

## Sfera celeste e sistemi di coordinate

*L'attenzione viene rivolta in questo capitolo alla sfera celeste, già citata nel paragrafo 1.3, un ente astratto sul quale, però, si può ragionare con piena sicurezza.*

*Non riesce difficile al lettore, a seguito di quanto è stato trattato per la sfera terrestre, approfondire lo studio di quella celeste, specialmente per quanto riguarda i suoi vari sistemi di coordinate.*

*Queste iniziali nozioni sono indispensabili per la navigazione astronomica, i cui problemi vengono sinteticamente citati nel primo paragrafo. Tra questi, il più importante riguarda la determinazione della posizione con misure di altezze di astri.*

### 5.1 Introduzione

Per la determinazione astronomica della posizione, per molti altri calcoli inerenti alla navigazione ed anche per l'interpretazione di molti fenomeni celesti, la Terra viene considerata al centro dell'universo, cioè al centro della sfera celeste: configurazione del tutto *falsa* ma oltremodo pratica, una forzata adesione alla cosmografia tolemaica.

Ciò vale per qualsiasi osservatore situato sul più sperduto astro del cosmo; di qui tanti centri dell'universo, ma esiste il suo vero centro?

Per questa nostra sfera celeste geocentrica sono di estrema importanza le direzioni della verticale, dell'asse terrestre e di quello dell'eclittica, già note la prima e la seconda, di prossima definizione la terza.

Ciascuna di queste direzioni, alle quali sono legate delle circonferenze massime e minori a guisa dei meridiani e dei paralleli terrestri, viene assunta quale asse polare di un sistema di coordinate per localizzare gli astri, considerati punti della sfera, fissi se lontani (le stelle), mobili se vicini (Sole, pianeti e satelliti). Tutti, però, partecipano al moto apparente diurno della sfera celeste, dovuto al moto reale di rotazione della Terra intorno al suo asse.

Caro lettore, ora tanto affezionato ai moderni sistemi di radionavigazione, specialmente a quelli satellitari, lontano dalla costa, in pieno oceano, non dimenticare che hai la volta celeste a tua completa disposizione, gratuitamente, per determinare

la posizione, per controllare la bussola magnetica e per eseguire altri calcoli a te utili. Non devi fare altro che misurare le altezze di alcuni astri sull'orizzonte del mare per ottenere la posizione o rilevare un solo astro alla bussola per controllarne l'affidabilità, con l'unica accortezza di conoscere con precisione gli istanti relativi a ciascuna osservazione.

Per questi due problemi fondamentali, e per altri non meno importanti, occorre seguire gli astri nel loro moto apparente diurno, conoscere i vari sistemi di coordinate e gli algoritmi per passare da un sistema ad un altro. Pertanto, hai bisogno di nozioni di trigonometria sferica, di effemeridi che, in funzione del tempo, forniscano le coordinate degli astri rispetto ad un riferimento polare indipendente dalla tua posizione. Inoltre devi disporre di un cronometro, di un sestante e di un apparato azimutale.

Questi apparecchi sono descritti nel volume IV; le nozioni di trigonometria sferica sono riportate nel primo capitolo del volume propedeutico. I sistemi di coordinate degli astri sono esposti in questo capitolo e le loro trasformazioni sono trattate nel successivo capitolo 8. Una dettagliata descrizione delle effemeridi edite dal nostro Istituto Idrografico è riportata nel capitolo 10. Per il loro contenuto ed impiego sono preziosi gli argomenti trattati nel capitolo 9.

Per tutto quanto riguarda la cosmografia, la meccanica celeste ed il problema del tempo, occorre consultare i capitoli 11 e seguenti del citato volume propedeutico.

## 5.2 Circonferenze della sfera celeste legate all'asse terrestre ed alla verticale dell'osservatore

Il lettore già conosce i piani legati all'asse terrestre (*piani meridiani geografici e piani paralleli*) ed alla sua verticale (*piani verticali e piani orizzontali*).

Si consideri un ipotetico osservatore situato negli emisferi boreale ed orientale della superficie terrestre supposta sferica (fig. 5.1). Le sue coordinate sono date dall'angolo al centro  $Q\hat{T}O$  per la latitudine e dall'angolo  $G_1\hat{T}Q$  per la longitudine.

L'asse celeste, prolungamento di quello terrestre, incontra la sfera in due punti, *Polo celeste nord (Pcn)* ed *Polo celeste sud (Pcs)*; anche la verticale dell'osservatore incontra la sfera in due punti: *Zenit (Z)* e *Nadir (Z')*.

I piani che contengono l'asse celeste e quelli ad esso perpendicolare intersecano la sfera rispettivamente secondo delle circonferenze massime, gli *orari*, e delle circonferenze minori, i *paralleli di declinazione*; di questi ultimi, quello relativo al piano equatoriale è detto *equatore celeste*, anch'esso una circonferenza massima.

Similmente, i piani legati alla verticale (quelli verticali e quelli orizzontali) intersecano la sfera rispettivamente secondo delle circonferenze massime, i *verticali*,

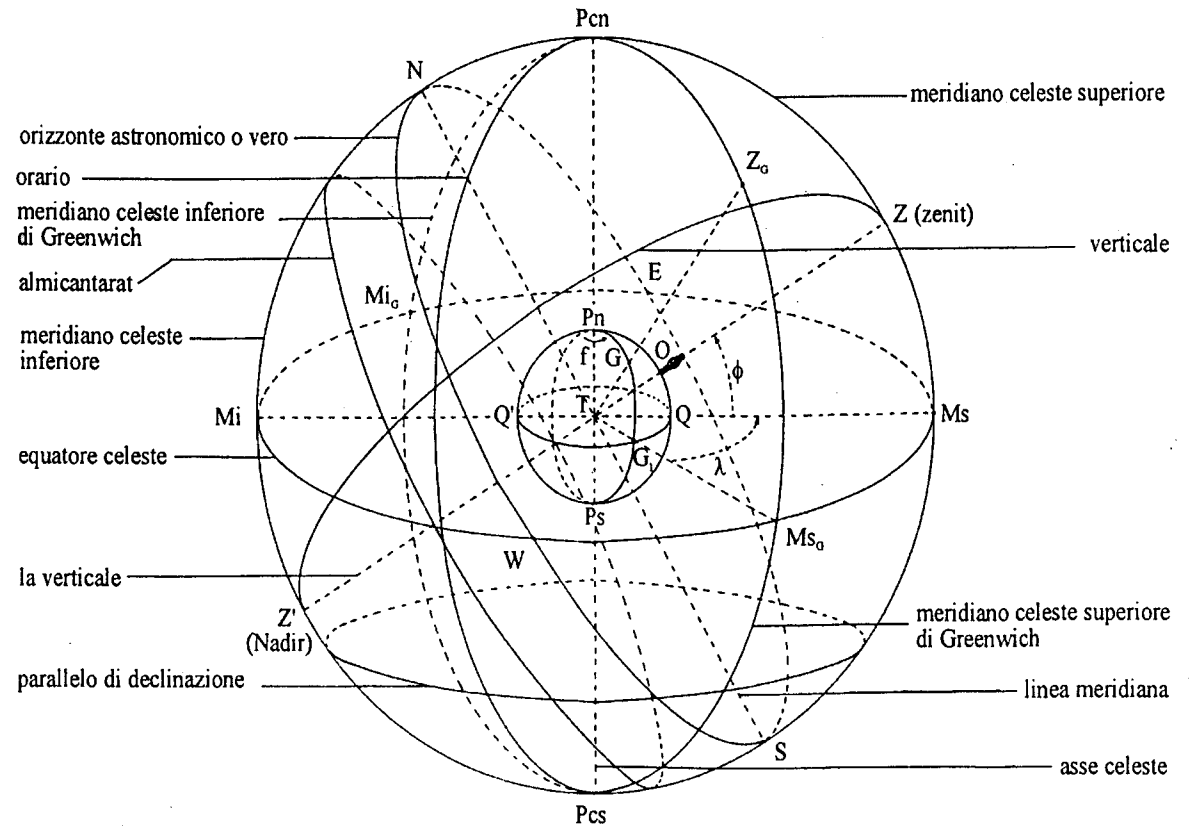


fig 5.1

e delle circonferenze minori, gli *almicantarati*; di questi, quello corrispondente al piano dell'orizzonte astronomico è detto *orizzonte astronomico o vero*, anch'esso una circonferenza massima.

Più avanti gli orari ed i verticali saranno considerati delle semicirconferenze massime, alla stregua dei meridiani sulla Terra.

Il piano del foglio, che rappresenta il piano del meridiano dell'osservatore, interseca la sfera secondo la circonferenza massima  $Pcn-Z-Pcs-Z'$ , detta *meridiano celeste dell'osservatore*. Questo va considerato diviso in *meridiano celeste superiore*  $Pcn-Z-Pcs$ , che contiene lo zenit e *meridiano celeste inferiore*  $Pcn-Z'-Pcs$ , che contiene il nadir.

Dall'intersezione del piano del meridiano dell'osservatore con quello dell'orizzonte astronomico e con quello dell'equatore si hanno due diametri, detti rispettivamente *linea meridiana* e *traccia dell'equatore sul piano meridiano*. Gli estremi della linea meridiana individuano i punti cardinali N e S, il primo più vicino al  $Pcn$ , il secondo al  $Pcs$ ; similmente gli estremi della traccia dell'equatore celeste individuano i punti di *Mezzocielo superiore* ( $Ms$ ) e *Mezzocielo inferiore* ( $Mi$ ), rispettivamente punti d'intersezione del meridiano celeste superiore ed inferiore con l'equatore celeste.

Importante anche l'intersezione del piano equatoriale con quello dell'orizzonte astronomico: un diametro normale alla linea meridiana, i cui estremi rappresentano i punti cardinali E e W.

Si noti che il meridiano celeste dell'osservatore è anche un orario ed un verticale, intesi ancora quali intere circonferenze massime.

La sfera celeste è divisa dal piano equatoriale in due emisferi: *emisfero celeste nord* ed *emisfero celeste sud*, aventi rispettivamente per poli il  $Pcn$  ed il  $Pcs$ ; dal piano dell'orizzonte vero in *emisfero visibile* ed *emisfero invisibile*, i cui poli sono rispettivamente lo zenit  $Z$  ed il nadir  $Z'$ ; dal piano del meridiano dell'osservatore in *emisfero celeste orientale* ed *emisfero celeste occidentale*, i cui poli sono i punti cardinali E e W.

Diversamente dalla sfera terrestre, sulla sfera celeste è il piano del meridiano dell'osservatore a dividere la sfera in emisfero orientale e occidentale. Questa precisazione troverà una convincente spiegazione nel prossimo capitolo.

Sulla Terra (sempre fig. 5.1) è segnato sia il meridiano che l'antimeridiano di Greenwich, le cui proiezioni sulla sfera celeste sono rispettivamente gli archi  $Pcn-Ms_G-Pcs$  e  $Pcn-Mi_G-Pcs$ .

Dalla figura 5.1 risulta:

$$\varphi = Q\hat{T}O = Ms\hat{T}Z = QO = MsZ$$

$$\lambda = G_1\hat{T}O = Ms_G\hat{T}Ms = G_1Q = Ms_GMs$$

La latitudine è nord (positiva), la longitudine è est (positiva). Il polo celeste che si trova sopra l'orizzonte è detto *polo celeste elevato*; l'altro, che capita sotto l'orizzonte, viene chiamato *polo celeste depresso*.

Nel caso della figura (osservatore situato nell'emisfero terrestre nord) il *Pcn* è il polo celeste elevato ed il *Pcs* quello depresso. Per un osservatore nell'emisfero terrestre sud, il *Pcs* è polo celeste elevato ed il *Pcn* quello depresso. Dalla figura risulta:

$$MsZ = NPcn$$

dal che l'altezza del polo celeste elevato sull'orizzonte vero è uguale alla latitudine dell'osservatore.

L'orario che passa per i punti cardinali E e W si chiama *primo orario*; si divide in *primo orario orientale* (quello che passa per E) e *primo orario occidentale* (quello che passa per W).

Il verticale che passa per i punti cardinali E e W si chiama *primo verticale*: lo stesso si divide in *primo verticale orientale* (quello che passa per E) e *primo verticale occidentale* (quello che passa per W).

Volendo disegnare la sfera celeste come appare all'osservatore, si consiglia quanto segue.

Fissato il suo raggio, si tracci il meridiano celeste dell'osservatore e la sua verticale, rappresentata dal diametro verticale (in tratteggio), lo zenit (*Z*) in alto e il nadir (*Z'*) in basso; il diametro orizzontale, anch'esso in tratteggio, indicherà la linea meridiana; col punto cardinale nord (*N*) alla sua destra, si avrà davanti l'emisfero celeste orientale.

L'asse celeste verrà rappresentato con tratteggio dal diametro inclinato sulla linea meridiana di un angolo uguale alla latitudine dell'osservatore, in modo da far risultare nell'emisfero visibile il polo celeste dello stesso nome della latitudine, elevato sul corrispondente punto cardinale.

Il diametro, sempre in tratteggio, normale all'asse celeste, indicherà l'intersezione del piano dell'equatore con quello del meridiano dell'osservatore; gli estremi di questo diametro individueranno il mezzocielo superiore (*Ms*) e quello inferiore (*Mi*), il primo nell'emisfero visibile, il secondo nell'emisfero invisibile.

Tracciate le due circonferenze massime rappresentanti rispettivamente l'orizzonte astronomico e l'equatore celeste, verranno individuati anche gli altri due punti cardinali est (*E*) e ovest (*W*).

A questo punto risulta semplice il tracciamento degli orari, dei paralleli di declinazione, dei verticali e degli almicantrat.

La figura 5.2a rappresenta la sfera celeste orientata per un osservatore situato in un punto della Terra di latitudine  $\varphi = 30^\circ$  N; la figura 5.2b si riferisce ad un osservatore la cui latitudine è  $\varphi = 30^\circ$  S.

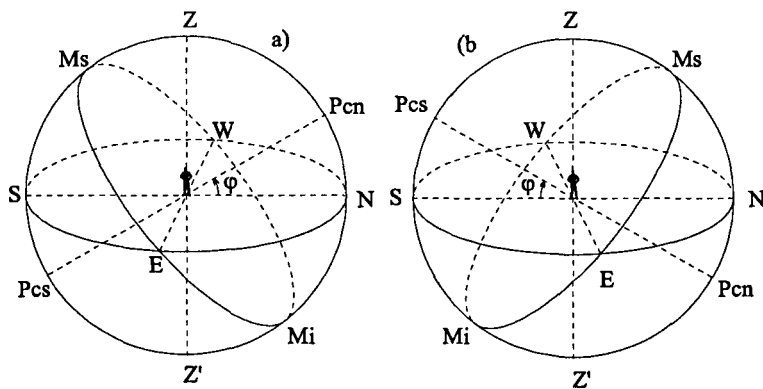


Figura 5.2

### 5.3 L'eclittica

Il moto di rivoluzione dei pianeti intorno al Sole (come quello dei satelliti intorno ai pianeti) è regolato dalle seguenti tre leggi enunciate da Johannes Kepler (latinizzato Keplero), le prime due nel 1609 e la terza nel 1618:

- 1) I pianeti descrivono intorno al Sole orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi;
- 2) le aree descritte dal raggio vettore (congiungente il centro del Sole col centro del pianeta) sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle; ovvero: il raggio vettore descrive aree uguali in tempi uguali;
- 3) i quadrati dei tempi di rivoluzione dei pianeti sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle loro rispettive orbite.

La figura 5.3 mostra l'ellisse descritta da un pianeta intorno al Sole considerato nel fuoco  $F_1$ .

Gli estremi dell'asse maggiore rappresentano i punti di minima e massima distanza del pianeta dal Sole durante la sua rivoluzione, denominati rispettivamente perielio ( $P$ ) e afelio ( $A$ ), noti anche quali *apsidi* dell'orbita, per cui l'asse maggiore è detto anche *linea degli apsi*.

La distanza di un pianeta dal Sole risulta continuamente variabile (prima legge); alla massima distanza corrisponde la minima velocità di rivoluzione, al contrario alla minima distanza (seconda legge); tra due pianeti, quello più distante dal Sole ha velocità di rivoluzione più piccola di quella del pianeta più vicino al Sole (terza legge).

Le prime due considerazioni risultano evidenti dalla citata fig. 5.3; per la terza si rimanda al paragrafo 11.5 del testo propedeutico.

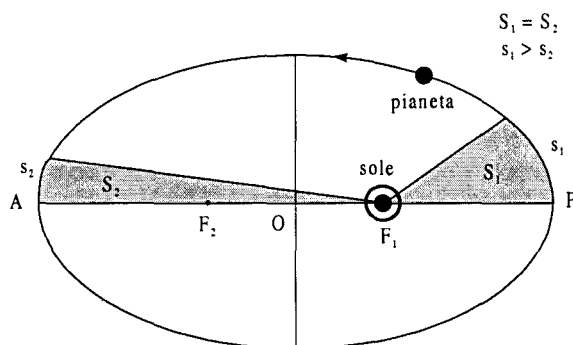


Figura 5.3

L'ellisse descritta dalla Terra intorno al Sole è caratterizzata dai seguenti parametri: semiasse maggiore  $a = 1.496 \cdot 10^8$  Km, eccentricità  $e = 0.017$ , periodo di rivoluzione  $T = 365.2564$  giorni medi.

Il piano dell'orbita terrestre, inclinato di circa  $23^{\circ}27'$  sul piano equatoriale, interseca la sfera celeste secondo una circonferenza detta *eclittica*, indicata in figura 5.4 con la lettera  $c$ .

L'eclittica può considerarsi come il luogo dei punti della sfera celeste nei quali viene proiettato il Sole dalla Terra giorno dopo giorno, per un intero anno. I due punti d'incontro dell'eclittica con l'equatore celeste sono detti *nodi* ed indicati coi simboli  $\gamma$  e  $\Omega$ .

L'asse  $p$  passante per il centro della Terra e normale al piano dell'eclittica è detto *asse dell'eclittica*; esso interseca la sfera celeste in due punti detti *poli dell'eclittica*: polo d'eclittica nord ( $\pi_n$ ) quello più vicino al polo celeste nord e polo d'eclittica sud ( $\pi_s$ ) quello più vicino al polo celeste sud.

Il 21 marzo il Sole viene proiettato dalla Terra nel punto  $\gamma$  e nei giorni successivi nei punti dell'arco d'eclittica che si sviluppa nell'emisfero celeste nord; il 21 giugno viene proiettato nel punto  $E$ , il 23 settembre nel punto  $\Omega$ , il 21 dicembre nel punto  $E'$ .

Il senso del moto apparente del Sole sull'eclittica è indicato in figura 5.4 dalla freccia  $f$ ; identico senso ha il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole.

Il punto  $\gamma$  è detto *nodo ascendente* per il fatto che il 21 marzo il Sole passa dall'emisfero celeste sud a quello nord; di conseguenza, il punto  $\Omega$  è detto *nodo discendente*. I due nodi  $\gamma$  e  $\Omega$  sono detti *punti equinoziali*, i punti  $E$  ed  $E'$  *punti solstiziali*; il Sole, proiettato nei primi due punti, si trova sull'equatore celeste; proiettato negli altri due punti si trova alla massima distanza da questo.

Gli astronomi dell'antichità notarono 12 costellazioni in una fascia molto ristretta della sfera celeste lungo l'eclittica, spaziate di circa  $30^\circ$  l'una d'altra. Esse, a partire dal punto  $\gamma$  verso il punto  $E$ , senso della freccia  $f$  (fig. 5.4), seguivano nell'ordine: Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci. Questo insieme di costellazioni fu chiamato *zodiaco*. Il Sole, mese dopo mese, viene dalla Terra proiettato in una di queste costellazioni.

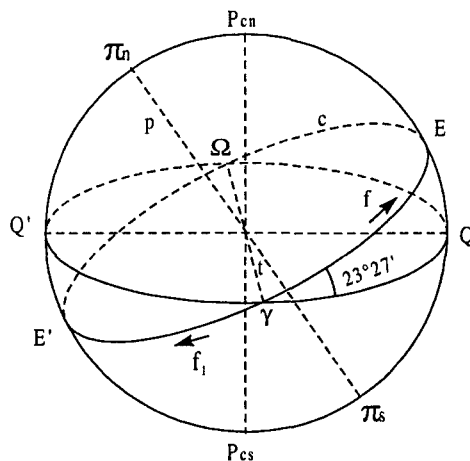


Figura 5.4

L'asse dei nodi  $t$  per il fenomeno di precessione compie una rotazione completa nel piano dell'eclittica in circa 26000 anni nel senso della freccia  $f_1$ , per cui attualmente il punto  $\gamma$  viene proiettato nella costellazione dei Pesci.

#### 5.4 Circonferenze della sfera celeste legate all'asse dell'eclittica

L'asse dell'eclittica  $p$  (fig. 5.5) rappresenta un'altra direzione fondamentale, dopo quelle già trattate (l'asse terrestre e quindi celeste e la verticale dell'osservatore). I piani paralleli a quello dell'eclittica intersecano la sfera celeste secondo delle circonferenze minori dette *paralleli d'eclittica*; quelli contenenti l'asse dell'eclittica intersecano la sfera celeste secondo delle circonferenze massime dette *meridiani d'eclittica*.

In figura 5.5 la circonferenza minore  $c$  rappresenta un parallelo d'eclittica, la circonferenza massima  $m$  un meridiano d'eclittica.

Il piano dell'eclittica divide la sfera celeste in due emisferi: *emisfero d'eclittica nord*, avente per polo il polo d'eclittica nord, ed *emisfero d'eclittica sud*, avente per polo il polo d'eclittica sud.



L'orario passante per i punti  $\gamma$  e  $\Omega$  viene denominato *coluro degli equinozi*, quello passante per i punti  $E$  ed  $E'$  *coluro dei solstizi*.

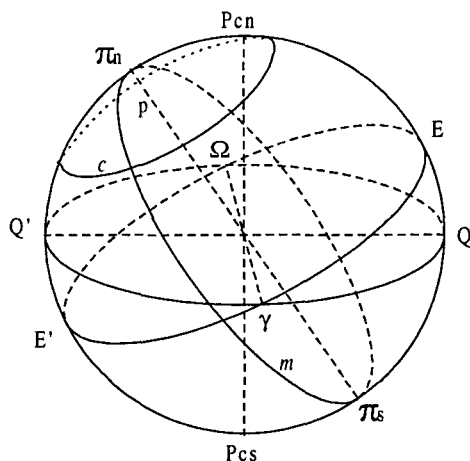


Figura 5.5

## 5.5 Sistemi di coordinate

Saranno esaminati i principali sistemi di coordinate polari sferiche considerati in Astronomia posizionale, alcuni molto utili in navigazione astronomica.

Se l'asse polare dipende dalla posizione dell'osservatore, il sistema è detto *locale*, in caso contrario è detto *uranografico* o *celeste*; gli assi polari dei sistemi che saranno esaminati hanno per polo il centro della Terra.

Si consiglia di consultare il capitolo 6 del volume propedeutico.

### 5.5.1 Sistema di coordinate altazimutali

L'asse polare del sistema è la verticale dell'osservatore orientata verso lo zenit, al quale vanno legati il piano dell'orizzonte astronomico o vero ed il semipiano del verticale nord; più semplicemente, trattando di circonferenze o parti di esse, vanno considerati l'orizzonte astronomico ed il verticale nord (fig. 5.6).

Le coordinate dell'astro  $A$  sono:

$$\text{azimut}(a) = N\hat{T}A_1 = NA_1$$

$$\text{altezza}(h) = A_1\hat{T}A = A_1A$$

L'azimut è l'angolo diedro tra il semipiano del verticale nord e quello relativo al verticale dell'astro, contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  dal semipiano nord verso quello dell'astro nel senso indiretto od orario rispetto al senso positivo della verticale (guardando dallo zenit).

L'altezza è l'angolo d'inclinazione della congiungente centro Terra-astro sul piano dell'orizzonte vero, contato nel semipiano del verticale dell'astro da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , positivo verso lo zenit, negativo verso il nadir.

Più semplicemente, l'azimut è rappresentato dall'arco di orizzonte vero compreso tra il punto cardinale N ed il piede del verticale dell'astro (punto  $A_1$  in figura 5.6), contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partire dal cardine N verso E-S-W.

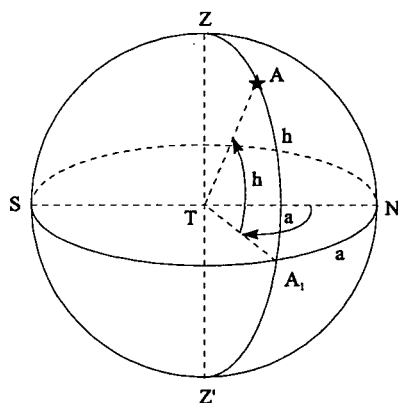


Figura 5.6

L'altezza è rappresentata dall'arco di verticale passante per l'astro, compreso tra l'orizzonte e l'astro, contato da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  dall'orizzonte verso l'astro, arco positivo se l'astro è nell'emisfero visibile, negativo se è in quello invisibile.

La convenzione di contare l'azimut dal verticale nord è dettata da esigenze di navigazione; presso gli astronomi è usanza riferirsi al verticale sud, sempre secondo il senso S-W-N-E.

Il verticale è il luogo dei punti aventi lo stesso azimut, l'almicantarato il luogo dei punti aventi la stessa altezza. Note di un astro queste coordinate, esso è individuato dall'intersezione di questi due luoghi.

Di qui, un punto sulla sfera celeste è definito da un azimut e da un'altezza; un azimut ed un'altezza definiscono sulla sfera un punto ed uno solo (*corrispondenza biunivoca*).

Coordinate sostitutive dell'azimut e dell'altezza sono l'*angolo azimutale* ( $Z$ ) e la *distanza zenitale* ( $z$ ). L'angolo azimutale è l'arco di orizzonte astronomico o

vero compreso tra il punto cardinale N o S, a seconda del segno della latitudine, ed il piede del verticale passante per l'astro, contato da 0° a 180°, verso E o verso W.

L'ampiezza dell'arco è pertanto preceduta dal cardine N o S e seguita da E o W; quella dell'azimut non è preceduta o seguita da alcuna lettera. Si riportano le seguenti relazioni per il passaggio dall'azimut all'angolo azimutale:

$$\varphi \text{ nord } \left\{ \begin{array}{ll} a < 180^\circ & Z = NaE \\ a > 180^\circ & Z = N(360^\circ - a)W \end{array} \right\}$$

$$\varphi \text{ sud } \left\{ \begin{array}{ll} a < 180^\circ & Z = S(180^\circ - a)E \\ a > 180^\circ & Z = S(a - 180^\circ)W \end{array} \right\}$$

Per queste relazioni e le rispettive inverse è utile considerare la sfera celeste proiettata dall'infinito sul piano dell'orizzonte vero; gli almicantrat e l'orizzonte vengono rappresentati da circonferenze concentriche aventi lo zenit come centro, i cui raggi risultano uguali a quelli della sfera celeste obiettiva; i verticali vengono rappresentati da raggi.

La distanza zenitale è l'arco di verticale passante per l'astro compreso tra lo zenit e l'astro, contato da 0° a 180° a partire dallo zenit. Molto semplice il passaggio dall'altezza alla distanza zenitale:

$$z = 90^\circ \mp h$$

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

Non sfugge al lettore che questo sistema di coordinate va classificato fra quelli locali, essendo completamente legato alla verticale dell'osservatore.

### 5.5.2 Sistema di coordinate orarie

L'asse polare del sistema è l'asse celeste al quale è legato il piano equatoriale ed il semipiano del meridiano celeste superiore dell'osservatore, più semplicemente l'equatore celeste ed il meridiano celeste superiore (fig. 5.7).

Le coordinate dell'astro  $A$  sono:

$$\text{angolo orario locale } (t) = Ms\hat{T}A_1 = MsA_1$$

$$\text{declinazione } (\delta) = A_1\hat{T}A = A_1A$$

L'angolo orario locale è l'angolo diedro tra il semipiano relativo al meridiano celeste superiore ed il semipiano dell'orario dell'astro, contato dal primo semipiano verso il secondo nel senso orario guardando dal polo celeste nord, da 0° a 360°.

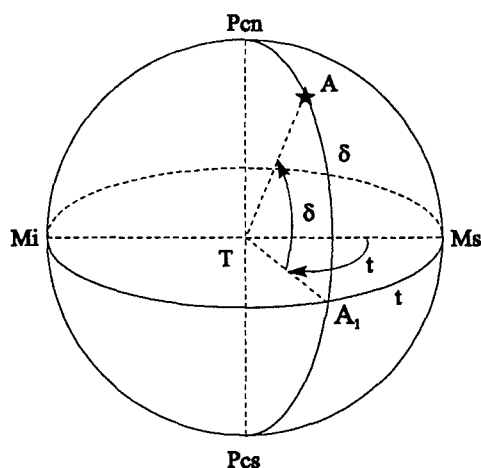


Figura 5.7

La declinazione rappresenta l'angolo d'inclinazione della congiungente centro Terra-astro sul piano dell'equatore celeste, contato nel semipiano dell'orario dell'astro, da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  verso uno dei due poli.

Più semplicemente, l'angolo orario locale è l'arco di equatore celeste compreso tra il mezzocielo superiore ( $Ms$ ) ed il piede dell'orario passante per l'astro (punto  $A_1$ ), contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partire dal  $Ms$ , nel senso indiretto od orario guardando dal polo celeste nord.

La declinazione è l'arco di orario passante per l'astro compreso tra l'equatore celeste e l'astro, contato da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  dall'equatore verso l'astro; è positiva (o nord) se l'astro si trova nell'emisfero celeste nord, negativa (o sud) se nell'emisfero sud.

L'orario è il luogo dei punti aventi lo stesso angolo orario, il parallelo di declinazione è il luogo dei punti aventi la stessa declinazione. Note di un astro queste coordinate, esso è individuato dall'intersezione dei detti luoghi.

Di qui un punto sulla sfera celeste è definito da un angolo orario e da una declinazione; un angolo orario ed una declinazione definiscono sulla sfera un punto ed uno solo (*corrispondenza biunivoca*).

Coordinate sostitutive dell'angolo orario e della declinazione sono l'*angolo al polo* ( $P$ ) e la *distanza polare* ( $p$ ).

L'angolo al polo di un astro è l'arco di equatore compreso tra il mezzocielo superiore 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  $P_W = t$ ; se, invece,  $t$  è maggiore di  $180^\circ$ , l'astro si trova nell'emisfero celeste orientale, onde  $P_E = 360^\circ - t$ .

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; ne discende che se  $\varphi$  e  $\delta$  sono omonime, la distanza polare risulta  $p = 90^\circ - \delta$ ; se eteronime,  $p = 90^\circ + \delta$ .

Delle due coordinate  $t$  e  $\delta$  testé definite soltanto la prima dipende dalla posizione dell'osservatore, essendo contata a partire dalla proiezione del suo meridiano sulla sfera celeste; ciò nonostante il sistema viene definito *locale*.

Alla luce della definizione dell'angolo orario, in un dato istante gli angoli orari di un astro, relativi a due osservatori situati su meridiani diversi, differiscono proprio della loro differenza di longitudine (fig. 5.8). Su questa l'osservatorio di Greenwich ed i due osservatori sono indicati rispettivamente con  $G$ ,  $O$  ed  $O'$  ed i loro rispettivi zenit sulla sfera celeste con  $Z_G$ ,  $Z$  e  $Z'$ .

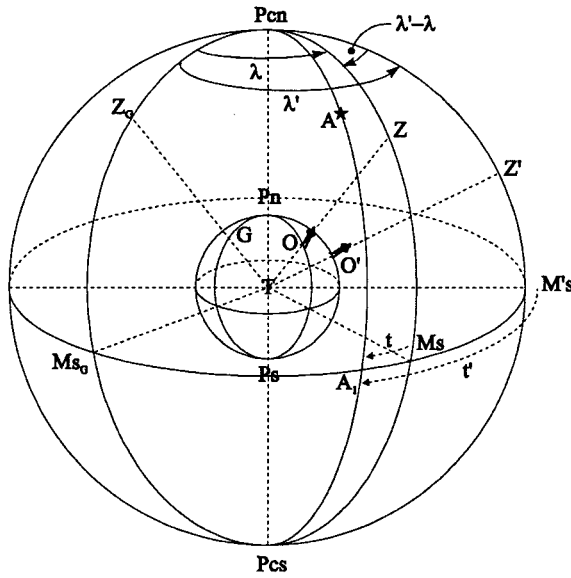


Figura 5.8

Dalla figura si ricava per l'astro  $A$ :

$$t' - t = \lambda' - \lambda \quad (5.1)$$

relazione da considerare algebrica.

Con  $\lambda' = 0^\circ$ , indicando con  $T$  l'angolo orario dell'astro rispetto al meridiano di Greenwich (un atto di deferenza!), la (5.1) diventa:

$$T - t = -\lambda$$

ed ancora:

$$t - T = \lambda \quad (5.2)$$

relazione anch'essa algebrica. Di qui, se si conosce in un dato istante l'angolo orario di un astro rispetto al meridiano fondamentale, è possibile ottenere il corrispondente angolo orario rispetto ad un osservatore situato sul meridiano di longitudine  $\lambda$ .

### 5.5.3 Sistema di coordinate uranografiche equatoriali

Per questo sistema l'asse polare coincide con l'asse celeste orientato per il polo celeste nord, al quale vanno aggiunti il piano dell'equatore ed il semipiano relativo al coluro del punto  $\gamma$ , più semplicemente l'equatore celeste ed il detto coluro (fig. 5.9).

Le coordinate dell'astro A sono:

$$\text{ascensione retta } (\alpha) = \gamma \hat{T} A_1 = \gamma A_1$$

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

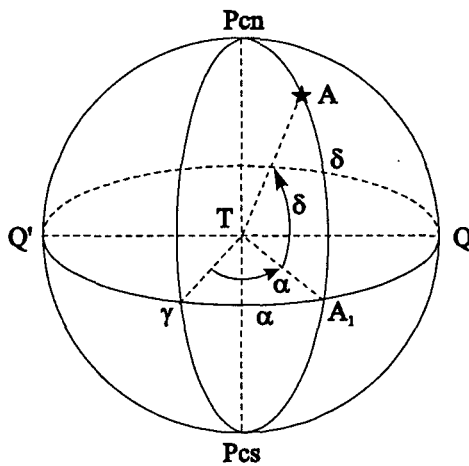


Figura 5.9

L'ascensione retta è l'angolo diedro tra il semipiano del coluro del punto  $\gamma$  ed il semipiano dell'orario passante per l'astro, contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partire dal semi-

piano del coluro, nel senso diretto o antiorario per un osservatore lungo l'asse celeste con la testa in corrispondenza del *Pcn*.

Questa coordinata può anche essere definita quale arco di equatore celeste compreso tra il punto  $\gamma$  e il piede dell'orario dell'astro, lo stesso contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partire da  $\gamma$  sempre nel verso antiorario. La declinazione è stata definita nel sottoparagrafo precedente.

Al posto dell'ascensione retta, in navigazione astronomica, viene considerata l'*ascensione versa* (*AV*), impropriamente chiamata *coascensione retta* ( $co\alpha$ ), data da:

$$co\alpha = AV = 360^\circ - \alpha$$

che rappresenta l'arco di equatore celeste compreso tra il punto  $\gamma$  e il piede dell'orario dell'astro, contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  sempre a partire da  $\gamma$ , ma nel senso opposto, indiretto od orario.

Entrambe le coordinate sono indipendenti dalla posizione dell'osservatore, onde giustificata la denominazione di coordinate uranografiche.

#### 5.5.4 Sistema di coordinate uranografiche eclittiche

L'asse polare del sistema è l'asse dell'eclittica orientato per il polo d'eclittica nord e passante per il centro della Terra; il piano ed il semipiano di riferimento sono rispettivamente quello dell'eclittica e quello del meridiano d'eclittica relativo al punto  $\gamma$  (fig. 5.10). Le coordinate dell'astro *A* sono:

$$\text{longitudine d'eclittica } (\lambda) = \gamma\hat{T}A_1 = \gamma A_1$$

$$\text{latitudine d'eclittica } (\beta) = A_1\hat{T}A = A_1 A$$

La longitudine d'eclittica è data dall'angolo diedro tra il semipiano del meridiano del punto  $\gamma$  e quello del meridiano dell'astro. Viene contato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , a partire dal semipiano del meridiano del punto  $\gamma$ , nel senso diretto o antiorario per un osservatore situato sull'asse dell'eclittica, con la testa in corrispondenza del polo nord dell'eclittica ( $\pi_n$ ).

Può anche essere definita quale arco di eclittica contato dal punto  $\gamma$  fino al piede del meridiano d'eclittica dell'astro, da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , nel senso diretto o antiorario, come precedentemente convenuto.

La latitudine d'eclittica è data dall'angolo d'inclinazione della congiungente centro Terra-astro rispetto al piano dell'eclittica, contato nel piano del meridiano d'eclittica dell'astro da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , positiva se l'astro si trova nell'emisfero nord d'eclittica, negativa se nell'emisfero sud d'eclittica.

Detta coordinata può essere anche definita quale arco di meridiano d'eclittica dell'astro, contato da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , a partire dall'eclittica verso l'astro, positiva o negativa a seconda dell'emisfero d'eclittica in cui si trova l'astro.

Anche questo sistema risulta indipendente dalla posizione dell'osservatore.

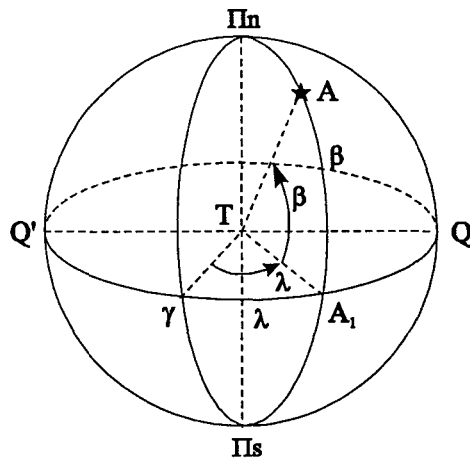


Figura 5.10

In un dato istante, la differenza tra le longitudini d'eclittica di due astri è detta *elongazione in longitudine* o *elongazione d'eclittica*. Con elongazione  $0^\circ$  o  $180^\circ$  i due astri sono detti rispettivamente in *coniunzione* o in *opposizione d'eclittica*; nel primo caso essi si trovano sullo stesso meridiano d'eclittica, nel secondo su meridiani opposti.

Con elongazione  $90^\circ$  o  $270^\circ$  i due astri sono detti in *quadratura d'eclittica*, situati in questo caso su meridiani i cui piani sono tra loro normali.

Viene spesso considerata anche l'*elongazione in ascensione retta* o *elongazione equatoriale*: differenza, in un dato istante, tra le ascensioni rette (o ascensioni verse) di due astri; di qui le posizioni di *coniunzione*, *opposizione* e *quadratura equatoriali*.

Altri sistemi vengono considerati in Astronomia; per la navigazione astronomica sono di grande utilità i primi tre qui descritti, i due locali e quello uranografico equatoriale.



## TESTI CONSULTATI

- 0) A. Russo, R. Santamaria, M. Vultaggio - *Fondamenti per la Navigazione Astronomica* - Istituto Universitario Navale - Napoli, 1994.
- 0) Ferdinando Flora - *Astronomia Nautica* - Ulrico Hoepli Editore - Milano, 1947.
- 0) Giuseppe Severino - *Astronomia Nautica* - CEDAM - Padova, 1962.
- 0) Luigi Tonta - *Elementi di navigazione astronomica* - Accademia Navale - Livorno, 1922.