

MODULO 1

Navigazione astronomica

SOMMARIO

- U.D. 1 Fondamenti di Astronomia Nautica
- U.D. 2 Prime applicazioni di Navigazione Astronomica
- U.D. 3 Determinazione della posizione della nave con metodi astronomici

Fondamenti di Astronomia Nautica

CONTENUTO

1. La sfera celeste

- 1.1. Punti e piani fondamentali
 - 1.2. Sistemi di coordinate celesti
 - 1.3. Triangolo astronomico di posizione e sua risoluzione
 - 1.4. Moto diurno apparente della sfera celeste
 - 1.5. La meccanica celeste e il sistema solare
 - 1.6. Moto del Sole
 - 1.7. I crepuscoli
 - 1.8. Moto della Luna
- SVILUPPO ABILITÀ: calcolo dell'azimut con le tavole nautiche
- ESERCIZI: risoluzione di un triangolo di posizione con l'uso della calcolatrice scientifica

2. Il problema del tempo in Astronomia Nautica

- 2.1. Il diagramma orario
 - 2.2. Relazione fondamentale degli angoli orari
 - 2.3. Intervalli di tempo astronomici
 - 2.4. Sole vero e sole medio
 - 2.5. Tempo universale e data civile
 - 2.6. I fusi orari
 - 2.7. Il cronometro marino
- ESERCIZI: calcolo ambiguità cronometro

3. Effemeridi nautiche

- 3.1. Generalità
 - 3.2. Contenuto delle pagine giornaliere
 - 3.3. Contenuto delle pagine di interpolazione
 - 3.4. Determinazione dell'angolo al polo e della declinazione
- SVILUPPO ABILITÀ: utilizzo effemeridi nautiche
- ESERCIZI

4. Il sestante

- 4.1. Struttura del sestante e suoi accessori
 - 4.2. Principio ottico del sestante
 - 4.3. Verifica e rettifica del sestante
 - 4.4. Effetto della depressione apparente dell'orizzonte sulle altezze osservate
 - 4.5. Effetto della rifrazione astronomica sulle altezze osservate
 - 4.6. Effetto della parallasse diurna e del semidiametro sulle altezze osservate
 - 4.7. Correzione delle altezze
- SVILUPPO ABILITÀ: correzione delle altezze
- ESERCIZI

COMPETENZE SVILUPPATE, DECLINATE IN CONOSCENZE E ABILITÀ

STCW Code, as amended (Manila 2010): Part A, Chapter II Master and deck department (Table A-II/1)

Pianifica e dirige una traversata e determina la posizione
 Navigazione astronomica
 Capacità di usare i corpi celesti per determinare la posizione della nave

Linee guida MIUR per Istituto Tecnico dei Trasporti e Logistica, Articolazione «Conduzione del Mezzo», opzione «Conduzione del Mezzo Navale»

Gestire l'attività di trasporto tenendo conto delle interazioni con l'ambiente esterno (fisico e delle condizioni meteorologiche) in cui viene espletata
 Determinazione della posizione della nave con riferimenti astronomici

Programma corso di Allineamento 500 h (Allegato A D.M. 30 novembre 2007 - MIT)

Saper determinare la posizione degli astri sulla sfera celeste, individuarne il triangolo di posizione e risolverlo

Il candidato dovrà apprendere come:

- a. definire la sfera celeste e istituire su di essa sistemi di riferimento;
- b. definire il triangolo sferico di posizione;
- c. applicare i metodi matematici per risolverlo;
- d. ricavare da tavole e tabelle, per un dato istante, le coordinate per individuare il triangolo di posizione.

La sfera celeste

L'astronomia è quella scienza che riesce a legare in maniera splendida il rigore delle discipline matematiche e fisiche che conosciamo, che ci fanno sentire una «specie intelligente», abbastanza potente da governare il nostro pianeta e prevalere sugli altri esseri viventi, ai meccanismi che da sempre fanno nascere nell'Uomo sentimenti di impotenza e inettitudine, di insignificanza rispetto all'Universo, così enorme e così ignoto.

1.1 PUNTI E PIANI FONDAMENTALI

Sulla sfera celeste tutti gli astri sono riportati alla stessa distanza, per cui è evidente che non rappresenta un modello per l'astro-metria, ma solo per le direzioni: per questo è chiamata anche sfera delle direzioni

La **sfera celeste** (*celestial sphere*) è la sfera immaginaria su cui si immaginano collocati gli astri visibili in cielo; la «cupola» che tutti noi vediamo guardando in alto ne rappresenta una porzione.

Si tratta di uno strumento flessibile in quanto, a seconda dell'entità che si decide di porre nel suo centro, se ne possono definire diverse tipologie: *sfera celeste locale* (osservatore al centro), *sfera celeste geocentrica* (Terra al centro) o *sfera celeste eliocentrica* (Sole al centro) (figura 1.1). Relativamente alle stelle fisse, caratterizzate da enormi distanze rispetto

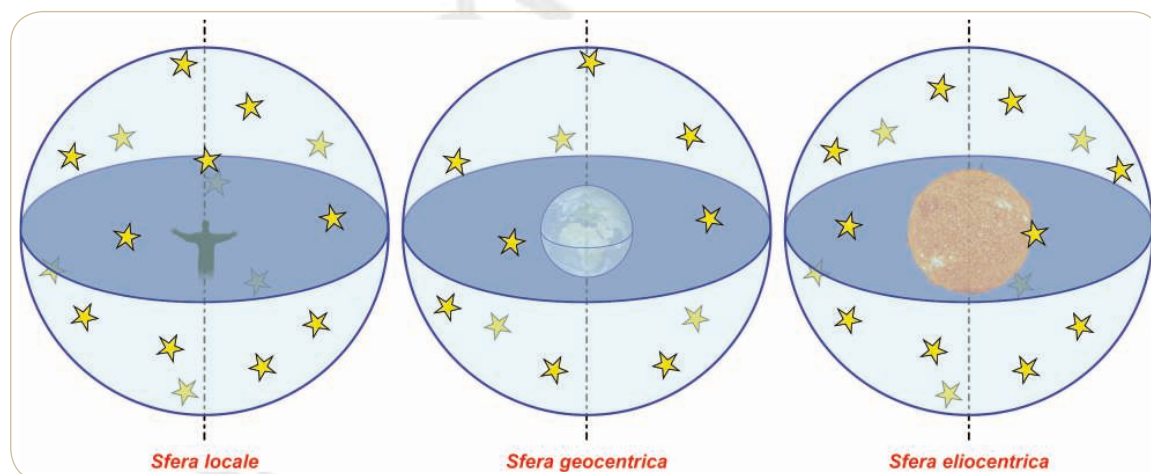


Figura 1.1

Diverse sfere celesti con diverse entità considerate al centro

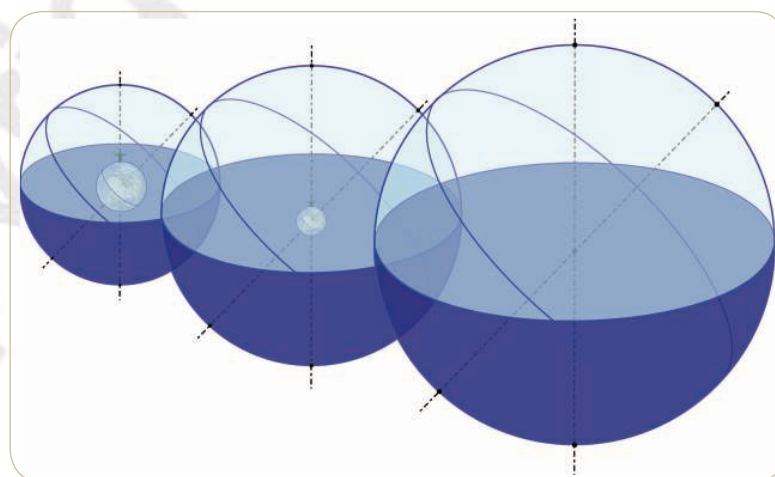


Figura 1.2

Le dimensioni coinvolte rendono trascurabili le dimensioni della Terra che diventerà puntiforme e coincidente con l'occhio dell'osservatore

al sistema solare, si possono considerare tutte e tre coincidenti, e lo stesso si può fare per sfera geocentrica e locale relativamente all'osservazione di alcuni pianeti del sistema solare: il raggio terrestre, che rappresenta proprio la distanza tra i centri delle due sfere risulta infatti trascurabile, in prima approssimazione, rispetto alla distanza Terra-Sole (figura 1.2).

Nel considerare la Luna nessuna delle tre sfere può essere confusa con un'altra; il nostro satellite è talmente vicino alla Terra che il raggio terrestre non è più trascurabile, e addirittura in molte applicazioni non è accettabile neanche l'approssimazione della Terra ad una sfera!

Noi utilizzeremo soltanto la sfera geocentrica e quella locale, considerandone i centri coincidenti nella maggior parte dei casi.

Centro a parte, quello che cambia tra una sfera e l'altra sono i punti e i piani di riferimento che la caratterizzano, ottenuti proiettando elementi riconducibili alla Terra o all'osservatore.

Sfera celeste geocentrica

Sono elementi caratteristici l'**equatore celeste** (*celestial equator*), circolo massimo ottenuto come intersezione del piano equatoriale terrestre con la sfera, e i **poli celesti** (*celestial poles*) Nord e Sud, ottenuti come intersezione dell'asse di rotazione terrestre, che in questo caso prende il nome di *asse del mondo*, con la sfera (figura 1.3).

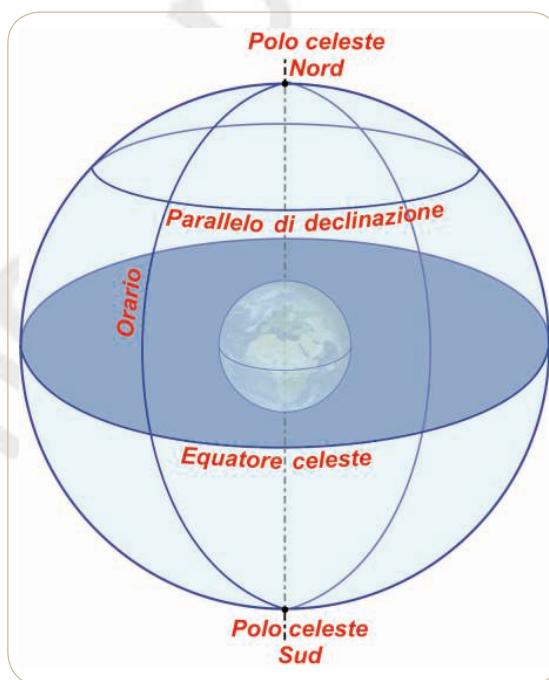


Figura 1.3

Sfera celeste geocentrica

L'equatore celeste suddivide la sfera celeste in *emisfero celeste Nord* (contenente il polo celeste Nord - P_{CN}) ed *emisfero celeste Sud* (contenente il polo celeste Sud - P_{CS}).

Ogni circolo massimo passante per i poli celesti risulta perpendicolare all'equatore celeste e prende il nome di **orario** o **meridiano celeste** (*celestial meridian*), mentre ogni circolo minore parallelo all'equatore celeste prende il nome di **parallelo di declinazione** (*parallel of declination*).

Sfera celeste locale

Sono elementi caratteristici l'**orizzonte astronomico** (*rational horizon*), ottenuto come intersezione del piano orizzontale dell'osservatore con la sfera, e i punti **Zenit** (*Zenith*) e **Nadir** (*Nadir*), ottenuti come intersezione dell'asse verticale dell'osservatore con la sfera (figura 1.4).

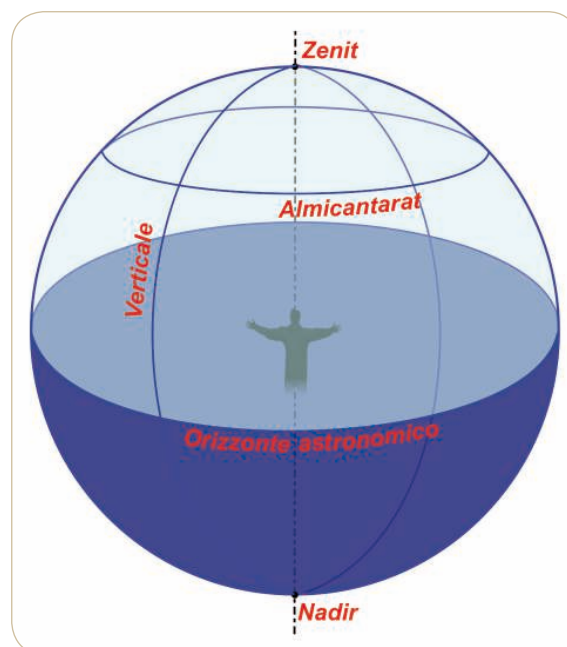


Figura 1.4

Sfera celeste locale: è messo in evidenza con colore più scuro come l'emisfero che contiene il Nadir costituisca una zona invisibile all'osservatore

La stella Polare si trova quasi a coincidere con il Polo Celeste Nord ed è per questo che risulta così importante; nel prosieguo del testo scopriremo perché

Gli orari sulla sfera celeste sono equivalenti ai meridiani sulla sfera terrestre

È importante distinguere tra orizzonte astronomico (rational horizon), orizzonte apparente (sensible horizon) e orizzonte marino (visible horizon), come risulterà più chiaro nel Capitolo 4, dedicato al sestante

Si dice che un astro è allo zenit quando l'osservatore lo vede proprio dritto sopra la sua testa!

L'orizzonte astronomico suddivide la sfera celeste in *emisfero celeste visibile* (contenente lo *Zenit* e tutti gli astri che l'osservatore può vedere) ed *emisfero celeste invisibile* (contenente il *Nadir* e tutti gli astri che l'osservatore non può vedere).

Ogni circolo massimo passante per Zenit e Nadir risulta perpendicolare all'orizzonte astronomico e prende il nome di **verticale** (*vertical circles*), mentre ogni circolo minore parallelo all'orizzonte astronomico prende il nome di **almicantarato** (*almucantar*).

La composizione della sfera locale con quella geocentrica permette la definizione dei punti cardinali sull'orizzonte astronomico, quindi consente l'*orientamento*, oltre ad individuare la *latitudine* dell'osservatore (figura 1.5); in effetti, pensando all'osservatore libero di muoversi sulla sfera, si può definire una combinazione univoca tra la posizione dello Zenit, che rappresenta proprio l'osservatore, e la posizione dei riferimenti della sfera geocentrica, cioè poli celesti ed equatore celeste. In particolare la latitudine risulta essere l'arco di circolo massimo compreso tra equatore celeste e Zenit, equivalente all'arco di circolo massimo compreso tra orizzonte e polo celeste elevato (figura 1.6).

Si dice polo celeste elevato quello più vicino allo Zenit

L'arco rappresentante la latitudine è stato individuato sul circolo massimo che contiene Zenit, Nadir e i due poli celesti, che quindi è verticale e orario allo stesso tempo e si chiama **meridiano celeste dell'osservatore** (*observer's celestial meridian*).

Il *meridiano celeste dell'osservatore* presenta una metà passante per lo Zenit, che prende il nome di **meridiano superiore** (*upper meridian* or *celestial meridian through Zenith*), e una metà passante per il Nadir che prende il nome di **meridiano inferiore** (*lower meridian*); questi semicerchi incontrano l'equatore celeste in due punti chiamati rispettivamente *mezzo cielo superiore* M_s e *mezzo cielo inferiore* M_i (figura 1.7).

Scopriremo che i meridiani superiore e inferiore sono importantissimi per l'osservazione dei transiti degli astri

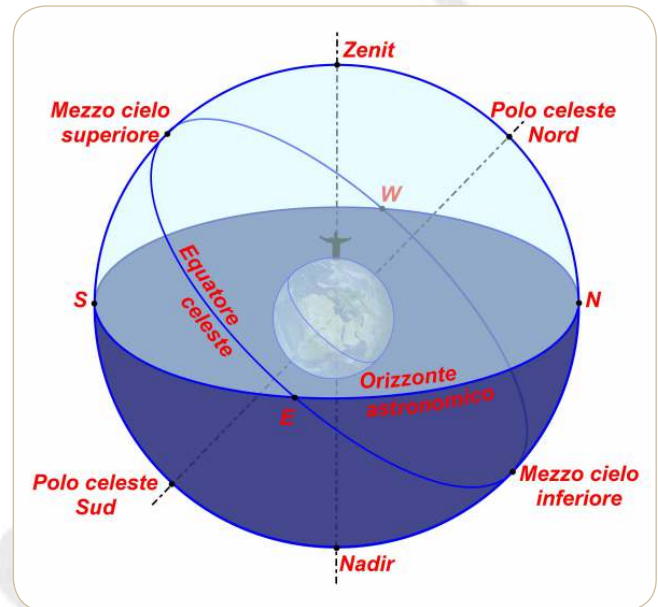


Figura 1.5

Sfera celeste completa, ottenuta dalla composizione della sfera celeste locale con la sfera celeste geocentrica

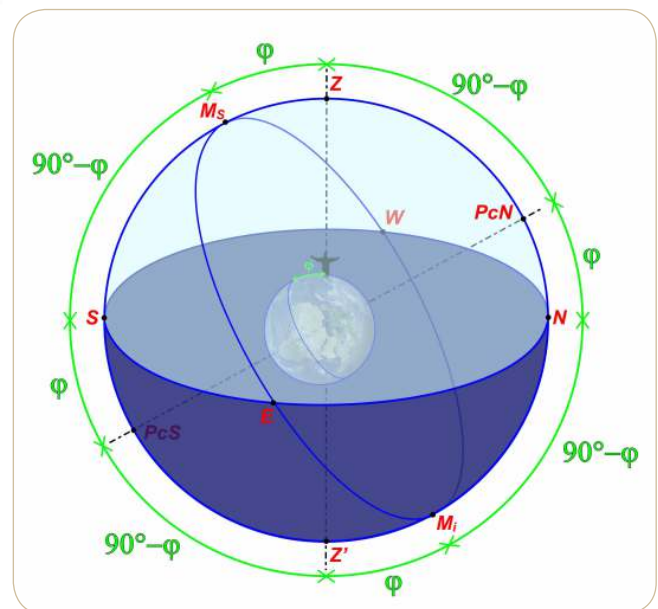


Figura 1.6

Componendo i due sistemi, locale e geocentrico, è possibile l'orientamento: l'inclinazione dell'asse del mondo sull'orizzonte astronomico rappresenta la latitudine e permette di individuare il cardine Nord

Il primo orario e il primo verticale si dividono in due semicerchi, detti orientale e occidentale a seconda che contengano il cardine Est o il cardine Ovest



Inoltre nella sezione on line troverete:

- **Video:** disegnare una sfera celeste

L'orario e il verticale passanti per i punti cardinali Est e Ovest prendono il nome di *primo orario* e *primo verticale*.

In **figura 1.8** è rappresentata una sfera celeste come la si disegna normalmente a mano.

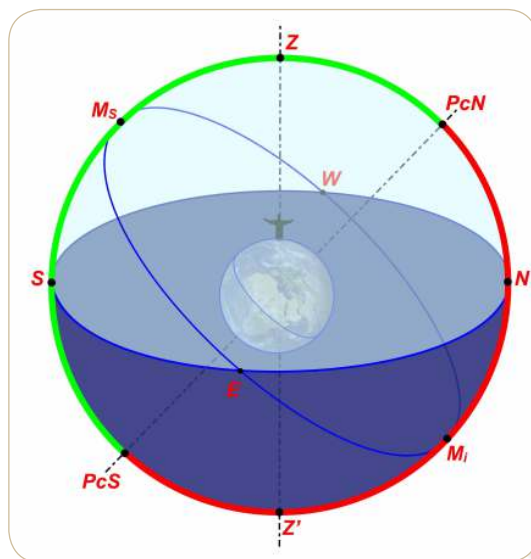


Figura 1.7

Sfera celeste con il meridiano celeste dell'osservatore in evidenza: in verde il meridiano superiore, in rosso il meridiano inferiore

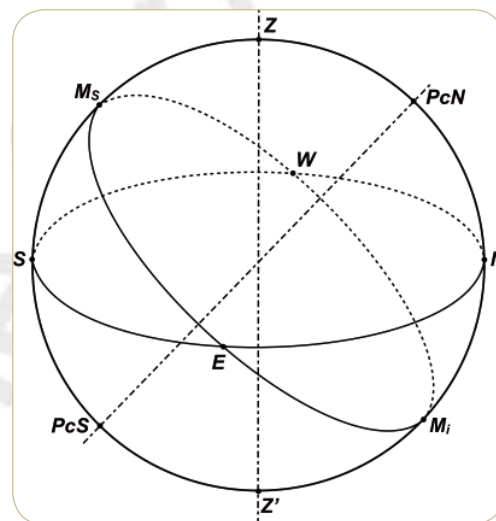


Figura 1.8

Sfera celeste come normalmente disegnata a mano

1.2 SISTEMI DI COORDINATE CELESTI

Sulla sfera celeste geocentrica e sulla sfera celeste locale si possono definire sistemi di coordinate celesti, costituiti da quattro parametri analoghi fra loro: tali sistemi prendono il nome di *sistema locale orario*, che utilizza come riferimenti equatore celeste e orari, e *sistema locale altazimutale*, che utilizza come riferimenti orizzonte astronomico e verticali (**figura 1.9**).

I nomi delle coordinate con la relativa definizione sono riassunti in tabella 1.1.

Come in navigazione, anche in astronomia si preferisce, utilizzando sfere di raggio arbitrario, definire le coordinate in termini di arco anziché di angolo

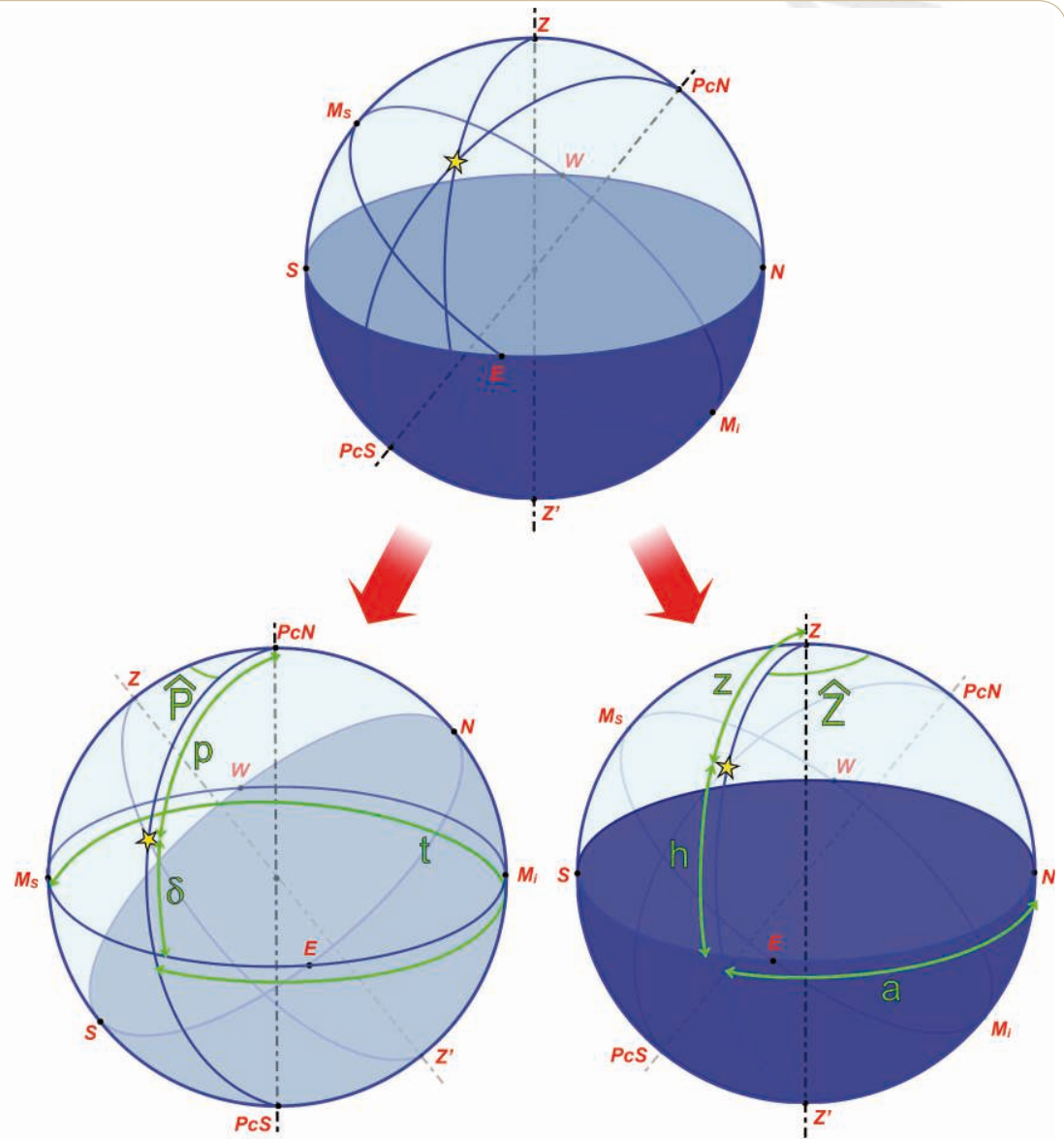
Per indicare i sensi di rotazione, in astronomia si preferisce spesso utilizzare i termini «diretto» e «retrogrado», che si riconducono al senso di rotazione terrestre, anziché i corrispettivi «antiorario» e «orario»

L'angolo azimutale $\hat{Z}$ si esprime frequentemente anche in forma semicircolare, quindi con valore da 0° a 180° corredato da suffisso E o W

Tabella 1.1

Coordinate locali orarie e altazimutali

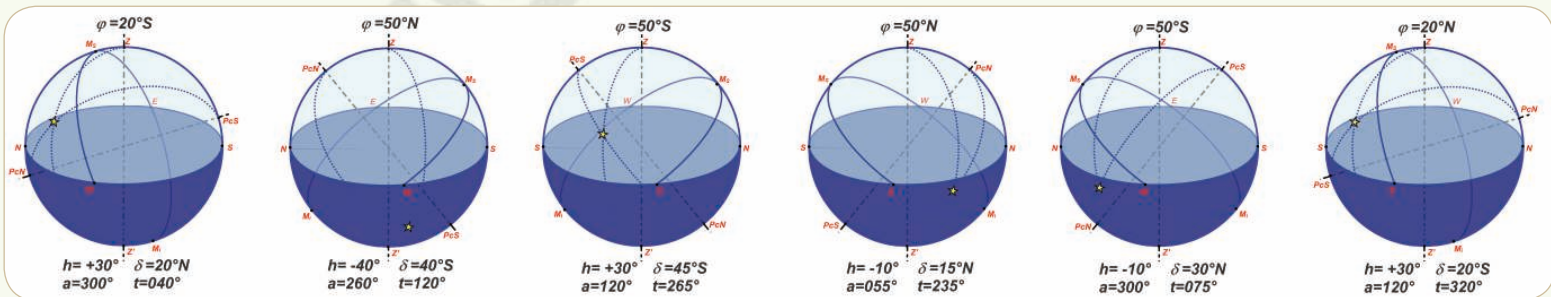
Sistema locale orario	Sistema locale altazimutale
Declinazione (declination) δ: arco di orario compreso fra l'equatore celeste e l'astro considerato; ha valore da 0° a 90° con segno N o S	Altezza (altitude) h: arco di verticale compreso fra l'orizzonte astronomico e l'astro considerato; ha valore da 0° a 90° con segno + (verso lo Zenit) o - (verso il Nadir)
Distanza polare (polar distance) p: arco di orario compreso fra il polo celeste Nord e l'astro considerato; ha valore da 0° a 180°	Distanza zenitale (Zenith distance) z: arco di verticale compreso fra lo Zenit e l'astro considerato; ha valore da 0° a 180°
Tempo o angolo orario (hour angle) t: arco di equatore celeste compreso fra il mezzo cielo superiore e il piede dell'orario dell'astro, contato in senso retrogrado, cioè verso W (senso orario visto dal P_{CN}); ha valore da 0° a 360°	Azimut (azimuth) a: arco di orizzonte astronomico compreso fra il cardine Nord e il piede del verticale dell'astro, contato in senso orario, da 0° a 360°
Angolo al polo (polar angle) $\hat{P}$: angolo diedro compreso fra il meridiano superiore e l'orario passante per l'astro; ha valore da 0° a 180° con segno E o W	Angolo azimutale (azimuth angle) $\hat{Z}$: angolo diedro compreso fra il meridiano superiore ed il verticale passante per l'astro; ha valore usualmente considerato in forma quadrantale, quindi con valore da 0° a 90° corredato da prefisso N o S e suffisso E o W

**Figura 1.9**

Individuazione delle coordinate astronomiche locali orarie (a sinistra) e altazimutali (a destra) rappresentate sui rispettivi sistemi messi alternativamente in evidenza; $\hat{Z}$ è espresso in forma semicircolare per chiarezza

Esempio

- ✓ in **figura 1.10** sono rappresentate sei sfere celesti per diversi osservatori con l'indicazione approssimata delle principali coordinate locali di vari astri sia *elevati*, cioè collocati al di sopra dell'orizzonte astronomico, quindi visibili all'osservatore, sia *depressi*, cioè posti nell'emisfero invisibile.

**Figura 1.10**

Vari esempi di sfere celesti

Il sistema altazimutale è quello intuitivamente più comprensibile perché riferito alle percezioni naturali di una persona che osserva il cielo stellato: come si vede in **figura 1.11** l'*azimut* acquista il significato di «rilevamento» della stella rispetto al Nord, mentre l'*altezza* rappresenterà la sua «elevazione» rispetto all'orizzonte.

Le conversioni fra rotte sono state affrontate nel primo volume (paragrafo 3.2)

È ricorrente in astronomia nautica dover effettuare conversioni fra *angolo azimutale* e *azimut*, possibili utilizzando relazioni del tutto analoghe alle conversioni tra i valori di rotta espressa nelle diverse forme (**figura 1.12**).

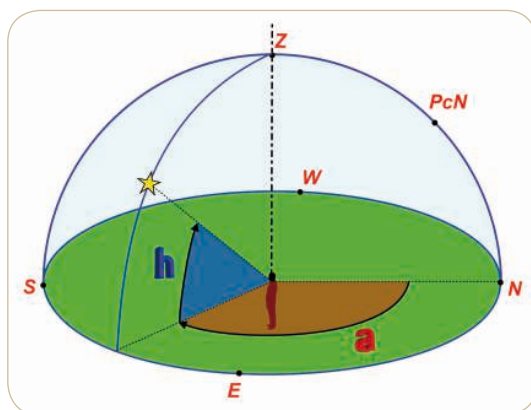


Figura 1.11

Azimut e altezza di una stella come percepiti dall'osservatore

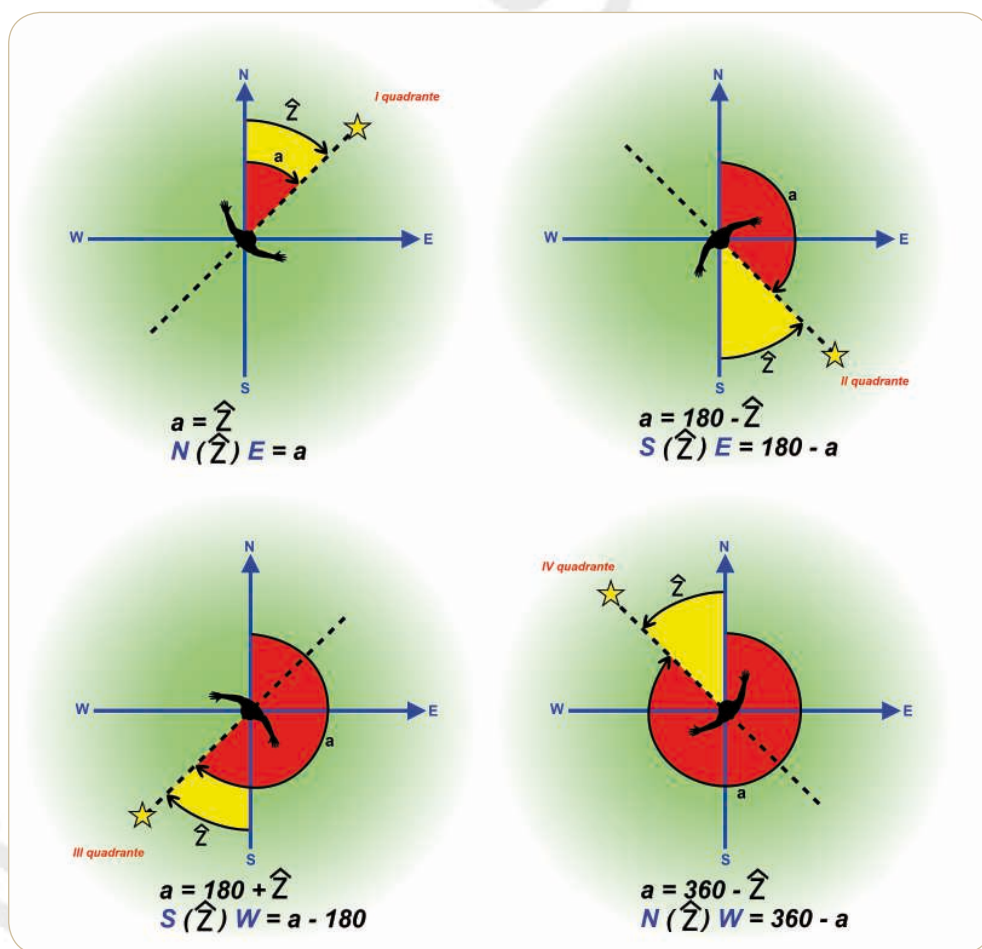


Figura 1.12

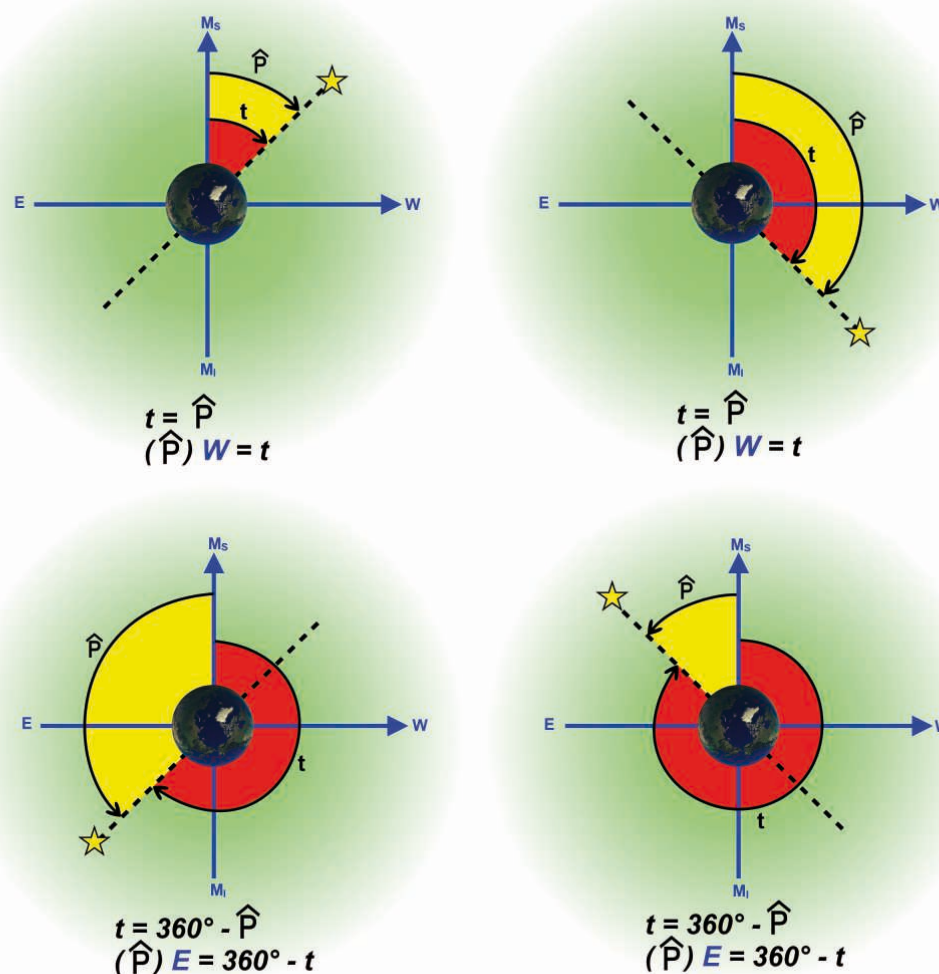
Rappresentazione dei valori di azimut (in rosso) e corrispondenti valori dell'angolo azimutale quadrantale (in giallo) per ciascun quadrante dell'orizzonte

Altrettanto frequentemente capiterà di dover convertire un valore di *tempo* in *angolo al polo* o viceversa; in tal caso valgono le relazioni, immediate, riassunte in tabella 1.2 e raffigurate graficamente in **figura 1.13**.

Tabella 1.2

Conversioni *tempo-angolo al polo* e viceversa

Conversione da tempo ad angolo al polo
se $t < 180^\circ \Rightarrow \hat{P}_W = t$
se $t > 180^\circ \Rightarrow \hat{P}_E = 360^\circ - t$
Conversione da angolo al polo a tempo
se $\hat{P}_W \Rightarrow t = \hat{P}_W$
se $\hat{P}_E \Rightarrow t = 360^\circ - \hat{P}_E$

**Figura 1.13**

Rappresentazione dei valori di tempo (in rosso) e corrispondenti valori dell'angolo al polo (in giallo)

Esempi

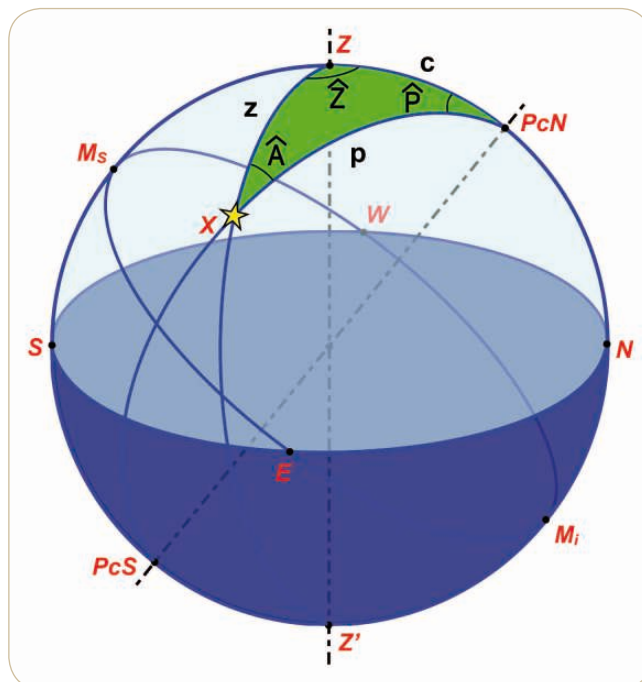
- ✓ un valore di azimut $a = 036^\circ$ corrisponderà ad un angolo azimutale $\hat{Z} = N36^\circ E$.
- ✓ un valore di azimut $a = 205^\circ$ corrisponderà ad un angolo azimutale $\hat{Z} = S25^\circ W$.
- ✓ un valore di angolo azimutale $\hat{Z} = N15^\circ W$ corrisponderà ad un azimut $a = 345^\circ$.
- ✓ un valore di angolo azimutale $\hat{Z} = S69^\circ E$ corrisponderà ad un azimut $a = 111^\circ$.
- ✓ un valore di tempo $t = 136^\circ$ corrisponderà ad un angolo al polo $\hat{P} = 136^\circ W$.
- ✓ un valore di tempo $t = 320^\circ$ corrisponderà ad un angolo al polo $\hat{P} = 040^\circ E$.
- ✓ un valore di angolo al polo $\hat{P} = 006^\circ W$ corrisponderà ad un tempo $t = 006^\circ$.
- ✓ un valore di angolo al polo $\hat{P} = 110^\circ E$ corrisponderà ad un tempo $t = 250^\circ$.

Esistono altri sistemi di coordinate celesti non legati alla posizione dell'osservatore, che perdono quindi l'appellativo di «locali» e assumono invece quello di «uranografici»: in particolare si ha il *sistema uranografico equatoriale*, il *sistema uranografico eclittico* e il *sistema uranografico galattico*. I primi due sono di uso frequente in astronomia nautica, ma sono legati all'eclittica, quindi verranno descritti nel paragrafo 1.6.

Il triangolo di posizione è per definizione formato da Zenit, astro e polo elevato, ma per semplicità consideriamo sempre il polo celeste Nord adottando un'opportuna convenzione sull'utilizzo dei segni

1.3 TRIANGOLO ASTRONOMICICO DI POSIZIONE E SUA RISOLUZIONE

Uno dei problemi di base dell'astronomia nautica consiste nella trasformazione delle coordinate locali orarie, in particolare *declinazione* e *angolo al polo*, nelle corrispondenti locali altazimutali, in particolare *altezza* e *azimut*.



Per eseguire tali conversioni è necessario stabilire una correlazione fra esse, rappresentata dal cosiddetto **triangolo di posizione (PZX triangle)**, un triangolo sferico individuato sulla sfera celeste da Zenit, polo celeste Nord e astro considerato (figura 1.14).

I suoi elementi sono descritti in tabella 1.3.

Figura 1.14

Triangolo di posizione evidenziato in verde: si tratta di un triangolo sferico

Triangolo di posizione

Lati	$p = 90^\circ - \delta$ (distanza polare corrispondente al complemento della <i>declinazione</i>) $z = 90^\circ - h$ (distanza zenitale corrispondente al complemento dell' <i>altezza</i>) $c = 90^\circ - \varphi$ (colatitudine corrispondente al complemento della <i>latitudine</i>)
Angoli	$\hat{P}$ (angolo al polo) $\hat{Z}$ (angolo azimutale in forma semicircolare) A (angolo parallattico)

Tabella 1.3

Elementi del triangolo di posizione

Per l'altezza è bene considerare il segno sebbene essa sia quasi sempre positiva, trattando normalmente astri contenuti nell'emisfero visibile

Considerando sempre la distanza polare e la distanza zenitale dell'astro, può accadere che, per astri depressi o collocati nell'emisfero Sud, i lati siano maggiori di 90° ; in tal caso essi non coinciderebbero con il complemento delle coordinate ad essi corrispondenti, cioè ad esempio $90^\circ - \delta$ e $90^\circ - h$, bensì $90^\circ + \delta$ e $90^\circ + h$; questo può creare qualche problema nell'utilizzo pratico delle formule trigonometriche, facilmente superabile utilizzando la stessa convenzione sui segni adottata per l'ortodromia nel primo volume, al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

Convenzione sui segni per le formule di astronomia nautica:

Il segno si considera solo per le funzioni **seno** e **tangente**, unicamente per **latitudine**, **declinazione** e **altezza**

Si riporta anche la tabella riassuntiva dei principali teoremi che consentono di risolvere i triangoli sferici (tabella 1.4).

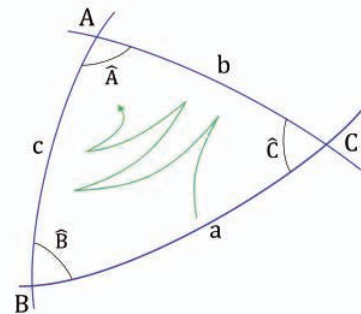
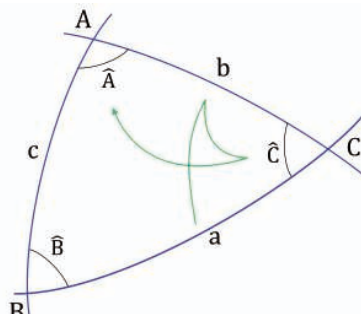
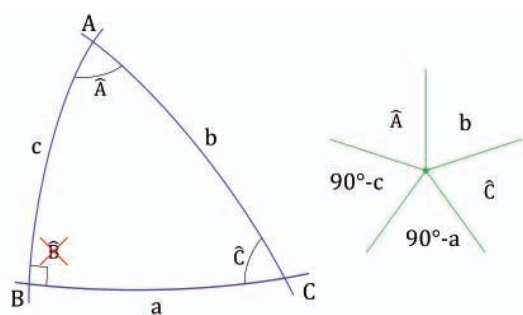
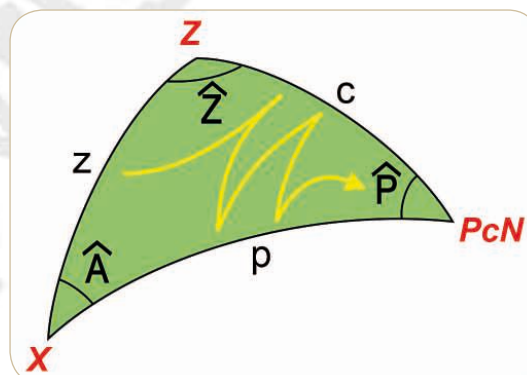
Teorema di Eulero (formula del coseno)	 $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \hat{A}$
Teorema delle cotangenti	 $\cot a \sin b = \cos b \cos \hat{C} + \sin \hat{C} \cot \hat{A}$
Regola mnemonica di Nepero per i triangoli sferici rettangoli	In un triangolo sferico rettangolo, se si prescinde dall'angolo retto e se ai cateti si sostituiscono i loro complementi, il coseno di uno qualunque dei cinque elementi restanti è uguale al prodotto delle cotangenti dei due elementi adiacenti o al prodotto dei seni dei due elementi opposti  NB: costruire una semplice «stella» che riassume gli elementi in nostro possesso aiuta ad applicare la regola

Tabella 1.4

Principali teoremi della trigonometria sferica



Per ricavare l'altezza a partire da δ , φ e $\hat{P}$ si può applicare il Teorema di Eulero al lato z (figura 1.15).

Figura 1.15

Applicazione del teorema di Eulero per la determinazione dell'altezza a partire dalla latitudine e dalle coordinate locali orarie

$$\cos Z = \cos c \cdot \cos p + \sin c \cdot \sin p \cdot \cos \hat{P}$$

1.1

Per le regole note si ha:

$$\cos(90 - h) = \cos(90 - \varphi) \cdot \cos(90 - \delta) + \sin(90 - \varphi) \cdot \sin(90 - \delta) \cdot \cos \hat{P}$$

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \hat{P}$$

1.2

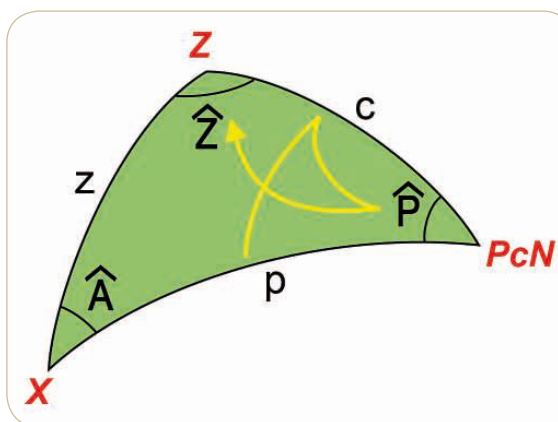


Figura 1.16

Applicazione del teorema delle cotangenti per la determinazione dell'angolo azimutale a partire dalla latitudine e dalle coordinate locali orarie

Se si è rispettata la convenzione adottata per l'uso dei segni (da usare quindi solo per il primo termine del secondo membro, cioè per $\sin \varphi$ e $\sin \delta$), procedendo con il $\sin^{-1}$ del risultato della 1.2 si ottiene l'altezza cercata.

Per ricavare l'azimut a partire da δ , φ e P si può applicare il Teorema delle cotangenti ai lati p e c , trovando quindi in realtà Z , da trasformare poi in azimut con le semplici relazioni di conversione di cui si è parlato nel paragrafo precedente (figura 1.16).

$$\cot p \cdot \sin c = \cos c \cdot \cos \hat{P} + \sin \hat{P} \cdot \cot \hat{Z}$$

1.3

L'equazione può essere modificata con le regole note e ridistribuita in modo da mettere in evidenza l'elemento incognito $\hat{Z}$:

$$\cot(90 - \delta) \cdot \sin(90 - \varphi) = \cos(90 - \varphi) \cdot \cos \hat{P} + \sin \hat{P} \cdot \cot \hat{Z}$$

$$\tan \delta \cdot \cos \varphi = \sin \varphi \cdot \cos \hat{P} + \sin \hat{P} \cdot \cot \hat{Z}$$

$$\sin \hat{P} \cdot \cot \hat{Z} = \tan \delta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \hat{P}$$

$$\cot \hat{Z} = \frac{\tan \delta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \hat{P}}{\sin \hat{P}}$$

Infine, essendo la cotangente una funzione poco utilizzabile direttamente:

$$\tan \hat{Z} = \frac{\sin \hat{P}}{\tan \delta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \hat{P}}$$

1.4

Se si è rispettata la convenzione adottata per l'uso dei segni (da usare quindi solo per $\tan \delta$ e $\sin \varphi$ al denominatore), quello che si ottiene applicando $\tan^{-1}$ è il valore quadrante dell'angolo azimutale, per il quale il prefisso è dato dal segno del risultato dell'operazione (N per tangente positiva, S per tangente negativa) ed il suffisso è uguale al segno dell'angolo al polo.



**Inoltre nella sezione
on line troverete:**

- Formulario di astronomia

Con il Teorema di Eulero (partendo dal lato p) si può ricavare un'espressione alternativa dell'angolo azimutale, con risultato semicircolare in cui il segno del suffisso è ancora una volta dato dal segno dell'angolo al polo.

$$\cos \hat{Z} = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin h}{\cos \varphi \cdot \cos h} \quad 1.5$$

Esempi

- ✓ posto un osservatore avente latitudine $30^{\circ}14,6'N$, si cercano altezza e azimut di un astro avente $\delta = 49^{\circ}14,0'N$ e $t = 065^{\circ}34,6'$ e di un astro avente $\delta = 07^{\circ}37,6'S$ e $t = 345^{\circ}18,9'$.

Innanzitutto la conversione dei tempi dei due astri in angolo al polo conduce a $\hat{P} = 65^{\circ}34,6'W$ e $\hat{P} = 14^{\circ}41,1'E$; applicando la 1.2 si ottiene $0,6147...$ per il primo astro e $0,7614...$ per il secondo, che conducono rispettivamente a $h = 37^{\circ}55,9'$ e $h = 49^{\circ}35,5'$. L'applicazione della 1.4 fornisce invece $1,1471...$ per il primo astro e $(-) 0,42048...$ per il secondo, che conducono rispettivamente a $\hat{Z} = N48,9^{\circ}W$ e $\hat{Z} = S22,8^{\circ}E$, corrispondenti a $a = 311,1^{\circ}$ e $a = 157,2^{\circ}$.

NB: per il secondo astro, avente declinazione Sud, si sarà scritto $\sin -07^{\circ}37,6'$ nella 1.2 e $\tan -07^{\circ}37,6'$ nella 1.4.

- ✓ posto un osservatore avente latitudine $10^{\circ}45,2'S$, si cercano altezza e azimut di un astro avente $\delta = 16^{\circ}22,8'N$ e $t = 347^{\circ}54,0'$ e di un astro avente $\delta = 57^{\circ}12,9'S$ e $t = 004^{\circ}35,8'$.

Innanzitutto la conversione dei tempi dei due astri in angolo al polo conduce a $\hat{P} = 12^{\circ}06,0'E$ e $\hat{P} = 4^{\circ}35,8'W$; applicando la 1.2 si ottiene $0,8690...$ per il primo astro e $0,6871...$ per il secondo, che conducono rispettivamente a $h = 60^{\circ}20,6'$ e $h = 43^{\circ}24,2'$. L'applicazione della 1.4 fornisce invece $0,4448...$ per il primo astro e $(-) 0,0598...$ per il secondo, che conducono rispettivamente a $\hat{Z} = N24,0^{\circ}E$ e $\hat{Z} = S03,4^{\circ}W$, corrispondenti a $a = 024,0^{\circ}$ e $a = 183,4^{\circ}$.

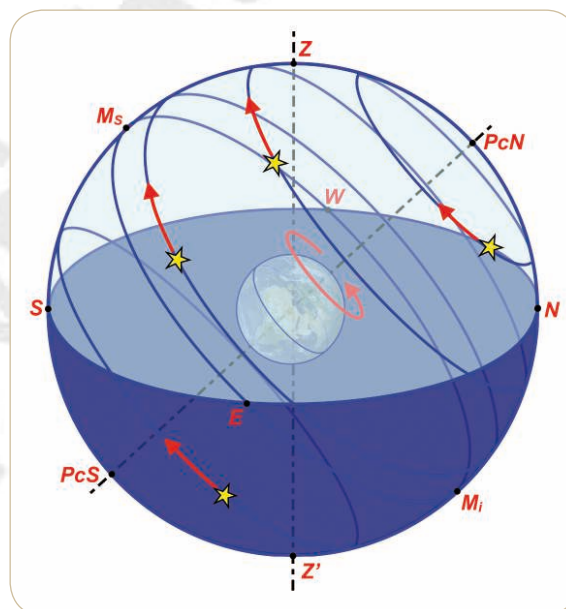
NB: essendo la latitudine Sud si sarà scritto $\sin -10^{\circ}45,2'$ sia nella 1.2 sia nella 1.4, inoltre per il secondo astro, avente declinazione Sud, si sarà scritto $\sin -57^{\circ}12,9'$ nella 1.2 e $\tan -57^{\circ}12,9'$ nella 1.4.

Qualunque osservatore sulla Terra si percepisce fermo rispetto agli astri, che appaiono in moto; in realtà è l'osservatore, collocato sulla Terra, a muoversi con essa

Per gli astri dotati di moto proprio (Sole, Luna, Pianeti) la traiettoria non è esattamente un parallelo di declinazione, perché si avrà una traiettoria aperta

1.4 MOTO DIURNO APPARENTE DELLA SFERA CELESTE

La sfera celeste non è un sistema statico: gli astri collocati su di essa sono dotati di moto proprio, apprezzabile tuttavia solo per quelli molto vicini, come Sole, Luna e Pianeti, infatti le stelle diverse dal Sole sono così lontane che risultano distribuite sempre allo stesso modo, motivo per cui acquistano l'appellativo di *stelle fisse*.



Anche le stelle fisse appaiono tuttavia in movimento per un osservatore terrestre: si tratta del *moto diurno apparente* di rotazione, che avviene in senso retrogrado (orario), dovuto in realtà alla rotazione terrestre, cioè il moto della «piattaforma» su cui è collocato l'osservatore, che com'è noto avviene in senso diretto (antiorario) (figura 1.17).

In pratica ogni astro è soggetto a un moto apparente lungo un certo parallelo di declinazione, tanto più piccolo quanto più è grande la sua δ , che viene percorso per intero nell'arco di una giornata, con direzione da E verso W.

Figura 1.17

Rappresentazione del moto diurno apparente retrogrado (orario) di diversi astri sulla sfera celeste: in realtà è la Terra a ruotare in senso diretto (antiorario)

Il parallelo di declinazione che rappresenta il moto dell'astro può intersecare l'orizzonte astronomico, individuando i punti in cui l'astro passa dall'emisfero visibile a quello invisibile e viceversa: nel primo caso si parla di **tramontanza (setting)**, nel secondo di **sorgenza (rising)**. Può anche capitare che il parallelo di declinazione sia interamente contenuto nell'emisfero visibile o in quello invisibile: si parla di astro **circumpolare (circumpolar)** e in questi casi l'osservatore potrà scorgere l'astro in qualsiasi istante della giornata, o non scorgerlo mai.

Le diverse condizioni di visibilità degli astri dipendono, come è facile intuire, dalla posizione del parallelo di declinazione, quindi dalla declinazione δ dell'astro, e dall'inclinazione dell'asse del mondo sull'orizzonte, quindi dalla latitudine dell'osservatore φ .

In **figura 1.18** sono presentate diverse combinazioni di φ e δ con diverse conseguenze; è facile dimostrare che l'elemento da valutare è la somma in modulo del valore di queste due coordinate, che va confrontata con il valore discriminante, pari a 90° . In pratica se la somma è minore di 90° si ha un *astro sorgente e tramontante*, mentre se è maggiore di 90° si ha un *astro circumpolare*; nella tabella 1.5 sono presentati tutti i casi possibili.

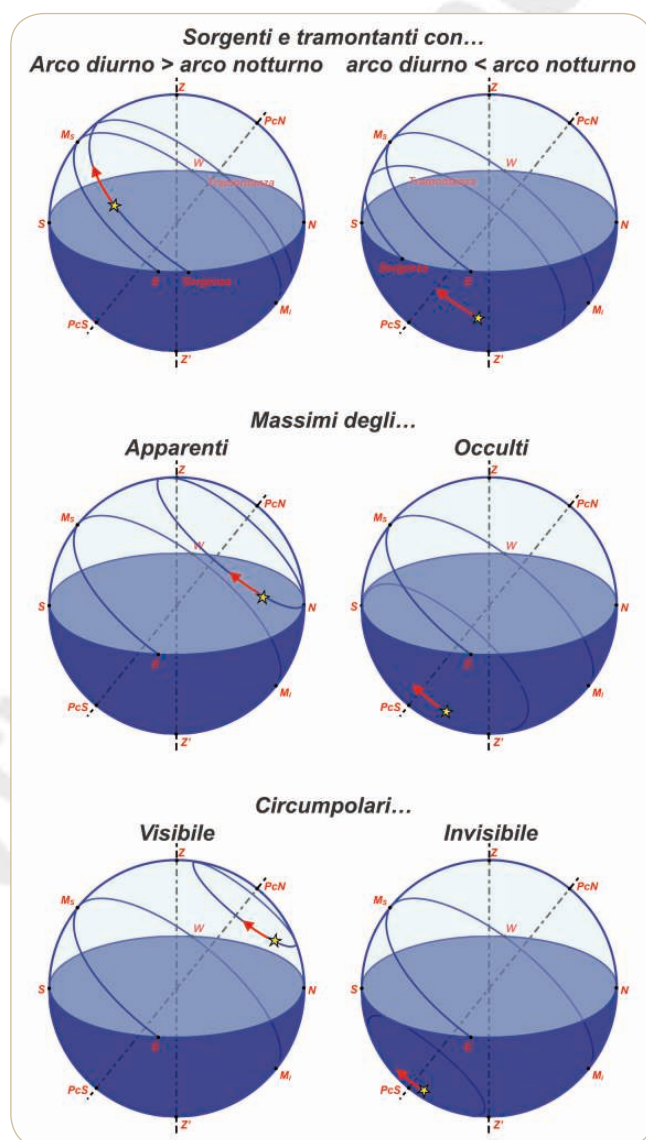


Figura 1.18

Le caratteristiche del moto diurno permettono di classificare gli astri essenzialmente in sorgenti/tramontanti (distanza polare dell'astro maggiore della latitudine) e circumpolari (distanza polare dell'astro minore della latitudine): in questo secondo caso l'astro sarà in vista durante tutto il giorno (latitudine e declinazione omonime) o rimarrà sempre celato (latitudine e declinazione eteronime).

Per somma in modulo si intende la somma dei valori assoluti, trascurando cioè eventuali segni negativi

L'arco visibile, cioè quello compreso nell'emisfero visibile, è detto anche arco diurno; tale denominazione deriva dal moto del Sole, per il quale la sua lunghezza rappresenta la durata del giorno rispetto alla notte

Tabella 1.5

Condizioni di visibilità degli astri in funzione del valore di latitudine dell'osservatore e declinazione

$ \varphi + \delta < 90^\circ$	φ e δ omonime	Astro sorgente e tramontante con arco visibile più lungo di quello invisibile
	φ e δ eteronime	Astro sorgente e tramontante con arco visibile più corto di quello invisibile
$ \varphi + \delta = 90^\circ$	φ e δ omonime	Massimo degli apparenti
	φ e δ eteronime	Massimo degli occulti
$ \varphi + \delta > 90^\circ$	φ e δ omonime	Astro circumpolare visibile
	φ e δ eteronime	Astro circumpolare invisibile

L'ampiezza dell'arco diurno di un astro, cioè quello in cui esso risulta visibile, si può calcolare moltiplicando per due l'angolo al polo negli istanti del sorgere e tramonto, il quale è ricavabile con Nepero, essendo un lato del triangolo di posizione (la distanza zenitale) retto (figura 1.19):

$$\cos \hat{P} = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$$

1.6

Nel moto diurno può essere interessante valutare anche la velocità in altezza e in azimut, che sono molto variabili a seconda della posizione dell'astro; si può fare con formule relativamente semplici, per le quali si rimanda però a testi specifici.

Esistono posizioni particolari sulla Terra in cui non si possono presentare tutte le combinazioni viste, bensì un unico caso valido per tutti gli astri: si tratta dell'equatore e dei poli (figura 1.20).

Un osservatore posto sull'equatore vedrà tutti gli astri sorgenti e tramontanti, ciascuno con arco visibile uguale all'arco invisibile, infatti i paralleli di declinazione incontrano l'orizzonte perpendicolarmente e risultano da esso tagliati a metà: si parla di *sfera retta*.

Un osservatore posto in uno dei due poli terrestri vedrà tutti gli astri circumpolari, infatti i paralleli di declinazione risultano paralleli all'orizzonte (coincidente con l'equatore celeste): si parla di *sfera parallela*.

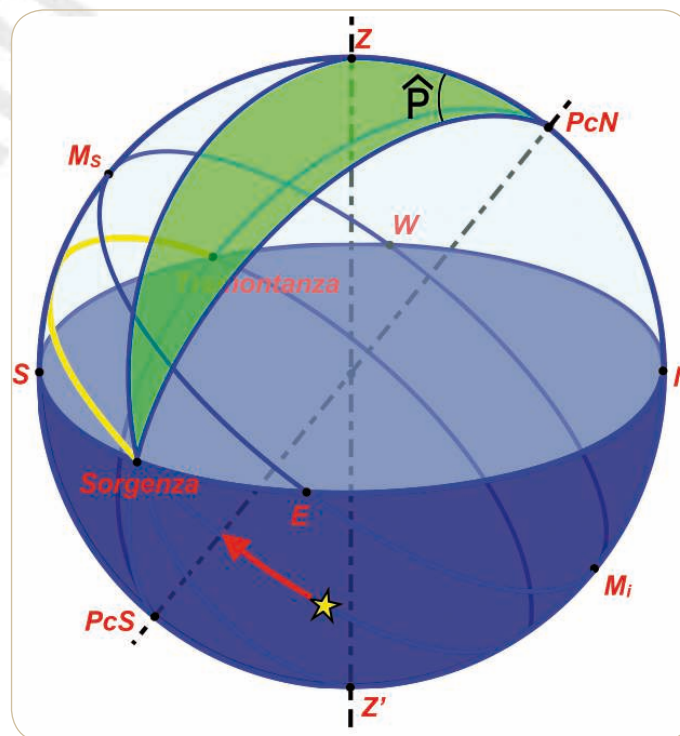
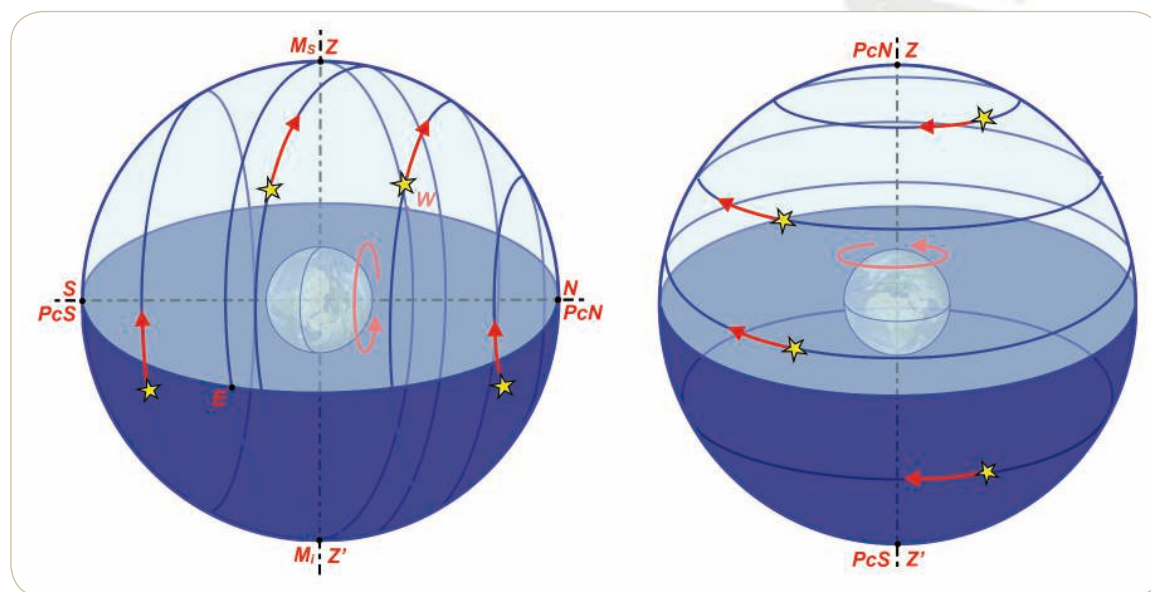


Figura 1.19

Evidenza dell'arco diurno (in giallo) di un astro, con indicazione (in verde) dell'angolo al polo che ne permette il calcolo

**Figura 1.20**

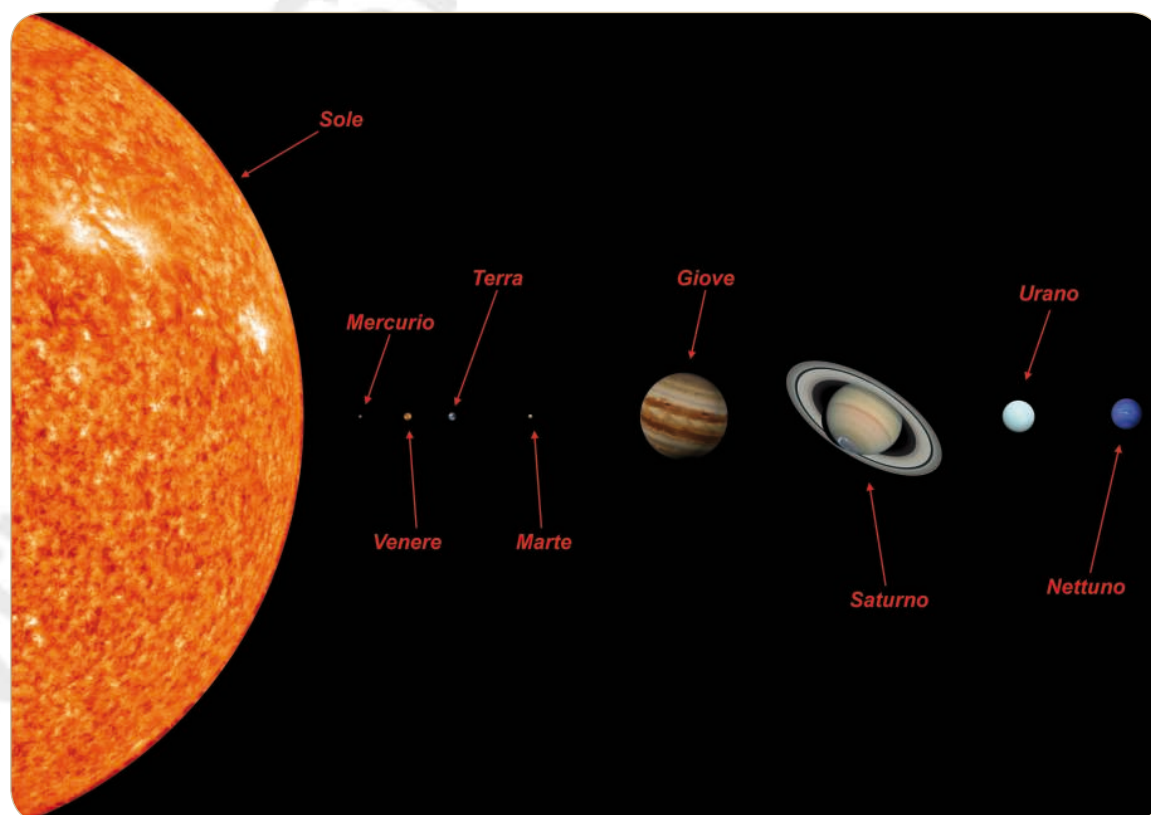
Sfera celeste retta (a sinistra) e sfera celeste parallela (a destra): nel secondo caso non risultano definiti i segni cardinali per cui non è possibile l'orientamento

Fu l'astronomo greco Aristarco di Samo, vissuto circa 300 anni prima di Cristo, che propose per primo il modello eliocentrico del sistema solare, ben prima quindi di Copernico e Galileo Galilei

1.5 LA MECCANICA CELESTE E IL SISTEMA SOLARE

Il sistema Solare si compone del **Sole (Sun)**, stella di dimensioni medio piccole intorno alla quale orbitano otto **pianeti (planet)** che, elencati in ordine crescente di distanza dal Sole, sono: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno (figura 1.21).

Nel sistema solare hanno satelliti tutti i pianeti tranne Mercurio e Venere, cioè solo quelli collocati dalla parte opposta rispetto al Sole, detti «pianeti esterni»: Marte ne ha 2 mentre Giove ne ha addirittura 67

**Figura 1.21**

Rappresentazione in scala del sistema solare: sono rispettate le proporzioni fra le dimensioni dei vari pianeti tra loro e rispetto al Sole, ma non le distanze

Plutone venne classificato come pianeta nano durante l'assemblea generale dell'Unione Astronomica Internazionale tenutasi il 24 agosto 2006 a Praga, che lo declassò così rispetto allo status di pianeta che gli era stato assegnato alla sua scoperta, avvenuta nel 1930

Completano il sistema alcuni **satelliti (satellite/moon)** appartenenti ai vari pianeti, **asteroidi (asteroid)**, che risultano concentrati tra Marte e Giove, **comete (comet)** e **pianeti nani (dwarf planet)** come Cerere e Plutone.

Il moto dei pianeti nel sistema solare risponde alle leggi classiche della meccanica celeste, basate sui risultati degli studi del tedesco *Johannes von Kepler*, italianizzato in *Giovanni Keplero*, che elaborò le sue famose leggi tra il 1609 e il 1618.

Giovanni Keplero (1571-1630), molto appassionato di musica, lavorò anche sul concetto di «ordine armonico dell'Universo» cercando di trovare una correlazione tra i moti astronomici e gli intervalli musicali

I legge di Keplero

I pianeti percorrono un moto di rivoluzione intorno al Sole percorrendo un'orbita ellittica, della quale il Sole occupa uno dei due fuochi.

La conseguenza di questa legge è che ogni pianeta si troverà, nel percorrere la propria orbita, a distanze variabili dal Sole, che vanno da un minimo detto **perielio (perihelion)** a un massimo detto **afelio (aphelion)**; le orbite sono caratterizzate da parametri legati alla dimensione del semiasse maggiore e del semiasse minore (figura 1.23).

II legge di Keplero

Le aree descritte dal raggio vettore sono proporzionali ai tempi impiegati per descriverle.

La conseguenza di questa legge, che esprime in pratica il concetto «aree uguali in tempi uguali» è che un pianeta in orbita intorno al Sole muta la sua velocità a seconda della posizione, passando da un minimo all'afelio fino a un massimo al perielio; questo ha un'importante conseguenza nell'analisi del problema dei tempi in astronomia (figura 1.24).

Considerando la Terra, perielio e afelio si possono anche chiamare perigeo e apogeo

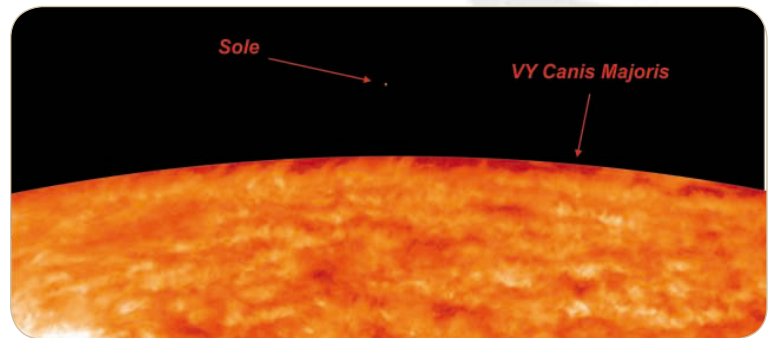


Figura 1.22

Il Sole ha dimensioni affatto eccezionali: in figura è presentato un raffronto in scala vera fra le dimensioni della nostra stella e le dimensioni della più grande stella osservata, facente parte della costellazione del Cane Maggiore

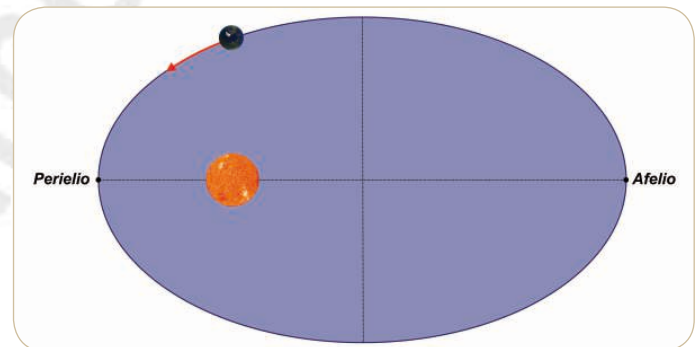


Figura 1.23

Prima legge di Keplero: i pianeti descrivono orbite ellittiche intorno al Sole

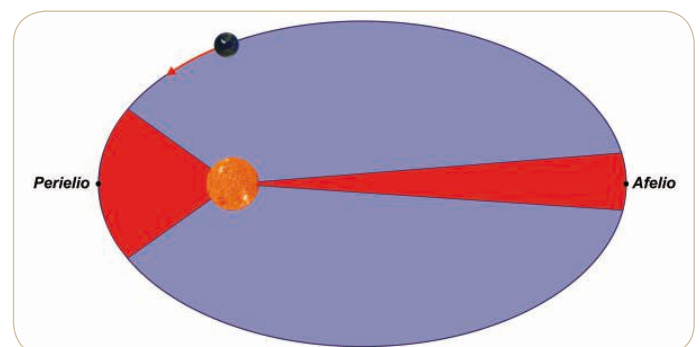


Figura 1.24

Seconda legge di Keplero: le due aree evidenziate in rosso, uguali fra loro, vengono sottese con tempi uguali, a cui devono necessariamente corrispondere velocità diverse (maggiori al perielio e minori all'afelio)

Su Mercurio un «anno», cioè il periodo di rivoluzione, dura 88 giorni terrestri, mentre su Nettuno quasi 165 anni terrestri, il rapporto è di 684, ma il rapporto fra le loro distanze medie dal Sole è solo di circa 78

La congiunzione di astri è anche detta *sino-*do, motivo per cui per indicare il moto che porta due astri a tornare in congiunzione fra loro si parla di «*rivoluzione sinodica*»

III legge di Keplero

I quadrati dei tempi di rivoluzione dei pianeti sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle ellissi da essi descritte

La conseguenza di questa legge è che i pianeti più vicini al Sole sono in media più veloci.

Durante il loro moto di rivoluzione i Pianeti occupano posizioni particolari (fasi) rispetto al Sole, come osservato dalla Terra (figura 1.25):

- ✓ **congiunzione (*conjunction*)**: il pianeta è collocato sulla congiungente Terra-Sole, nella stessa direzione del Sole
- ✓ **opposizione (*opposition*)**: il pianeta è collocato sulla congiungente Terra-Sole, nella direzione opposta rispetto al Sole
- ✓ **quadrature (*quadrature*)**: il pianeta è collocato sulla perpendicolare alla congiungente Terra-Sole (evidentemente si avranno due quadrature, che prendono il nome di *quadratura occidentale* e *quadratura orientale*)

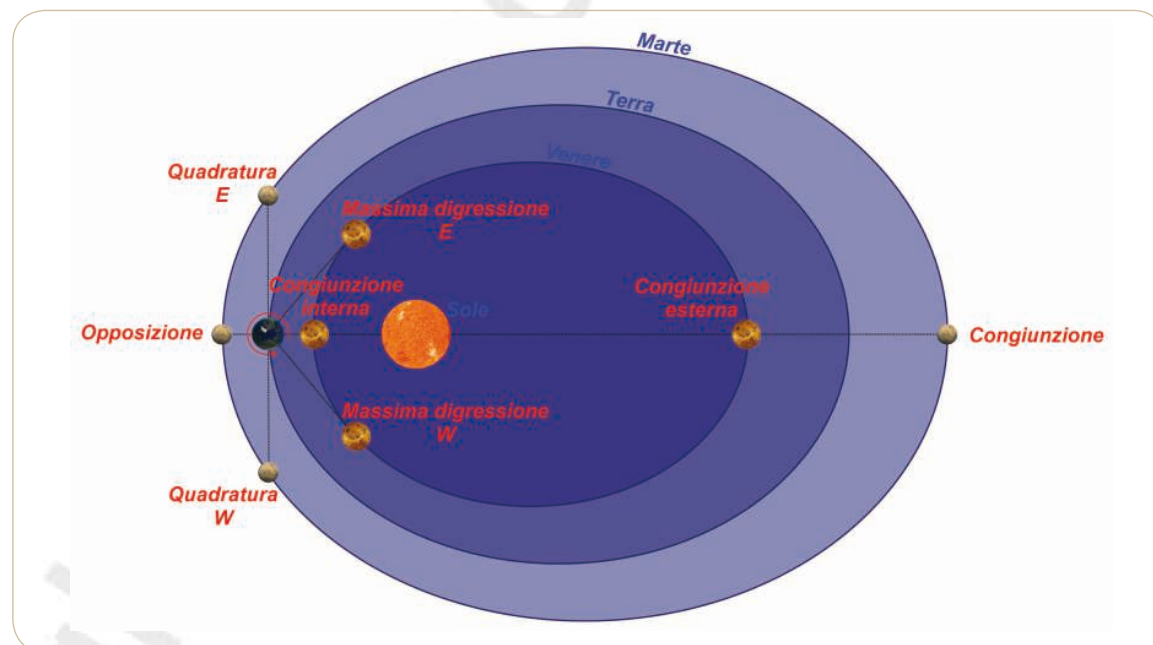


Figura 1.25

Esempi di posizioni particolari di due pianeti relativamente a Terra e Sole: Marte, esterno, si troverà in opposizione, congiunzione e in quadratura, mentre Venere, interno, potrà trovarsi solo in congiunzione

Nei punti di massima digressione è molto facile osservare Venere a Est a partire da circa tre ore prima del sorgere del Sole (massima digressione occidentale) o a Ovest, per circa tre ore dopo il tramonto (massima digressione orientale)

Il Sole rivoluziona intorno al centro della Via Lattea a circa 220 Km/s, tuttavia l'enorme dimensione della nostra galassia rende necessari circa 250 milioni di anni per completare il giro! Attualmente tutto il sistema solare risulta in rapido avvicinamento alla stella Vega, nella costellazione della Lira

È evidente che i pianeti interni non potranno mai trovarsi in opposizione e neanche nelle quadrature: per essi si ha *congiunzione interna* o inferiore, *congiunzione esterna* o superiore e punti di *massima digressione* (dove si ha anche la massima *elongazione*, cioè la differenza di longitudine celeste, che verrà definita nel paragrafo seguente). I pianeti come Venere e Mercurio si vedono infatti sempre molto vicini al Sole, o prima dell'alba (in caso di massima digressione W) o dopo il tramonto (in caso di massima digressione E).

1.6 MOTO DEL SOLE

Il Sole si muove rispetto al centro della nostra galassia, la *Via Lattea* (figura 1.26), che a sua volta si muove rispetto alle altre galassie, ma quando si parla di moto del Sole in astronomia nautica si intende il moto apparente che la nostra stella compie in un anno, dovuto in realtà al moto di rivoluzione del nostro pianeta.

Se si pensa che un angolo giro è pari a 360° e un anno dura 365 giorni è facile ricavare il valore approssimato della velocità del moto apparente annuale del sole di 1° al giorno

Figura 1.26

La Via Lattea, di cui fa parte anche il sistema solare, fotografata dal pianeta Terra



Oltre al già analizzato moto diurno, che caratterizza tutti gli astri in cielo e che è legato alla rotazione terrestre, il Sole percorre anche un giro completo della sfera celeste in un anno, con una velocità di circa 1° al giorno.

Il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole avviene con moto diretto e risulta concorde con il moto apparente del Sole intorno

alla Terra; il Sole sembra cioè muoversi in senso antiorario lungo un percorso caratterizzato da una certa inclinazione sull'equatore celeste, corrispondente in realtà all'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre rispetto al piano dell'orbita intorno al Sole: quella stessa inclinazione che causa l'alternarsi delle stagioni (figura 1.27).

L'orbita terrestre intorno al Sole ha semi-asse maggiore $a = 149.600.000$ Km, eccentricità $e = 0.017$, periodo di rivoluzione $T = 365,2564$ giorni solari medi

Figura 1.27

L'asse terrestre è inclinato rispetto al piano dell'orbita del nostro pianeta intorno al Sole, di conseguenza i raggi solari giungeranno perpendicolarmente in posizioni diverse durante l'anno, dando vita all'alternarsi delle stagioni

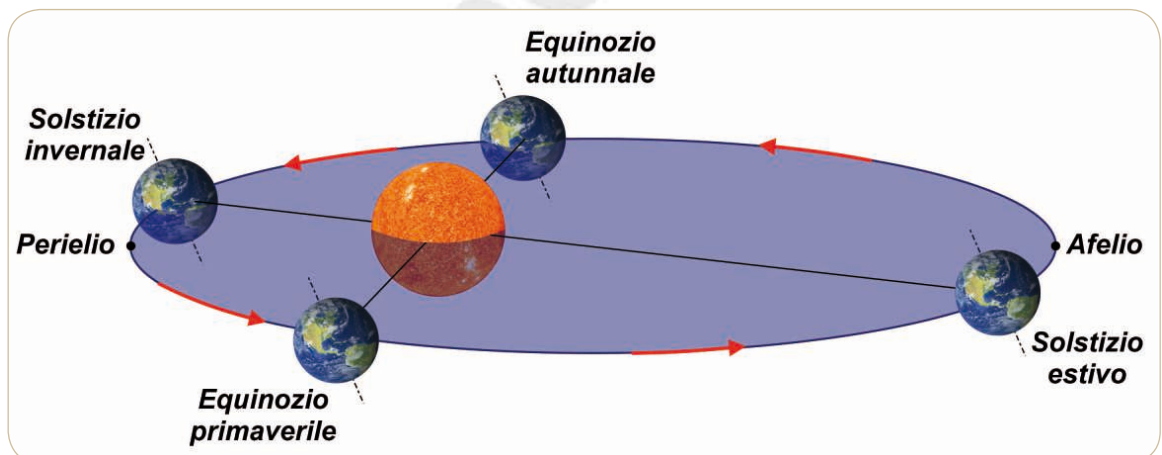
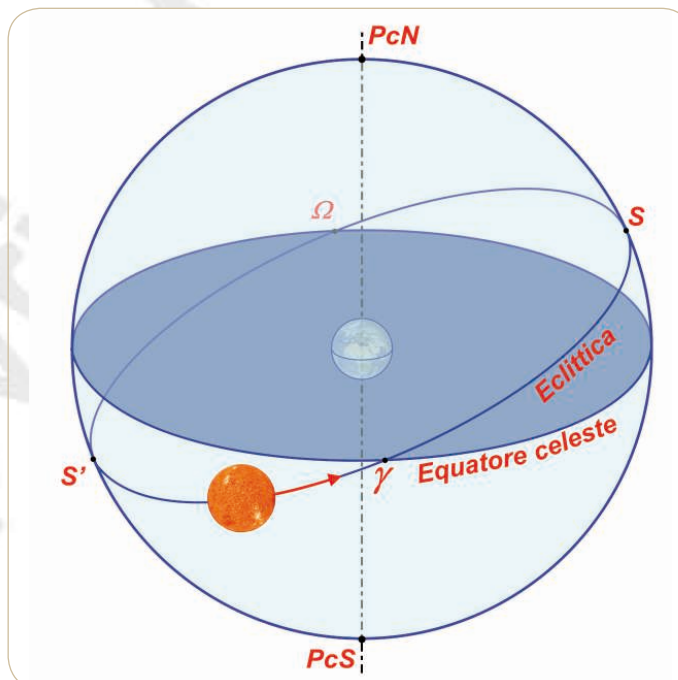


Figura 1.28

Immaginando il nostro pianeta «dritto», cioè considerando il moto relativo del Sole anziché quello reale della Terra, l'effettiva inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita si traduce in un moto apparente annuale del Sole lungo un circolo massimo inclinato rispetto all'equatore; si tratta dell'eclittica, sulla quale si possono individuare i punti equinoziali (γ e Ω) e i punti solstiziali (S e S')



Il percorso descritto, cioè la traccia delle posizioni che il Sole occupa durante l'anno, come visto dalla Terra, si può allora definire come l'intersezione del piano dell'orbita terrestre con la sfera celeste: si ottiene un circolo massimo inclinato sull'equatore celeste di $23^\circ 27'$ (per la precisione $23^\circ 26,2'$ in diminuzione) che prende il nome di **eclittica (ecliptic)** (figura 1.28).

I punti di riferimento individuabili lungo l'eclittica sono le intersezioni con l'equatore celeste,

Il nodo ascendente dell'eclittica è detto anche «punto vernale», termine avente etimologia latina vernalis, derivato di vernus che significa proprio «primaverile»

Gli orari passanti per solstizi ed equinozi si chiamano coluri

Intorno all'eclittica si trovavano 12 costellazioni spaziate di circa 30° l'una d'altra: si tratta dello zodiaco

Tabella 1.6

Istanti delle posizioni di riferimento sull'eclittica; si tratta di date indicative, variabili a seconda dell'anno in corso

La diversa inclinazione di arrivo dei raggi solari sulla Terra a seconda della stagione provoca diverse condizioni di insolazione (vedi paragrafo 27.3 nel primo volume)

cioè i *punti equinoziali* o **nodi (nodes)**, dove il Sole cambia emisfero, quindi ha declinazione nulla, e i punti di massima declinazione, cioè i *punti solstiziali*, dove il Sole ha declinazione di circa $\delta = 23^\circ 27'N$, detto **solstizio estivo (summer solstice)** e $\delta = 23^\circ 27'S$, detto **solstizio invernale (winter solstice)**.

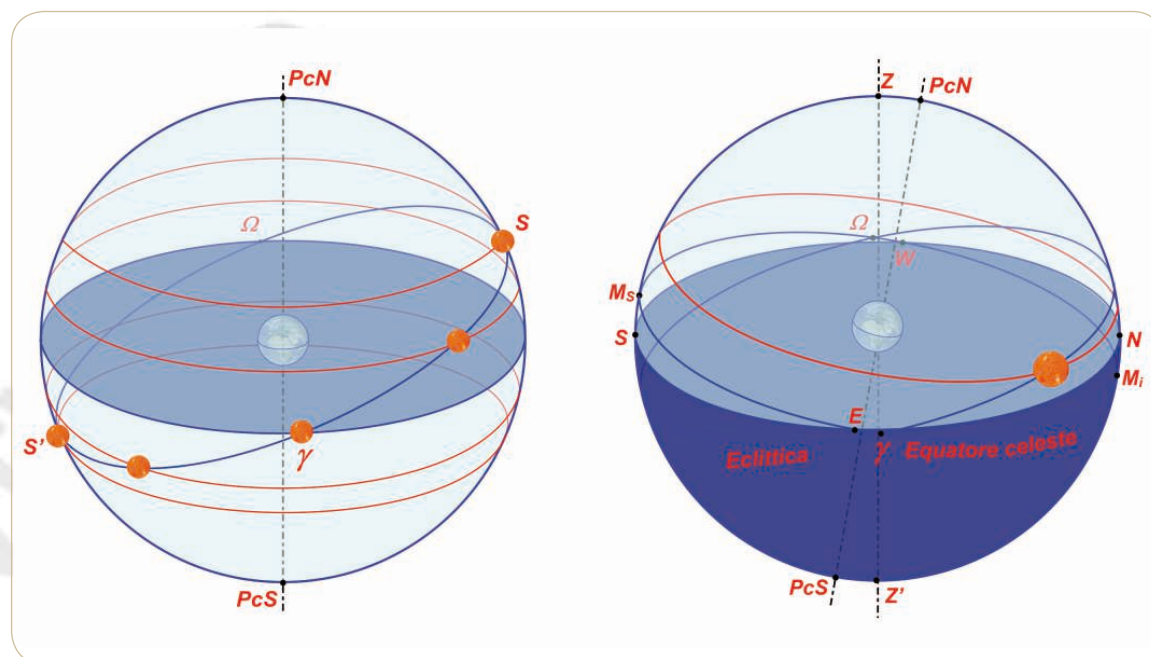
L'**equinozio primaverile (vernal equinox)** o *nodo ascendente* è indicato con γ (*first point of Aries*) ed è il più importante in quanto è uno dei principali punti di riferimento in astronomia; l'**equinozio autunnale (autumnal equinox)** è invece indicato con Ω .

Evento	Data
Equinozio primaverile	21 marzo
Solstizio estivo	21 giugno
Equinozio autunnale	23 settembre
Solstizio invernale	22 dicembre

Ora la correlazione tra l'eclittica e l'alternarsi delle stagioni è molto chiara: negli equinozi il Sole culminerà allo Zenit per chi si trova sull'equatore, mentre nel solstizio estivo i suoi raggi avranno minima inclinazione rispetto alla verticale per chi si trova nell'emisfero Nord, dove quindi farà più caldo, in particolare la nostra stella culminerà allo Zenit per chi si trova ad una latitudine di $23^\circ 27'N$; nel solstizio invernale accadrà l'inverso.

Figura 1.29

Il moto apparente annuale del Sole avviene lungo l'eclittica, ma esso sarà costantemente soggetto anche al moto apparente diurno, che come sappiamo avviene lungo dei paralleli di declinazione, diversi a seconda della posizione del Sole sull'eclittica, quindi a seconda del giorno dell'anno: nella figura a sinistra sono evidenziati i paralleli di declinazione (in rosso) che percorrerà il Sole ai solstizi, all'equinozio di primavera e in due posizioni intermedie, mentre nella figura a destra è mostrato come il Sole sia un astro circumpolare (sempre visibile) alle alte latitudini Nord quando si trova nell'emisfero Nord



A seconda della latitudine e del periodo dell'anno, l'inclinazione dell'eclittica provoca diverse condizioni di osservazione del Sole, che potrà apparire come astro sorgente e tramontante o circumpolare (figura 1.29). Una conseguenza è l'individuazione sulla

Terra di paralleli particolari che la suddividono nelle diverse zone *torrida*, *temperata* e nelle *calotte polari* (figura 1.30):

- ✓ *tropico del Cancro*: avente latitudine $23^{\circ}27'N$
- ✓ *tropico del Capricorno*: avente latitudine $23^{\circ}27'S$
- ✓ *circolo polare artico*: avente latitudine $66^{\circ}33'N$ (complemento di $23^{\circ}27'$)
- ✓ *circolo polare antartico*: avente latitudine $66^{\circ}33'S$ (complemento di $23^{\circ}27'$)

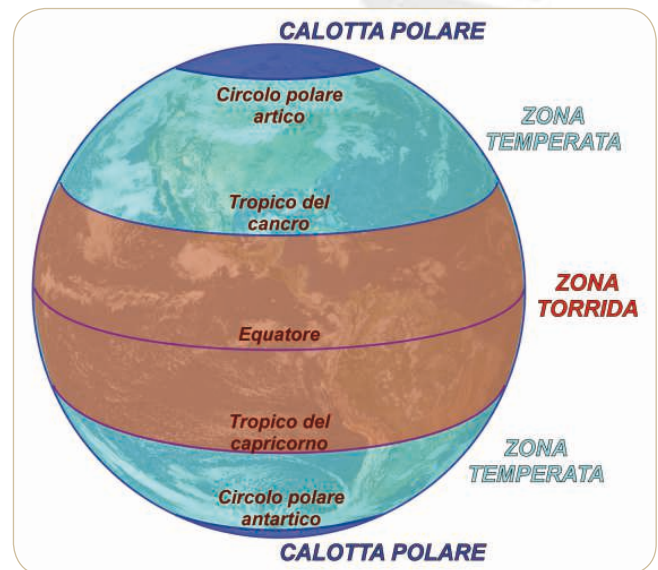


Figura 1.30

La suddivisione della Terra in zona torrida, temperata e nelle calotte polari dipende direttamente dall'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita intorno al Sole

L'asse dei nodi compie un giro completo nel piano dell'eclittica in senso retrogrado in circa 26000 anni (precessione degli equinozi)

Sull'eclittica si possono individuare anche *apogeo* (primi di luglio) e *perigeo* (primi di gennaio), uniti dalla *linea degli apsi* che forma un angolo di $77,2^{\circ}$ con la linea degli equinozi, detta anche *asse dei nodi* (figura 1.31).

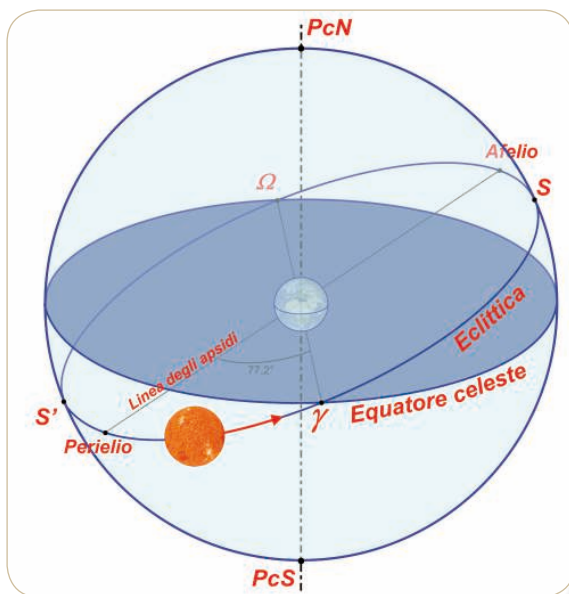


Figura 1.31

La linea degli apsi unisce perielio e afelio

La presenza dell'eclittica consente di definire altri due sistemi di coordinate astronomiche, detti *uranografici* perché non dipendenti dalla posizione dell'osservatore. Si tratta del *sistema uranografico equatoriale*, avente come riferimenti l'equatore celeste e gli orari e il *sistema uranografico eclittico*, avente come riferimenti l'eclittica e i meridiani d'eclittica, cioè i cerchi massimi che uniscono i poli dell'eclittica e che risultano quindi ad essa perpendicolari; ognuno di essi conta due coordinate, presentate in tabella 1.7 e rappresentate in figura 1.32.

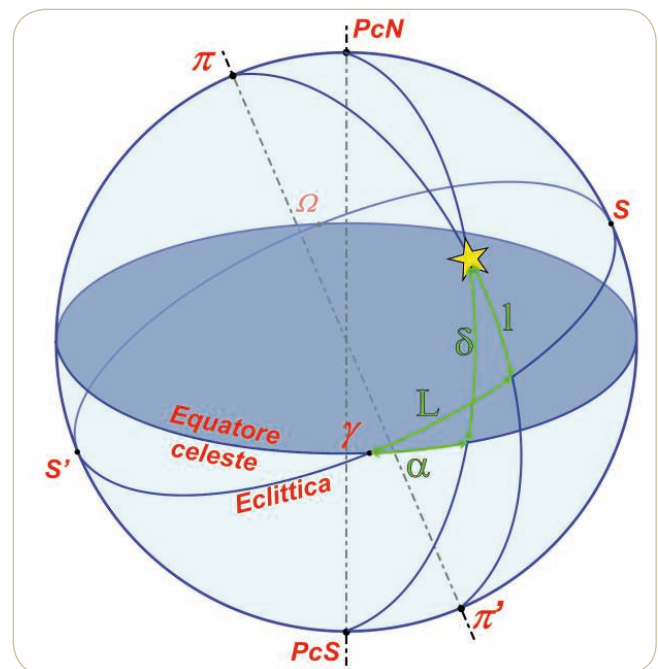


Figura 1.32

Coordinate uranografiche evidenziate in verde

La declinazione del sistema uranografico equatoriale è la stessa coordinata già definita nel sistema locale orario

Ai sistemi di coordinate uranografiche descritte se ne associa un terzo che però non ha a che fare con l'eclittica ma utilizza come cerchio di riferimento l'equatore galattico, dato dall'intersezione della sfera celeste con il piano di simmetria della Via Lattea, che risulta inclinato di 62° sul piano dell'Equatore Celeste: si tratta del sistema uranografico galattico, non utilizzato in astronomia nautica

Sistema uranografico equatoriale	Sistema uranografico eclittico
Declinazione (declination) δ: arco di orario compreso fra equatore celeste e astro considerato; ha valore da 0° a 90° con segno N o S	Latitudine d'eclittica (ecliptic latitude) l: arco di meridiano d'eclittica compreso fra l'eclittica e l'astro considerato; ha valore da 0° a 90° con segno N o S
Ascensione retta (right ascension) α: arco di equatore celeste compreso fra il punto γ e il piede dell'orario dell'astro, contato in senso diretto, cioè antiorario, da 0° a 360°	Longitudine d'eclittica (ecliptic longitude) L: arco di eclittica compreso fra il punto γ e il piede del meridiano d'eclittica dell'astro, contato in senso diretto, cioè antiorario, da 0° a 360°

Tabella 1.7

Coordinate uranografiche

All'ascensione retta si preferisce solitamente utilizzare il suo esplemento, cioè la **co-ascensione retta $co\alpha$ (Sideral Hour Angle - SHA)**, corrispondente in pratica alla stessa coordinata ma contata in senso retrogrado (orario) come il tempo, quindi con esso più facilmente confrontabile (figura 1.33).

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

1.7

Legato ai momenti di sorgenza e tramontanza di un astro, c'è un altro parametro importantissimo in Astronomia Nautica: l'**amplitudine (amplitude)**, che viene solitamente considerata in riferimento al Sole.

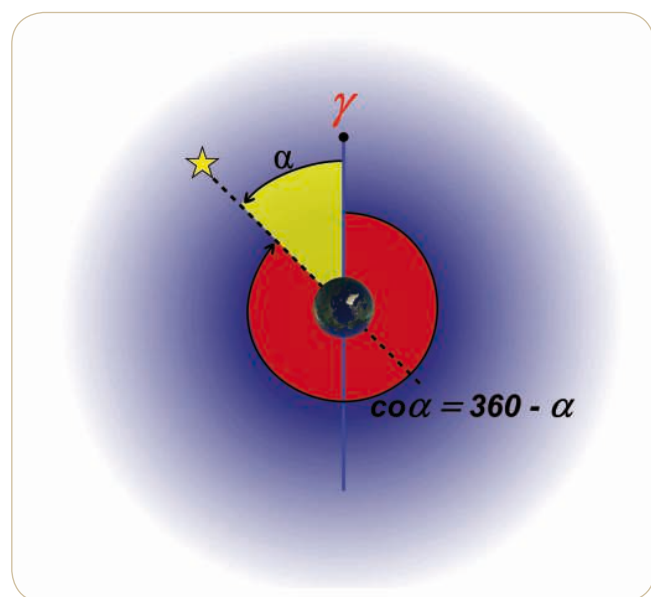


Figura 1.33

La coascensione retta, esplemento dell'ascensione retta, è in pratica l'angolo contato sul piano equatoriale in senso retrogrado (orario) tra il punto gamma e il piede dell'orario dell'astro

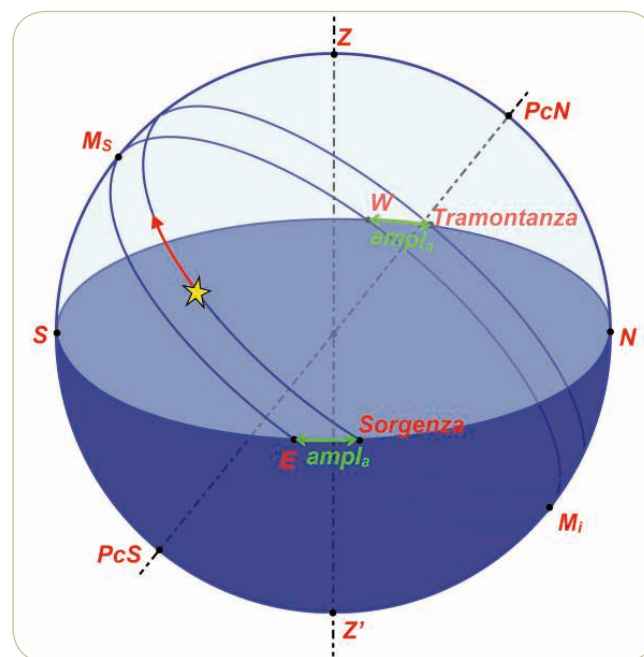


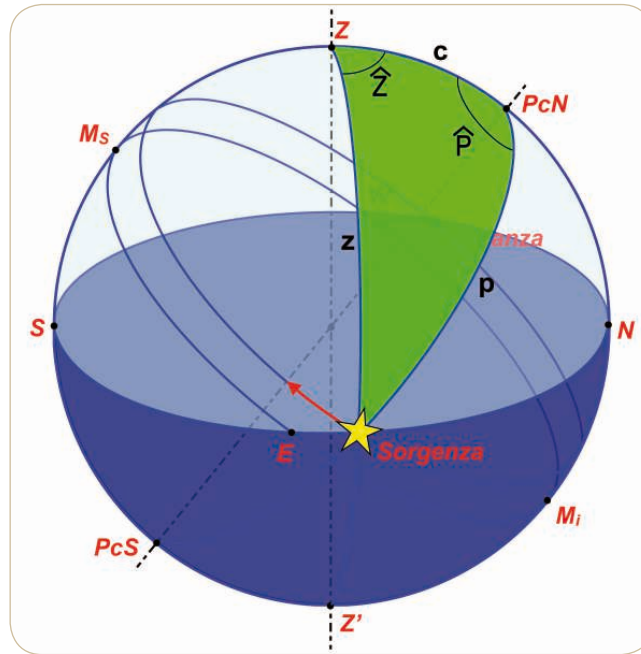
Figura 1.34

L'amplitudine astronomica si individua come arco di orizzonte compreso tra i cardini E e W e i punti di sorgenza e tramontanza, cioè dove il parallelo di declinazione che rappresenta il moto diurno dell'astro incontra l'orizzonte

L'amplitudine del Sole è importante, come vedremo, per il controllo delle bussole in navigazione, tuttavia quella che si trova con la formula 1.9 è l'amplitudine astronomica mentre normalmente serve quella marina

Figura 1.35

Il triangolo di posizione diventa rettilatero negli istanti del sorgere e del tramonto, consentendo di trovare l'amplitudine con relazioni semplici e immediate che sfruttano le regole mnemoniche di Nepero



Un qualsiasi astro, se ha declinazione Nord sorge in un punto tra E e N e tramonta in un punto tra W e N, se ha declinazione Sud sorge in un punto tra E e S e tramonta in un punto tra W e S (figura 1.34); l'arco di orizzonte astronomico compreso tra l'E e il punto di sorgenza si chiama **amplitudine ortiva (ortive/eastern amplitude)**, mentre quello compreso tra l'W e il punto di tramontanza si chiama **amplitudine occasa (occiduous/western amplitude)**.

L'amplitudine si può calcolare considerando il triangolo rettilatero che si viene a formare proprio nei momenti del sorgere o del tramonto, quando cioè il lato z vale 90° (figura 1.35).

Si può applicare Nepero al lato p considerando gli elementi lontani in modo da trovare l'angolo azimutale $\hat{Z}$ e giungere quindi all'amplitudine essendo $\text{ampl} = 90^\circ - \hat{Z}$:

$$\begin{aligned} \cos p &= \sin c \cdot \sin(90^\circ - \hat{Z}) \\ \cos(90^\circ - \delta) &= \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \sin \text{ampl} \\ \sin \delta &= \cos \varphi \cdot \sin \text{ampl} \end{aligned} \quad 1.8$$

Nell'espressione 1.9 non è necessario inserire il segno della declinazione se Sud, cioè non serve rispettare la convenzione generale sui segni, in quanto il segno della declinazione si considera già come suffisso

$$\sin \text{ampl} = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \quad 1.9$$

Il valore dell'amplitudine va sempre corredato da un prefisso (E in caso di sorgenza, W in caso di tramontanza) e da un suffisso, corrispondente al segno della declinazione dell'astro (N o S). Con tali indicazioni è immediato individuare il quadrante in cui si trova l'astro e trasformare l'amplitudine in azimut.

Esempi

- ✓ posto un osservatore avente latitudine $52^\circ 54,4'N$, calcolare l'amplitudine ortiva di un astro avente declinazione $\delta = 08^\circ 12,0'S$.
Ancor prima di svolgere i calcoli si intuisce che l'amplitudine avrà segni E (perché riguardante il sorgere – ortiva) e S (dalla declinazione); l'applicazione della 1.9 fornisce 0,236 da cui, infine, E13,7°S a cui corrisponde un azimut di $103,7^\circ$ (da $90+13,7$).
- ✓ posto un osservatore avente latitudine $14^\circ 22,1'S$, calcolare l'amplitudine occasa di un astro avente declinazione $\delta = 35^\circ 45,5'S$.
Ancor prima di svolgere i calcoli si intuisce che l'amplitudine avrà segni W (perché riguardante il tramonto – occasa) e S (dalla declinazione); l'applicazione della 1.9 fornisce 0,6032 da cui, infine, W37,1°S a cui corrisponde un azimut di $232,9^\circ$ (da $270-37,1$).

L'atmosfera dei crepuscoli trasmette da sempre malinconia all'uomo, come confermato dall'utilizzo che si fa di questo termine nelle arti: si pensi al crepuscolarismo, corrente letteraria dei primi del '900 e alla più recente saga di Twilight di Stephenie Meyer

Tabella 1.8

Valori di altezza del Sole che definiscono i vari crepuscoli

1.7 I CREPUSCOLI

Anche chi non sa nulla di astronomia sa indicare il significato di **crepuscolo** (*twilight/dusk*) come quel momento della giornata, che precede l'alba o segue il tramonto, in cui il Sole riesce ancora a diffondere la sua luce sebbene non sia visibile perché sotto l'orizzonte.

Esistono in realtà diversi tipi di crepuscolo, presentati in tabella 1.8, differenti fra loro proprio in base al valore, negativo, dell'altezza del Sole.

Crepuscolo astronomico	altezza del Sole compresa tra 0° e -18°
Crepuscolo civile	altezza del Sole compresa tra 0° e -6°
Crepuscolo nautico	altezza del Sole compresa tra -6° e -12°

In astronomia nautica il più importante è il *crepuscolo nautico* in quanto relativo a posizioni del Sole tali da creare condizioni di luce sufficienti a vedere le stelle più luminose ma anche a riuscire a scorgere l'orizzonte (figura 1.36), essendo proprio questi due elementi che vanno osservati e confrontati, come vedremo nel Capitolo 4, utilizzando il sestante.

Il crepuscolo viene detto *mattutino*, se riferito alla fase che precede la sorgenza del Sole, o *serale*, se riferito alla fase che segue il tramonto.

Il crepuscolo nautico ha solitamente una durata temporale nell'ordine della mezz'ora, tuttavia è molto variabile con la latitudine ed il periodo dell'anno e può giungere a durare alcune ore, considerando anche che alle alte latitudini il crepuscolo mattutino e serale possono confondersi in un'unica finestra temporale in cui il Sole raggiunge uno solo dei due limiti di altezza che definiscono il crepuscolo stesso.

Esempio

- ✓ può accadere che già a latitudini di 60°N , nel periodo del solstizio d'estate il Sole tramonti intorno alle 21:28, raggiunga i -6° alle 23:14 (inizio del crepuscolo serale) e inizi a risalire poco dopo senza arrivare a -12° , tornando a -6° alle 00:49 (fine del crepuscolo mattutino) per sorgere poi alle 2:36 (esempio con i dati del 2015).

La Luna ha sempre suscitato fascino e mistero nell'Uomo, anche per quella sua caratteristica di mostrare sempre la stessa faccia, conseguenza dell'uguaglianza tra rivoluzione siderea e periodo di rotazione:

1.8 MOTO DELLA LUNA

È molto comodo, in navigazione astronomica, prendere in considerazione la Luna, in quanto è facile, evidentemente, riconoscerla ed è agevole misurarne l'altezza; insieme al Sole è infatti l'unico astro non puntiforme e osservabile anche di giorno, inoltre con



Figura 1.36

Crepuscolo nautico nel cielo simulato del planetario open source stellarium (stellarium.org)

ha cioè un lato che non abbiamo mai visto, quello che i Pink Floyd hanno immortalato nella storia usandolo come titolo di uno dei loro dischi più famosi (The dark side of the moon); in realtà per il fenomeno delle librazioni lunari la Luna mostra circa il 60% della sua superficie, quindi la parte a noi invisibile è inferiore ad un emisfero esatto

la sua luce può illuminare l'orizzonte rendendo possibili osservazioni notturne, al di fuori delle «finestre» crepuscolari.

La Luna è il solo satellite naturale del nostro pianeta ed ha un raggio pari a circa $\frac{1}{4}$ di quello della Terra; essa ha un moto complesso e i dati ricavati dalle effemeridi nautiche hanno bisogno di essere trattati accuratamente.

La Luna è soggetta a un moto di rotazione ed uno di rivoluzione intorno al nostro pianeta; in particolare esistono le rivoluzioni riassunte in tabella 1.9.

Tabella 1.9

Rivoluzioni lunari

Rivoluzione siderea	tempo impiegato per compiere 360° intorno alla terra ($27^{\text{d}}07^{\text{h}}43^{\text{m}}$, uguale al proprio periodo di rotazione)
Rivoluzione draconitica	tempo impiegato per passare due volte dal nodo ascendente ($27^{\text{d}}05^{\text{h}}06^{\text{m}}$, più breve per retrogradazione nodi lunari)
Rivoluzione sinodica	tempo impiegato per tornare in congiunzione con il Sole (circa $29,53^{\text{d}}$, più lungo per il contemporaneo moto del Sole)

La rivoluzione siderea della Luna è importante perché curiosamente è uguale al suo periodo di rotazione, motivo per cui si dice che essa mostra sempre la stessa faccia, mentre la rivoluzione sinodica è importante perché dà vita alle diverse fasi lunari, importantissime per le maree (figura 1.37).

In figura 1.37 si vede come la Luna occupi rispetto al Sole le posizioni particolari già descritte nel paragrafo 1.5: si ha il **novilunio** (*new moon*), quando i due astri sorgono e tramontano insieme, corrispondente quindi alle *congiunzioni*, il **plenilunio** (*full moon*), quando la Luna sorge nel momento in cui il Sole tramonta, corrispondente quindi all'*opposizione*; nelle posizioni intermedie si hanno i *quarti* (nell'ordine *primo quarto* – *first quarter* e *ultimo quarto* – *last quarter*), corrispondenti alle *quadrature* e gli *ottanti* (nell'ordine *primo ottante* – *waxing crescent*, *secondo ottante* – *waxing gibbous*, *terzo ottante* – *waning gibbous*, *quarto ottante* – *waning crescent*).

La rivoluzione della Luna avviene su un'orbita inclinata di $5^\circ09'$ rispetto all'eclittica, ma i suoi nodi sono soggetti ad un moto di precessione retrogrado che si completa in 18 anni e 8 mesi; vengono infatti percorsi circa $19,3^\circ$ all'anno. In questo intervallo di tempo, detto *periodo draconitico*, la declinazione massima della luna varia da i tra $28^\circ36'$ N/S e $18^\circ18'$ N/S in quanto l'orbita lunare si trova diversamente orientata rispetto all'eclittica che sappiamo essere a sua volta inclinata di $23^\circ27'$ sull'equatore celeste (figura 1.38).

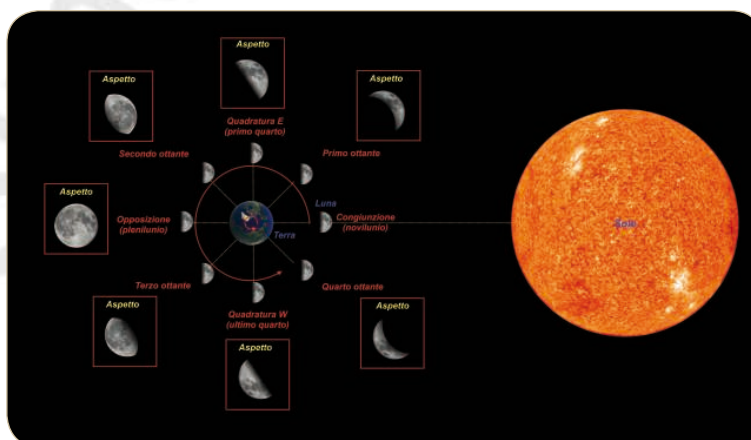


Figura 1.37

Fasi lunari: al novilunio la luna non si vede non solo perché mostra la parte non illuminata dal Sole, bensì perché di notte è assente in cielo, infatti sorge e tramonta con il Sole e risulterebbe visibile solo di giorno

Le maree verranno affrontate nel Capitolo 22

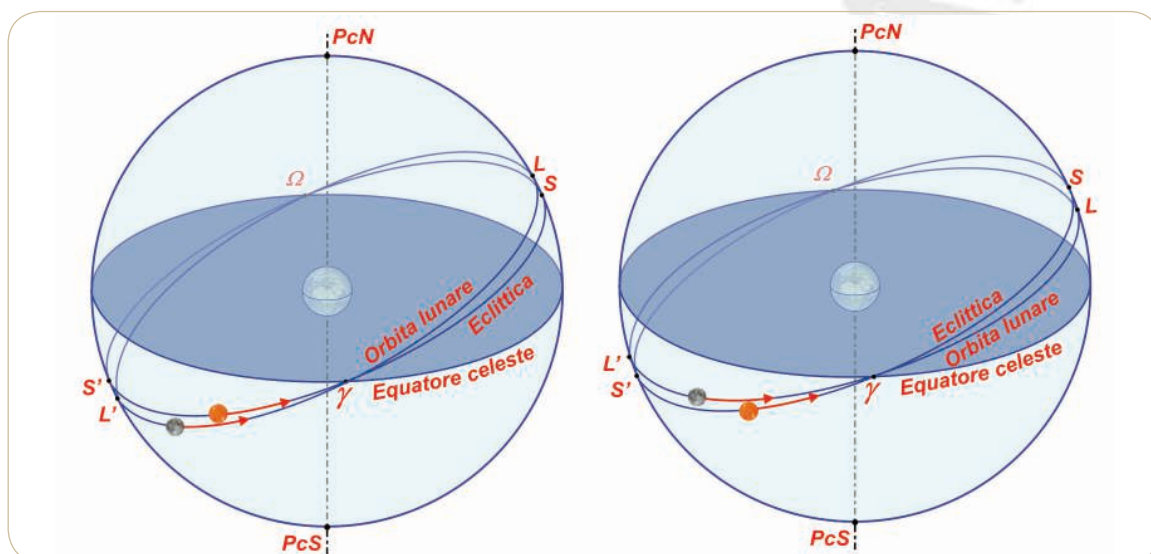
Per ricordare le fasi lunari si può ricorrere al proverbio «gobba a ponente Luna crescente, gobba a levante Luna calante» o semplicemente ricordare che la Luna è bugiarda... quando sembra una C (Cresco) in realtà decresce e quando sembra una D (Decresco) in realtà cresce!

Nel primo ottante si hanno circa 3 ore di ritardo degli eventi lunari (sorgenza, passaggio al meridiano ecc.) rispetto a quelli solari

I punti di massima declinazione della Luna sono detti lunistizi

Figura 1.38

Diverse posizioni dell'orbita lunare rispetto all'eclittica: le condizioni rappresentate nelle due figure si hanno a distanza di circa 9 anni



S V I L U P P O A B I L I T A'

Calcolo dell'azimut con le tavole nautiche

Come già visto nel Capitolo 25 del primo volume, le Tavole Nautiche dell'IIM contengono le tavole ABC (TAV 18), nate proprio per determinare l'azimut degli astri nota la declinazione, l'angolo al polo e la propria latitudine; la tavola 18 è organizzata in tre sezioni (A, B e C), da utilizzare in successione per giungere al risultato, ricordando che $A + B = C$.

In pratica dal teorema delle cotangenti si può esprimere la formula dell'angolo azimutale come segue:

$$\cot \hat{Z} \cdot \sec \varphi = \csc \hat{P} \cdot \tan \delta - \cot \hat{P} \cdot \tan \varphi$$

da cui:

$A = \csc \hat{P} \cdot \tan \delta$	positivo se φ e δ omonime negativo se φ e δ eteronime
$B = -\cot \hat{P} \cdot \tan \varphi$	positivo se $P > 90^\circ$ negativo se $P < 90^\circ$
$\cot \hat{Z} \cdot \sec \varphi = A + B \Rightarrow \cot \hat{Z} = (A + B) \cdot \cos \varphi$	

TAVOLA 18 A

Si entra in verticale con l'angolo al polo e in orizzontale con la declinazione (si noti che i valori di angolo al polo maggiori di 90° condividono la stessa colonna del loro supplemento e sono riportati in basso); si ottiene il valore che chiamiamo «A» e che avrà segno positivo se la latitudine dell'osservatore e la declinazione dell'astro sono omonime (astro e osservatore nello stesso emisfero celeste) e negativo se tali valori sono eteronimi, come ricordato a fondo pagina.

TAVOLA 18

A	Tavole A - B - C per il calcolo dell' Azimut															A
Decl.	ANGOLO AL POLO (60° - 75°)															
	60°	61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
10	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
11	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
12	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
13	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
14	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
15	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
																
38	9.0	8.9	8.8	8.8	8.7	8.6	8.6	8.5	8.4	8.4	8.3	8.3	8.2	8.2	8.1	8.1
39	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0	8.9	8.9	8.8	8.7	8.7	8.6	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4
40	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9	8.9	8.8	8.8	8.7	8.7
41	10.0	9.9	9.8	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.2	9.1	9.1	9.0	9.0
42	10.4	10.3	10.2	10.1	10.0	9.9	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.5	9.5	9.4	9.4	9.3
43	10.8	10.7	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.1	10.0	9.9	9.9	9.8	9.8	9.7	9.7
44	11.2	11.0	10.9	10.8	10.7	10.7	10.6	10.5	10.4	10.3	10.3	10.2	10.2	10.1	10.0	10.0
45	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9	10.9	10.8	10.7	10.6	10.6	10.5	10.5	10.4	10.4
46	12.0	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	11.2	11.1	11.0	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7
47	12.4	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3	11.2	11.2	11.1
48	12.8	12.7	12.6	12.5	12.4	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.7	11.6	11.6	11.5
49	13.3	13.2	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.4	12.3	12.2	12.2	12.1	12.0	12.0	11.9
50	13.8	13.6	13.5	13.4	13.3	13.1	13.0	12.9	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.4	12.3
51	14.3	14.1	14.0	13.9	13.7	13.6	13.5	13.4	13.3	13.2	13.1	13.1	13.0	12.9	12.8	12.8
52	14.8	14.6	14.5	14.4	14.2	14.1	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5	13.5	13.4	13.3	13.3
53	15.3	15.2	15.0	14.9	14.8	14.6	14.5	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0	14.0	13.9	13.8	13.7
54	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1	15.0	14.8	14.7	14.6	14.6	14.5	14.4	14.3	14.2
55	16.5	16.3	16.2	16.0	15.9	15.8	15.6	15.5	15.4	15.3	15.2	15.1	15.0	14.9	14.9	14.8
56	17.1	17.0	16.8	16.6	16.5	16.4	16.2	16.1	16.0	15.9	15.8	15.7	15.6	15.5	15.4	15.3
57	17.8	17.6	17.4	17.3	17.1	17.0	16.9	16.7	16.6	16.5	16.4	16.3	16.2	16.1	16.0	15.9
58	18.5	18.3	18.1	18.0	17.8	17.7	17.5	17.4	17.3	17.1	17.0	16.9	16.8	16.7	16.6	16.6
59	19.2	19.0	18.8	18.7	18.5	18.4	18.2	18.1	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5	17.4	17.3	17.2
60	20.0	19.8	19.6	19.4	19.3	19.1	19.0	18.8	18.7	18.6	18.4	18.3	18.2	18.1	18.0	17.9
61	20.8	20.6	20.4	20.3	20.1	19.9	19.8	19.6	19.5	19.3	19.2	19.1	19.0	18.9	18.8	18.7
62	21.7	21.5	21.3	21.1	20.9	20.8	20.6	20.4	20.3	20.2	20.0	19.9	19.8	19.7	19.6	19.5
63	22.7	22.4	22.2	22.0	21.8	21.7	21.5	21.3	21.2	21.0	20.9	20.8	20.6	20.5	20.4	20.3
64	23.7	23.4	23.2	23.0	22.8	22.6	22.4	22.3	22.1	22.0	21.8	21.7	21.6	21.4	21.3	21.2
65	24.8	24.5	24.3	24.1	23.9	23.7	23.5	23.3	23.1	23.0	22.8	22.7	22.6	22.4	22.3	22.2
Decl.	120°	119°	118°	117°	116°	115°	114°	113°	112°	111°	110°	109°	108°	107°	106°	105°
ANGOLO AL POLO (105° - 120°)																

TAVOLA 18 B

Anche qui si entra in verticale con l'angolo al polo, ma in orizzontale con la latitudine dell'osservatore sempre in gradi; si ottiene il valore che chiamiamo «B» e che avrà segno positivo se il valore dell'angolo al polo è maggiore di 90° negativo se minore di 90° , come ricordato a fondo pagina.

TAVOLA 18

B	Tavole A - B - C per il calcolo dell'Azimut															B
Lat.	ANGOLO AL POLO (60° - 75°)															
	60°	61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
10	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
11	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
12	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
13	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
14	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
15	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
16	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
17	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8
18	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9
19	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9
20	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
21	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0
22	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1
23	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
24	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2
25	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
26	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
27	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
28	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
29	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5
30	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5
31	3.5	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6
32	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
33	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7
34	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8
35	4.0	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9
36	4.2	4.0	3.9	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9
																
58	9.2	8.9	8.5	8.2	7.8	7.5	7.1	6.8	6.5	6.1	5.8	5.5	5.2	4.9	4.6	4.3
59	9.6	9.2	8.8	8.5	8.1	7.8	7.4	7.1	6.7	6.4	6.1	5.7	5.4	5.1	4.8	4.5
60	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.1	7.7	7.4	7.0	6.6	6.3	6.0	5.6	5.3	5.0	4.6
61	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	5.9	5.5	5.2	4.8
62	10.9	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.9	6.5	6.1	5.8	5.4	5.0
63	11.3	10.9	10.4	10.0	9.6	9.2	8.7	8.3	7.9	7.5	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6	5.3
64	11.8	11.4	10.9	10.5	10.0	9.6	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.5
65	12.4	11.9	11.4	10.9	10.5	10.0	9.6	9.1	8.7	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	6.2	5.8
Lat.	120°	119°	118°	117°	116°	115°	114°	113°	112°	111°	110°	109°	108°	107°	106°	105°
ANGOLO AL POLO (105° - 120°)																

B positivo se $P > 90^\circ$ B negativo se $P < 90^\circ$

TAVOLA 18 C

Si entra in verticale con il valore di «C», cioè la somma $A + B$ (calcolata algebricamente in base a quanto ottenuto dalle tavole precedenti) e in orizzontale con la latitudine dell'osservatore in gradi; si ottiene direttamente il valore dell'angolo azimutale in forma quadrante, a cui assegnare il suffisso in base al segno dell'angolo al polo, mentre il prefisso coinciderà con il segno della latitudine dell'osservatore se C è risultato positivo, mentre sarà ad esso opposto se C è risultato negativo, come ricordato a fondo pagina.

TAVOLA 18

C	Tavole A - B - C per il calcolo dell'Azimut																C
Lat.	A + B																
	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	
	ANGOLO AZIMUTALE QUADRANTE Z'																
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	
0	48.0	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.2	45.9	45.6	45.3	45.0	44.4	43.9	43.3	42.8	42.3	
2	48.0	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.2	45.9	45.6	45.3	45.0	44.4	43.9	43.4	42.8	42.3	
4	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.3	46.0	45.7	45.4	45.1	44.5	44.0	43.4	42.9	42.4	
6	48.2	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	46.1	45.8	45.5	45.2	44.6	44.1	43.5	43.0	42.5	
8	48.3	48.0	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.2	45.9	45.6	45.3	44.7	44.2	43.6	43.1	42.6	
10	48.4	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.3	46.0	45.7	45.4	44.9	44.3	43.8	43.2	42.7	
11	48.5	48.2	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	46.1	45.8	45.5	45.0	44.4	43.9	43.3	42.8	
12	48.6	48.3	48.0	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.2	45.9	45.6	45.1	44.5	44.0	43.4	42.9	
13	48.8	48.4	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.3	46.0	45.7	45.2	44.6	44.1	43.5	43.0	
14	48.9	48.6	48.2	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	46.2	45.9	45.3	44.7	44.2	43.6	43.1	
15	49.0	48.7	48.4	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.3	46.0	45.4	44.8	44.3	43.8	43.2	
16	49.1	48.8	48.5	48.2	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	46.1	45.6	45.0	44.5	43.9	43.4	
17	49.3	49.0	48.7	48.4	48.0	47.7	47.4	47.2	46.9	46.6	46.3	45.7	45.2	44.6	44.1	43.6	
18	49.4	49.1	48.8	48.5	48.2	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	45.9	45.3	44.8	44.2	43.7	
19	49.6	49.3	49.0	48.7	48.4	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.0	45.5	44.9	44.4	43.9	
20	49.8	49.5	49.2	48.8	48.5	48.2	47.9	47.7	47.4	47.1	46.8	46.2	45.7	45.1	44.6	44.1	
21	50.0	49.7	49.4	49.0	48.7	48.4	48.1	47.8	47.5	47.3	47.0	46.4	45.9	45.3	44.8	44.3	
22	50.2	49.8	49.5	49.2	48.9	48.6	48.3	48.0	47.7	47.5	47.2	46.6	46.0	45.5	45.0	44.5	
23	50.4	50.0	49.7	49.4	49.1	48.8	48.5	48.2	47.9	47.7	47.4	46.8	46.2	45.7	45.2	44.7	
24	50.6	50.3	50.0	49.6	49.3	49.0	48.7	48.5	48.2	47.9	47.6	47.0	46.5	45.9	45.4	44.9	
25	50.8	50.5	50.2	49.9	49.6	49.3	49.0	48.7	48.4	48.1	47.8	47.2	46.7	46.1	45.6	45.1	
26	51.0	50.7	50.4	50.1	49.8	49.5	49.2	48.9	48.6	48.3	48.1	47.5	46.9	46.4	45.9	45.3	
27	51.3	51.0	50.7	50.4	50.1	49.8	49.5	49.2	48.9	48.6	48.3	47.7	47.2	46.6	46.1	45.6	
28	51.5	51.2	50.9	50.6	50.3	50.0	49.7	49.4	49.1	48.8	48.6	48.0	47.4	46.9	46.4	45.8	
29	51.8	51.5	51.2	50.9	50.6	50.3	50.0	49.7	49.4	49.1	48.8	48.3	47.7	47.2	46.6	46.1	
30	52.1	51.8	51.5	51.2	50.9	50.6	50.3	50.0	49.7	49.4	49.1	48.5	48.0	47.4	46.9	46.4	
31	52.4	52.0	51.7	51.4	51.1	50.8	50.6	50.3	50.0	49.7	49.4	48.8	48.3	47.7	47.2	46.7	
32	52.7	52.3	52.0	51.7	51.4	51.1	50.9	50.6	50.3	50.0	49.7	49.1	48.6	48.0	47.5	47.0	
33	53.0	52.6	52.3	52.0	51.7	51.5	51.2	50.9	50.6	50.3	50.0	49.5	48.9	48.4	47.8	47.3	
34	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.8	51.5	51.2	50.9	50.6	50.3	49.8	49.2	48.7	48.2	47.6	
35	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.8	51.5	51.2	51.0	50.7	50.1	49.6	49.0	48.5	48.0	
36	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.5	52.2	51.9	51.6	51.3	51.0	50.5	49.9	49.4	48.9	48.3	
37	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.8	51.5	51.2	50.7	50.1	49.6	49.0	48.5	
38	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.8	51.5	51.0	50.5	49.9	49.4	48.9	
39	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.8	51.3	50.8	50.3	49.8	49.3	
40	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	52.1	51.6	51.1	50.6	50.1	49.6	
41	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.4	51.9	51.4	50.9	50.4	49.9	
42	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.7	52.2	51.7	51.2	50.7	50.2	
43	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	
44	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.3	52.8	52.3	51.8	51.3	50.8	
45	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.6	53.1	52.6	52.1	51.6	51.1	
46	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.9	53.4	52.9	52.4	51.9	51.4	
47	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.2	53.7	53.2	52.7	52.2	51.7	
48	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.5	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	
49	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.8	54.3	53.8	53.3	52.8	52.3	
50	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	55.1	54.6	54.1	53.6	53.1	52.6	
51	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.4	54.9	54.4	53.9	53.4	52.9	
52	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.7	55.2	54.7	54.2	53.7	53.2	
53	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	56.0	55.5	55.0	54.5	54.0	53.5	
54	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.3	55.8	55.3	54.8	54.3	53.8	
55	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.6	56.1	55.6	55.1	54.6	54.1	
56	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.9	56.4	55.9	55.4	54.9	54.4	
57	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.2	56.7	56.2	55.7	55.2	54.7	
58	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.5	57.0	56.5	56.0	55.5	55.0	
59	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8	57.3	56.8	56.3	55.8	55.3	
60	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	58.1	57.6	57.1	56.6	56.1	55.6	
61	61.4	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.4	57.9	57.4	56.9	56.4	55.9	
62	61.7	61.4	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.7	58.2	57.7	57.2	56.7	56.2	
63	62.0	61.7	61.4	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	59.0	58.5	58.0	57.5	57.0	56.5	
64	62.3	62.0	61.7	61.4	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.3	58.8	58.3	57.8	57.3	56.8	
65	62.6	62.3	62.0	61.7	61.4	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6	59.1	58.6	58.1	57.6	57.1	

Z' si conta dal polo elevato se $A + B$ è positivo.Z' si conta dal polo depresso se $A + B$ è negativo.

Esempio

- ✓ si considerino gli stessi casi degli esempi riportati nel Paragrafo 1.3: posto un osservatore avente latitudine $30^{\circ}14,6'N$, si cerca l'azimut con le tavole ABC di un astro avente $\delta = 49^{\circ}14,0'N$ e $t = 065^{\circ}34,6'$ e di un astro avente $\delta = 07^{\circ}37,6'S$ e $t = 345^{\circ}18,9'$.

Innanzitutto la conversione dei tempi dei due astri in angolo al polo conduce a $\hat{P} = 65^{\circ}34,6'W$ e $\hat{P} = 14^{\circ}41,1'E$.

Nella TAV 18A si entra con angolo al polo e declinazione e per il primo astro si ottiene, interpolando a occhio, $A = +12,7$ (segno + perché latitudine e declinazione sono omonime), mentre per il secondo $A = -5,2$ (segno - perché latitudine e declinazione sono eteronime).

Nella TAV 18B si entra sempre con l'angolo al polo ma abbinato alla latitudine e si ha $B = -2,6$ per il primo astro (segno negativo perché $\hat{P} < 90^{\circ}$) e $B = -22,2$ per il secondo (segno negativo perché $\hat{P} < 90^{\circ}$).

$C = A + B$ risulta $+10,1$ per il primo astro e $-27,4$ per il secondo: entrando nella TAV 18C con tali valori e con quello della latitudine si ha direttamente $N49,1^{\circ}W$ per il primo astro (prefisso N, cioè omonimo con la latitudine dell'osservatore, perché $A + B$ risulta positivo) e $S22,9^{\circ}E$ per il secondo (prefisso S, cioè contrario rispetto alla latitudine dell'osservatore, perché $A + B$ risulta negativo); tali valori conducono rispettivamente ad azimut molto simili a quelli ottenuti con il calcolo, $a = 310,9^{\circ}$ e $a = 157,1^{\circ}$.

Esercizi

Verificare con le tavole ABC gli azimut relativi ai casi presentati nella sezione che segue.

Esercizi

Risoluzione di un triangolo di posizione con l'uso della calcolatrice scientifica

Risolvere i seguenti esercizi:

- 1 Posto un osservatore avente latitudine $35^{\circ}28,2'N$, calcolare altezza e azimut degli astri di cui sono fornite di seguito le coordinate locali orarie:
 - a. $\delta = 12^{\circ}25,8'N$ e $t = 300^{\circ}36,4'$
 - b. $\delta = 37^{\circ}12,9'S$ e $t = 348^{\circ}35,8'$
 - c. $\delta = 28^{\circ}57,2'N$ e $t = 020^{\circ}15,1'$
 - d. $\delta = 05^{\circ}21,7'S$ e $t = 065^{\circ}25,8'$
 - e. $\delta = 63^{\circ}24,1'N$ e $t = 150^{\circ}06,7'$
- 2 Posto un osservatore avente latitudine $48^{\circ}05,8'S$, calcolare altezza e azimut degli astri di cui sono fornite di seguito le coordinate locali orarie:
 - a. $\delta = 12^{\circ}05,8'N$ e $t = 320^{\circ}25,1'$
 - b. $\delta = 36^{\circ}14,2'S$ e $t = 250^{\circ}06,8'$
 - c. $\delta = 58^{\circ}28,7'S$ e $t = 015^{\circ}04,8'$
 - d. $\delta = 05^{\circ}14,3'N$ e $t = 296^{\circ}25,2'$
 - e. $\delta = 22^{\circ}56,1'S$ e $t = 100^{\circ}38,5'$

- 3 Posto un osservatore avente latitudine $22^{\circ}14,7'N$, calcolare l'azimut al sorgere e al tramonto degli astri di cui è fornita di seguito la declinazione (calcolo dell'amplitudine):
- a. $\delta = 45^{\circ}58,0'N$
 - b. $\delta = 28^{\circ}38,8'S$
 - c. $\delta = 05^{\circ}19,1'N$
 - d. $\delta = 18^{\circ}45,8'S$
 - e. $\delta = 56^{\circ}29,7'N$
- 4 Posto un osservatore avente latitudine $63^{\circ}08,3'S$, calcolare l'azimut al sorgere e al tramonto degli astri di cui è fornita di seguito la declinazione (calcolo dell'amplitudine):
- a. $\delta = 15^{\circ}55,0'N$
 - b. $\delta = 22^{\circ}21,3'S$
 - c. $\delta = 06^{\circ}12,1'S$
 - d. $\delta = 18^{\circ}05,8'N$
 - e. $\delta = 10^{\circ}22,7'S$

MAPPA CONCETTUALE DI RIPASSO

