

LE COORDINATE CELESTI

La sfera celeste

Una prima osservazione del cielo, diurno o notturno che sia, rivela che esso appare come una superficie continua, sulla quale sembrano fissate le stelle e vediamo invece muoversi il Sole, la Luna e i Pianeti. Questa superficie appare rotonda, giustificando quindi il nome che le si dà: **Sfera Celeste**. Questo nome compete dunque a quella superficie continua che sembra avvolgere tutto il nostro globo; il fatto di assimilarla ad una sfera ha una giustificazione geometrica: l'osservazione ad occhio nudo non è in grado di rivelare che le stelle sono a diverse distanze dalla Terra, esse appaiono tutte come fossero egualmente distanti da noi. La superficie che gode della proprietà che tutti i suoi punti sono egualmente distanti dal centro è appunto la sfera.

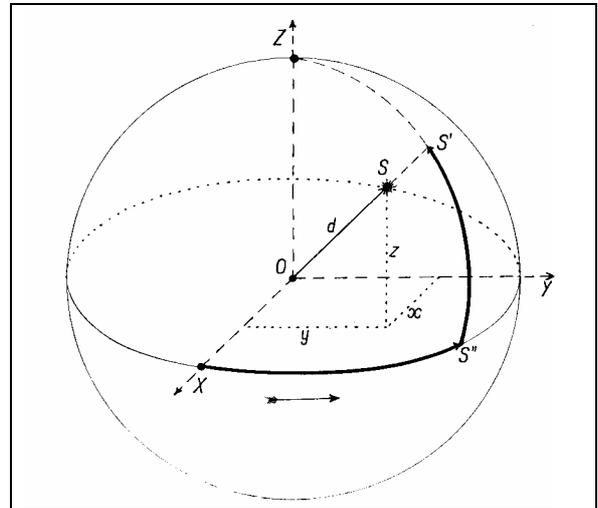


Figura 1 - Coordinate di un astro S visto da un punto O : x, y, z , sono le sue coordinate rettilinee rispetto al sistema di assi $OXYZ$; le ampiezze degli archi XS'' e $S''S'$, corrispondenti alla posizione sferica S' di S , sono le coordinate sferiche dell'astro.

Un'osservazione più accurata rivela che tutta la volta celeste sembra ruotare durante la giornata in modo uniforme intorno a due punti fissi, opposti tra loro, che prendono il nome di **Poli Celesti**. Congiungendo i due Poli tra loro con una retta otteniamo l'**Asse del Mondo**.

Il fatto che il cielo sembri ruotare intorno all'Asse del Mondo ci dice subito che la Terra ruota intorno a quest'asse. Il moto apparente del cielo non è altro che il riflesso del moto reale della Terra intorno al suo asse.

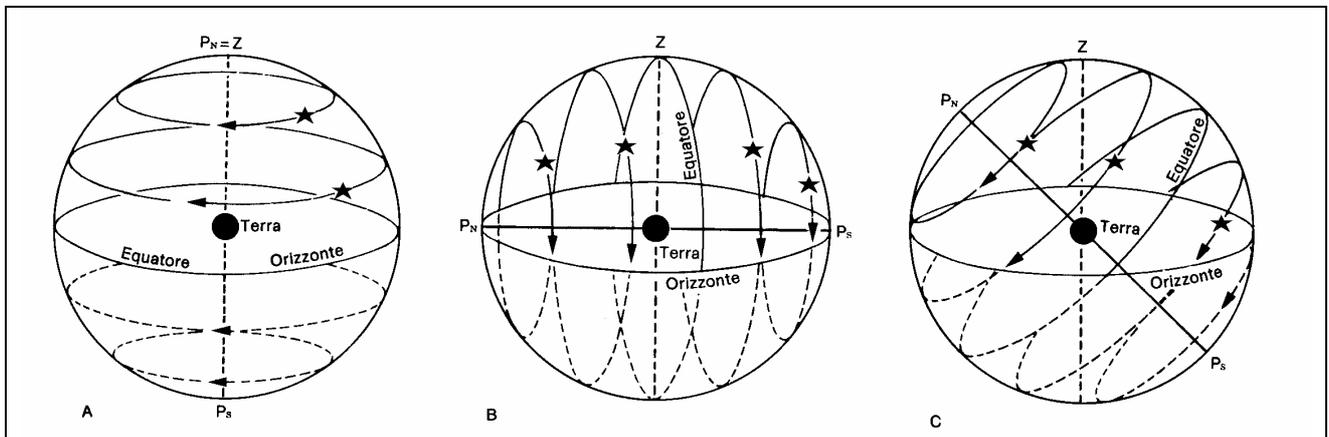
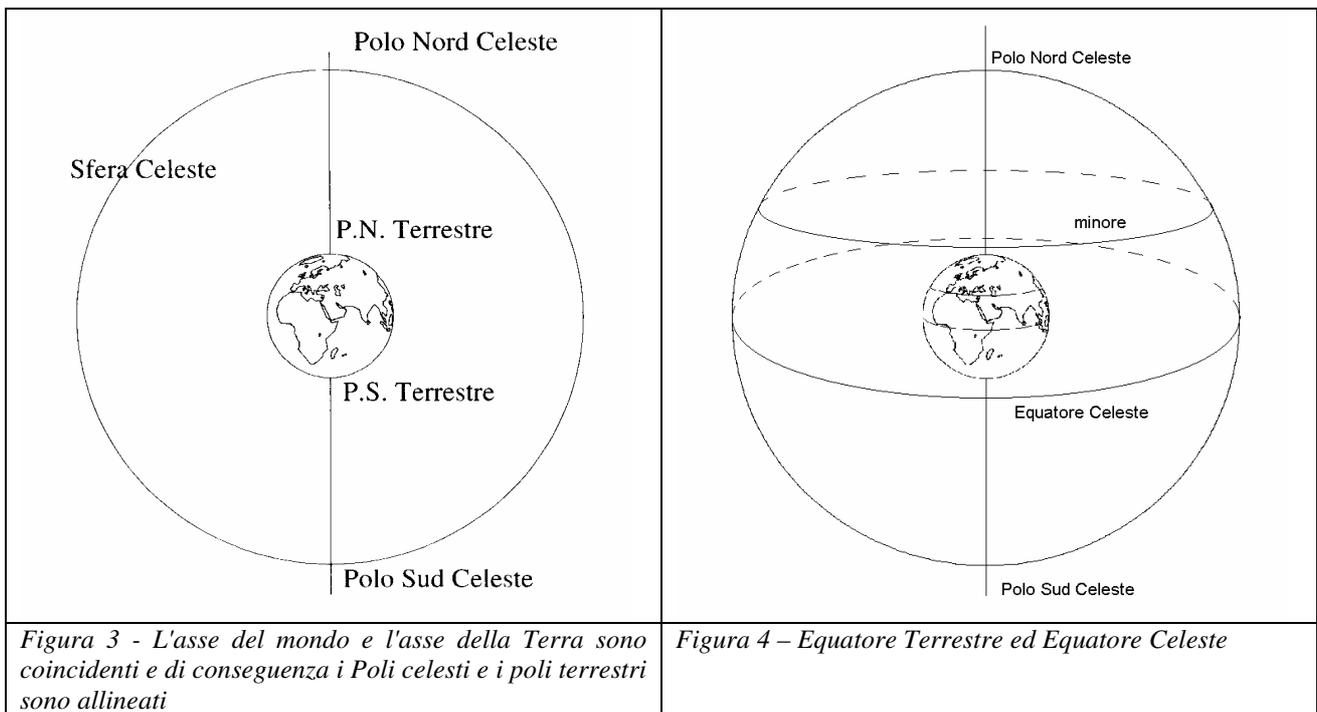


Figura 2 - La rotazione della sfera celeste A) L'osservatore si trova al polo nord: tutte le stelle descrivono cerchi paralleli all'orizzonte; nessuna stella sorge e nessuna tramonta. B) L'osservatore si trova all'equatore: tutte le stelle descrivono cerchi attorno alla linea orizzontale nord-sud (linea meridiana) e tutte le stelle sorgono e tramontano. C) L'osservatore si trova ad una latitudine intermedia settentrionale: tutte le stelle descrivono archi obliqui rispetto all'orizzonte; le stelle che distano dal polo nord celeste (P_N) di un arco minore della latitudine del luogo non tramontano mai, quelle che distano dal polo sud celeste di un arco minore di tale latitudine non si vedono mai, le altre sorgono e tramontano.



L'asse del mondo e l'asse della Terra sono coincidenti e di conseguenza i Poli celesti e i poli terrestri sono allineati (figura 3). Possiamo dire che i Poli celesti sono la proiezione sulla volta celeste dei Poli terrestri e prendono gli stessi nomi. Quindi la proiezione del polo Nord Terrestre si chiama Polo Nord Celeste ed analogamente per il Polo Sud.

Definiti i Poli, è immediato comprendere cosa si intenda per **Centro della Terra**: è il punto medio del segmento che ha per estremi i Poli terrestri. Occorre tenere presente che, al momento, considereremo la Terra come sferica e, di massima, in tutto il procedere di questo testo, non sarà necessario fare altrimenti; pertanto potremo ritenere che il baricentro della Terra ed il suo centro geometrico coincidano, salvo precisare quando sarà necessario.

Una delle proprietà della sfera è che tutti i piani passanti per il centro determinano sulla superficie dei **Cerchi Massimi**. I cerchi determinati invece da piani non passanti per il centro prendono il nome di **Cerchi Minori**. Consideriamo allora il piano passante per il centro e perpendicolare all'asse del mondo: questo piano determina un cerchio massimo che prende il nome di **Equatore Terrestre**, e, per esteso all'infinito, interseca la sfera celeste prendendo il nome di **Equatore Celeste** (figura 4).

Le coordinate geografiche

Si consideri la sfera terrestre. Siano N e S i poli Nord e Sud rispettivamente; l'Equatore è indicato in tutte lettere (figura 5). Definiamo **Paralleli** tutti e soli i cerchi formati da piani paralleli all'Equatore e **Meridiani** tutti i semicerchi passanti per i Poli. Parleremo di **Paralleli Nord** parlando dei cerchi minori contenuti nella semisfera compresa tra l'Equatore ed il polo Nord, analogamente faremo per i **Paralleli Sud**. I paralleli Nord vengono anche indicati premettendo il segno +, con il segno - verranno indicati i paralleli Sud. I meridiani non hanno segno, ma vengono indicati con un numero a partire da un meridiano scelto come meridiano

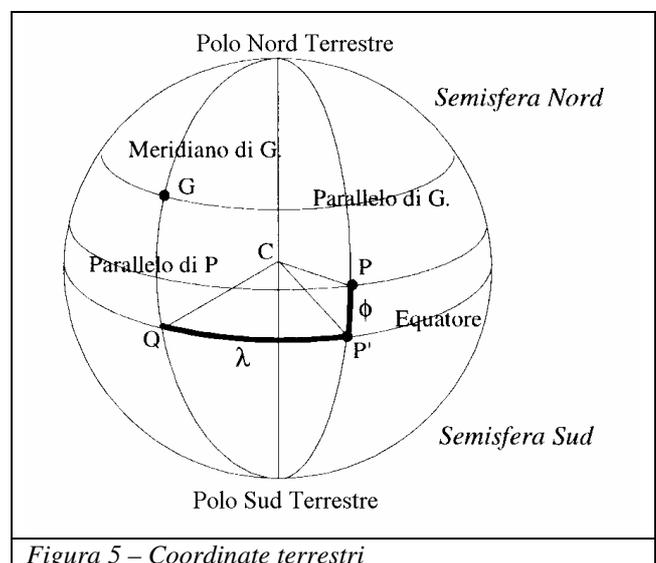


Figura 5 – Coordinate terrestri

zero.

Come conseguenza di tutto questo, per determinare la posizione di un punto sulla Terra basterà indicare quali sono il parallelo ed il meridiano passanti per quel punto. Nella figura prendiamo come fondamentale il meridiano indicato con NGQ sia PP' il meridiano per il punto P, del quale vogliamo determinare la posizione. L'angolo OCP', indicato con λ , tra il meridiano fondamentale e il meridiano per P misurato in gradi lungo l'equatore con verso da ovest ad est, ossia antiorario, prende il nome di **Longitudine** del punto P. L'angolo ϕ tra l'equatore ed il parallelo per P prende il nome di **Latitudine** del punto e, come già detto, è positivo nell'emisfero Nord e negativo nell'emisfero Sud.

Come meridiano fondamentale o **Meridiano Origine** si assume il meridiano passante per l'Osservatorio di Greenwich, esattamente quello che passa per il centro dell'antico strumento dei passaggi di Flamsteed. Questo meridiano prende il numero zero e viene comunemente detto **Meridiano Zero**. Quindi, per definire la posizione di un punto sulla Terra, basta dare la coppia di coordinate λ, ϕ di questo punto. Si deduce immediatamente dall'esame della figura che le latitudini vanno da $+90^\circ$ a -90° , mentre le longitudini vanno da 0° a 360° . Chiaramente, tutti i punti dell'Equatore hanno latitudine 0° . Talvolta le longitudini vengono riferite ad un meridiano diverso da quello di Greenwich: in tal caso, questo dev'essere chiaramente indicato.

Sistemi di coordinate astronomiche.

Per individuare univocamente la posizione di un punto sulla sfera celeste è necessario definire un sistema di riferimento. Per far questo è necessario premettere alcune nozioni sulla geometria della sfera.

Si definisce **asse** della sfera una qualunque retta passante per il suo centro. **Poli** sono i due punti diametralmente opposti in cui l'asse interseca la superficie sferica. **Piano fondamentale** è il piano passante per il centro della sfera e perpendicolare all'asse. **Cerchio base** si chiama il cerchio intersezione del piano fondamentale con la superficie della sfera. **Cerchi ausiliari** sono i cerchi intersezione di piani perpendicolari al piano fondamentale e passanti per il centro. I cerchi ausiliari sono perpendicolari, per costruzione, al cerchio base e passano tutti per i poli. (vedi figura 6)

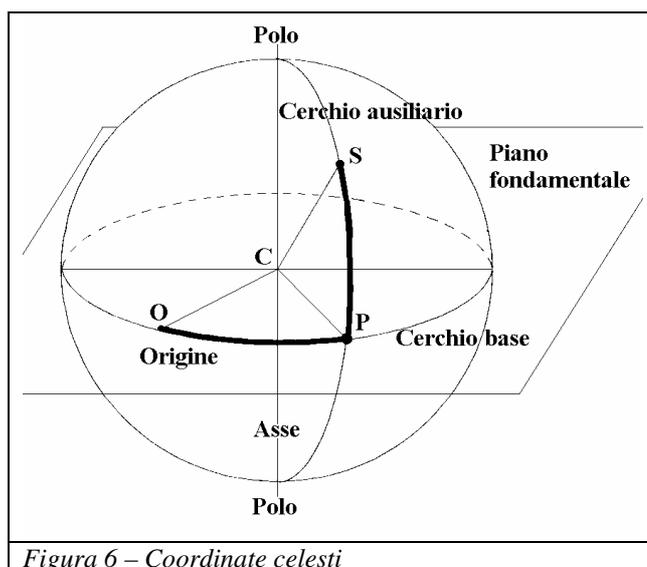


Figura 6 – Coordinate celesti

Cerchio base e cerchi ausiliari sono esempi di **cerchi massimi**, cioè di quella famiglia di cerchi che nascono dall'intersezione della superficie sferica con piani passanti per il centro della sfera e che sono chiamati così perché sono quelli di lunghezza massima. Infatti, qualunque altro cerchio tracciato sulla superficie della sfera può sempre considerarsi generato dall'intersezione con un piano non passante per il centro: questi cerchi sono detti **minori**. Ne sono esempi sulla superficie terrestre i paralleli di latitudine.

Per determinare un sistema di riferimento sulla sfera si procede quindi così (vedi figura 6):

1. Si sceglie un asse; questa scelta determina i poli, il piano fondamentale, il cerchio base e i cerchi ausiliari.
2. Sul cerchio base di sceglie un punto O come **origine** e un **verso** di percorrenza lungo il cerchio.

3. Dato un punto *S* qualsiasi sulla superficie sferica si traccia il cerchio ausiliario passante per esso: viene determinato così il punto *P* intersezione del cerchio ausiliario col cerchio base.
4. A partire dall'origine, sul cerchio base, ci si muove nel verso prescelto verso il punto *P*: l'ampiezza angolare dell'arco così descritto rappresenta la prima coordinata sferica del punto *S* che si chiama **ascissa sferica**.
5. Dal punto *P*, lungo il cerchio ausiliario ci si muove verso *S* descrivendo un arco la cui ampiezza angolare è la seconda coordinata di *S* detta **ordinata sferica**. A seconda che il punto *S* si trovi in uno o nell'altro dei due emisferi in cui il cerchio base divide la superficie sferica, ci si muoverà lungo il cerchio ausiliario verso l'uno o l'altro dei poli: si sceglie una volta per tutte uno dei due versi come positivo e il valore dell'ordinata sferica sarà di conseguenza positivo o negativo a seconda che si percorra il cerchio ausiliario in verso concorde o meno con quello prescelto. Di conseguenza tutti i punti di un emisfero avranno ordinate sferiche positive e tutti quelli dell'altro negative.

L'ascissa sferica potrà assumere un valore qualsiasi compreso tra 0° e 360° , ovvero, misurando gli archi in ore, minuti e secondi, tra 0h e 24h; l'ordinata sferica, a meno del segno, potrà assumere qualsiasi valore tra 0° e 90° .

I vari sistemi di coordinate astronomiche differiscono tra loro semplicemente per la scelta dell'asse.

Sistema altazimutale.

In questo sistema l'asse è scelto coincidente con la direzione della verticale alla superficie terrestre passante per la posizione dell'osservatore. I poli sono quindi i due punti della sfera celeste: uno direttamente sopra la testa, detto **zenit**, e l'altro sotto i piedi dell'osservatore, detto **nadir** (figura 7). Il cerchio base è la linea dell'**orizzonte razionale** approssimato bene dall'orizzonte visibile solo in mare aperto e al livello del mare. L'origine è il punto cardinale Nord sull'orizzonte e il verso di percorrenza quello concorde col moto delle lancette dell'orologio (verso orario), ovvero nel senso da Nord verso Est^[1].

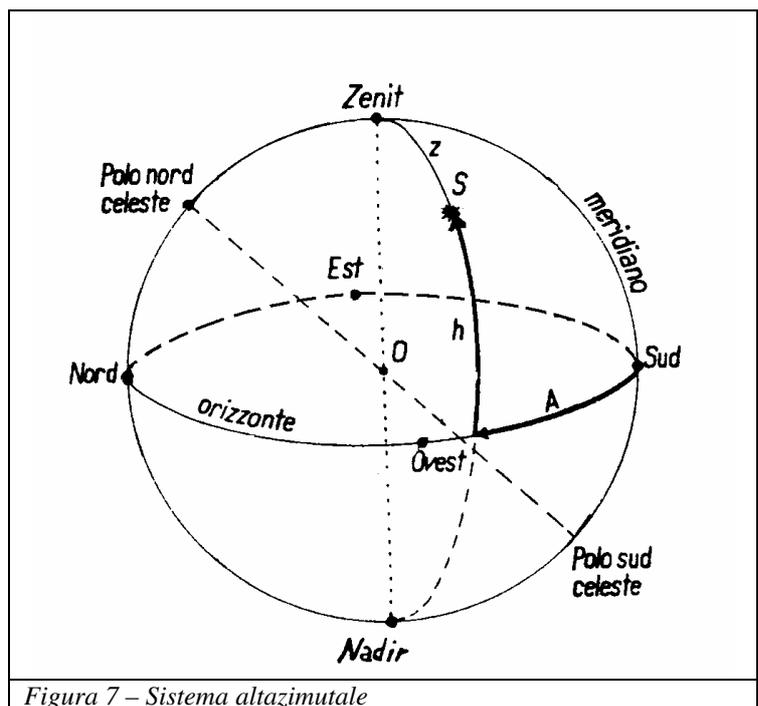


Figura 7 – Sistema altazimutale

I cerchi ausiliari si chiamano **Cerchi d'altezza** o **Verticali** (nella figura 7 il cerchio che passa per lo Zenit, il punto *S* che contraddistingue l'astro e il Nadir). L'ascissa sferica, misurata lungo l'orizzonte, prende il nome di **Azimut** e si indica generalmente con la lettera **A**. L'ordinata sferica si chiama **Altezza** e si indica con **h**. Un valore negativo dell'altezza corrisponde ovviamente ad un astro sotto l'orizzonte e quindi non visibile. L'arco complementare di **h** sul cerchio d'altezza, cioè l'arco dallo zenit verso il punto *S* si chiama **distanza zenitale** e si indica con **z**. Si ha perciò:

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

Tutti i punti di uno stesso cerchio d'altezza avranno il medesimo valore dell'azimut. Tutti i punti con la

[1] In alcuni testi l'origine è il Sud il verso sempre quello orario (cioè da Sud verso Ovest che ha azimut $A = 90^\circ$)

stessa altezza giaceranno invece su un circolo minore detto proprio **cerchio di uguale altezza** o, con termine arabo, **almucantarāt**. Il verticale passante per i punti cardinali Nord e Sud si chiama **meridiano locale** o semplicemente **meridiano**. Il nome trae origine dal fatto che esso è attraversato dal Sole ad ogni mezzogiorno.

Il sistema altazimutale, molto usato in geodesia, lo è invece poco in astronomia essenzialmente per due motivi:

- L'apparente rotazione diurna della sfera celeste fa sì che entrambe le coordinate di un astro (azimut ed altezza) varino durante la giornata in modo non uniforme: si pensi che al momento del sorgere e del tramontare gli astri hanno altezza zero, mentre hanno altezza massima al momento del transito al meridiano locale, cioè all'istante della cosiddetta **culminazione superiore**. L'altezza pertanto cresce prima della culminazione e decresce dopo. Un astro che sorge ad Est ha azimut uguale a 90° , al tramonto, a Ovest, ha azimut uguale a 270° , passando per tutti i valori intermedi.
- Poiché l'asse del sistema coincide con la direzione della verticale passante per l'osservatore, il sistema altazimutale è un sistema locale in quanto, variando la posizione dell'osservatore sulla Terra varia la verticale e quindi il valore delle coordinate altazimutali.

Per questi motivi il sistema di riferimento più usato in astronomia è quello equatoriale.

Il sistema equatoriale.

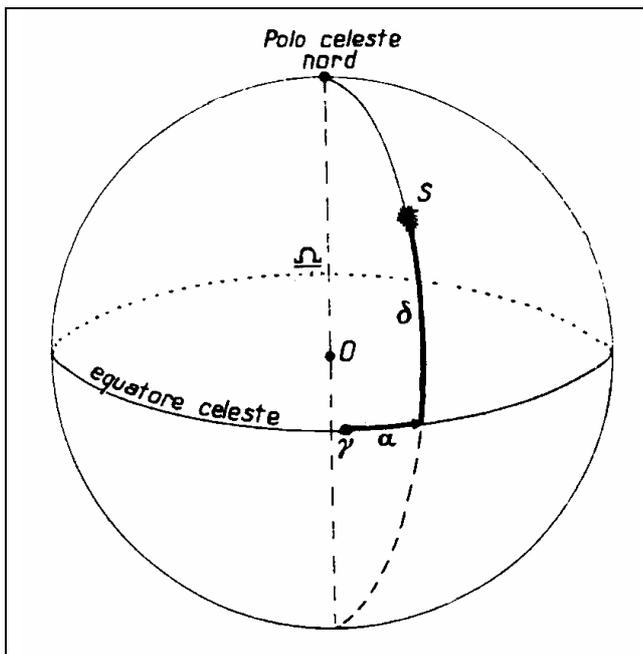


Figura 8 – Sistema equatoriale

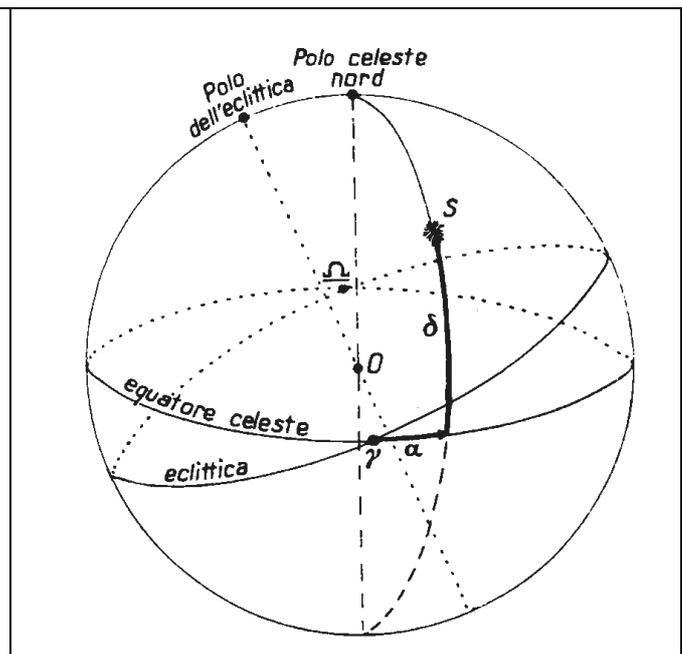


Figura 9 – Coordinate equatoriali ed eclittica

L'asse di questo sistema è scelto coincidente con quello di rotazione della Terra: ciò elimina immediatamente uno dei difetti del sistema altazimutale, poiché l'equatoriale è unico per tutti gli osservatori in quanto l'asse è lo stesso per tutti. Ovviamente i poli saranno il Polo Celeste Nord e quello Sud. Il piano fondamentale è il piano dell'equatore e il cerchio base è l'**Equatore Celeste**. L'origine è un punto particolare di questo chiamato **Primo Punto d'Ariete** o **Punto Vernale** o ancora **Punto Gamma** dal simbolo greco con cui comunemente lo si indica, γ . Esso è il punto dell'equatore celeste in cui il Sole si trova il giorno dell'Equinozio di Primavera. Quindi il Punto Gamma è uno dei due punti in cui l'equatore celeste è intersecato dal cerchio massimo su cui vediamo proiettato il cammino del Sole durante l'anno

(riflesso del moto reale di rivoluzione della Terra intorno al Sole), detto **Eclittica** (vedi figure 8 e 9). Precisamente il Punto Gamma è il punto in cui il Sole transita passando dall'emisfero celeste sud (**emisfero australe**) a quello nord (**emisfero boreale**). Il verso di percorrenza scelto è quello antiorario. I cerchi ausiliari prendono il nome di **cerchi orari**. L'ascissa sferica si chiama **Ascensione Retta** e si indica con la lettera greca α ; essa si misura, per motivi che chiariremo in seguito, in ore, minuti e secondi. L'ordinata, positiva nell'emisfero boreale, si chiama **Declinazione** e si indica con δ . I cerchi minori di uguale declinazione si chiamano **Paralleli celesti**.

Poiché l'intero sistema di riferimento, cerchio base, cerchi orari, punto γ , partecipa della rotazione diurna che si svolge proprio intorno all'asse del sistema, è evidente che i valori di α e di δ risulteranno costanti e viene eliminato così anche l'altro difetto del sistema altazimutale. Tuttavia, mentre in quest'ultimo l'origine (il punto cardinale Nord) non varia la sua posizione durante il giorno, nel sistema equatoriale il punto γ in istanti differenti si troverà in differenti parti del cielo e quindi la sola conoscenza dei valori di α e di δ di un astro non basta ad individuarne la posizione ad un istante determinato. Per far questo dobbiamo introdurre qualche altro concetto.

Angolo orario e Tempo Siderale Locale

Il verticale che, nel sistema altazimutale, avevamo definito meridiano locale è anche un cerchio orario, in quanto passa per i poli celesti. La sua intersezione con l'equatore celeste si chiama **Mezzocielo (M)**, questo nome deriva dal fatto che alle nostre latitudini si trova all'incirca a metà distanza angolare tra l'orizzonte e lo zenit. Ricordiamo infatti che l'altezza del Polo Celeste Nord sul punto cardinale Nord è uguale alla latitudine del luogo, quindi l'altezza dell'equatore celeste sul punto cardinale Sud è pari al complemento a 90° della latitudine del luogo di osservazione. Per Macerata, essendo la latitudine di $43^\circ 18'$, si ha che il Polo Nord Celeste è alto sul punto cardinale Nord $43^\circ 18'$, mentre l'equatore celeste è alto $46^\circ 42'$ ($= 90^\circ - 43^\circ 18'$) sul punto cardinale Sud.

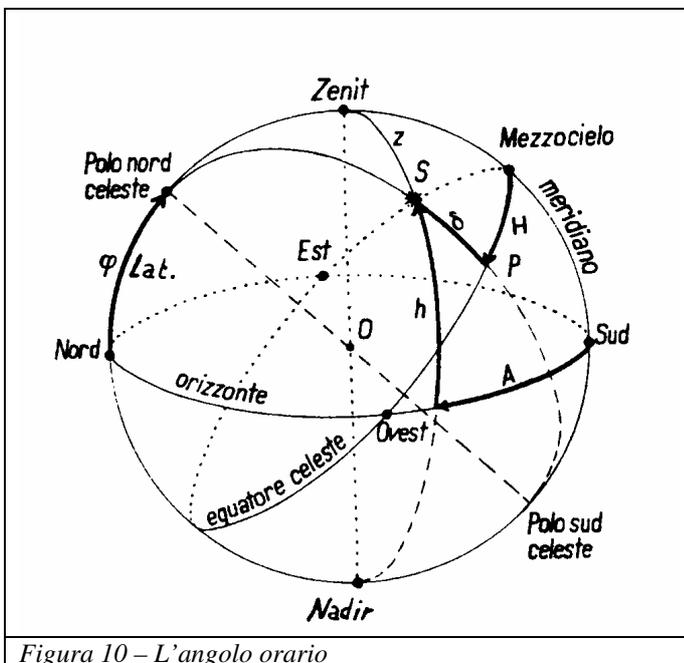


Figura 10 - L'angolo orario

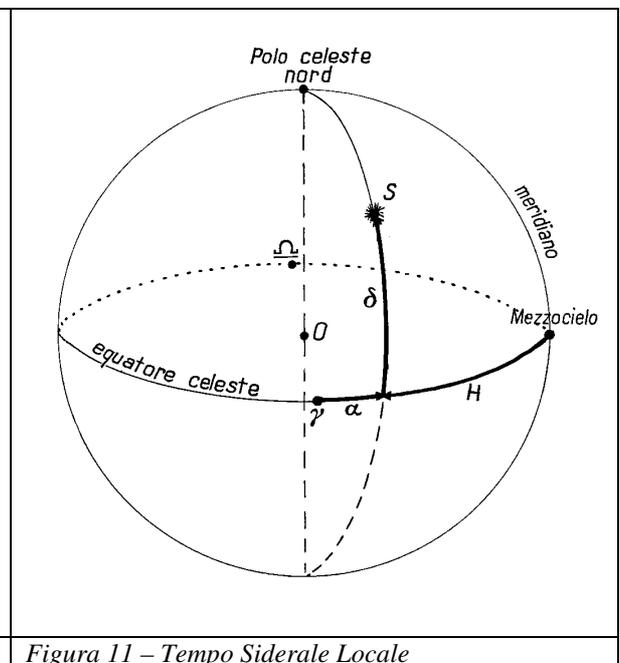


Figura 11 - Tempo Siderale Locale

L'arco, misurato percorrendo in verso orario l'equatore celeste dal mezzocielo all'intersezione (P) del cerchio orario passante per l'astro S con l'equatore si chiama **angolo orario H** dell'astro (vedi figura 10). Al momento del transito dell'astro al meridiano, il suo angolo orario è uguale a zero. Un'ora dopo, la volta celeste avrà ruotato di un arco pari a 15° (essendo infatti $360^\circ/24 \text{ ore} = 15^\circ$ ad ora), misurando

gli archi in ore, minuti e secondi, il suo angolo orario sarà allora esattamente 1 h. Anche il punto γ avrà, istante per istante, un determinato valore del suo angolo orario che prende il nome di **Tempo Siderale Locale** (TSL). Il Tempo Siderale Locale è quindi la distanza del punto γ dal mezzocielo ed pari alla somma, in valore assoluto, degli archi γP , cioè dell'ascensione retta α dell'astro e dell'arco PM , ossia del suo angolo orario H . Abbiamo così ricavato la relazione:

$$\text{TSL} = H + \alpha$$

L'angolo orario è ovviamente comodo misurano in ore, minuti e secondi e l'uso frequentissimo della relazione precedente spiega perché anche le ascensioni rette utilizzino la stessa unità.

L'angolo orario ed il tempo siderale sono legati alla posizione del meridiano e quindi dell'osservatore; infatti nel definirli si è aggiunto l'aggettivo locale proprio per sottolineare questo fatto. Il meridiano locale di ciascun osservatore può essere sempre considerato la proiezione sulla sfera celeste del meridiano geografico passante per l'osservatore. Poiché sulla Terra la differenza tra due meridiani si misura con la differenza tra le longitudini geografiche, anche i meridiani celesti locali dei due osservatori saranno separati tra loro da un numero di gradi pari alla differenza suddetta. Sulla Terra, come già detto, le longitudini prendono come riferimento il meridiano di Greenwich; conoscendo il valore dell'angolo orario di un astro a Greenwich, indicato con H_g , per trovare l'angolo orario H_λ alla longitudine λ , basterà quindi effettuare la sottrazione:

$$H_g = H_\lambda - \lambda.$$

Il segno meno nasce dalla convenzione di considerare negative le longitudine ad Est di Greenwich, cioè le longitudini crescono in senso antiorario, mentre gli angoli orari vengono (lo dice il nome stesso!) contati in senso orario. Nella pratica dei conti bisogna ricordare di esprimere le longitudini in ore e non in gradi: la conversione è semplice se si ricorda che 15° corrispondono ad 1h.

La formula che dà il TSL fornisce anche un mezzo immediato per calcolarlo senza troppi conti: quando l'astro transita in meridiano, per definizione il suo angolo orario è nullo. Quindi la sua ascensione retta α è uguale al valore del TSL. Basterà quindi, per una stella di α nota, attendere che essa transiti in meridiano, per conoscere il TSL. Esempio il 21 gennaio 2008 Betelgeuse (α Orionis) passa al meridiano di Macerata alle ore 21h 59m 24s essendo quindi per definizione $H = 0$ e conoscendo l'ascensione retta ($\alpha = 5h 55m 37s$) si ricava che il Tempo Siderale Locale per Macerata è 5h 55m 37s.

C'è da notare che a causa della precessione degli equinozi (il lento movimento della direzione dell'asse di rotazione terrestre) le coordinate equatoriali non rimangono le stesse, ma variano lentamente.