

Corso Navigazione

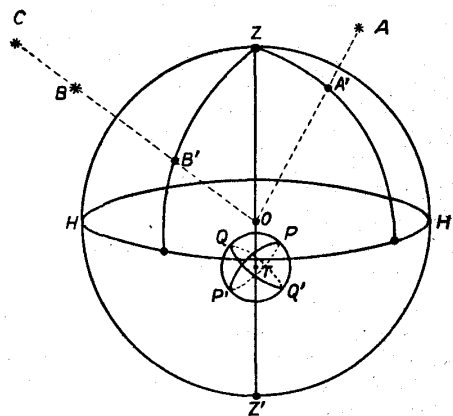
PARTE II - NAVIGAZIONE ASTRONOMICA -

Sfera celeste.

Gli astri disseminati nello spazio, pur essendo a distanze molto differenti dalla Terra, appaiono a un osservatore tutti egualmente distanti, quasi fossero disposti su una superficie sferica di raggio grandissimo, il cui centro sia l'occhio dell'osservatore, e della quale l'osservatore veda soltanto la metà, detta volta celeste.

Una tale superficie sferica, puramente illusoria, ha suggerito l'idea di una sfera rappresentativa delle direzioni degli astri, detta sfera celeste, di raggio arbitrario, la quale semplifica lo studio dei movimenti di essi, e viene usata per la risoluzione di numerosi problemi di astronomia sferica, per i quali non è necessario conoscere le distanze degli astri, ma soltanto le loro direzioni.

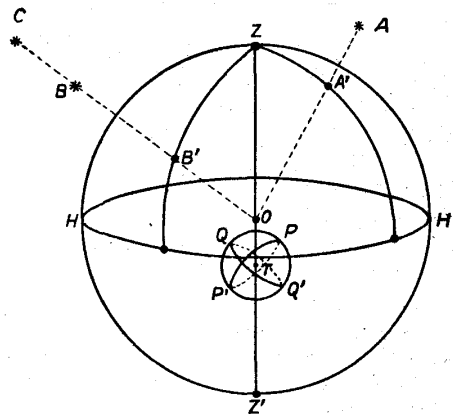
Sia in O l'occhio dell' osservatore, centro della sfera rappresentativa, e sia T il centro della Terra. La semiretta OA indicante la direzione dell'astro A , taglia la Superficie della sfera rappresentativa in A' : il punto A' è l'immagine o *rappresentazione sferica* della direzione OA dello spazio. Analogamente la direzione OB dell'astro B ha per immagine il punto B' . I punti A' e B' sono anche le *proiezioni* degli astri A e B sulla superficie sferica rappresentativa. Come è stato fatto per gli astri A e B , si possono proiettare sulla superficie sferica rappresentativa tutti gli astri con semirette uscenti dal suo centro O . Se nella stessa direzione OB , per esempio, vi fossero due astri B, C , essi apparirebbero come un astro solo e verrebbero proiettati nello stesso punto B' .



Supporre gli astri situati sulla sfera rappresentativa, significa sostituirli con le loro proiezioni A' e B' , senza tener conto delle loro distanze.

Se la Sfera rappresentativa ha per centro l'occhio dell'osservatore situato in un punto O della Terra, essa prende il nome di *sfera celeste locale* o semplicemente *sfera locale*; se il centro della sfera coincide col centro della Terra essa prende il nome di *sfera celeste geocentrica*; se col centro del Sole, *sfera celeste eliocentrica*, e così via.

Si chiama **sfera celeste locale** di un osservatore, una sfera di raggio arbitrario, sulla cui superficie si proiettano gli astri, con semirette uscenti dall'occhio dell'osservatore posto al centro della sfera.



Si può anche definire: **sfera celeste locale** di un osservatore è una sfera rappresentativa delle direzioni degli astri, visti dal punto della Terra occupato dall' osservatore.

Analoghe definizioni si possono dare per la sfera celeste *geocentrica* ed *eliocentrica*.

Una materializzazione della sfera celeste è un *globo celeste*, sul quale siano disegnati gli astri riuniti in costellazioni.

La maggior parte degli astri (stelle) sono a distanze talmente grandi dalla Terra, che le due sfere celesti, locale e geocentrica, si possono sostituire l'una all'altra senza errore sensibile: e ciò perchè le due direzioni dello stesso astro relative a due osservatori supposti rispettivamente sulla superficie della Terra e al centro della Terra risultano parallele tra loro e sono quindi rappresentate da una stessa immagine.

Ciò significa che i due osservatori vedrebbero gli astri *nelle stesse direzioni*; e quindi, materializzando le due sfere celesti relative ad esse in due globi celesti, questi due globi risulterebbero *identici*, con le costellazioni aventi le stesse forme e disposte nel medesimo ordine.

Verticale - Orizzonte - Zenit – Nadir

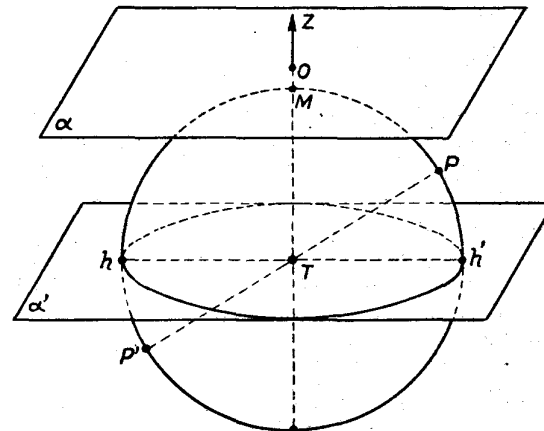
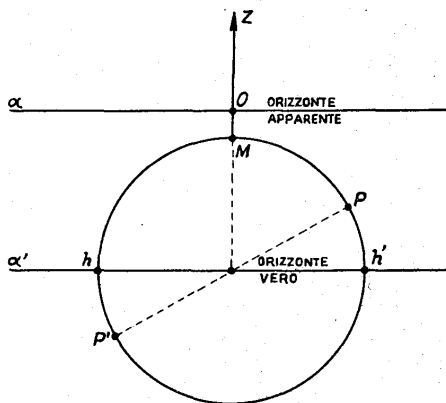
Si chiama **verticale** di un punto O la retta definita dalla direzione della forza di gravità in quel punto: è determinabile fisicamente col filo a piombo.

Nell'ipotesi della Terra sferica la verticale coincide col raggio geocentrico.

Si chiama **orizzonte apparente** di un osservatore il piano a perpendicolare alla verticale, passante per l'occhio dell'osservatore.

Si chiama **orizzonte vero** o **astronomico** di un osservatore il piano a' perpendicolare alla verticale dell'osservatore passante per il centro della Terra.

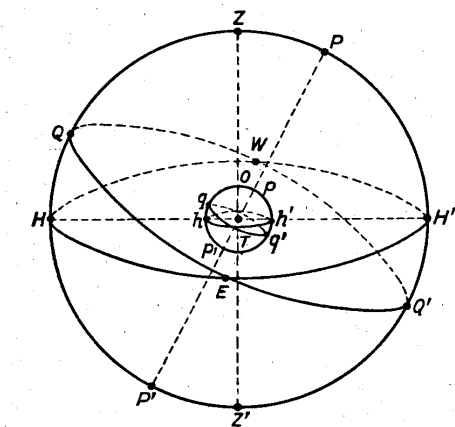
L'orizzonte vero taglia la sfera terrestre secondo un circolo massimo hh' detto anche esso orizzonte vero o astronomico.



Zenit e nadir di un osservatore sono i due punti diametralmente opposti nei quali la verticale dell'osservatore taglia la superficie della sfera celeste.

Orizzonte astronomico o vero di un osservatore è, sulla sfera celeste, il circolo massimo secondo il quale il piano normale alla verticale dell'osservatore, passante per il centro della Terra, taglia la sfera celeste.

Poiché la verticale ZZ' è perpendicolare al piano dell'orizzonte astronomico $HEH'W$, lo zenit e il nadir sono i poli dell'orizzonte astronomico.

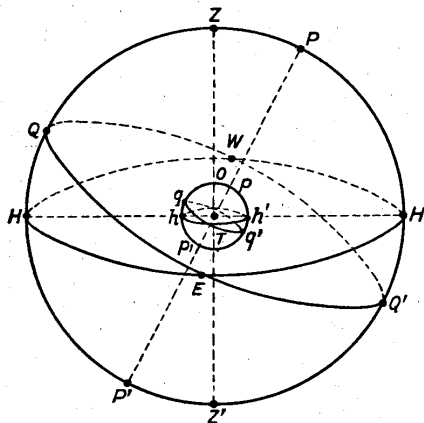


L'orizzonte astronomico divide la sfera celeste in due emisferi, dei quali quello che contiene lo zenit si dice *emisfero visibile*; l'altro, che contiene il nadir, dicesi *emisfero invisibile*.

Equatore celeste - Poli celesti elevato e depresso.

Se dal centro T della sfera terrestre, sulla quale la circonferenza massima qq' è l'equatore, si proiettano tutti i punti di questa sulla sfera celeste, si ottiene la circonferenza massima $QEQ'W$ che è l'equatore celeste.

Equatore celeste è la proiezione, sulla superficie della sfera celeste, dell'equatore terrestre, fatta dal centro della Terra. L'equatore celeste si può anche considerare come l'intersezione con la sfera celeste del piano dell'equatore terrestre.

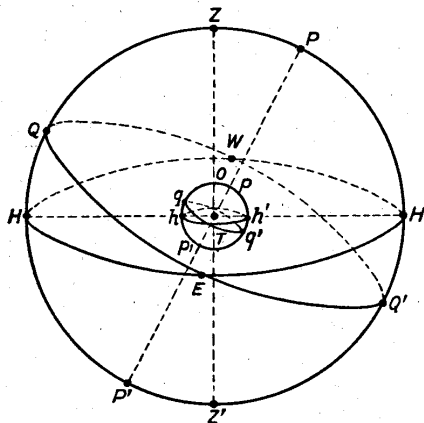


Rispetto all'orizzonte, il polo P , compreso nell'emisfero visibile, si dice *polo elevato*, o *visibile*; l'altro P' , compreso nell'emisfero invisibile, si dice *polo depresso* o *invisibile*.

Si può anche definire: **polo elevato** o **visibile** è *il polo celeste più vicino allo zenit*; **polo depresso** o **invisibile**, *il polo celeste più vicino al nadir*.

Per un osservatore situato nell'emisfero nord (e cioè la cui latitudine è nord) è elevato il polo celeste nord; per un osservatore situato nell'emisfero sud, il polo elevato è il polo celeste sud.

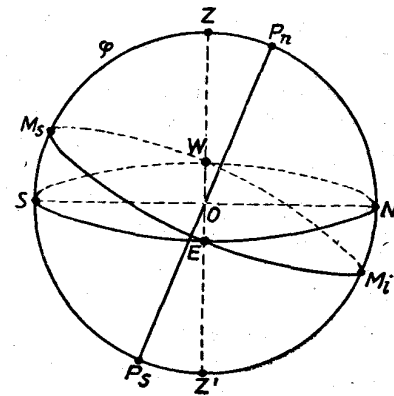
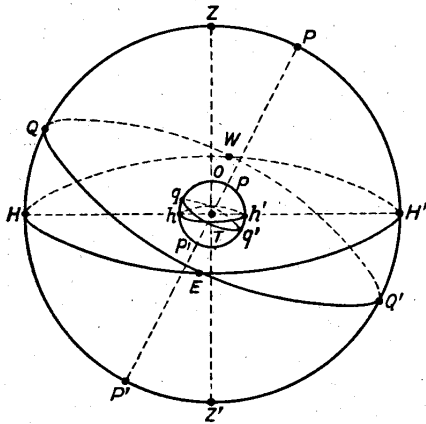
L'equatore celeste $QEQ'W$ divide la sfera celeste in due emisferi: di essi è detto *emisfero nord* quello che contiene il polo celeste nord; *emisfero sud*, quello che contiene il polo celeste sud.



Meridiano celeste. Mezzocielo.

Si chiama **meridiano celeste** o **meridiano dell'osservatore** il cerchio massimo che contiene i poli dell'equatore e dell'orizzonte, cioè il cerchio massimo $PZP'Z'$ che contiene i poli celesti P e P' , lo zenit e il nadir dell'osservatore.

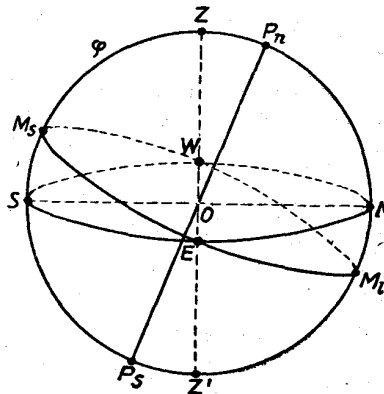
Il meridiano superiore taglia l'equatore celeste nel punto Q detto *mezzocielo superiore* (M_s); il meridiano inferiore taglia l'equatore celeste nel punto Q' detto *mezzocielo inferiore* (M_i),



Linea nord-sud - Linea est-ovest.

Sia O il centro di una sfera celeste geocentrica, relativa ad un osservatore situato nell'emisfero nord: ciò significa che la latitudine dell'osservatore è di specie nord, e il polo elevato P_n è, perciò, il polo nord; il polo depresso, il polo sud P_s . Sia $M_s E M_i W$ l'equatore celeste, sul quale M_s e M_i siano rispettivamente il mezzocielo superiore e inferiore: e sia $N E S W$ l'orizzonte astronomico.

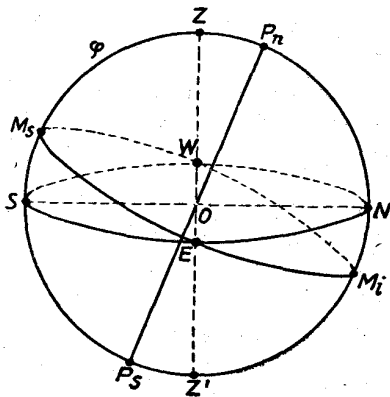
• Il piano del meridiano celeste taglia il piano dell'orizzonte secondo una linea retta $N S$, detta *linea nord-sud* o *linea meridiana*: i punti N ed S nei quali la linea meridiana taglia la superficie della sfera celeste si dicono rispettivamente *punto cardinale nord* e *punto cardinale sud* dell'orizzonte.



Il punto cardinale nord è il punto dell' orizzonte astronomico più vicino al polo celeste nord P_n ; il punto cardinale sud, il più vicino al polo celeste sud P_s . E dunque: i *punti cardinali nord e sud* sono i *punti dell'orizzonte più vicini agli omonimi poli celesti*.

Altezza del polo - Latitudine - Colatitudine.

• Si chiama *latitudine* (f) di un osservatore l'arco di meridiano ($=90^\circ$) compreso fra l'equatore e il punto occupato sulla Terra dall'osservatore, ed è di specie nord o sud secondo che il punto si trova nell'emisfero nord o nell'emisfero sud della Terra.



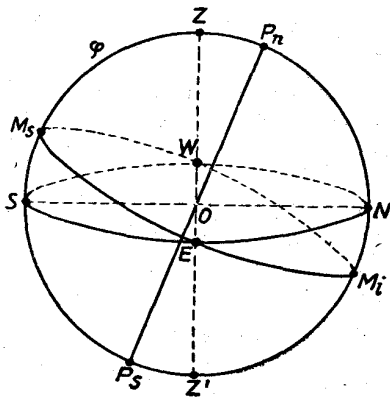
Poiché la proiezione sulla sfera celeste del punto occupato dall'osservatore è lo zenit Z , la proiezione del suo meridiano è il meridiano superiore $P_n Z P_s$; la proiezione dell'equatore terrestre è l'equatore celeste; risulta che la *latitudine (f) è misurata, sulla sfera celeste, dall' arco di meridiano celeste ($=90^\circ$) compreso fra l'equatore e lo zenit, cioè fra il mezzocielo superiore M , e lo zenit Z :*

$M_s Z = a$, dalla figura risulta:

$M_s Z + Z P_n = 90^\circ$ e $Z P_n + P_n N = 90^\circ$ e dalle due:

$M_s Z + Z P = Z P_n + P_n N$ da cui:

$M_s Z = P_n N = a$

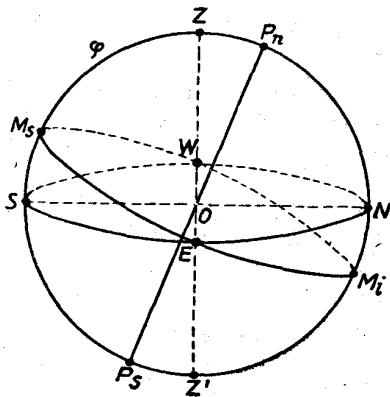


Cioè: l'arco di meridiano celeste ($=90^\circ$) compreso fra il polo elevato e l'orizzonte è eguale alla latitudine dell'osservatore. Tale arco, distanza sferica tra il polo elevato e l'orizzonte, è *un'altezza*. (vedi in seguito); perciò: *l'altezza del polo celeste rilevato sull'orizzonte di un osservatore è eguale alla latitudine dell'osservatore*.

Il complemento della latitudine, e cioè la distanza sferica P_nZ tra il polo elevato e lo zenit si chiama *colatitudine* (c). Per definizione:

$$c = 90^\circ - a$$

Dunque: Si chiama **colatitudine** (c) di un osservatore l'arco di meridiano celeste ($=90^\circ$), compreso fra il polo elevato e lo zenit; o anche, la distanza sferica fra il polo elevato e lo zenit.

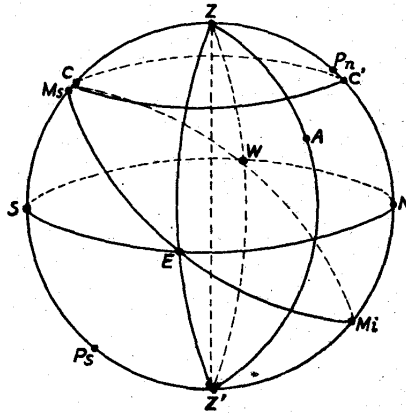


Cerchi verticali . Verticale nord. Verticale sud - Almicantarati.

Un piano che contiene la linea verticale si dice piano verticale, ed è perpendicolare all'orizzonte.

Ogni piano verticale taglia la sfera celeste secondo un cerchio massimo passante per lo zenit e il nadir, detto *cerchio verticale*, che taglia normalmente l'orizzonte, come $ZEZ'W$.

Un cerchio verticale è diviso dalla linea verticale ZZ' in due semicerchi, ciascuno dei quali è chiamato *semicerchio verticale* o semplicemente *verticale*. Così, per verticale dell'astro A s'intende il semicerchio ZAZ' terminato dallo zenit Z e dal nadir Z' e passante per A .

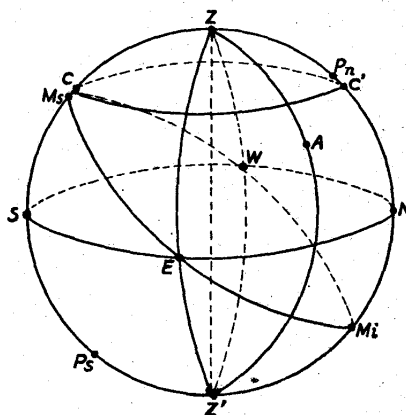


Tra i verticali sono notevoli: il *verticale nord* ZP_nZ' che contiene il polo celeste nord; il *verticale sud* ZP_sZ' che contiene il polo celeste sud.

Verticale nord e sud coincidono col meridiano dell' osservatore.

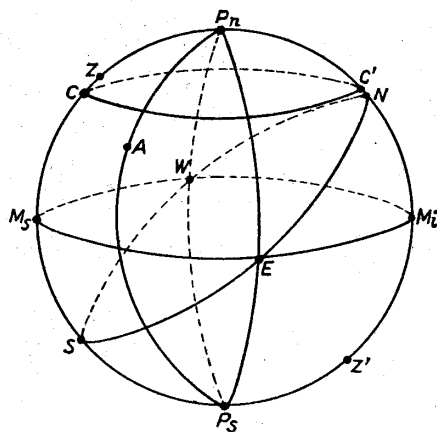
Si chiama **primo verticale** il cerchio massimo. $ZEZ'W$ passante per i punti cardinali est ed ovest, per lo zenit e per il nadir: i suoi due rami sono il *verticale est* o **primo verticale orientale** ZEZ' e il *verticale ovest*, o **primo verticale occidentale** ZWZ' .

Poiché i punti cardinali nord e sud sono a 90° di distanza angolare da tutti i punti del primo verticale, essi sono i poli del primo verticale. Si chiama **almicantarato** ogni cerchio minore CC' parallelo all'orizzonte.



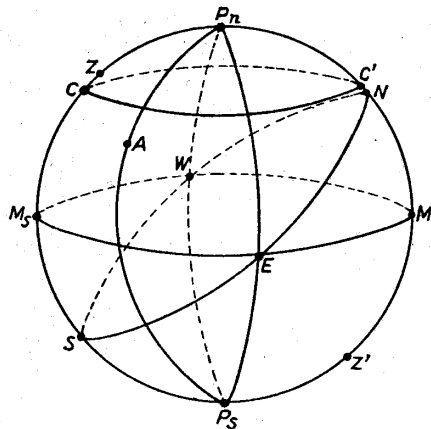
Si chiama **cerchio orario** o **cerchio di declinazione** ogni cerchio massimo (come P_nEP_sW) passante per i poli celesti. I cerchi orari sono perpendicolari all'equatore celeste MEM_s . Ogni cerchio orario è diviso dall'asse celeste P_nP_s in due semicerchi, ciascuno dei quali si chiama *semicerchio orario* o semplicemente *orario*. Così, per orario dell'astro A s'intende il semicerchio P_nAP_s terminato dai due poli celesti e passante per A .

Tra gli orari sono notevoli: l'orario P_nZP_s che contiene lo zenit e che è stato già definito meridiano superiore; l'orario $P_nZ'P_s$ che contiene il nadir e che è stato già definito meridiano inferiore. Il meridiano dell'osservatore è contemporaneamente un cerchio orario, perchè contiene i poli celesti, e un cerchio verticale, perchè contiene zenit e nadir, poli dell'orizzonte.



Si chiama **primo orario** il cerchio massimo $P_nEP_s W$ passante per i poli celesti e per i punti cardinali est ed ovest; i suoi due rami sono: il primo orario orientale P_nEP_s e il primo orario occidentale $P_n W P_s$.

Si chiama **parallelo di declinazione** o **parallelo** celeste ogni cerchio minore CC' parallelo all'equatore celeste.

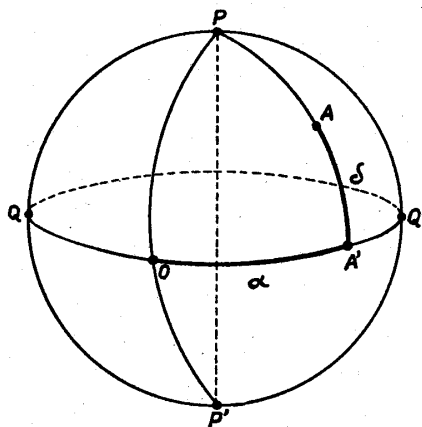


Generalità sui sistemi di coordinate per la definizione della posizione degli astri sulla sfera celeste.

Per definire la posizione di un punto della superficie sferica celeste si può far uso di sistemi di coordinate sferiche *ortogonali* e *polari*.

Per le *coordinate ortogonali* viene assunto un punto P , come *polo* del sistema, e come *asse polare* il diametro PP' passante per esso. Il cerchio massimo QQQ' normale all'asse polare si assume come *base* o *cerchio fondamentale* di riferimento.

Si chiamano *cerchi polari* i cerchi massimi passanti per il polo, e semicerchi polari i loro rami, come POP' : tra questi ne viene scelto uno come *semicerchio origine*, o *semicerchio secondario di riferimento*.



Poiché la base $Q O Q'$, e il semicerchio origine POP' sono perpendicolari fra loro, si è stabilito così un sistema di *coordinate sferiche ortogonali*.

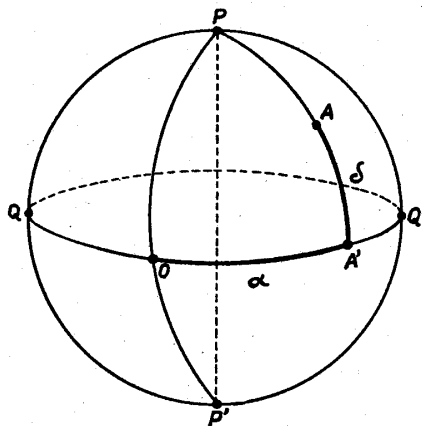
Un punto A viene definito dalle due coordinate:

$$A'A = d \quad \text{e} \quad OA' = a$$

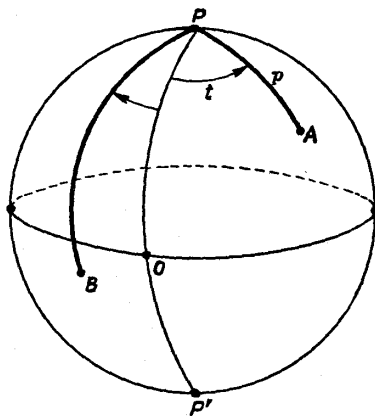
La coordinata d viene misurata da 0° a 90° dalla base verso i poli, positivamente verso P , negativamente verso P' , o viceversa.

La coordinata a viene misurata sul cerchio base, dall'origine O al piede A' del semicerchio polare $PA A'$ passante per il punto che si considera, nel senso orario o antiorario da 0° a 360° , oppure da 0° a 180° nei due sensi.

Si chiamano paralleli i cerchi minori paralleli alla base QQ' .



Per le coordinate sferiche polari viene assunto un punto P come polo del sistema e un semicerchio massimo POP' come semicerchio origine. Un punto A viene definito dall'angolo sferico $OPA = t$ detto *anomalia*, e dall'arco di cerchio massimo P A = p, detto *arco vettoriale*. L'anomalia t viene contata da 0° a 360° nel senso antiorario o nel senso orario a partire dal semicerchio origine, oppure da 0° a 180° nei due sensi. L'arco vettoriale viene contato da 0° a 180° dal polo P verso il punto che si considera.



In Astronomia sono in uso principalmente quattro sistemi di coordinate sferiche, due detti locali, perchè dipendono dalla posizione dell'osservatore, due detti uranografici, indipendenti da tale posizione; essi sono:

a) Sistema (locale) di coordinate *orizzontali*, o *azimutali*, o *altazimutali*, che ha per *base l'orizzonte astronomico*; per *polo*, lo *zenit*; per *semicerchio origine*, il *verticale nord*.

b) Sistema (locale) di coordinate *orarie*, che ha per *base l'equatore celeste*; per *polo*, il *polo celeste elevato*; per *semicerchio origine*, il *meridiano superiore*.

c) Sistema uranografico *equatoriale*, che ha per *base l'equatore*; per *polo*, il *polo celeste nord*; per *semicerchio origine*, il *coluro degli equinozi*.

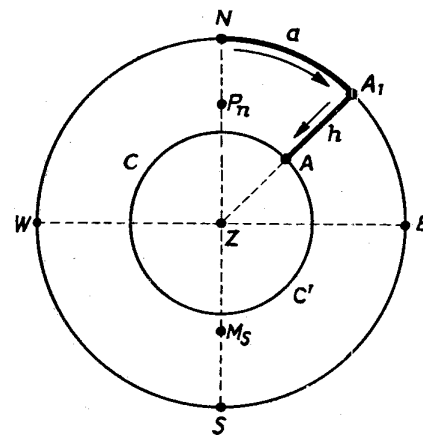
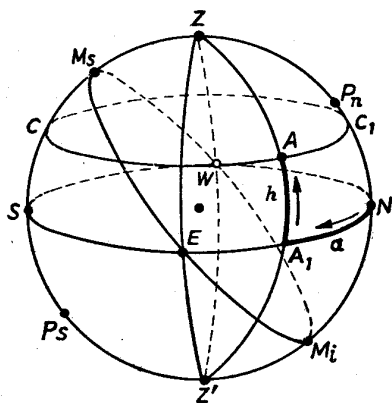
d) Sistema uranografico *eclittico*, che ha per *base l'eclittica*; per *polo*, il *polo nord* di questo cerchio massimo; per *semicerchio origine*, il *meridiano d'eclittica* passante per il *punto vernale*.

Coordinate locali orizzontali, altazimutali o azimutali.

Sia P_n il polo elevato, Z lo zenit, $NESW$ l'orizzonte astronomico, base del sistema delle coordinate altazimutali, semicerchio origine del quale è il verticale nord ZN . Di un astro A si traccino il verticale ZAA_1 e l'almicantarato CAC_1 .

Le coordinate altazimutali dell'astro A sono:

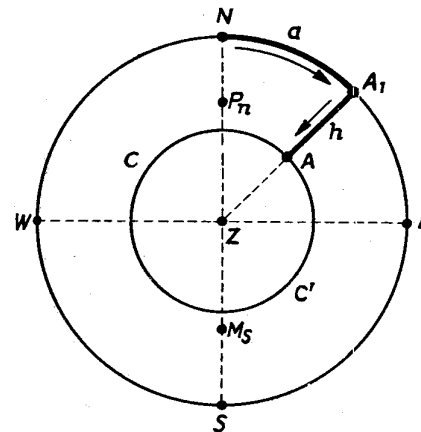
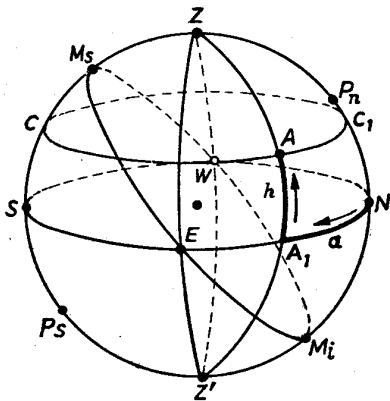
- 1° l'altezza angolare o semplicemente altezza $A_1A = h$;
- 2° l'azimut $N A_1 = a$



Si dice **altezza** di un astro la distanza sferica dell' astro dall' orizzonte; o anche: l'arco di verticale dell'astro ($= 90^\circ$) compreso fra l'orizzonte e l'astro, contato da 0° a 90° positivamente dall'orizzonte verso lo zenit, e negativamente dall'orizzonte verso il nadir.

Si chiama **azimut** (a) di un astro l'arco di orizzonte compreso fra il punto cardinale nord e il piede del verticale dell'astro, contato da 0° a 360° nel senso orario, per un osservatore che dallo zenit guardi l'orizzonte. O anche:

Si chiama **azimut** di un astro l'angolo sferico NZA , che ha per vertice lo zenit, formato tra il verticale nord e il verticale dell'astro, contato da 0° a 360° dal verticale nord nel senso orario.



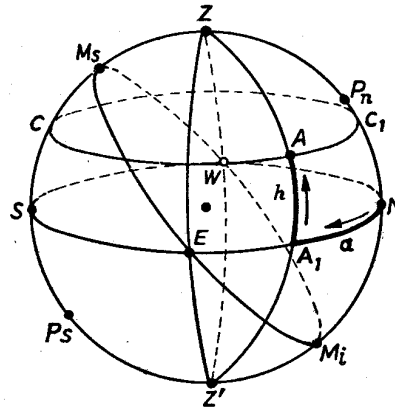
Si chiama **verticale** il luogo dei punti della sfera celeste che hanno il medesimo azimut.

Analogamente, definita l'altezza, poichè tutti i punti di un almicantrat hanno la stessa altezza, si può definire:

Si chiama **almicantrat** il luogo dei punti della sfera celeste che hanno la medesima altezza.

La distanza sferica tra lo zenit e il polo elevato è eguale al complemento della latitudine dell' osservatore, cioè alla colatitudine.

L' altezza del mezzocielo superiore è eguale alla colatitudine dell' osservatore.

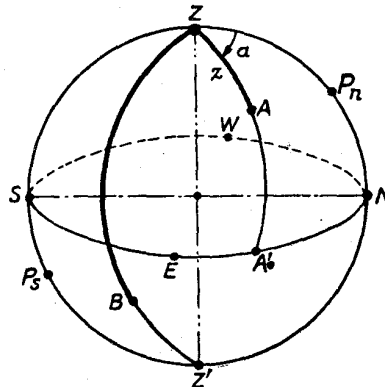


Distanza zenitale.

Talvolta, invece dell'altezza, è utile considerare la distanza zenitale $ZA = z$

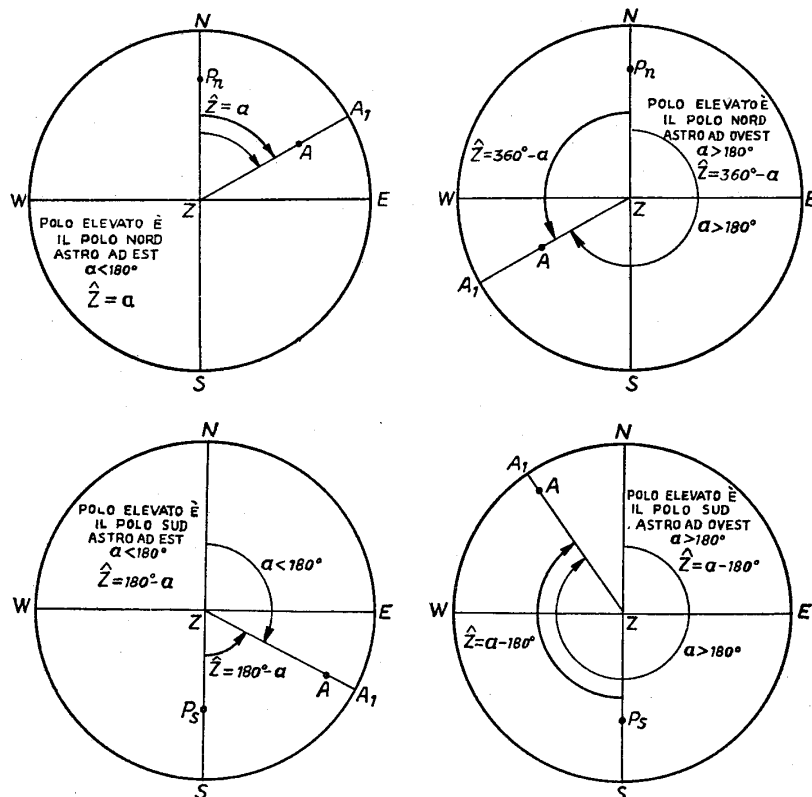
Si chiama **distanza zenitale** di un astro la distanza sferica tra lo zenit e l'astro; o anche: l'arco di verticale dell'astro (= 180°) compreso tra lo zenit e l'astro, contata da 0° a 180° dallo zenit verso l'astro.

Di solito si considerano astri sopra l'orizzonte, per cui la distanza zenitale risulta eguale al complemento dell'altezza.



Angolo azimutale. - Nei calcoli nautici, invece dell'azimut, e più semplice talvolta servirsi dell'angolo azimutale, che non supera il valore di 180° .

Si chiama angolo azimutale (Z) di un astro l'angolo sferico ($=180^\circ$) formato tra il verticale omonimo del polo elevato (nord 0 sud) e il verticale dell'astro, ed è di specie est o di specie ovest secondo che l'astro è ad est 0 ad ovest del meridiano.



Relazione fra un arco di orizzonte e un arco simile di almicantrat.

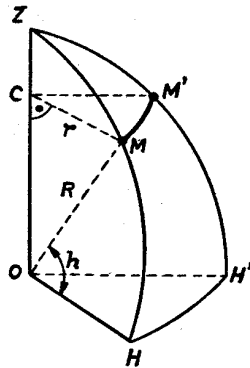
Sia Z lo zenit, HH' un arco di orizzonte, MM' un arco simile di almicantrat (compresi entrambi fra gli stessi verticali ZMH, ZM'H'). Sia O il centro dell'orizzonte di raggio $R = OH = OM$; sia C il centro dell'almicantrat di raggio $r = CM$ e di altezza $MOH = h$.

Dal triangolo MCO, rettangolo in C, nel quale $COM = 90^\circ - h$ e quindi

$CMO = h$, si ricava:

$$CM = OM \cos OMC$$

Dunque un arco di almicantrat è eguale all' arco simile di orizzonte moltiplicata per il coseno della sua altezza.

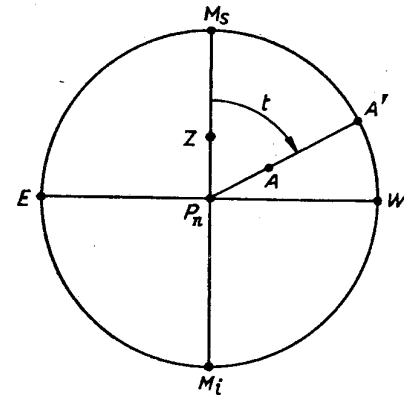
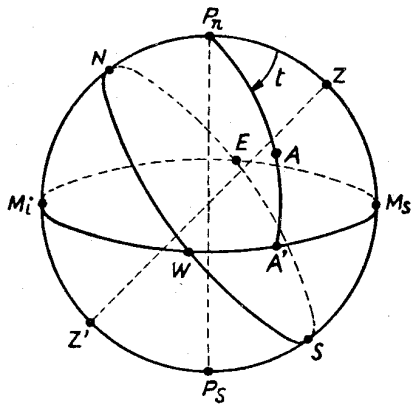


Coordinate locali orarie.

Sia P_n il polo elevato, Z lo zenit, $NESW$ l'orizzonte, $M_sE M_i W$ l'equatore celeste, base del sistema di coordinate orarie, semicerchio origine del quale è il meridiano superiore P_nZP_s . Di un astro A si tracci l'orario P_nAA' . Le coordinate orarie dell'astro A sono:

1° la *declinazione* $A'A = d$;

2° l'*angolo orario* od *ora dell'astro* o *tempo dell'astro* $M_sA' = t$.



Si chiama **declinazione** (d) di un astro la distanza sferica dell'astro dall'equatore; o anche: l'arco di orario dell'astro ($=90^\circ$) compreso fra l'equatore e l'astro, contato da 0° a 90° dall'equatore verso i poli; ed è di specie nord se l'astro si trova nell'emisfero nord, di specie sud se l'astro si trova nell'emisfero sud.

Si chiama **angolo orario di un astro** (t) l'angolo sferico che ha per vertice il polo elevato, formato tra il meridiano superiore e l'orario dell'astro; si conta da 0° a 360° (o da 0h a 24h) sull'equatore, dal mezzocielo superiore al piede dell'orario dell'astro, nel senso orario per un osservatore che guardi l'equatore dal polo nord.

Si chiama **orario** (semicerchio) il luogo dei punti della sfera celeste che hanno il medesimo angolo orario.

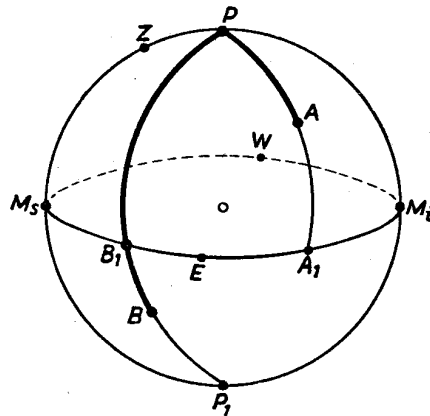
Si chiama **parallelo celeste** o **parallelo di declinazione** il luogo dei punti della sfera celeste che hanno la medesima declinazione.

Distanza polare.

Talvolta, invece della declinazione $a = A1A$ è utile considerare nei calcoli nautici la distanza polare $p = P A$.

*Si chiama **distanza polare** di un astro, la distanza sferica tra il polo elevato e l'astro; o anche: l'arco di orario ($= 180^\circ$) compreso fra il polo elevato e l'astro.*

La distanza polare di un astro la cui declinazione è dello stesso nome della latitudine, è il complemento della declinazione.

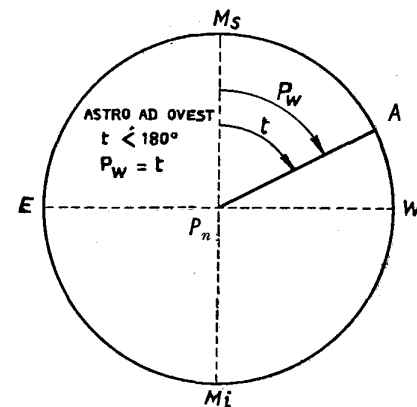
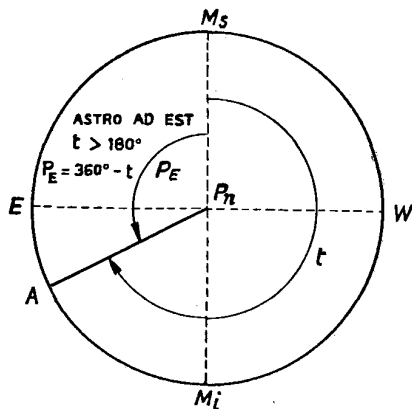


Angolo al polo.

Nei calcoli nautici, invece dell'angolo orario (t) è opportuno servirsi talvolta dell'*angolo al polo* (P) che non supera il valore di 180° e viene misurato dal *meridiano superiore* verso est e verso ovest.

Si chiama **angolo al polo** (P) di un astro l'angolo sferico ($=180^\circ$) formato tra il meridiano superiore e l'orario dell'astro; si conta da 0° a 180° (o da $0h$ a $12h$) dal meridiano superiore verso est o verso ovest secondo che l'astro è nell'emisfero orientale o nell'emisfero occidentale rispetto al meridiano dell'osservatore.

Per non creare equivoci, è bene far seguire il valore numerico dell'angolo al polo dal nome E o W.



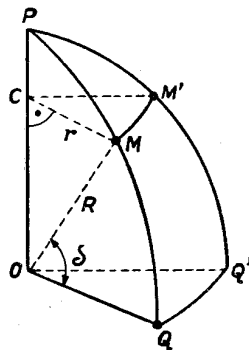
Relazione Ira un arco di equatore e un arco simile di parallelo di declinazione e di parallelo terrestre.

Siano P un polo celeste, QQ' un arco di equatore, MM' un arco simile di parallelo di declinazione (compresi entrambi fra gli stessi orari PMQ, P M'Q'). Si deduce che:

un arco di parallelo di declinazione è eguale all' arco simile di equatore moltiplicato per il coseno della sua declinazione.

Ne consegue che :

un arco di parallelo è eguale all' arco simile di equatore moltiplicato per il coseno della sua latitudine.



Osservazioni sui sistemi locali.

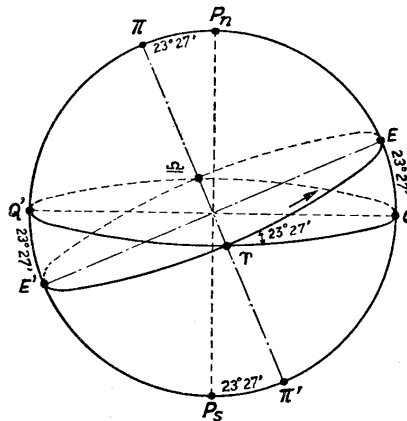
I due sistemi di coordinate azimutali e orarie finora studiati dipendono dalla posizione dell'osservatore sulla superficie della terra, e perciò sono detti locali. Infatti, spostandosi l'osservatore sulla Terra, si sposta, sulla sfera celeste, lo zenit, il suo orizzonte astronomico e il suo meridiano celeste: per cui, *nello stesso istante* le coordinate azimutali e le coordinate orarie di un astro non sono eguali per due osservatori situati in punti diversi della Terra. E, più precisamente, poichè i due osservatori hanno due distinti orizzonti e due distinti verticali nord, non sono eguali le due altezze simultanee e i due azimut simultanei dello stesso astro; poichè i due osservatori hanno due distinti meridiani superiori, non sono eguali i due angoli orari simultanei: coincidono, invece, le declinazioni, perchè misurate rispetto all'equatore che è indipendente dalla posizione dell'osservatore. Come casi particolari, possono coincidere i due angoli orari se i due osservatori si trovano sullo stesso meridiano; possono coincidere le due altezze simultanee se i due osservatori si trovano sullo stesso *cerchio d'altezza*.

Cenni sull'eclittica – Coluri.

Si chiama *eclittica* un cerchio massimo $EVE'o$ inclinato circa $23^\circ 27'$ sull'equatore $QVQ'L_o$: è la proiezione sulla sfera celeste dell' orbita descritta dalla Terra intorno al Sole durante il suo moto annuo di rivoluzione.

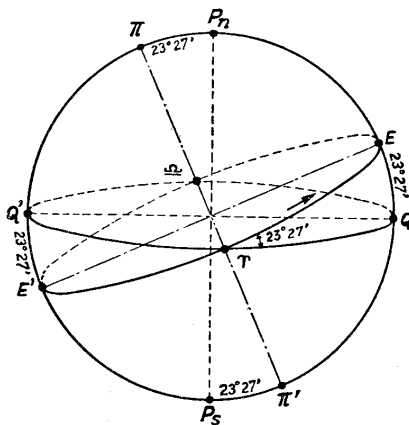
Apparentemente, il Sole, movendosi tra le stelle, descrive l'eclittica in un anno nel senso diretto o antiorario (indicato nella figura dalla freccia), per un osservatore che dal polo nord P_n guardi l'eclittica.

L'angolo di $23^\circ 27'$ fra l'eclittica e l'equatore si dice *obliquità dell'eclittica*, e non è costante, ma soggetto a lente variazioni periodiche.



I due nodi V e \underline{o} dell'eclittica e dell'equatore, diametralmente opposti, si dicono *punti equinoziali* e, in particolare, il punto V si dice *punto equinoziale di primavera, equinozio di primavera, primo punto di Ariete, o punto vernale*; il punto \underline{o} si dice *punto equinoziale di autunno, equinozio di autunno, o primo punto della Bilancia*.

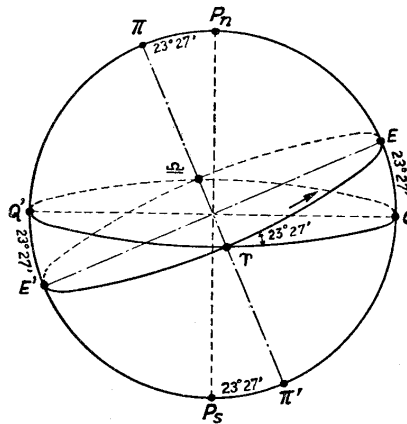
Si chiama **coluro degli equinozi** il circolo massimo $P_nVPs\underline{o}$ (non segnato in figura) che contiene i poli dell'equatore e i punti equinoziali: è, cioè, il circolo orario passante per i punti equinoziali.



Si chiama **coluro dei solstizi** il circolo massimo P_nEP_sE' che contiene i poli dell' equatore e i punti solstiziali: è, cioè, il circolo orario passante per i punti solstiziali.

Si chiama **meridiano di eclittica** ogni circolo massimo della sfera celeste che contiene i poli dell'eclittica. Il coluro dei solstizi, perciò, oltre che un orario, è anche un meridiano di eclittica.

Si chiama **parallelo di eclittica** ogni circolo minore parallelo all'eclittica.



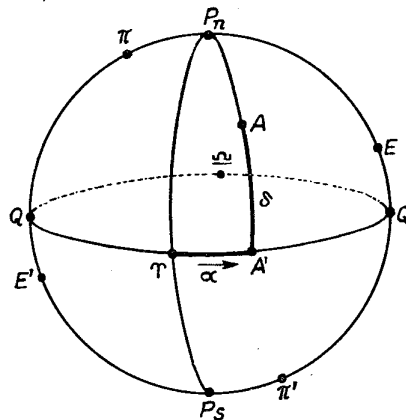
Coordinate uranografiche equatoriali.

La base del sistema delle coordinate uranografiche equatoriali è l'equatore celeste $QVQ'\underline{0}$; polo è il polo nord P_n ; semicerchio origine è il ramo del coluro degli equinozi passante per il punto vernale V .

Le coordinate equatoriali sono:

- la *declinazione* $A' A = d$, coordinata comune al sistema orario;
- l'*ascensione retta* $VA' = a$.

Si chiama **ascensione retta** (a) di un astro l'arco di equatore celeste compreso fra il punto vernale (V) e il piede (A') dell'orario dell'astro, contato da 0° a 360° (o da $0h$ a $24h$) nel senso diretto o antiorario per un osservatore che dal polo nord P_n guardi l'equatore.



L'ascensione retta e la declinazione sono indipendenti dalla posizione dell'osservatore: non si usa lo zenit, proiezione della posizione dell'osservatore sulla sfera celeste, perchè le due coordinate sono definite in base all'equatore e al coluro degli equinozi, cerchi sensibilmente fissi nello spazio, e sono perciò dette *uranografiche* invece che *locali*.

Le ascensioni rette e le declinazioni delle stelle possono considerarsi costanti per un lungo periodo di tempo (qualche mese), perchè variano assai lentamente. Variano invece sensibilmente le ascensioni rette e le declinazioni del Sole, della Luna, dei pianeti, dei satelliti e delle comete.

Fra i paralleli di declinazione sono notevoli quelli passanti per i solstizi, e che hanno rispettivamente declinazione $23^{\circ} 27'$ N e S; e quelli passanti per i poli dell'eclittica, e che hanno rispettivamente declinazione $66^{\circ} 33'$ N e S. Essi corrispondono, nella sfera terrestre, ai tropici e ai cerchi polari.

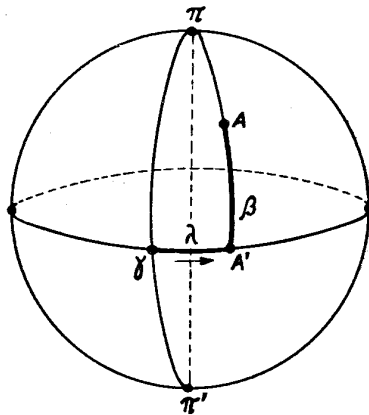
Oltre l'ascensione retta è opportuno considerare **la coascensione retta** (coa), che si ottiene sottraendo da 360° l'ascensione retta.

Coordinate uranografiche eclittiche.

La base del sistema delle coordinate uranografiche eclittiche è l'eclittica; il semicerchio origine è il meridiano d'eclittica passante per il punto vernale V . Le coordinate di un astro sono:

- la *latitudine celeste*, o *latitudine di eclittica* β ;
- la *longitudine celeste*, *longitudine di eclittica* ?.

Si chiama **latitudine celeste** di un astro la distanza sferica tra l'astro e l'eclittica; o anche: l'arco di meridiano di eclittica ($= 90^\circ$) compreso fra l'eclittica e l'astro, contata da 0° a 90° dall'eclittica verso i poli di essa ed è di specie nord o sud secondo che l'astro si trova nell'emisfero nord o nell'emisfero sud, rispetto alla eclittica.

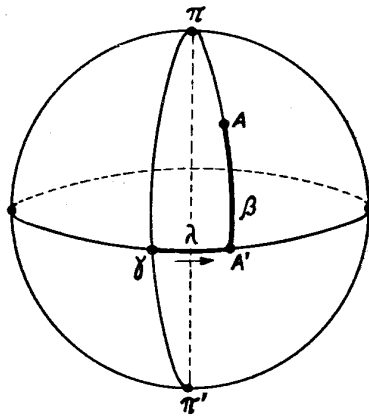


Si chiama **longitudine celeste** (?) di un astro l'arco di eclittica, compreso tra il punto vernale (V) e il piede del meridiano dell'astro, contata da 0° a 360° nel senso diretto (o antiorario), per un osservatore che dal polo nord guardi l' eclittica.

Si chiama **meridiano di eclittica** il luogo dei punti della sfera celeste che hanno la stessa longitudine.

Siccome tutti i punti di un parallelo di eclittica hanno la stessa latitudine, si può definire:

Si chiama **parallelo di eclittica** il luogo dei punti della sfera celeste che hanno la stessa latitudine celeste.



Triangolo di posizione.

Sia Z lo zenit, P il polo elevato rispetto all'orizzonte HH', MsM l'equatore, A un astro. Si traccino il verticale ZAA1 e l'orario P AQ dell'astro. Il triangolo sferico PZA che ha per vertici il polo elevato P, l'astro A e lo zenit Z si dice triangolo di posizione dell'astro A.

*Si dice **triangolo di posizione** di un astro il triangolo sferico della sfera celeste che ha per vertici il polo elevato, l'astro e lo zenit.*

I tre *lati* del triangolo di posizione sono:

PZ = colatitudine = $c = 90^\circ - \varphi$

AP = distanza polare = $p = 90^\circ - (\pm d)$

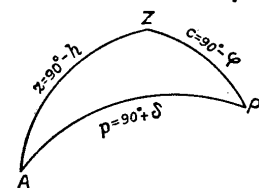
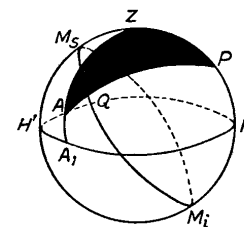
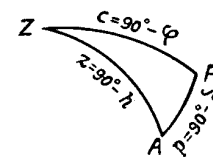
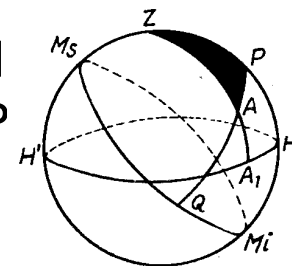
AZ = distanza zenitale = $z = 90^\circ - h$

I tre *angoli* del triangolo di posizione sono:

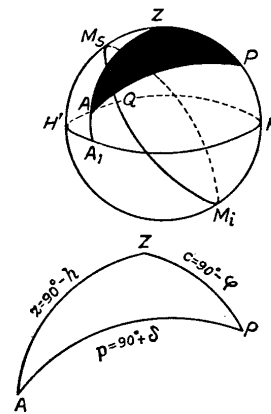
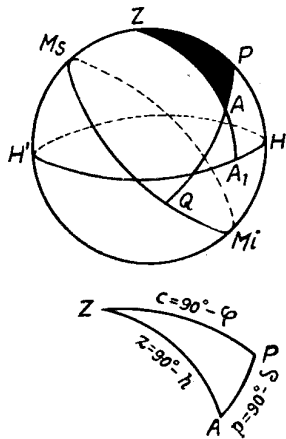
P = angolo al polo

Z = angolo azimutale

A = angolo all'astro, o parallattico, o di posizione



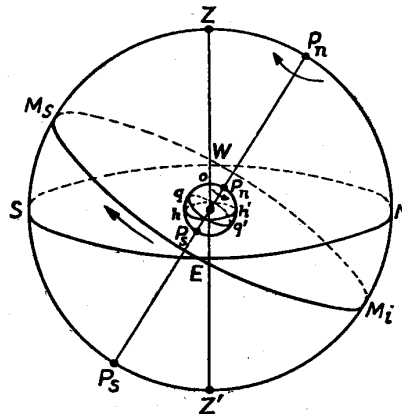
Il triangolo di posizione nasce dalla combinazione dei due sistemi locali dell'orizzonte e dell'equatore, perchè in esso compariscono, oltre l'angolo parallattico e la latitudine, le due coordinate altazimutali (altezza e azimut) e le due coordinate orarie (declinazione e angolo al polo).



Sfera celeste fissa - Sfera celeste mobile.

Per supporre mobili gli astri e immobile l'osservatore, si deve sdoppiare la sfera celeste in due sfere concentriche, con le superfici a contatto: la prima *mobile*, sulla quale sono proiettati gli astri (sfera stellata), girante intorno all'asse celeste PnP_s e contenente i circoli indipendenti dall'osservatore (eclittica, equatore e circoli secondari che ne risultano); la seconda, *immobile*, sulla quale sono proiettati lo zenit, l'orizzonte, il meridiano dell'osservatore e, in genere, i circoli che dipendono dalla posizione dell'osservatore.

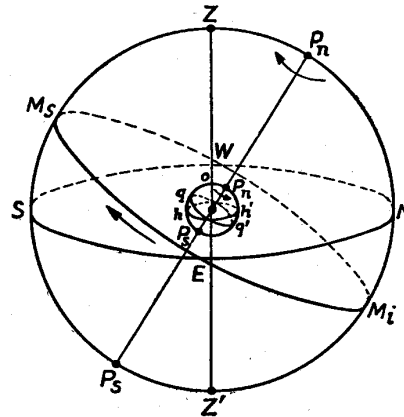
L'osservatore e i suoi circoli sono dunque *apparentemente immobili*, la sfera stellata e *apparentemente mobile*.



Dei quattro sistemi di coordinate celesti, i due locali riferiscono gli astri ai circoli apparentemente immobili, rispetto ai quali gli astri si spostano continuamente durante il loro moto apparente diurno; i due sistemi uranografici li riferiscono a circoli apparentemente mobili, come gli astri stessi, sulla sfera celeste.

I circoli da considerare immobili sono perciò:

- a) l'orizzonte astronomico e il verticale nord (rispettivamente base e semicerchio origine delle coordinate altazimutali), nonché i verticali e i paralleli d'altezza;
- b) l'equatore e il meridiano dell'osservatore (rispettivamente base e semicerchio origine delle coordinate orarie), nonché gli orari e i paralleli di declinazione.

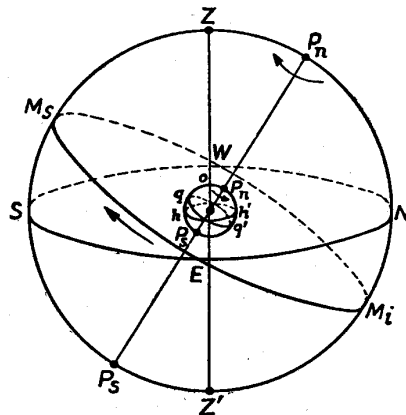


I cerchi da considerare apparentemente mobili con gli astri sono:

a) l'eclittica e il meridiano d'eclittica passante per il punto vernale (rispettivamente base e semicerchio origine delle coordinate eclittiche), nonché i meridiani e i paralleli d'eclittica;

b) l'equatore e il coluro degli equinozi (rispettivamente base e semicerchio secondario di riferimento delle coordinate uranografiche equatoriali), nonché i cerchi e i paralleli di declinazione.

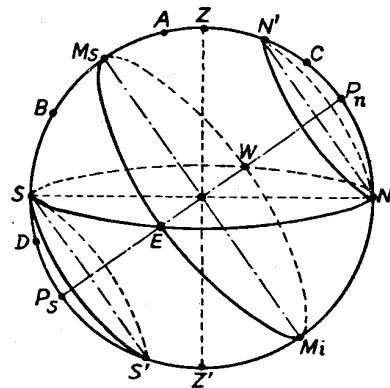
L'equatore, dunque, va considerato mobile quale base delle coordinate uranografiche, immobile quale base delle coordinate orarie: sono da considerare, perciò, due equatori concentrici, scorrenti l'uno dentro l'altro.



Astri sorgenti e tramontanti, circumpolari e anticircumpolari.

Si consideri la sfera celeste geocentrica relativa a un osservatore di zenit Z e di latitudine diversa da 0° 0 90° e di specie nord:

Il polo elevato è, perciò, il polo nord P_n . Tale sfera si dice obliqua, perchè equatore e orizzonte si tagliano secondo un angolo acuto eguale alla colatitudine e l'uno è obliquo rispetto all'altro. Con centro nel polo elevato e raggio sferico $P_n N$ eguale alla latitudine si descriva il parallelo NN' , tangente all'orizzonte nel punto cardinale nord, e *tutto compreso nell'emisfero visibile*: questo parallelo si dice *massimo degli apparenti*. Con lo stesso raggio e centro nel polo depresso P_s si descriva il parallelo di declinazione SS' tangente all'orizzonte nel punto cardinale sud, e *tutto compreso nell'emisfero invisibile*: questo parallelo si dice *massimo degli occulti*.

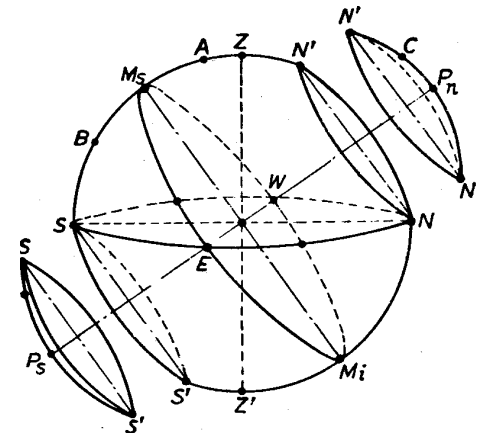


I due paralleli tangenti all'orizzonte superiormente e inferiormente dividono la superficie della sfera celeste in due calotte e una zona sferica, e cioè:

a) Una calotta sferica di perpetua visibilità o calotta degli astri circumpolari, che ha per culmine il polo elevato (P_n) e per base il massimo degli apparenti NN' , tangente all'orizzonte superiormente, ed è tutta compresa nell'emisfero visibile.

b) Una calotta sferica di perpetua invisibilità, o calotta degli astri anticircumpolari, che ha per culmine il polo depresso (P_s) e per base il massimo degli occulti, tangente all'orizzonte inferiormente, ed è tutta compresa nell'emisfero invisibile.

c) Una zona sferica di parziale visibilità, avente per basi il massimo degli apparenti e il massimo degli occulti, cioè i paralleli NN' ed SS' tangenti all'orizzonte superiormente e inferiormente.



Teoremi principali di trigonometria sferica e applicazioni al triangolo di posizione.

1 ° Relazioni fra i tre lati e un angolo (formule di Eulero):

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

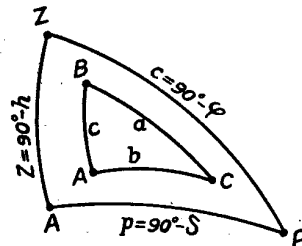
2° Relazione fra i lati e gli angoli opposti (Teorema dei seni):

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

3° Relazione fra quattro elementi consecutivi (Teorema delle cotangenti) :

$$\cotg a \sin b = \cos b \cos C + \sin C \cotg A$$

$$\cotg a \sin c + \cos c \cos B + \sin B \cotg A$$



Regola mnemonica di Nepero sui triangoli sferici rettangoli e rettilaterali.

1° la tangente di un cateto è eguale alla tangente dell'ipotenusa moltiplicata per il coseno dell'angolo compreso;

2° il seno di un cateto è eguale al seno dell'ipotenusa moltiplicato per il seno dell'angolo opposto;

3° il coseno dell'ipotenusa è eguale al prodotto delle cotangenti dei due angoli adiacenti, e al prodotto dei coseni dei due cateti;

4° la tangente di un cateto è eguale al seno dell'altro cateto moltiplicato per la tangente dell'angolo opposto al primo;

5° il coseno di un angolo è eguale al coseno del cateto opposto moltiplicato per il seno dell'altro angolo.

Regola di Nepero per i triangoli sferici rettangoli. - *Se si sopprime l'angolo retto e se ai cateti si sostituiscono i loro complementi, il coseno di uno qualunque dei cinque elementi restanti così modificati è eguale al prodotto dei seni dei due elementi lontani e al prodotto delle cotangenti dei due elementi adiacenti.*

Triangolo di posizione rettangolo e rettilatero.

Il triangolo di posizione può essere rettangolo:

1 ° quando l'astro passa al primo orario orientale od occidentale
($P = 6h = 90^\circ$);

2° quando l'astro passa al primo verticale orientale od occidentale
($Z = 90^\circ$); .

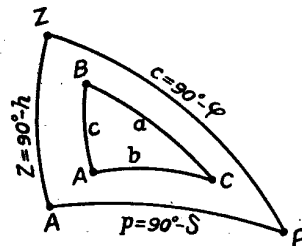
3° quando l'astro è alla massima digressione orientale od occidentale ($A = 90^\circ$);

e può essere rettilatero:

a) quando l'astro è al suo sorgere 0 al suo tramonto vero ($z = 90^\circ$, e
cioè $h = 0^\circ$);

b) quando la declinazione dell'astro è 0° ; allora $p = 90^\circ$;

c) quando la latitudine dell'osservatore è 0° ; allora $c = 90^\circ$.



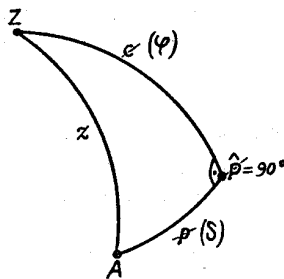
Altezza e azimut al passaggio al primo orario.

Un astro passa al primo orario sopra l'orizzonte quando la sua declinazione è dello stesso nome della latitudine, sotto l'orizzonte quando la sua declinazione ha nome contrario della latitudine.

Nell'istante del passaggio al primo orario orientale l'angolo orario è $t = 270^\circ = 18h$.

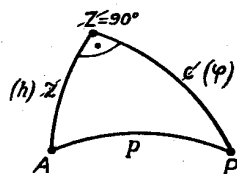
Nell'istante del passaggio al primo orario occidentale l'angolo orario è $t = 90^\circ = 6h$.

In entrambi i casi l'angolo al polo è $P = 6h = 90^\circ$; cioè il triangolo è rettangolo in P.



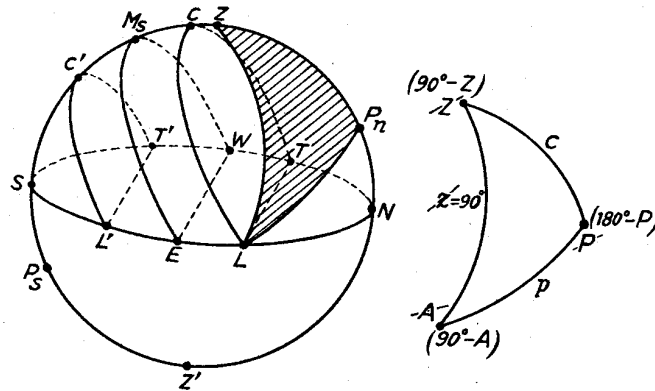
Altezza e angolo al polo al passaggio al primo verticale.

Un astro passa al primo verticale *sopra* l'orizzonte quando la sua declinazione è minore della latitudine ed è dello stesso nome di questa: in tale istante l'angolo azimutale Z è retto.



Angolo al polo di un astro al suo sorgere e al suo tramonto.

Si dice che un astro è al suo sorgere vero, nell'istante in cui, durante il suo moto apparente, passa dall'emisfero invisibile all'emisfero visibile; si dice che è al suo tramonto vero quando passa dall'emisfero visibile all'emisfero invisibile: in entrambi i casi la sua altezza vera è 0° e la sua distanza zenitale è 90° , per cui il triangolo di posizione è rettilatero in tale istante.



Risoluzione del triangolo di posizione nei soli casi che trovano applicazione nell'astronomia nautica.

Escluso l'angolo parallattico A , tutti gli altri elementi del triangolo di posizione entrano in combinazione nelle varie formule che trovano applicazione nella navigazione e nell'astronomia nautica.

Ci occuperemo successivamente dei problemi seguenti:

1° Dati: latitudine (f), altezza (h) e declinazione (d) di un astro, ricavare l'angolo al polo (P). (Angolo al polo [0 angolo orario] in funzione dell'altezza, della latitudine e della declinazione).

2° Dati: latitudine (f), altezza (h) e declinazione (d) di un astro, ricavare l'angolo azimutale (Z). (Azimut in funzione dell'altezza, della declinazione e della latitudine).

3° Dati: la latitudine (f) e le coordinate orarie (P, d) di un astro, ricavare le coordinate altazimutali simultanee (h, Z). (Trasformazione delle coordinate orarie in altazimutali).

IL TEMPO E LA SUA MISURA

Si chiama giorno di un astro l'intervallo di tempo che trascorre fra due passaggi consecutivi dell'astro allo stesso meridiano.

Se l'astro considerato è il punto vernale, il Sole vero, il Sole medio, la Luna, un pianeta, ecc., il giorno si dice rispettivamente siderale, vero, medio, lunare, planetario, ecc. E l'angolo orario di ciascuno di tali astri si dice, rispettivamente, tempo siderale od ora siderale, tempo vero od ora vera, tempo medio od ora media, tempo lunare od ora lunare, tempo planetario od ora planetaria.

Tali giorni, se fossero tutti soltanto il risultato della rotazione apparente diurna della sfera celeste, dovrebbero essere tutti eguali tra loro; sono invece differenti perchè i vari astri hanno dei movimenti propri sulla sfera celeste, movimenti diretti e retrogradi. che generano una variazione nelle ascensioni rette: e si può dire che l'angolo orario o tempo di un astro varia per effetto del moto apparente diurno e del moto in ascensione retta proprio dell'astro stesso. Poichè, in genere, il moto in ascensione retta non è uniforme, ma irregolare, il giorno dei vari astri si presta più o meno bene alla misura del tempo. .

Effemeridi nautiche.

In Italia, dal 1916, a cura dell'Istituto Idrografico della Marina, vengono pubblicate delle effemeridi astronomiche ad uso dei naviganti, le quali, dal 1954, in seguito a una notevole riforma che semplifica i calcoli, sono intitolate Effemeridi Nautiche.

Le Effemeridi nautiche danno modo di ricavare, per un istante qualsiasi dell'anno al quale si riferiscono, gli elementi principali degli astri osservabili coi mezzi di bordo, e cioè le coordinate orarie (angolo orario e declinazione) del Sole, della Luna e dei pianeti Venere, Marte, Giove e Saturno (i soli pianeti osservabili a bordo); l'angolo orario del punto vernale (e cioè il tempo siderale T_s); le coascensioni rette ($3600 - a$) e le declinazioni delle principali stelle, e altri elementi ancora.

SABATO 1, DOMENICA 2, LUNEDI 3 OTTOBRE 19...

Table with columns for date, time (Tm), sun (SOLE), moon (LUNA), and planets (MARS, GIOVE, SATURNO, MERCURIO, VENERE). Includes declination and right ascension data.

OTTOBRE 19... SABATO 1, DOMENICA 2, LUNEDI 3

Table with columns for date, time (Tm), sun (SOLE), moon (LUNA), planets (MARS, GIOVE, SATURNO, MERCURIO, VENERE), and stars (STELLE). Includes declination, right ascension, and star names.

Corso Navigazione

- FINE PARTE II -