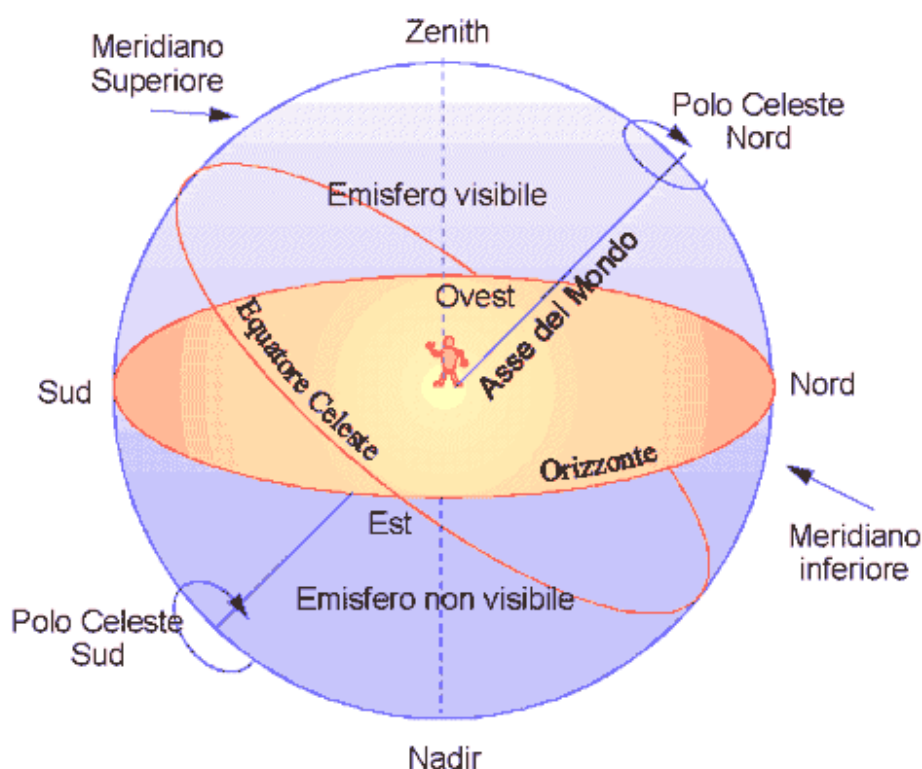


## 1. La sfera Celeste.

L'osservazione degli astri ha sempre consentito ai naviganti di orientarsi in mare e di determinare la propria posizione attraverso la direzione e l'altezza che può prendersi di essi. Osservando il cielo in una notte serena gli astri ci appaiono tutti alla stessa distanza, come se giacessero su di una sfera che ha per centro l'osservatore. Tale sfera è denominata *sfera celeste*. Si tratta di un luogo immaginario sul quale sono proiettati gli astri che appaiono tutti alla stessa distanza dall'osservatore posto al centro di essa e dei quali possiamo prendere (o *misurare*) la direzione.

Se immaginiamo l'osservatore al centro della Terra la sfera si dice *sfera celeste geocentrica*, mentre se l'osservatore si trova in un punto qualsiasi della superficie terrestre si chiamerà *sfera celeste locale* (vedi figura).



La *verticale* che passa per l'osservatore prolungata fino ad incontrare la sfera determina due punti detti *Zenit Z* e *Nadir Z'*. Il piano perpendicolare alla verticale determina una circonferenza massima sulla sfera detta *orizzonte* e divide la sfera celeste in due emisferi. Quello che contiene lo zenit si dice *emisfero visibile*, quello che contiene il nadir è detto invece *emisfero invisibile*.

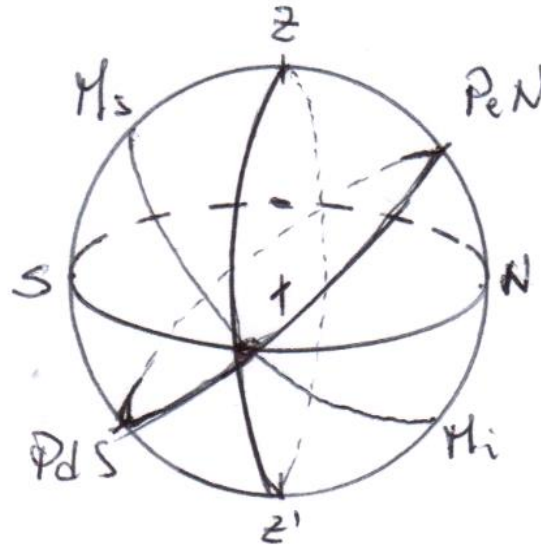
Il piano orizzontale che passa per l'occhio dell'osservatore ed è detto *orizzonte apparente*, mentre quello che passa per il centro della Terra è detto *orizzonte vero* o *astronomico*.

Il prolungamento dell'asse polare terrestre sulla sfera celeste individua due punti detti *Poli Celesti*, la retta che li congiunge è detta *Asse del Mondo*.

La proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste è una circonferenza massima chiamata *Equatore Celeste*.

Nella sfera celeste locale il polo dell'emisfero nel quale è posto l'osservatore è detto **Polo elevato**  $P_e$  quello dell'emisfero opposto **polo depresso**  $P_d$ . Per un osservatore posto nell'emisfero nord sarà dunque  $P_eN$  e  $P_dS$ . La circonferenza massima che passa per lo zenit, per il polo elevato, per il nadir e per il polo depresso è detto *meridiano dell'osservatore* e risulta diviso in due parti: *meridiano superiore* quella che contiene lo zenit e *meridiano inferiore* quella che contiene il nadir.

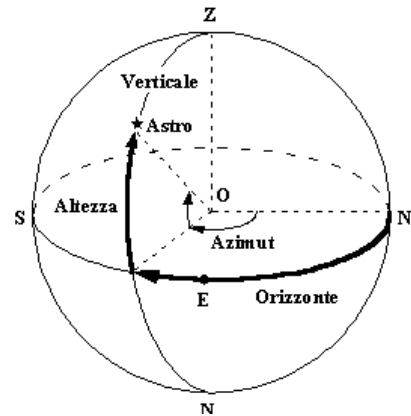
Le circonferenze massime che uniscono lo zenit al nadir sono detti **verticali**. Il verticale passante per il cardine Est è detto **primo verticale orientale**, corrispondentemente, il verticale passante per il cardine Ovest è detto **primo verticale occidentale**.



Le circonferenze massime che uniscono il polo elevato al polo depresso sono detti **orari**. L'orario passante per il cardine Est è detto **primo orario orientale**, corrispondentemente, l'orario passante per il cardine Ovest è detto **primo orario occidentale**.

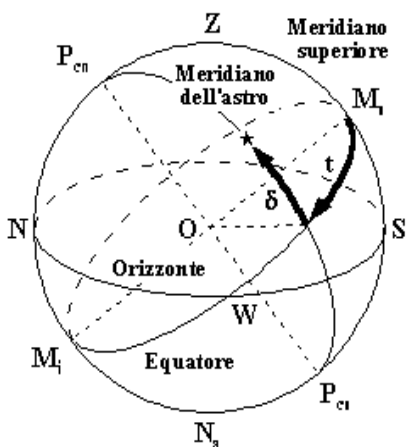
Considerando ora i piani di riferimento fin qui introdotti è facile introdurre dei sistemi di coordinate capaci di fornire la posizione di un qualsiasi corpo celeste sulla sfera.

Se consideriamo il piano dell'orizzonte e la verticale dell'osservatore è possibile ottenere di un astro due coordinate angolari: una sul piano dell'orizzonte detta **azimut**  $\alpha$  e misurata da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  in senso orario partendo dal cardine nord, un'altra in verticale che rappresenta la distanza angolare dell'astro dall'orizzonte detta **altezza**  $h$  e misurata da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .



L'altezza e l'azimut formano il cosiddetto sistema di **coordinate locali altazimutali**.

Le circonferenze minori che hanno la stessa altezza sull'orizzonte sono detti **almicantarati**.



Considerando invece il piano dell'equatore celeste e l'asse del mondo è possibile introdurre altre due coordinate angolari. L'angolo formato tra il meridiano dell'osservatore e l'orario passante per l'astro è detto **angolo orario**  $t$  e si conta da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  in senso orario partendo dal *mezzogiorno superiore*  $M_s$ ; la distanza angolare dall'equatore celeste è detta **declinazione**  $\delta$  e si misura da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  verso il polo celeste nord o verso il polo celeste sud. L'angolo orario  $t$  e la declinazione  $\delta$  formano il cosiddetto sistema di **coordinate locali orarie**. Le circonferenze minori parallele all'equatore celeste sono detti **paralleli di declinazione**.

In entrambi i casi precedenti l'aggettivo *locale* sottolinea che tali coordinate sono determinate in funzione della posizione dell'osservatore sulla superficie terrestre, va da se che due osservatori posti in località differenti pur se osservano contemporaneamente lo stesso astro otterranno valori differenti per le coordinate dello stesso.

Di un astro, quando le condizioni meteorologiche lo consentono, è possibile individuare l'altezza e l'azimut, gli altri elementi si ricavano dalle Effemeridi Nautiche.

L'altezza si misura utilizzando lo strumento simbolo dell'astronomia nautica il *sestante*. All'altezza misurata sarà necessario apportare delle correzioni per trasformarla da altezza osservata in altezza vera, come meglio verrà descritto nel seguito. Utilizzando gli elementi ottenuti in base alle osservazioni è possibile ricavare la posizione della nave in mare.

Per ottenere un buon punto nave è necessario osservare, preferibilmente ai crepuscoli nautici mattino o serale, tre o più astri simultaneamente o in un intervallo di tempo molto breve, scegliendo gli astri opportunamente angolati tra loro. Tracciando graficamente l'altezza e l'azimut è poi possibile ottenere il Fix astronomico, come sarà più diffusamente spiegato nel seguito.

### 1.1 – Il moto apparente degli astri.

La rotazione della Terra intorno al proprio asse in senso diretto o antiorario, fa muovere apparentemente tutti i corpi celesti da Est (*levante*) verso Ovest (*ponente*) – moto orario – così da compiere un giro completo in un *giorno siderale* (circa  $86164,1^{\text{sec}}$ , pari a  $23^{\text{h}}56^{\text{m}}04,1^{\text{sec}}$ ), che sostanzialmente equivale ad un *giorno solare medio*, di poco più grande di quasi  $4^{\text{m}}$  (corrispondenti all'incirca ad un angolo  $1^{\circ}$  di rotazione terrestre). Questa differenza è dovuta al fatto che la Terra, ruotando su se stessa, percorre anche un tratto di orbita attorno al Sole e quindi il Sole transita al meridiano con 4 minuti di ritardo al giorno rispetto alle altre stelle. Il risultato è il moto apparente annuo del Sole rispetto alle stelle, in senso antiorario per un osservatore posto nell'emisfero nord, alla velocità di circa  $1^{\circ}$  al giorno.

Questo movimento è detto *moto apparente della sfera celeste* ed avviene intorno ad un asse immaginario, *l'asse celeste*, che altro non è che il prolungamento dell'asse terrestre fino ad incontrare la sfera celeste. Gli estremi di tale asse, ossia i punti di contatto immaginari con la sfera celeste, sono detti, come sappiamo, *poli celesti*: in vicinanza del *polo Nord celeste* si trova la Stella Polare, che per tale motivo appare immobile.

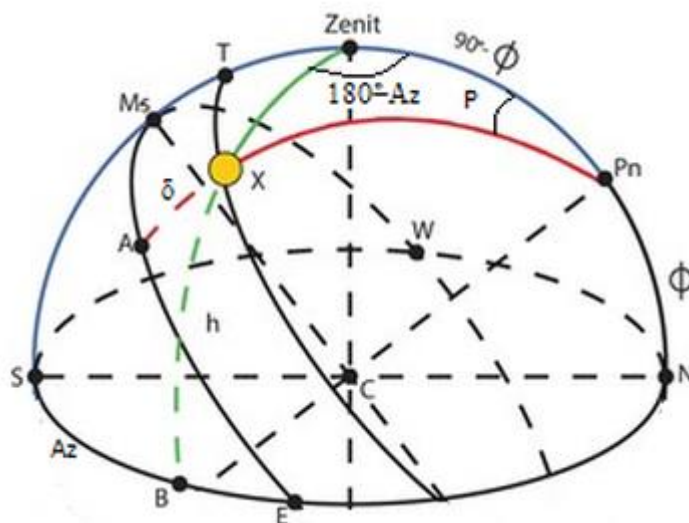
Le stelle conservano sempre immutate le loro posizioni relative sulla sfera celeste (almeno nel corso di alcuni millenni), mentre il Sole, la Luna ed i pianeti si spostano lentamente fra esse, passando da una costellazione all'altra.

L'occhio dell'osservatore, che convenzionalmente è posto al centro della Sfera Celeste Locale, non percepisce nell'immediato il moto di cui stiamo parlando poiché ai suoi sensi la Terra è immobile, mentre la sfera Celeste è animata dal suo moto apparente da levante e ponente (retrogrado od orario).

La circonferenza che passa per lo Zenit, il Nadir, il Mezzocielo superiore  $M_s$ , il Mezzocielo inferiore  $M_i$ , l'orizzonte astronomico, i punti cardinali, nonché i verticali, gli almicantrat ed i paralleli di declinazione, sono tutti punti e circoli della sfera celeste legati all'osservatore, cioè alla Terra, che si considera immobile e, pertanto, *non partecipano al moto apparente della sfera celeste*.

Tali punti e circoli, che costituiscono la *volta celeste fissa dell'osservatore*, si possono immaginare come proiettati dal centro della Terra sulla superficie interna della sfera celeste che è in continua rotazione con tutto ciò che le appartiene: equatore celeste, paralleli di declinazione, eclittica, punto  $\gamma$  e tutti gli astri.

In questo modo i sistemi di coordinate locali introdotte per determinare la posizione di un astro sulla sfera celeste vengono utilizzati per misurare il moto apparente mediante il triangolo sferico di posizione che si modifica col passare delle ore ed aiuta a descrivere il moto apparente dei corpi celesti.



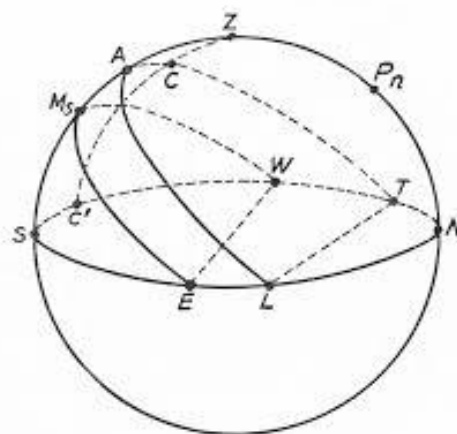
Tale triangolo ha per vertici l'astro A, lo zenit Z ed il Polo elevato. I lati sono tutti archi di circolo massimo legati alle coordinate sferiche locali; in particolare il lato Polo elevato Astro è un **arco di orario** ampio  $90^\circ - \delta$  (complemento della declinazione  $\delta$  detto *distanza polare*), il lato che va dallo zenit all'Astro è un **arco di verticale** ampio  $90^\circ - h$  (complemento dell'altezza  $h$  detto *distanza zenitale*), infine il lato che va dallo zenit al Polo elevato è un arco del meridiano dell'osservatore ampio  $90^\circ - \phi$  (complemento della latitudine  $\phi$  detto *colatitudine*).

Da quanto sopra affermato ben si comprende perché al triangolo viene dato il nome di triangolo sferico di *posizione* o *astronomico* o *nautico*. La variazione oraria delle coordinate comporta una variazione della forma del triangolo sferico di posizione.

All'istante del sorgere (astro in L) il triangolo risulta **rettilatero** poiché il lato che va dallo zenit Z all'astro è pari a  $90^\circ$ . Va notato che il lato che va dal Polo elevato all'astro rimane pressoché invariato, poiché tale risulta generalmente la declinazione  $\delta$  durante le 24 ore. Un altro lato fisso del triangolo è quello che va dallo zenit al Polo elevato.

Durante l'arco delle 24 ore il triangolo risulta **rettangolo** all'istante del passaggio al primo orario (orientale o occidentale) ed al passaggio al primo verticale (orientale o occidentale). Quando l'astro raggiunge la culminazione il triangolo si riduce all'arco di circonferenza massima che va dal Polo elevato all'Astro passando per lo zenit Z.

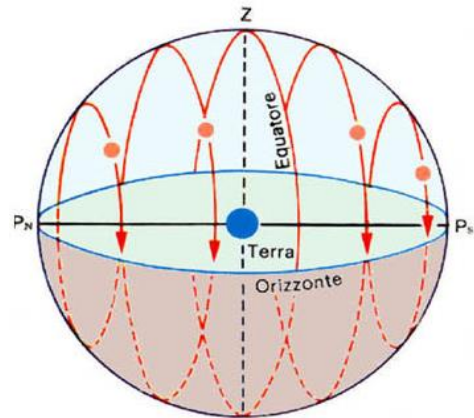
Quando l'astro è in meridiano il valore dell'azimut è  $0^\circ$  o  $180^\circ$ , mentre la sua altezza è data dall'arco di circonferenza che va dall'orizzonte all'astro ossia:  $h = 90 - \phi + \delta$ .



### 1.2 - Sfera celeste *Retta* e sfera celeste *Parallela*.

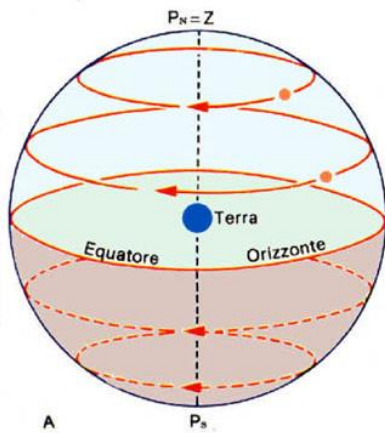
Quando l'osservatore si trova all'equatore la sua latitudine  $\varphi$  è nulla, di conseguenza la corrispondente sfera celeste è detta **Sfera Retta** ed è mostrata in figura.

Come è possibile vedere il punto di mezzocielo superiore  $M_s$  coincide con lo zenit **Z** ed il punto di mezzocielo inferiore  $M_i$  coincide invece con il nadir **Z'**. Il polo celeste nord si trova sul piano dell'orizzonte, che coincide con il primo orario orientale in corrispondenza del cardine Nord.



La variazione dell'azimut, come può osservarsi è assai contenuta: gli astri con declinazione  $\delta = 0^\circ$  passeranno per lo zenit con un'altezza di culminazione pari a  $90^\circ$ . Tutti gli astri, infine, sorgeranno e tramonteranno. Non esistono astri *circumpolari* o *anticircumpolari* per osservatori posti sull'equatore terrestre.

Se l'osservatore è invece posto al polo la sua latitudine  $\varphi$  è pari a  $90^\circ$  e la corrispondente sfera celeste è detta **Sfera parallela** ed è rappresentata in figura.



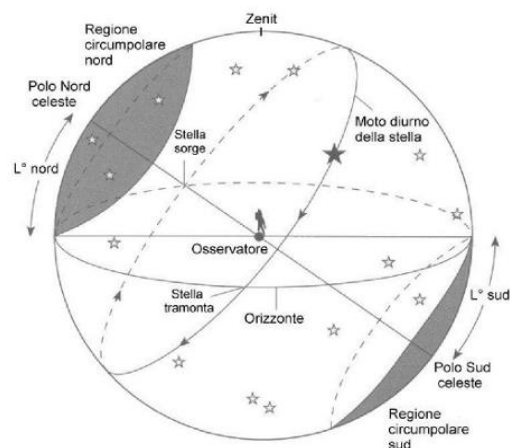
Come si vede lo zenit **Z** coincide con il polo celeste nord, il nadir con il polo celeste sud.

Il piano dell'orizzonte è coincidente con quello dell'equatore celeste, mancano i riferimenti per l'orientamento e tutti gli astri sono *circumpolari* o *anticircumpolari* e mantengono costante la loro altezza. Non è possibile misurare gli azimut.

La sfera celeste parallela spiega la lunga durata del *giorno* e della *notte polari* (6 mesi). Naturalmente a latitudini diverse da  $90^\circ$  gli astri sorgono e tramontano.

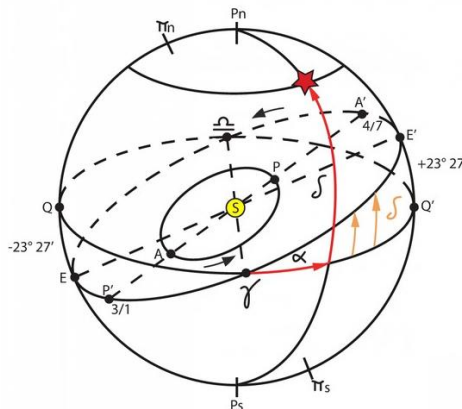
Infatti, considerando il valore assoluto della latitudine  $|\varphi|$  ed il valore assoluto della declinazione  $|\delta|$  si può determinare una regola secondo la quale :

- se  $|\delta| + |\varphi| < 90^\circ$  l'astro **sorge e tramonta** e se  $\varphi$  e  $\delta$  hanno lo stesso segno l'arco diurno risulta maggiore dell'arco notturno;
- se  $|\delta| + |\varphi| > 90^\circ$  l'astro risulta **circumpolare** se  $\varphi$  e  $\delta$  hanno lo stesso segno, **anticircumpolare** se  $\varphi$  e  $\delta$  hanno segno contrario.



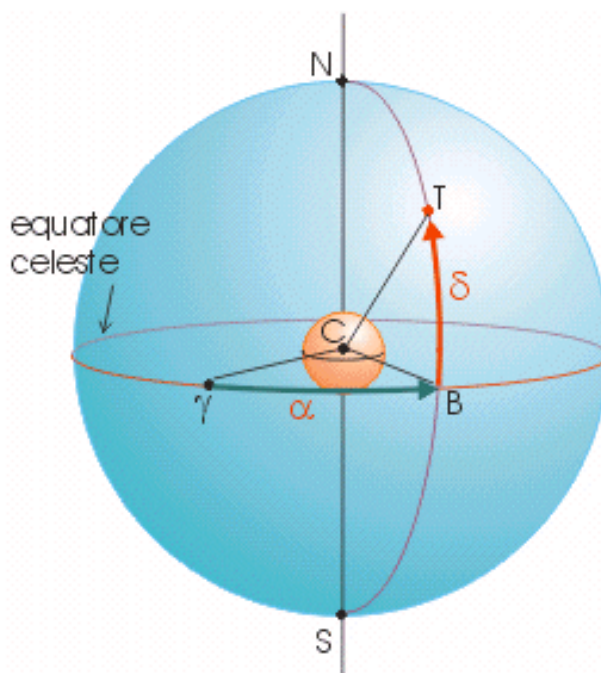
### 1.3 – Sfera celeste geocentrica.

La sfera celeste si dice **geocentrica**, se ha per centro il centro della terra. Il piano di riferimento è l'**equatore celeste** sul quale si trovano i due punti vernali  $\Upsilon$  (o punto d'ariete) e  $\Omega$  che rappresentano l'intersezione con il piano dell'eclittica che risulta inclinato di  $23^{\circ}27'$  rispetto al piano dell'equatore celeste. La sfera celeste è suddivisa dall'equatore celeste in due emisferi celesti: l'**emisfero celeste boreale** (nord) e l'**emisfero celeste australe** (sud).



L'asse polare che unisce il **polo celeste nord**  $P_{cN}$  ed il **polo celeste sud**  $P_{cS}$  rappresenta un altro elemento caratteristico della sfera celeste geocentrica. In ogni caso questi elementi sono indipendenti dalla posizione dell'osservatore, così come le coordinate **Uranografiche Equatoriali**: l'**ascensione retta**  $\alpha$  e la **declinazione**  $\delta$ .

L'**ascensione retta**  $\alpha$  si misura sull'equatore celeste da  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  a partire dal punto  $\Upsilon$  in senso diretto o antiorario - cioè contrario a quello della rotazione apparente della sfera celeste - fino al piede dell'orario passante per l'astro. L'ascensione retta è sempre positiva, quella del *Sole vero*  $\alpha_v$  varia di  $24^h$  all'anno, in modo continuo ma non uniforme, mentre l'ascensione retta del *Sole medio*  $\alpha_m$  varia di  $3^m56,6^s$  ogni giorno: questa si ricava dalle *effemeridi nautiche* mediante la relazione  $\alpha_m = T_s - T_m + 180^{\circ}$  (Questa aggiunta di  $180^{\circ}$  è necessaria perché il  $T_s$  si misura a partire dal meridiano superiore di Greenwich).



L'ascensione retta della Luna  $\alpha_c$  varia con ritmo 13 volte più rapido di quella del Sole, nel senso diretto; quella  $\alpha_{\bullet}$  dei pianeti varia in modo irregolare, sia in senso diretto che retrogrado; ciò è dovuto al moto dei pianeti intorno al Sole ed alla posizione rispetto alla Terra ragione per la quale i valori di  $\alpha_{\bullet}$  in alcuni periodi crescono, in altri restano costanti e in altri diminuiscono. L'ascensione retta  $\alpha_{*}$  delle stelle subisce piccole variazioni annue dovute alla precessione degli equinozi.

Sulle effemeridi nautiche viene tabulata la **coascensione retta**  $360^{\circ} - \alpha$  (o **co- $\alpha$** ) che rappresenta l'esplemento della coascensione retta.

La **declinazione**  $\delta$  è la distanza angolare dall'equatore celeste all'astro, si conta da  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  verso i Poli, se l'astro si trova nell'emisfero boreale avrà declinazione positiva **NORD** se si trova nell'emisfero australe avrà declinazione negativa **SUD**. Un astro con declinazione pari a zero si giace sul piano dell'equatore. La circonferenza minore passante per l'astro e parallelo all'equatore è detto **Parallelo di declinazione**. La declinazione del Sole, della Luna, dei pianeti, delle stelle, si indica, rispettivamente, con  $\delta_{\odot}$ ,  $\delta_{\text{L}}$ ,  $\delta_{\bullet}$ ,  $\delta_{*}$ .

La declinazione del Sole varia fra  $23^{\circ}27'N$  e  $23^{\circ}27'S$ : la variazione è massima ai solstizi mentre è nulla agli equinozi. La declinazione della Luna varia con periodo di 18 anni e  $\frac{2}{3}$ , fra valori massimi Nord e Sud compresi fra  $23,5^{\circ} \pm 6^{\circ}$ . La declinazione dei principali pianeti (Venere, Marte, Giove, Saturno) è compresa fra  $26^{\circ}N$  e  $26^{\circ}S$ . La declinazione delle stelle subisce minime variazioni annue legate alla precessione degli equinozi.

## 2. – Elementi di Cosmografia.

### 2.1. – Il Sistema Solare.

Il Sistema Solare, di cui fa parte il nostro pianeta, è un insieme di corpi detti *corpi celesti*. Con questo termine si indicano in astronomia il Sole, la Luna, i pianeti, i satelliti e le comete.

Tali corpi sono diversi tra loro per natura e dimensioni, si muovono intorno al Sole su orbite eclittiche e soggetti a forze di attrazione (*centripete*) e di repulsione (*centrifughe*). Il loro moto è regolato dalle tre Leggi di Keplero che stabiliscono la natura dell'orbita, la durata del periodo di rivoluzione (*anno*), la velocità di rivoluzione intorno al Sole. Notevole importanza ha anche la posizione relativa che i corpi celesti appartenenti ad un dato sistema hanno tra loro. Nello studio e nella progettazione per la messa in orbita di satelliti artificiali intorno alla Terra, di fondamentale importanza è l'influenza che i pianeti hanno sul mantenimento dell'orbita prevista del satellite e sulla sua velocità e regolarità di funzionamento.

In figura è schematizzato il Sistema Solare con l'indicazione delle orbite dei pianeti.



Diamo adesso una breve descrizione dei corpi celesti.

#### 2.1.1. – I Pianeti.

I pianeti, tra cui la Terra, sono corpi celesti non dotati di luce propria. Essi riflettono la luce del Sole attorno al quale ruotano su orbite ellittiche. La *rivoluzione siderea* è il tempo impiegato dal

pianeta per compiere un giro completo intorno al Sole. Secondo le Leggi di Keplero maggiore è la distanza dal Sole maggiore è il tempo impiegato a compiere il moto di rivoluzione.

Ogni giro completo prende il nome di *anno*. Inoltre ogni pianeta ruota su se stesso con un tempo (*giorno*) proprio.

I pianeti che compongono il sistema solare sono otto : quattro pianeti rocciosi interni e quattro giganti gassosi esterni, oltre ai rispettivi satelliti naturali. A questi si sommano cinque pianeti nani e miliardi di corpi minori.

Quest'ultima categoria comprende gli asteroidi, in gran parte ripartiti fra due cinture asteroidali (la fascia principale e la fascia di Kuiper), le comete (prevalentemente situate nell'ipotetica nube di Oort), le meteoroidi e la polvere interplanetaria.

In ordine di distanza dal Sole gli otto pianeti sono: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno.

Da metà del 2006 cinque corpi del sistema solare sono stati classificati come **pianeti nani**: *Cerere*, situato nella fascia principale degli asteroidi, e altri quattro corpi situati al di là dell'orbita di Nettuno, ossia *Plutone* (in precedenza classificato come il nono pianeta), *Haumea*, *Makemake*, ed *Eris*.

Sei dei pianeti e quattro dei pianeti nani hanno in orbita attorno a essi dei satelliti naturali; inoltre tutti i pianeti esterni sono circondati da anelli planetari, composti di polvere e altre particelle.

I pianeti più importanti per la navigazione astronomica sono *Venere*, *Mercurio*, *Giove*, *Marte* e *Saturno* anche perché risultano essere i più luminosi e sono facilmente osservabili anche ad occhio nudo. Venere in particolare risplende più di qualunque altra stella e, in condizioni particolari, è visibile anche di giorno.

Venere e Mercurio distano dal Sole meno della Terra. Alcuni pianeti hanno dei satelliti, ovvero corpi celesti oscuri, sferoidali e di dimensioni molto più piccole dei pianeti intorno a cui ruotano.

### 2.1.2. – Le Comete.

Sono corpi celesti caratterizzati da un **nucleo** circondato da una nebulosità detta **chioma**, che si prolunga con una coda luminosa diretta dalla parte opposta del Sole. La forma di una cometa varia di giorno in giorno in particolar modo quando la cometa è più vicina al Sole. Il nucleo è costituito da un insieme di corpi solidi con dimensioni che variano da meno di un gramo a molte tonnellate.

Questo insieme di corpi si muove come fosse un tutt'uno, sebbene siano molto distanti tra loro. Le comete, come i pianeti, si muovono intorno al Sole descrivendo delle orbite chiuse a forma di ellisse con il Sole posto in uno dei due fuochi. Nonostante siano di grande volume, le comete non producono alcuna perturbazione sul movimento dei pianeti ai quali si avvicinano, vengono anzi deviate dalla loro forza gravitazionale.

In base al loro apparire, le comete vengono classificate in *periodiche* e *non periodiche*.

Simili alle comete sono le *stelle cadenti*, formate da una piccola porzione di materia solida che si è disgregata da una cometa e che per attrito si surriscalda sino all'incandescenza entrando nell'atmosfera terrestre.



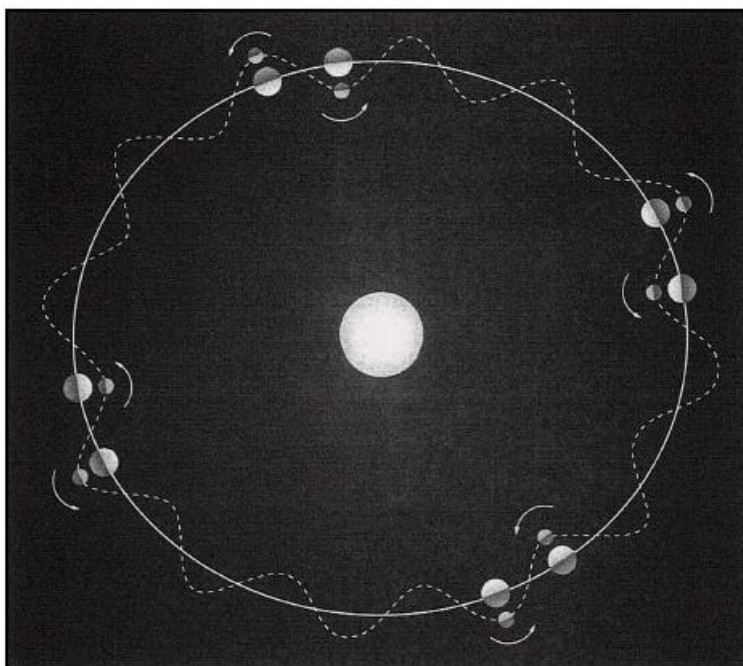
### 2.1.3. – La Luna.

La Luna è il satellite della Terra. Sulla sua superficie sono presenti crateri e cerchi di probabile formazione vulcanica. Il suo diametro è pari ad un quarto di quello terrestre.

La Luna ruota intorno alla Terra con un moto proprio detto *nutazione* e insieme ad essa gira intorno al Sole.

Il periodo di tempo che la Luna impiega a girare attorno alla Terra (*rivoluzione siderea*) è di circa 28 giorni terrestri.

La Luna appare ai nostri occhi in maniera diversa nel corso di un mese lunare. Ciò dipende dalla posizione che essa assume rispetto alla Terra ed al Sole.



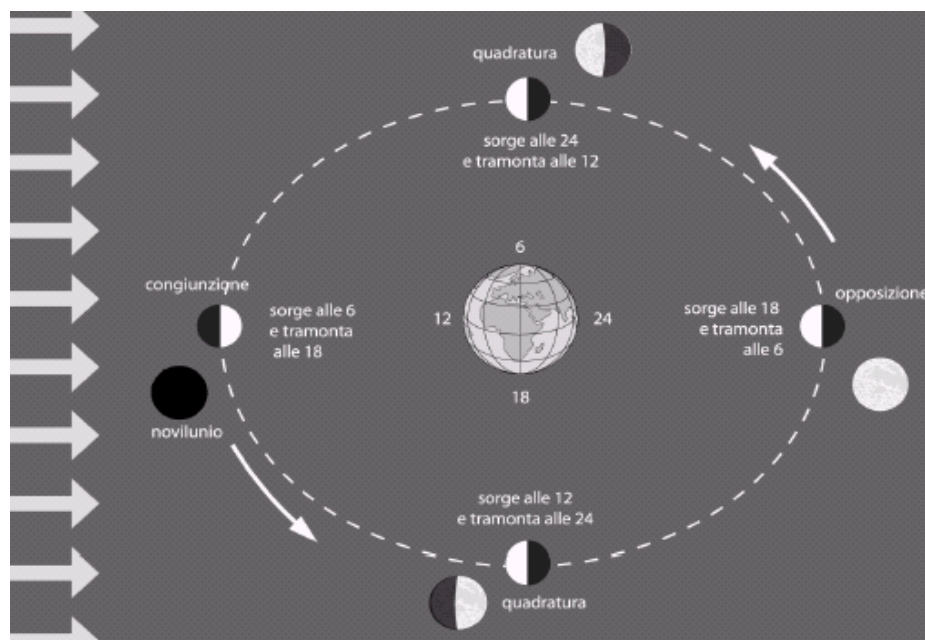
Si ha *novilunio* (N.L.) quando il Sole e la Luna sono sulla stessa longitudine eclittica ed il Sole si trova ad illuminare la faccia lunare non visibile dalla Terra, per cui la Luna è praticamente invisibile.

Successivamente, considerando la velocità di rotazione pari a circa  $12^\circ$  al giorno, appare come una sottile falce con la gobba rivolta a ponente.

Man mano che la Luna si allontana dal Sole la fase luminosa aumenta e si ha il *primo quarto* (P.Q.).

In questa fase la Luna si dice *crescente*. Dopo circa due settimane si ha il *plenilunio* (P.L.), in questa fase il Sole e la Luna sono in *opposizione eclittica*: la Luna sorge quando il Sole tramonta e tramonta quando il Sole sorge.

Successivamente inizia la fase *decrescente* in cui la gobba è rivolta a levante e comincia ad accostarsi sempre più al Sole mostrando l'*ultimo quarto* (U.Q.) fino a divenire una sottilissima striscia per poi sparire in una nuova fase di novilunio.



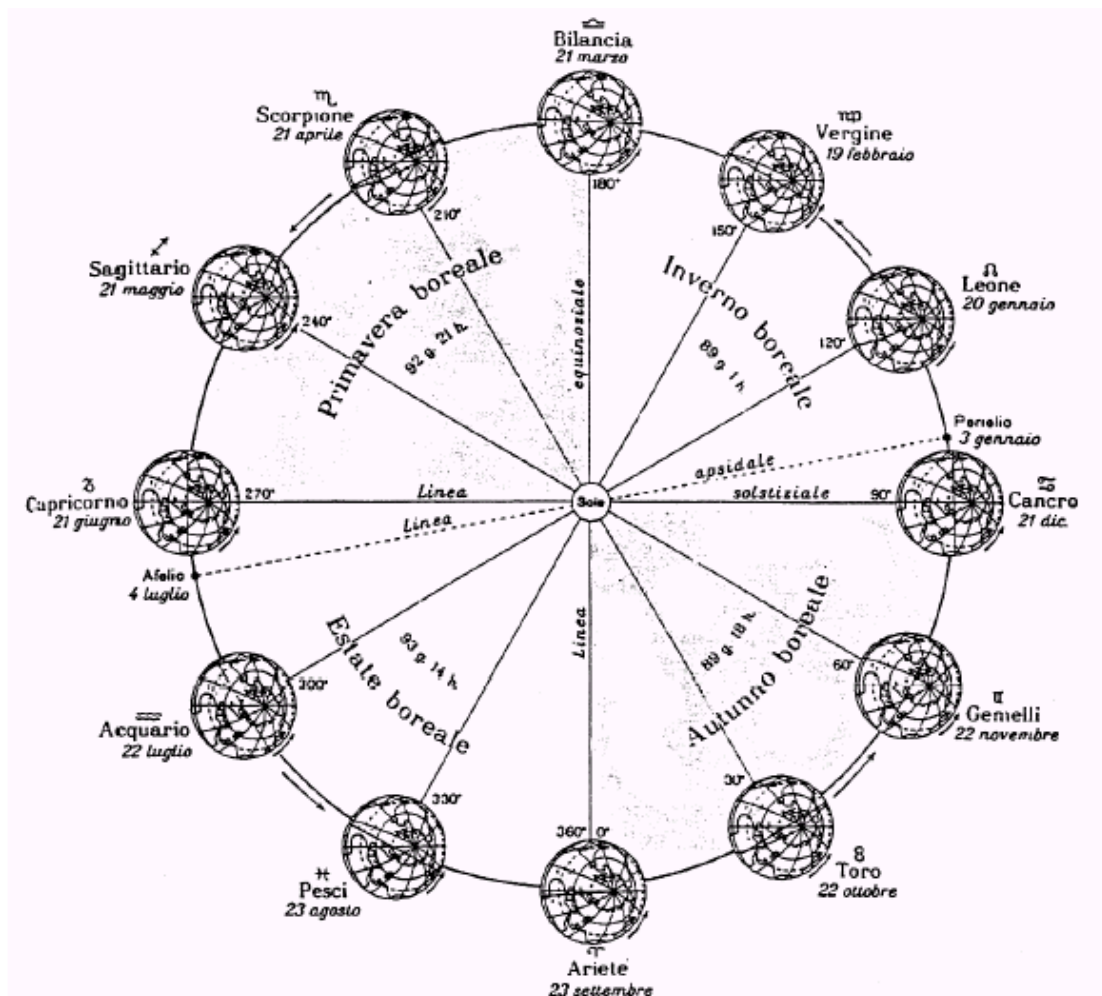
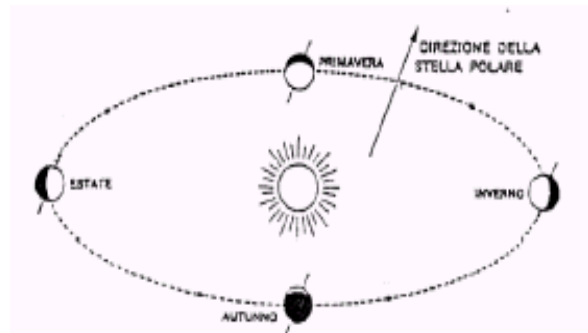
Come mostrato in figura le fasi di primo e ultimo quarto si dicono di **quadratura**. Quella di novilunio è detta di **congiunzione**, quella di plenilunio è detta di **opposizione**. Entrambe queste due condizioni si dicono anche **sizigie**. Alle diverse fasi lunari, che avvengono in istanti differenti da luogo a luogo, sono collegate le maree.

### 2.1.4. – I moti di rivoluzione e le Eclissi.

La Terra e gli altri pianeti girano intorno al Sole. Tali moti sono detti di rivoluzione.

Nel caso della Terra il moto di rivoluzione avviene mediamente in 365 giorni (anno solare convenzionale). La velocità di rivoluzione non è costante in quanto dipende dalla reciproca distanza tra il Sole e la Terra, contemporaneamente la velocità di rotazione terrestre varia per la stessa ragione e pertanto i raggi solari colpiscono la superficie terrestre con un angolo variabile di mese in mese. Ciò provoca l'alternarsi delle stagioni sulla Terra.

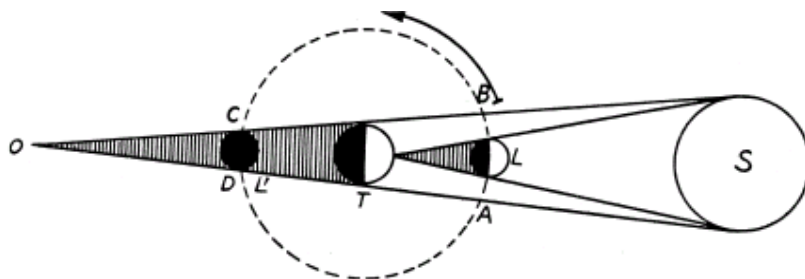
Ma non è questo il solo effetto del moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole. Un osservatore posto sulla superficie terrestre vede variare con continuità durante l'anno la porzione di cielo visibile la notte e le relative costellazioni. Durante i dodici mesi vedrà apparire in successione dodici particolari costellazioni che formano il cosiddetto **Zodiaco**, illustrato nella figura sottostante.



Le *eclissi* sono fenomeni dovuti alle reciproche posizioni che assumono il Sole, la Luna e la Terra. Si ha ***eclissi di Sole*** quando la Luna si interpone totalmente o parzialmente tra il Sole e la Terra (*L in figura*). Visti dalla Terra il Sole e la Luna sono in congiunzione e si ha il novilunio.

L'eclissi si dice **totale** se il disco della Luna copre interamente quello solare, si dice **anulare** nel caso in cui si ha una copertura parziale. Ciò dipende dalla distanza della Terra e della Luna; nelle eclissi di Sole la Luna si eclissa fino a sparire. Le eclissi di Sole presentano aspetti diversi da luogo a luogo della Terra e dipendono dal movimento di rotazione terrestre, di traslazione attorno al Sole e dal movimento di rotazione lunare.

L'***eclissi di Luna*** si ha quando è la Terra a trovarsi tra il Sole e la Luna (*L' in figura*) e questa si trova nel cono d'ombra della Terra. Visti dalla superficie terrestre il Sole e la Luna sono in opposizione e si ha il plenilunio. Un'eclissi lunare è visibile nello stesso istante e con la medesima fase da tutti i punti della Terra che hanno, in quell'istante, sopra l'orizzonte la Luna, la cui superficie appare rossastra.



In realtà il fenomeno delle eclissi non si verifica di frequente e, ad ogni sизигie, la Luna passa sopra o sotto il cono d'ombra prodotto dalla Terra senza che si produca l'eclissi, in quanto l'orbita lunare risulta inclinata rispetto al piano dell'eclittica.

Le eclissi si verificano solo quando la Luna, la Terra ed il Sole si trovano con i loro centri complanari all'eclittica. In un periodo di circa 18 anni si hanno in media 72 eclissi totali di cui 43 di Sole e 29 di Luna.

## 2.2. – Le Stelle.

Le stelle sono la maggioranza dei corpi celesti visibili. A causa della notevole distanza da dalla Terra appaiono puntiformi e sembrano fisse sulla sfera celeste. La luce da loro emessa è di differenti colori, il loro splendore non è fisso ed omogeneo, ma è soggetto a rapide variazioni e irregolari pulsazioni dovuto prevalentemente ai moti dei diversi strati dell'atmosfera terrestre.

Il Sole è la stella più vicina alla Terra.

Asseconda delle loro dimensioni reali, le stelle sono classificate in :

- **stelle nane** (più piccole del Sole)
- **stelle giganti** ( dal dimetro dalle 300 alle 450 volte quello del Sole).

Per completezza è necessario dire che esistono anche altri metodi di classificazione delle stelle in base alla loro età, alla loro composizione, al colore della luce emessa. La loro descrizione ed il loro studio esula però dall'astronomia nautica.

Alle stelle più luminose ed importanti è assegnato un nome (p.e. *Altair, Vega, Betelgeuse*, ecc.), le altre vengono indicate con dei numeri. Le stelle utilizzate in navigazione astronomica e riportate sulle Effemeridi Nautiche sono attualmente 66.

### 2.2.1. – Le Costellazioni.

Sono apparenti raggruppamenti di stelle che hanno mantenuto nel tempo la forma a cui si erano ispirati gli osservatori nell'assegnare i nomi di *origine mitologica* (Orione, Perseo, ecc..) o di *animali* (Leone, Pesci, Toro, ecc..) o di *oggetti* ( Grande e Piccolo carro, Botte, Bilancia, ecc..).

Le costellazioni attualmente in uso sono 88.



Nell'emisfero boreale, intorno al Polo Nord, è possibile osservare diverse costellazioni (*vedi figura*). Visibile a qualunque ora della notte è la costellazione dell'**Orsa Maggiore** o **Grande Carro**, costituita da sette stelle (Dubhe, Merak, Phecda, Megrez, Alioth, Mizar e Alkaid (o Benetnasch)) di cui quattro formano un quadrilatero detto carro e tre il timone. Prolungando di cinque volte il cateto inferiore del carro (*allineamento tra Merak e Dubhe*) si trova la **Stella Polare** che è l'ultima stella del timone che forma il **Piccolo Carro** o **Orsa Minore**.

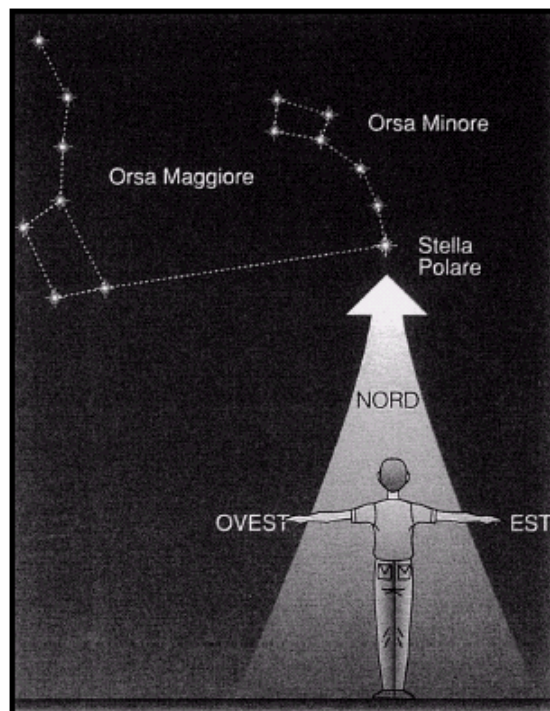
Altre costellazioni importanti dell'emisfero boreale sono Orione, Perseo, la Lira, l'Aquila ed il Cigno che con le loro stelle principali (Vega, Deneb ed Altair) formano il cosiddetto Triangolo estivo e Cassiopea che permette di individuare la Via Lattea. Nell'emisfero australe è di grande importanza per la navigazione la *Croce del Sud*, che assolve lo stesso ruolo della Polare per l'emisfero settentrionale.

### 2.2.2. – La Stella Polare.

Per il navigante è indispensabile riconoscere le stelle principali in quanto dalla loro osservazione è possibile determinare la posizione della nave (Fix o punto nave). In ciò aiuta molto il fatto che le stelle siano raggruppate nelle costellazioni. Un ulteriore aiuto deriva dall'uso degli *starfinder* o delle *carte celesti* che consentono di riconoscere le stelle con facilità.

Fondamentale è a questo scopo la Stella Polare così detta perché indica la posizione del Polo Nord con un'approssimazione di circa un grado. Mediante l'osservazione della Polare è anche possibile determinare la latitudine dell'osservatore.

La Polare è una stella doppia ossia formata da due nuclei, nonostante ciò non è tra le stelle più luminose (magnitudo 1,95).



### 2.2.3. – Il Sole.

Il Sole è una stella di medie dimensioni. Il suo diametro è 1.391.000 Km cioè circa 109 volte quello terrestre che è 12.700 Km. Il Sole è costituito per il 75% da idrogeno e per il 25% da elio. Contiene pochissimi metalli, formati a seguito della fusione nucleare in corso.

Il Sole non brilla in maniera uniforme ma sulla sua superficie sono presenti delle *macchie*, le parti più brillanti sono dette *facole*. Questo fenomeno è legato all'attività eruttiva e di circolazione della superficie solare (*fotosfera*), provocato dalle quantità di energia sviluppate nei processi descritti.

L'atmosfera del Sole, la cosiddetta *cromosfera*, corona esterna della fotosfera è osservabile solo durante le eclissi totali di Sole, ossia quando la Luna si frappone tra la Terra ed il Sole.

Il Sole oltre ad essere una incommensurabile fonte di energia regola la vita di bordo e rappresenta la base su cui andare a determinare tutti gli elementi necessari alla navigazione astronomica e tradizionale.

### 2.3. – Il Tempo e la sua misura.

La determinazione dell'ora esatta, riferita ad un punto fisso, ha rappresentato un notevole problema per la navigazione, fino a quando non venne adottata l'ora di Greenwich, meridiano rispetto al quale è determinata la longitudine di un luogo. Nel 1775 il problema fu risolto grazie all'invenzione del *cronometro*, ancora presente a bordo e regolato sull'ora media di Greenwich ( $T_m$ ), argomento che viene tuttora utilizzato per entrare nelle Effemeridi Nautiche allo scopo di determinare elementi utili per il calcolo astronomico.

Tutti i cronometri hanno un errore di misura e  $\mathbf{K}$  rappresenta la correzione assoluta del cronometro ottenuta per confronto tra l'ora indicata dal cronometro  $T_c$  e l'ora di Greenwich  $T_m$  fornita dal segnale orario:

$$T_m = T_c + K$$

Considerato che gli orologi comuni sono necessariamente regolati sull'ora locale del luogo dove si trova la nave mentre il cronometro è regolato sull'ora di Greenwich può determinarsi una ambiguità che talvolta può raggiungere le 12 ore. Per questa ragione la Terra è stata suddivisa in ventiquattro *fusi orari*, ciascuno ampio  $15^\circ$  di longitudine o un'ora di tempo medio, in ragione del fatto che il nostro pianeta compie un giro completo ( $360^\circ$ ) in 24 ore. Quando si passa da un fuso all'altro è necessario spostare gli orologi di un'ora avanti se si naviga verso est, di un'ora indietro se si naviga verso ovest. Ogni spostamento va registrato sul *Giornale di chiesuola*.

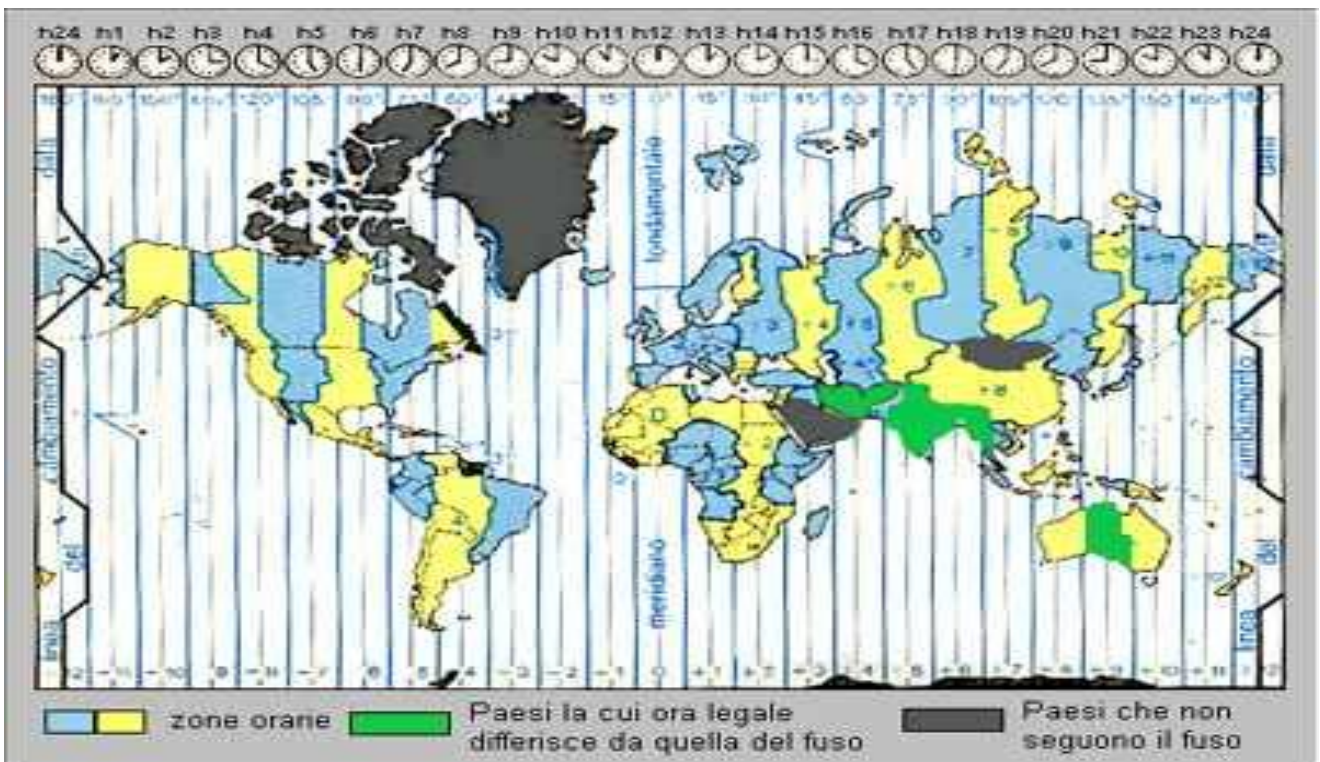
Per passare dall'ora locale  $t_m$  alla corrispondente ora di Greenwich  $T_m$  è sufficiente sommare algebricamente la longitudine  $\lambda$  del luogo secondo l'*equazione del tempo* :

$$T_m = t_m - \lambda \quad \text{o la sua inversa:} \quad t_m = T_m + \lambda$$

espressione che permette di ottenere l'ora di una qualsiasi località corrispondente ad una data ora di Greenwich.

Al posto della longitudine  $\lambda$ , espressa in ore, si usa talvolta la longitudine del fuso  $\lambda_f$  calcolata secondo la relazione:

$$\lambda_f = \frac{\lambda}{15^\circ} \quad \text{avendo cura di arrotondare all'intero più vicino gli eventuali decimali.}$$



### 2.3.1 – La Linea di separazione delle date.

In ogni istante sulla Terra vi sono zone con due date diverse. Le località con date diverse sono separate da due meridiani di cui uno è *mobile*. Si tratta del meridiano passante per i luoghi che hanno il Sole in meridiano (*mezzogiorno*). L'altro meridiano è *fisso* per convenzione ed è **l'antimeridiano di Greenwich** ( $\pm 180^\circ$ ). Entrambi vengono detti **linea di separazione delle date**.

Quando si oltrepassa l'antimeridiano di Greenwich con rotta verso est si diminuisce la data di un giorno. Se invece si oltrepassa l'antimeridiano di Greenwich navigando verso ovest si deve aumentare la data di un giorno. L'antimeridiano di Greenwich è detta anche *linea di confusione delle date*, perché ai suoi punti competono entrambe le date.

### 2.4 – Le Effemeridi Astronomiche e nautiche.

Gli elementi caratteristici e variabili nel tempo degli astri e dei pianeti (*ascensioni rette, declinazioni, dimensioni apparenti, ecc..*) sono calcolate in anticipo e riportate in tavole dette **Effemeridi Astronomiche**. Le Effemeridi astronomiche contengono per anno molte informazioni, alcune di esse non necessarie ai naviganti, per cui sono state create delle pubblicazioni nautiche che contengono solo quegli elementi utili ed essenziali le **Effemeridi Nautiche**, appunto, che in Italia vengono pubblicate annualmente dall'Istituto Idrografico della Marina.

In esse sono riportate per ciascun giorno dell'anno e per ogni ora intera le coordinate orarie delle stelle (*coascensione retta*  $360^\circ - \alpha$  e *declinazione*  $\delta$ ), l'angolo orario del Sole ( $T_v$ ) e la sua declinazione  $\delta$ , il tempo sidereo  $T_s$ , l'angolo orario della Luna ( $T_\zeta$ ) e dei pianeti osservabili ( $T_\bullet$ ), oltre ad altri elementi quali gli istanti di inizio e fine dei crepuscoli nautici, l'istante del passaggio al meridiano del Sole, della Luna (con le sue fasi) e dei pianeti.

I tempi sono espressi in tempo medio e sono riferiti al meridiano di Greenwich.

In appendice alle Effemeridi Nautiche si trovano delle tavole per la conversione dei minuti e dei secondi di  $T_m$  nel corrispondente intervallo di angolo orario.

Sono allegate, inoltre:

- le istruzioni per l'uso delle Effemeridi
- delle tavole per la correzione delle altezze del Sole, della Luna, delle stelle e dei pianeti
- la tavola per la determinazione della latitudine mediante l'osservazione della Polare
- le tavole relative alla conversione del tempo in arco e viceversa
- la tavola con i nomi propri ed i corrispondenti nomi astronomici delle 66 stelle
- la mappa delle eclissi di Sole e di Luna previste nell'anno
- la tavola per la determinazione del cammino percorso dalla nave in un dato intervallo di tempo e a una data velocità.