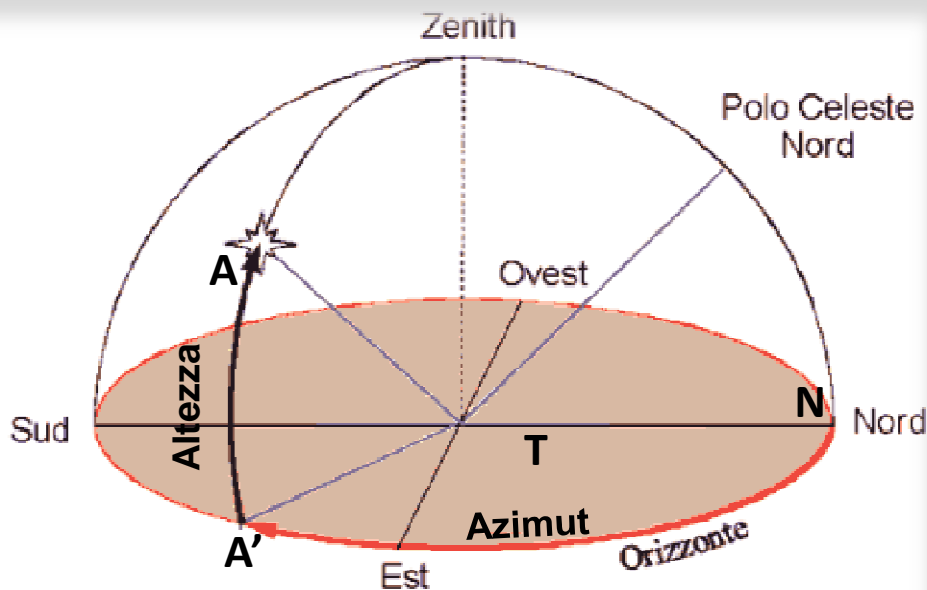




# COORDINATE ALTAZIMUTALI

$$\text{altezza}(h) = \widehat{AA'} = \widehat{A'TA}$$

$$\text{azimut}(a) = \widehat{NA'} = \widehat{N'TA'}$$



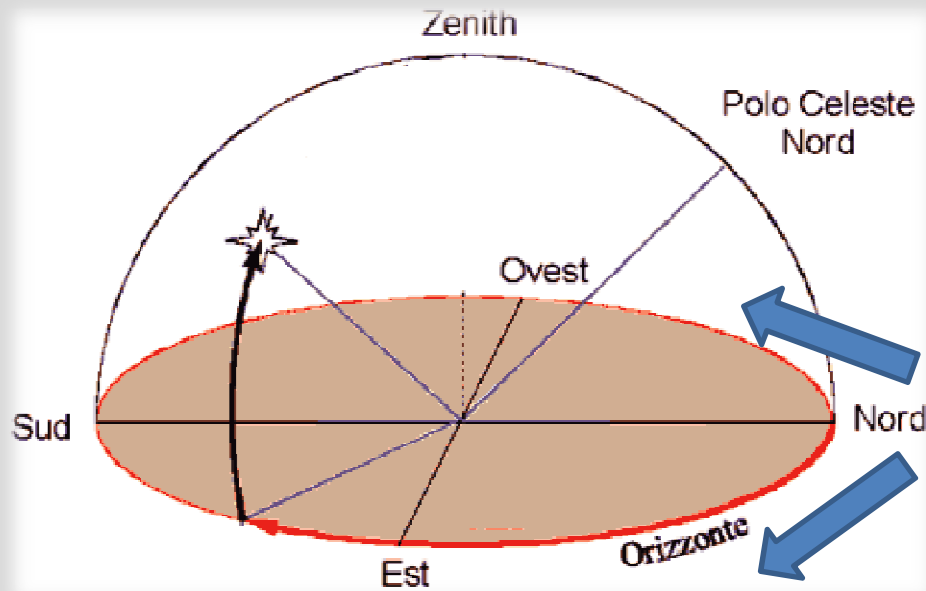
- Sono legate all'osservatore ed in particolare all'**orizzonte astronomico** e **alla verticale**.

- Si chiama "**il verticale**" di un astro il cerchio della sfera celeste che passa per l'astro considerato e lo Zenit e il Nadir.

- L'**azimut** di un astro è l'arco di orizzonte, o angolo, compreso tra il punto cardinale Nord e il piede della verticale dell'astro. Esso si misura in senso orario da Nord e va da 0° a 360°.

- L'**altezza** di un astro è la distanza sferica dell'astro dall'orizzonte e si misura lungo la verticale dell'astro (da 0° a 90°), a partire dall'orizzonte verso lo Zenit.

# Coordinate altazimutali sostitutive



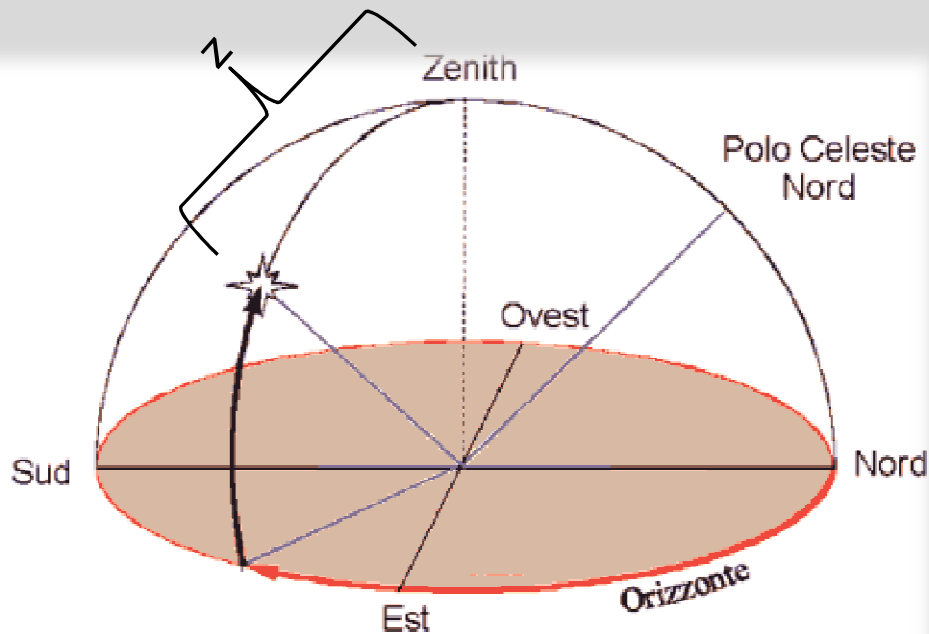
## Angolo azimutale ( $\hat{Z}$ )

- E' l'arco di orizzonte astronomico compreso tra il punto N o S, a seconda del segno della latitudine dell'osservatore ed il piede del verticale passante per l'astro (può essere nel settore est oppure ovest), contato da  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

- L'ampiezza dell'arco è preceduta dal cardine N o S e seguita da E o W; quella dell'azimut non è preceduta o seguita da alcuna lettera.

$\phi$ nord	$a < 180^\circ$	Z = N a E
	$a > 180^\circ$	Z = N $(360^\circ - a)$ W
$\phi$ sud	$a < 180^\circ$	Z = S $(180^\circ - a)$ E
	$a > 180^\circ$	Z = S $(a - 180^\circ)$ W

# Coordinate altazimutali sostitutive



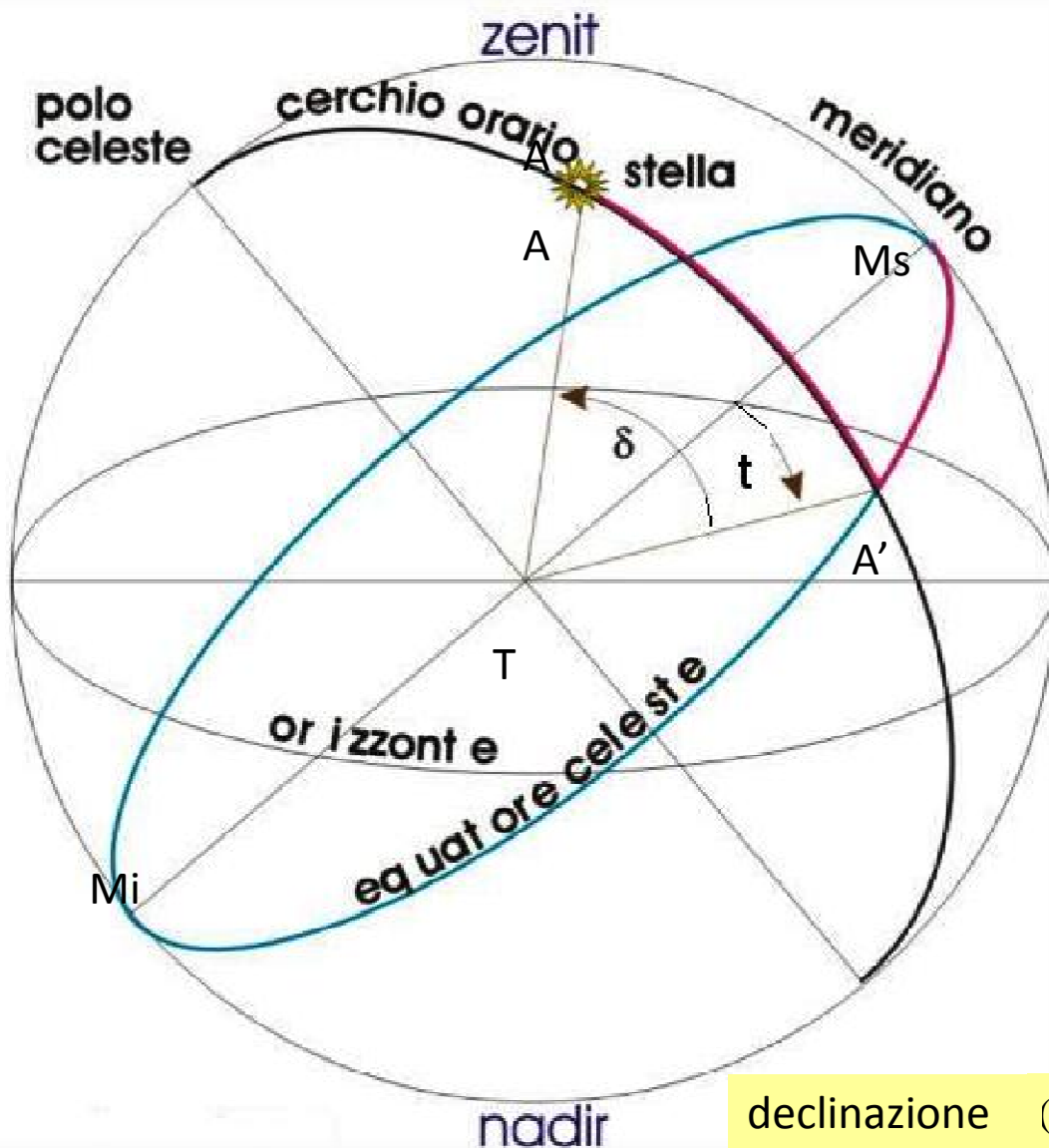
## Distanza zenitale (z)

- È l'angolo compreso fra  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , complementare all'altezza, ossia è l'arco di verticale compreso tra la stella e lo zenit dell'osservatore.

$$\bullet z = 90^\circ \pm h$$

con ( - ) se h è positiva, (+) se h è negativa.

# COORDINATE ORARIE



• Sono legate all'asse celeste, all'equatore celeste ed al meridiano celeste superiore.

Le coordinate di un astro A sono:

- **angolo orario locale t (AOL o LHA)**
- **declinazione  $\delta$**

• **t** è contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partire dal  $M_s$  fino al punto  $A'$  intersezione del cerchio orario dell'astro con l'equatore celeste; è contato nel senso orario guardando dal polo celeste nord.

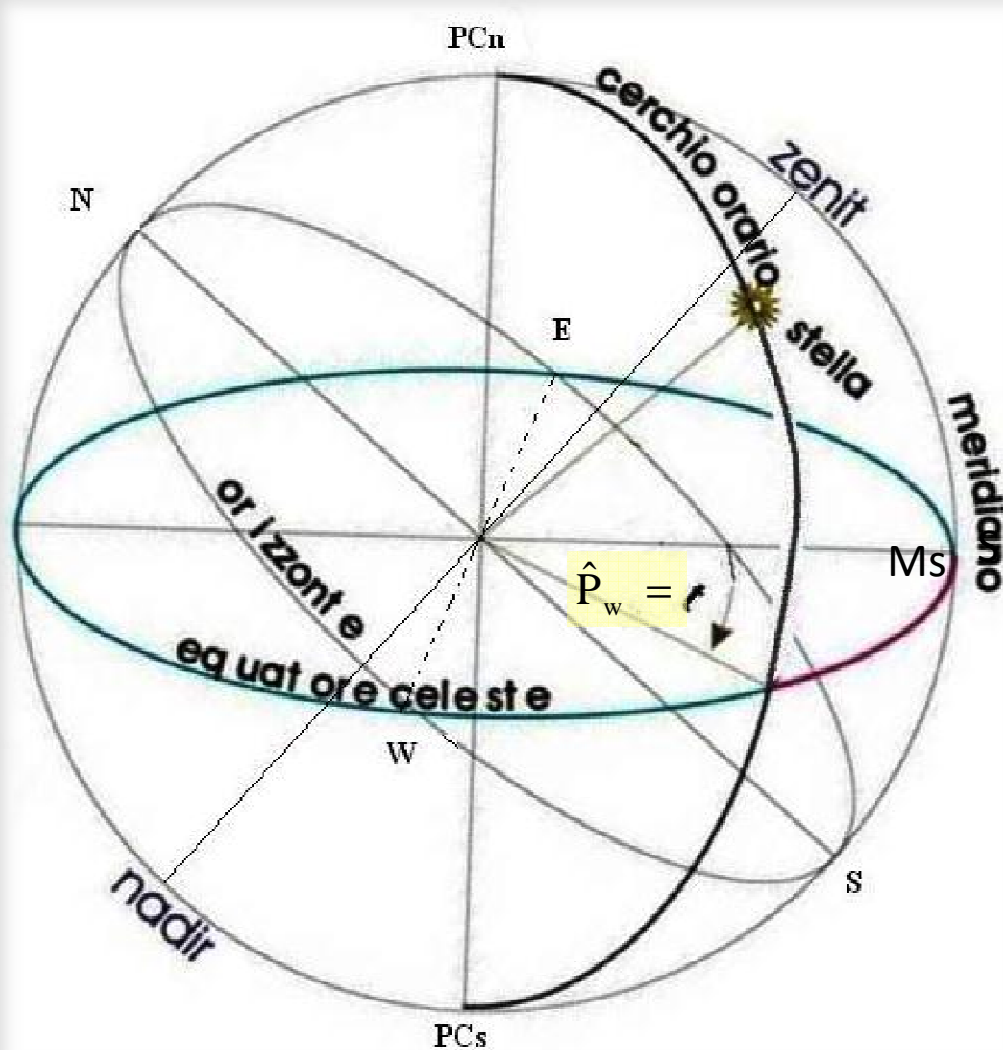
•  **$\delta$**  è contato da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  dall'equatore verso l'astro; è positivo (o N) se l'astro si trova nell'emisfero celeste nord, negativa (o S) se nell'emisfero celeste sud.

$$\text{declinazione } (\delta) = \widehat{A_1 A} = \widehat{A_1 T A}$$

$$\text{angolo orario locale (t) o (AOL)} = M_s A' = \widehat{M_s T A'}$$

Se come punto di riferimento si prende Greenwich, al posto di  $M_s$  avremo  $M_{SG}$  e quindi al posto di AOL avremo AOG (GHA)

# Coordinate orarie sostitutive



## Angolo al polo ( $\hat{P}$ )

L'angolo al polo di un astro è l'arco di equatore compreso tra Ms ed il piede dell'orario dell'astro, contato da  $0^\circ$  a  $180^\circ$  verso E o verso W.

Se ( $t$ ) è minore di  $180^\circ$ , l'astro si trova nell'emisfero celeste occidentale per cui

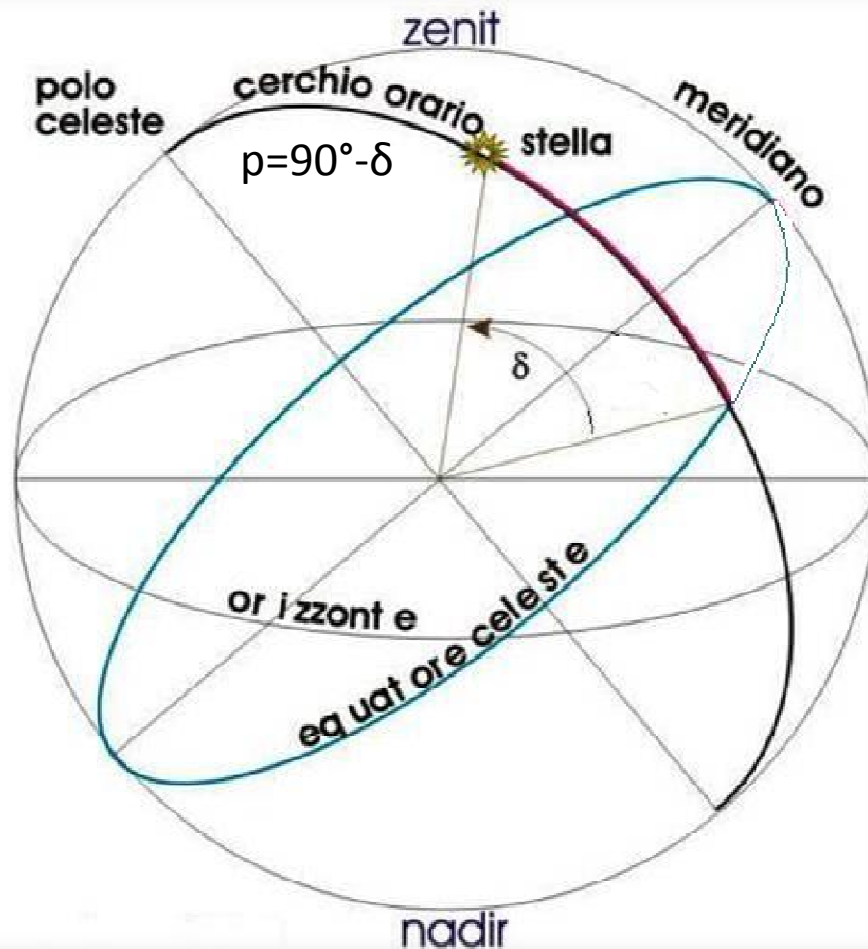
$$\hat{P}_w = t;$$

Se ( $t$ ) è maggiore di  $180^\circ$ , l'astro si trova nell'emisfero celeste orientale per cui

$$\hat{P}_E = 360^\circ - t$$

## Coordinate orarie sostitutive

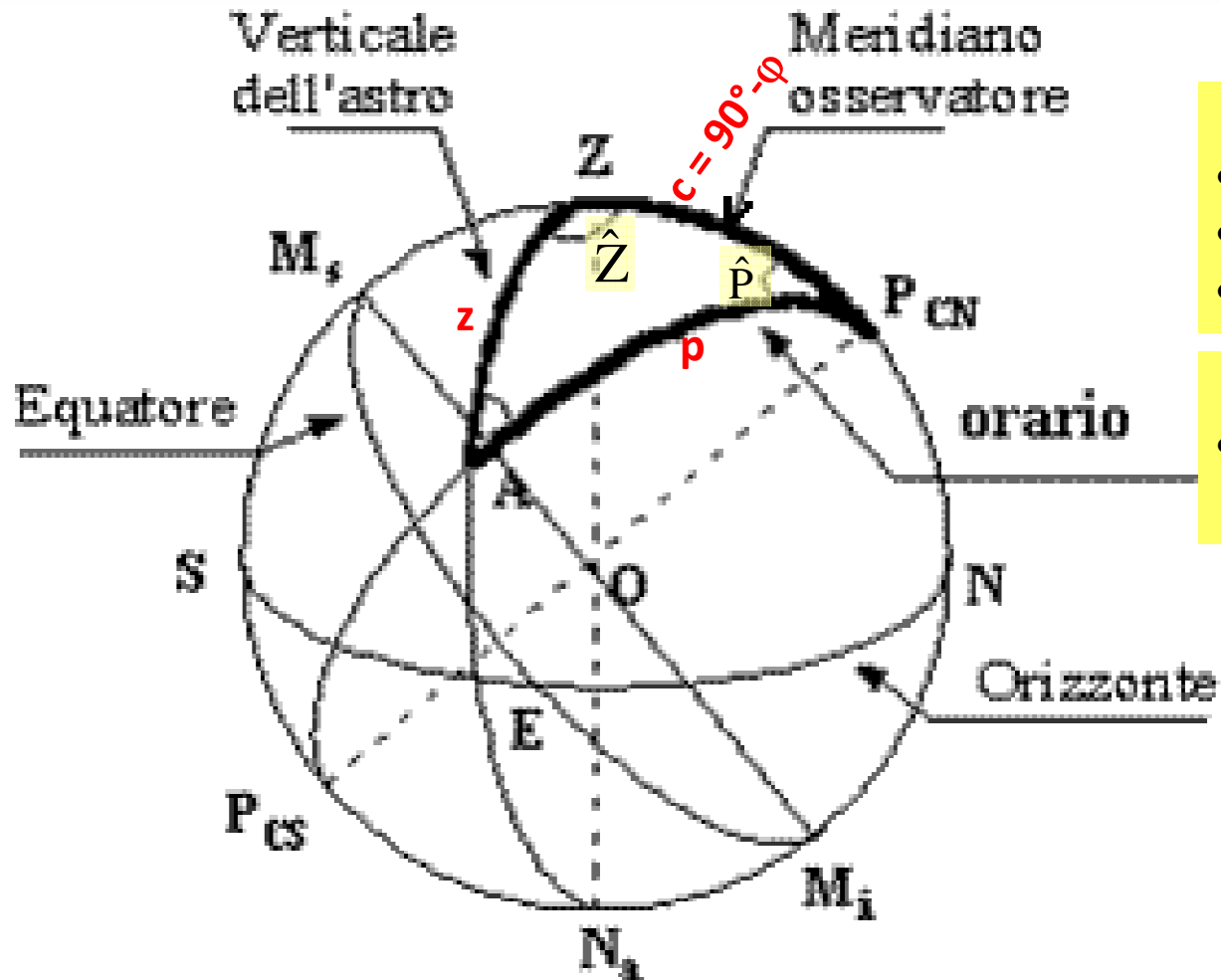
### Distanza polare (p)



La distanza polare è l'arco di orario passante per l'astro compreso tra il polo celeste elevato e l'astro, contato da  $0^\circ$  a  $180^\circ$  a partire dal polo celeste elevato;

Quindi se  $\phi$  (latitudine) e  $\delta$  sono omonime la distanza polare risulta  $p = 90^\circ - \delta$ ; se eteronime  $p = 90^\circ + \delta$ .

# Triangolo di posizione



## LATI

- $z$  distanza zenitale
- $p$  distanza polare
- $c$  colatitudine dell'osservatore

## ANGOLI

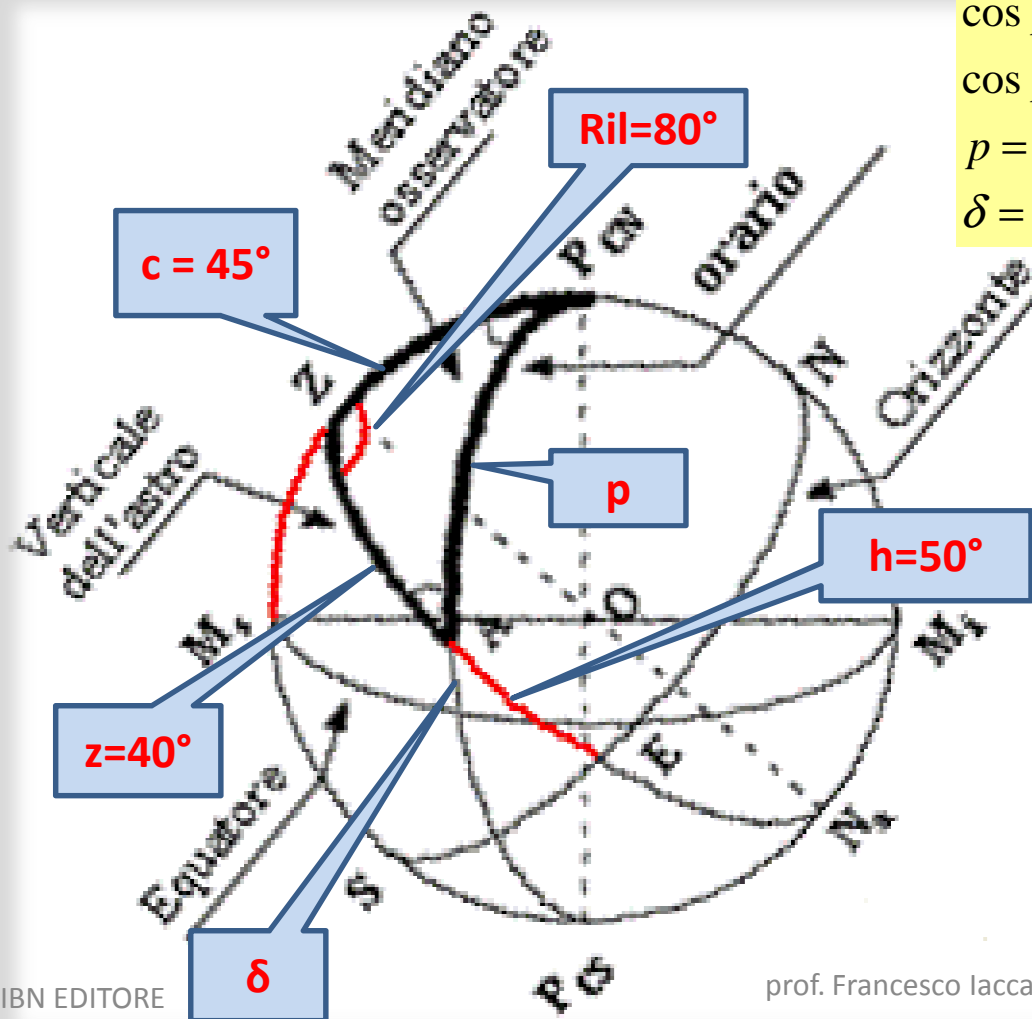
- angolo azimutale  $\hat{Z}$
- angolo al polo  $\hat{P}$

### Quesito C

## ESAME DI STATO 2004

Un osservatore alla latitudine  $45^\circ$  N, osservando il cielo, scorge un astro nella direzione  $80^\circ$  ad un'altezza di circa  $50^\circ$ .

Il candidato chiarisca se l'astro osservato è la stella Vega (la cui declinazione è  $38^\circ 45'N$ ) o la stella Deneb (la cui declinazione è  $45^\circ 15'N$ ).



$$\cos p = \cos c \cdot \cos z + \text{senc} \cdot \text{senz} \cdot \cos 80$$

$$\cos p = \cos 45^\circ \cdot \cos 40^\circ + \text{sen}45^\circ \cdot \text{sen}40^\circ \cdot \cos 80^\circ$$

$$p = 51^\circ 38' 24''$$

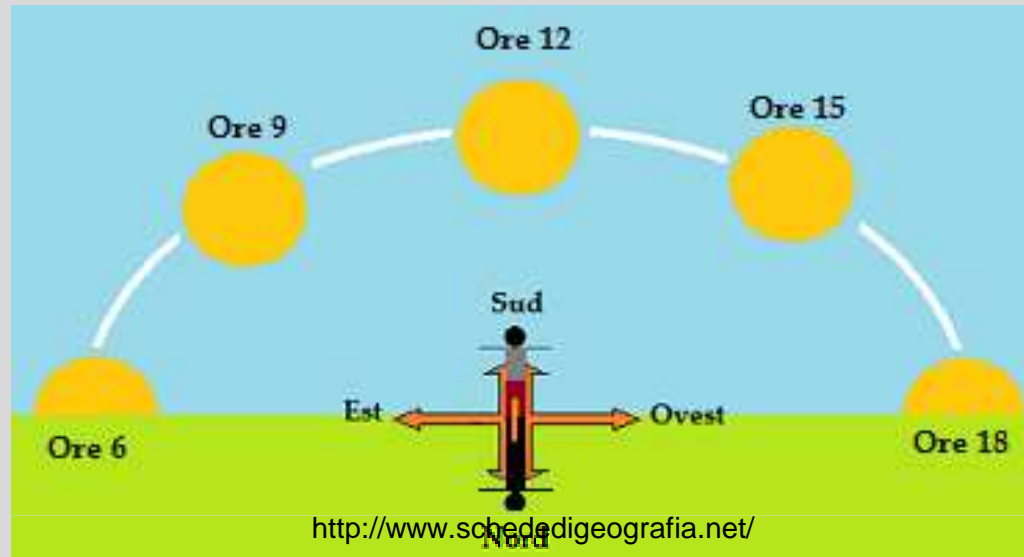
$$\delta = 90^\circ - p = 38^\circ 21' 36''$$



**L'ASTRO OSSERVATO E' LA STELLA DI VEGA**



# Il Sole per orientarsi



## TRAGITTO APPARENTE DEL SOLE

- Il Sole sorge a Est e tramonta a Ovest all'epoca degli equinozi, all'incirca il 21 Marzo ed il 23 Settembre.
- Osservando l'ombra di una sottile asta verticale piantata nel terreno è possibile stabilire la posizione dei punti cardinali, infatti, sappiamo che la lunghezza dell'ombra varia durante il giorno ed è minima quando il sole culmina (mezzogiorno solare vero). Quando l'ombra ha la minor lunghezza la sua posizione indica la direzione Sud Nord (il Nord è l'ombra della punta dell'asta e il Sud è la base dell'asta). Perpendicolarmente troviamo la direzione Est ed Ovest.

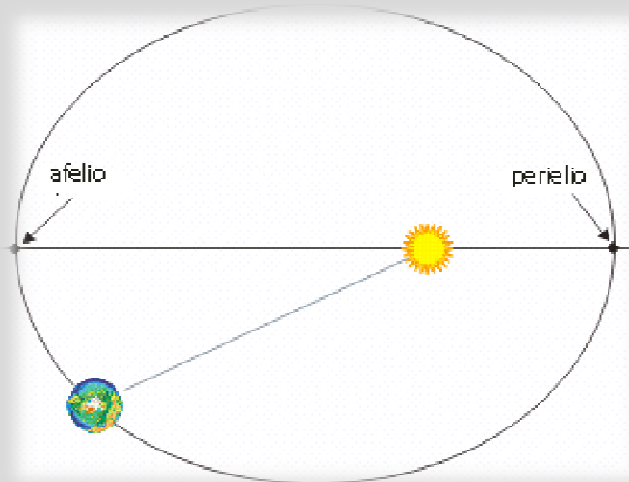
# Misura del tempo con il Sole

Il GIORNO è il periodo di tempo che la Terra impiega per compiere una rotazione completa intorno al proprio asse.

A seconda di come viene misurato, si distinguono due tipi diversi di giorno:

1. **GIORNO SIDEREO ( $23^{\text{H}}56^{\text{M}}04^{\text{S}}$ ):** è l'intervallo di tempo costante che intercorre fra due passaggi successivi di una stella per uno stesso punto.
2. **GIORNO SOLARE MEDIO ( $24^{\text{H}}$ ):** è l'intervallo di tempo che intercorre fra due passaggi successivi del Sole per uno stesso punto; la nostra vita è regolata dalla presenza del Sole e non da quella delle stelle. E' un intervallo di tempo rigorosamente costante pari alla media delle durate di tutti i giorni dell'anno.
3. Un orologio legato ai movimenti del Sole indicherebbe intervalli di tempo variabili nei diversi periodi dell'anno, mentre, per gli usi civili, è necessario un orologio che indichi un tempo regolare per tutto l'anno.

Il **Sole vero**, percorrendo l'eclittica, raggiunge la massima velocità angolare quando si trova al perielio e la minima velocità quando si trova al afelio.

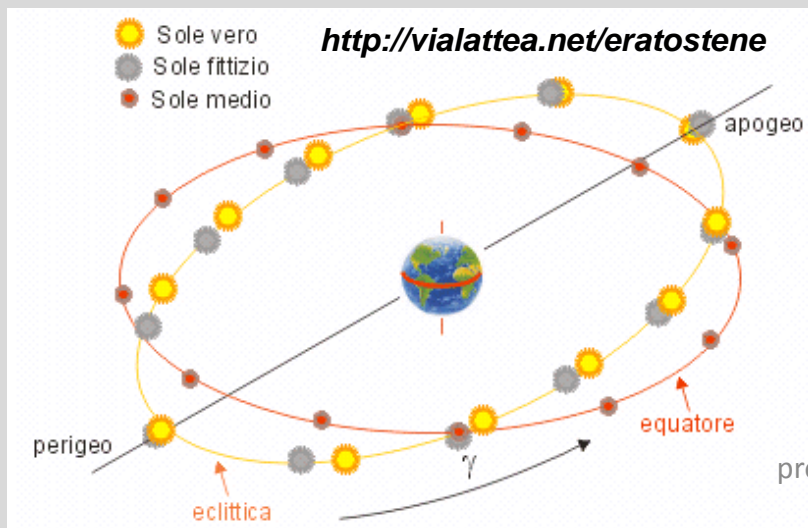


L'orbita terrestre è un'ellisse e il Sole occupa uno dei due fuochi. Di conseguenza la distanza della Terra dal Sole non è costante ma varia nel corso dell'anno. L'afelio e il perielio sono i due punti dell'orbita in cui la Terra si trova rispettivamente alla massima e alla minima distanza dal Sole.

Immaginiamo:

- un **Sole fittizio** che passa al perielio (perigeo) e all'afelio (apogeo) assieme al Sole vero ma che percorre l'eclittica a velocità costante. // *Sole fittizio corregge l'irregolarità del moto del Sole vero lungo l'eclittica.*
- un **Sole medio**, che si muove lungo l'equatore celeste, a velocità costante e che attraversa il punto vernale  $\gamma$  (è uno dei due punti equinoziali in cui l'equatore celeste interseca l'eclittica: quello dell'equinozio di primavera) nello stesso momento del Sole fittizio. // *Sole medio ha lo scopo di correggere l'irregolarità del moto del Sole dovuta al fatto che esso non percorre l'equatore.*

Il moto del Sole medio permette di definire il giorno solare medio e il tempo solare medio. La differenza tra il tempo vero e il tempo medio è espresso dall'equazione del tempo.



$$\mathcal{E}_m = t_V - t_m$$

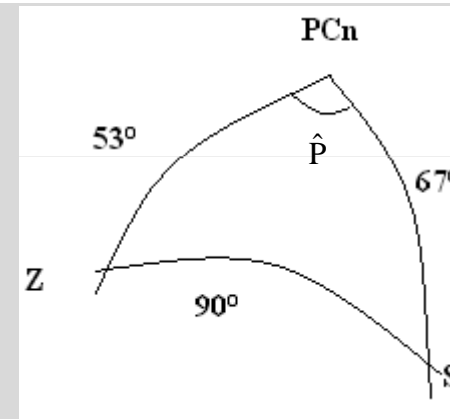
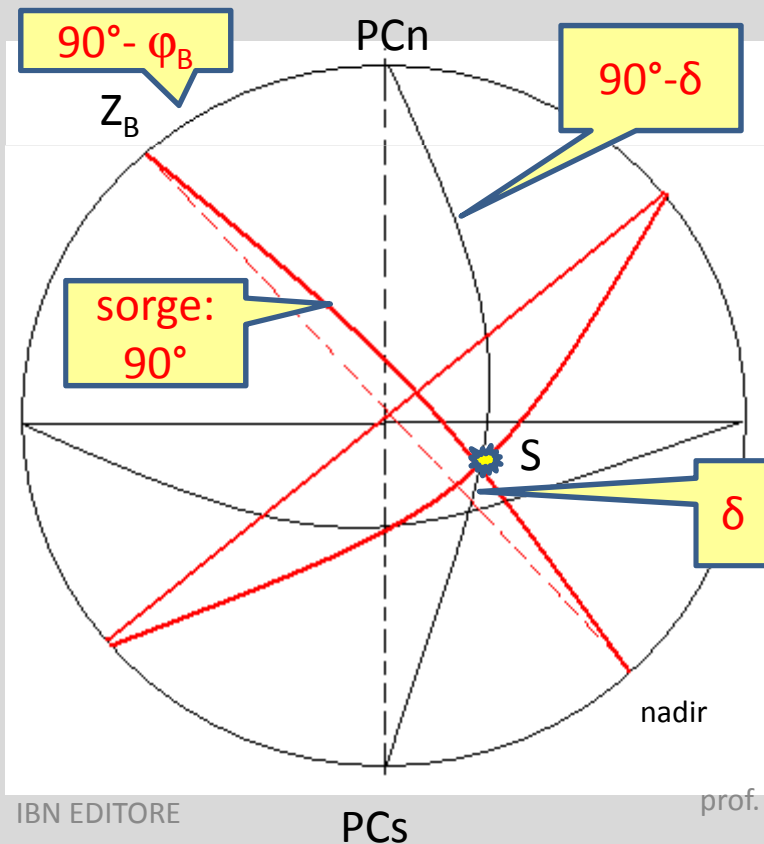
Essendo  $t_V$  l'ora del Sole vero e  $t_m$  l'ora del Sole medio.

# ESAME DI STATO 2005

## Quesito C

Un aeromobile, alle UT 00:30 del 2 giugno 2005 si trova in A (Lat.  $41^{\circ} 00' N$ , Long.  $004^{\circ} 00' E$ ) diretto per B (Lat.  $37^{\circ} 00' N$ , Long.  $023^{\circ} 00' E$ ) da cui deve iniziare una procedura di avvicinamento a vista per atterrare all'aeroporto di Atene.

Il candidato calcoli la GS media che l'aereo deve mantenere lungo il tratto di ortodromia AB in modo da poter arrivare in B 30 minuti prima del sorgere vero del Sole (declinazione del Sole  $23^{\circ} N$ , equazione del tempo medio uguale a -4 minuti).



$$\cos 90^{\circ} = \cos 53^{\circ} \cos 67^{\circ} + \text{sen}53^{\circ} \text{sen}67^{\circ} \cos \hat{P}$$

$$\cos \hat{P} = -\frac{\cos 53^{\circ} \cos 67^{\circ}}{\text{sen}53^{\circ} \text{sen}67^{\circ}}$$

$$\hat{P} = 108,6^{\circ}$$

$\hat{P}$  va da  $0^\circ$  (Sole allo Zenit) a  $180^\circ$  (Sole al Nadir).

Dal Nadir all'orizzonte il Sole ha percorso un angolo  $\hat{P}$  pari a  $180^\circ - 108,6^\circ = 71,4^\circ$ .

Considerando una velocità media di  $15^\circ/\text{h}$ , il Sole ha impiegato un tempo medio  $t_m = 4^{\text{h}}46^{\text{m}}$ . Quindi il Sole sorge alle  $t_m = 4^{\text{h}}46^{\text{m}}$  del mattino.

Dall'equazione del tempo ricavo l'ora del sorgere del Sole vero:

$$t_v - t_m = -4^{\text{m}}$$

$$t_v = t_m + (-4^{\text{m}}) = 4^{\text{h}}46^{\text{m}} - 4^{\text{m}} = 4^{\text{h}}42^{\text{m}}$$

L'a/m deve arrivare in B 30 minuti prime del sorgere del Sole vero, quindi alle ore:

$$\text{LMT}_B = 4^{\text{h}}42^{\text{m}} - 30^{\text{m}} = 4^{\text{h}}12^{\text{h}}$$

$$\text{GMT}_B = \text{LMT}_B - \lambda_B^{\text{h}} = 2^{\text{h}}40^{\text{h}}$$

Quindi il  $FT_{AB} = GMT_B - GMT_A = 2^h 40^m - 0^h 30^m = 2^h 10^m$

Calcolo la distanza tra A e B e quindi la GS.

$$\cos d = \cos 49^\circ \cos 53^\circ + \text{sen} 49^\circ \text{sen} 53^\circ \cos 19^\circ$$

$$d = 15^\circ 16' = 915,8 NM$$

$$GS = \frac{915,8 NM}{2^h 10^m} = 423^k$$

## BIBLIOGRAFIA

1	Strumenti e navigazione – Trebbi - Aviabooks
2	Fondamenti per la navigazione astronomica – Russo, Santamaria, Vultaggio – Istituto di Navigazione “G. Simeon”