

La Sfera Celeste e le coordinate astronomiche

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 si vede muoversi il Sole, la Luna e i pianeti. Questa superficie appare rotonda, giustificando quindi il nome che le si dà: **sfera celeste** (vedi Figura 1). 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 dall'osservatore. In tutti gli studi di Astronomia di posizione si parlerà quindi di sfera celeste. Quando sarà necessario parlare della distanza dei corpi celesti, lo si dirà espressamente.

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: i **poli celesti**. La retta che congiunge i due poli si chiama **asse del mondo**.

Oggi è noto che la rotazione del cielo intorno all'asse del mondo è dovuta alla rotazione della Terra intorno al proprio asse (vedi Figura 2).

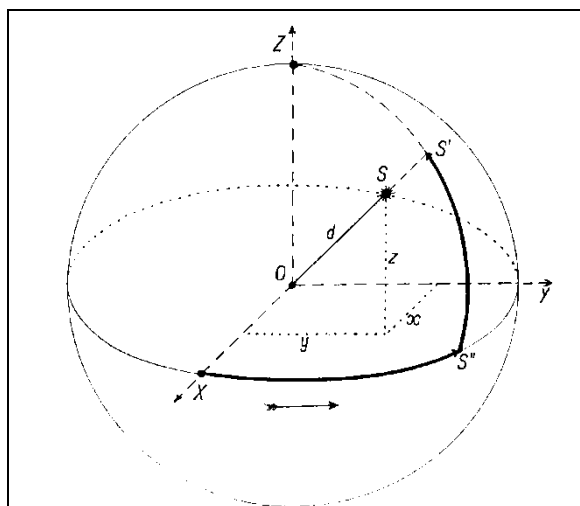


Figura 1 – Coordinate di un astro S visto da un punto O. x, y, z , sono le sue coordinate rettilinee rispetto al sistema di assi OXYZ; le ampiezze degli archi XS'' e $S''S'$, corrispondenti alla posizione sferica S' di S, sono le coordinate sferiche dell'astro.



Figura 2 – Rotazione della volta celeste; a sinistra rispetto al polo nord celeste, a destra rispetto al polo sud celeste.

L'asse del mondo e l'asse della Terra coincidono e di conseguenza i poli celesti e i poli terrestri sono allineati (Figura 3). Si può 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 (PN) ed analogamente per il Polo Sud (PS).

Il **centro della Terra** è il punto medio del segmento che ha per estremi i poli terrestri. Occorre tenere presente che la Terra viene considerata perfettamente sferica e omogenea, pertanto il

baricentro della Terra ed il suo centro geometrico coincidono. Quando questa approssimazione non potrà essere utilizzata verrà precisato.

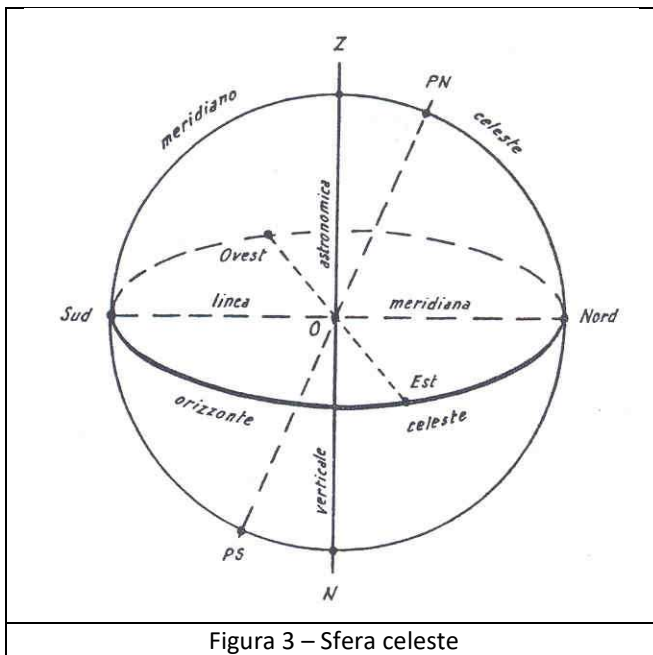


Figura 3 – Sfera celeste

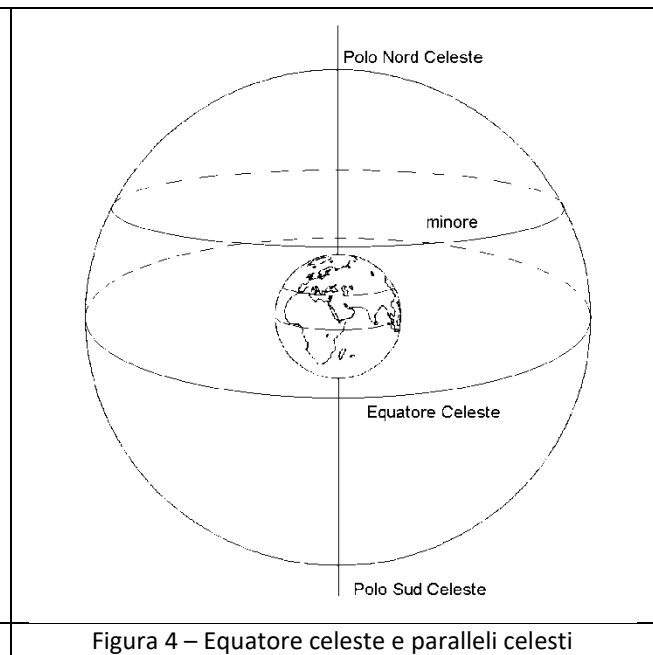


Figura 4 – Equatore celeste e paralleli celesti

Se si indica con O la posizione di un osservatore sulla superficie terrestre, nell'emisfero nord, la retta verticale (**verticale astronomica**) per O, fisicamente rappresentata dalla direzione del filo a piombo, individua sulla sfera celeste i due punti: lo **zenit** Z e il **nadir** N posti rispettivamente verso la testa e verso i piedi dell'osservatore. Il piano per O perpendicolare alla verticale prende il nome di **piano orizzontale**, la sua intersezione con la sfera celeste definisce un cerchio massimo detto **orizzonte celeste**. La sfera celeste è intersecata dai piani paralleli al piano orizzontale nei **cerchi di altezza** e dai piani verticali passanti per la verticale nei **cerchi verticali**. Il piano definito dalla verticale e dalla linea dei poli prende il nome di **piano meridiano**, esso interseca la sfera celeste lungo il **meridiano celeste** (il nome trae origine dal fatto che esso è attraversato dal Sole ad ogni mezzogiorno) ed il piano orizzontale lungo la **linea meridiana** (Figura 3). Il piano definito dalla verticale e dalla perpendicolare per O al piano meridiano è detto **primo verticale**. I quattro punti cardinali sono individuati dalle intersezioni con la sfera celeste della linea meridiana e della sua perpendicolare per O nel piano orizzontale (il punto Nord è dalla parte del polo Nord; i punti Nord, Est, Sud e Ovest si susseguono in verso orario).

Evidentemente, per ogni osservatore c'è una verticale e quindi uno zenit e un nadir, mentre i poli celesti sono gli stessi per tutti gli osservatori.

Una delle proprietà della sfera è che tutti i piani passanti per il centro determinano su di essa dei **cerchi massimi**. I cerchi determinati invece da piani non passanti per il centro prendono il nome di **cerchi minori**. Si consideri allora il piano passante per il centro della Terra e perpendicolare all'asse di rotazione: questo piano determina sulla superficie della Terra un cerchio massimo che prende il

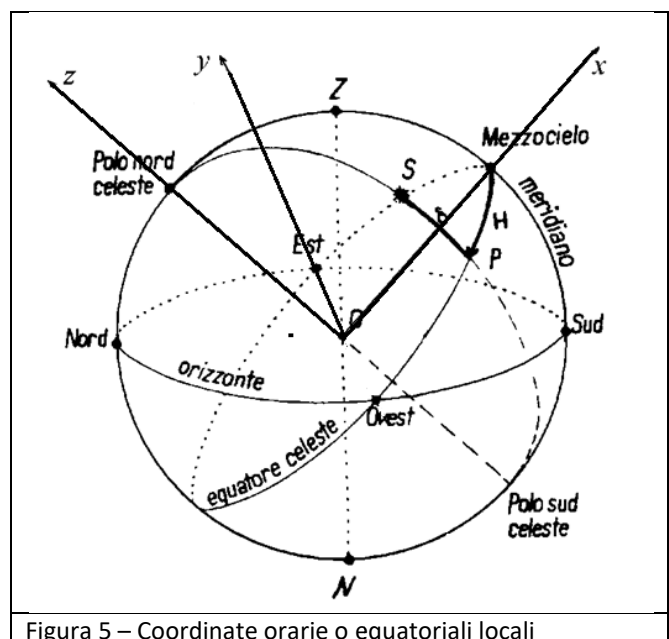


Figura 5 – Coordinate orarie o equatoriali locali

nome di **equatore terrestre** e sulla sfera celeste un cerchio massimo che viene chiamato **equatore celeste** (Figura 4).

Il meridiano locale incontra l'equatore celeste in due punti, uno sopra l'orizzonte, l'altro sotto; quello sopra l'orizzonte e verso il sud geografico si chiama **mezzocielo** (Figura 5).

Le coordinate geografiche

Si consideri la sfera terrestre: siano N e S i poli Nord e Sud rispettivamente (Figura 6). Si chiamano **paralleli** tutti e soli i cerchi ottenuti dall'intersezione di piani paralleli all'Equatore con la sfera terrestre. Si usa anche il termine **paralleli nord** per i cerchi contenuti nella semisfera compresa tra l'equatore ed il polo nord, e **paralleli sud** per quelli compresi tra l'equatore e il polo Sud. I paralleli Nord sono indicati anche premettendo il segno +, e i paralleli Sud premettendo il segno -.

I **meridiani** sono tutti i cerchi massimi passanti per entrambi i Poli, vengono indicati con un numero a partire da un meridiano scelto come meridiano zero, positivo in un determinato verso di percorrenza, negativo nell'altro.

Come conseguenza di tutto questo, per determinare la posizione di un punto sulla Terra basta indicare quali sono il parallelo ed il meridiano passanti per quel punto. Ad esempio, se nella Figura 6 si vuol determinare la posizione del punto P, per prima cosa si deve fissare il meridiano zero, quello passante per G, e come verso positivo quello verso est (in Figura 6 quello che va da O verso P'). Sia O la sua intersezione con l'equatore. Sia quindi P' il punto in cui il meridiano passante per P incontra l'equatore. Per determinare la posizione di P sulla sfera è sufficiente dare la misura degli archi P'P e OP', o, che è la stessa cosa, degli angoli $\widehat{P'CP}$ e $\widehat{OCP'}$. L'angolo $\widehat{OCP'}$, indicato con λ , tra il meridiano fondamentale e il meridiano per P viene misurato in gradi lungo l'equatore e 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 ed 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**. Per definire la posizione di un punto sulla Terra basta quindi dare una coppia di coordinate λ, ϕ di questo punto. Si deduce immediatamente che le latitudini vanno da $+90^\circ$ a -90° , mentre le longitudini vanno da 0° a 360° . Per le longitudini a volte si utilizzano angoli da 0 a 180° nel verso antiorario (verso est) e da 0 a -180° nel verso orario (verso ovest).

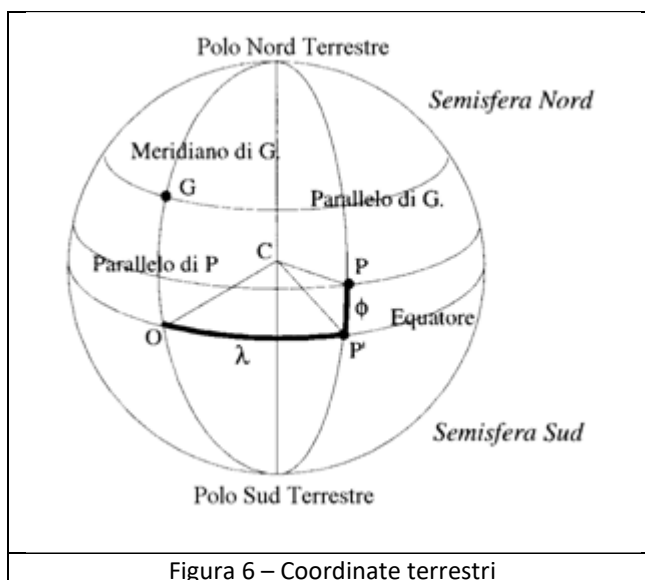


Figura 6 – Coordinate terrestri

Sistemi di coordinate astronomiche.

Per individuare univocamente la posizione di un punto sulla sfera celeste è necessario definire un sistema di riferimento celeste. Si possono definire diversi sistemi di coordinate astronomiche classificabili in due grandi famiglie: i sistemi locali e quelli assoluti a seconda che dipendano dall'osservatore terrestre o meno. I sistemi locali sono: il sistema altazimutale e il sistema equatoriale locale. I sistemi assoluti sono: il sistema equatoriale assoluto, il sistema eclittico e il

sistema galattico.

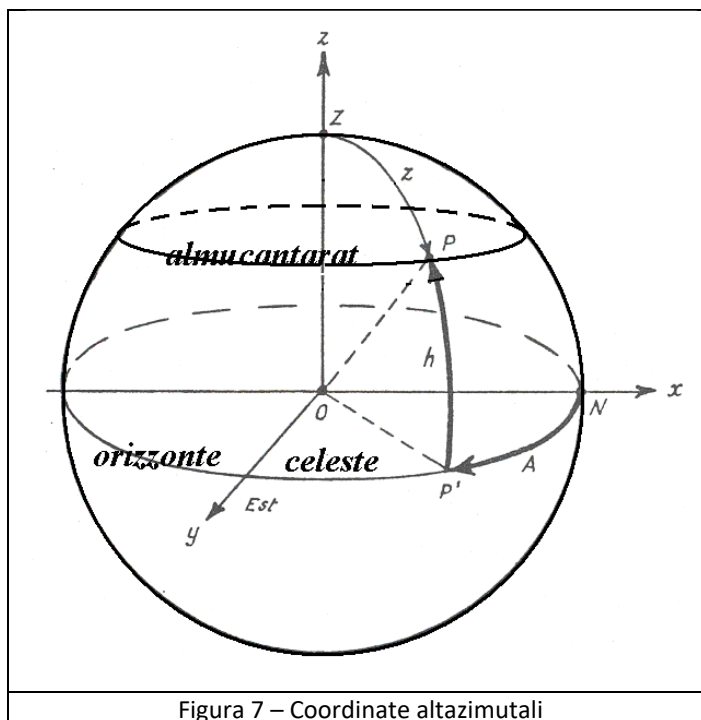
Il sistema altazimutale.

In questo sistema si sceglie come asse la direzione della verticale astronomica, i poli sono quindi lo zenit e il nadir (Figura 7). Il cerchio base è la linea dell'orizzonte celeste, approssimato bene dall'orizzonte visibile solo in mare aperto e al livello del mare. L'origine è il punto cardinale nord e il verso di percorrenza quello orario (ovvero nel senso da nord, est, sud, ovest)^[1]. 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 P si chiama **distanza zenitale** e in genere si indica con **z**. Si ha perciò: $z = 90^\circ - h$.

Tutti i punti con la stessa altezza giacciono su un circolo minore detto **cerchio di uguale altezza** o, con termine arabo, **almucantarot**.

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

- L'apparente rotazione diurna della sfera celeste fa sì che entrambe le coordinate di un astro 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 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 locale e variando la posizione dell'osservatore sulla Terra, varia la verticale e quindi il valore delle coordinate altazimutali.



Il sistema orario o equatoriale locale.

Nel sistema di coordinate orario o equatoriali locali l'asse è l'asse del mondo e il piano di riferimento è il piano equatoriale: in un sistema di assi cartesiani con origine in O il piano xy coincide con il piano equatoriale, l'asse x è diretto verso il mezzogiorno, l'asse y è diretto verso il punto est e l'asse z secondo la linea dei poli verso il polo nord (Figura 5).

Per ogni punto S (poli nord e sud esclusi) sia P il punto più vicino a S tra i due individuati dall'intersezione del cerchio orario per S con l'equatore celeste. Gli angoli \hat{MOP} (M è il mezzogiorno) e \hat{POS} sono rispettivamente l'**angolo orario H** e la **declinazione δ** di S. L'angolo orario si misura in ore, da zero a 24 h, in verso orario a partire dal mezzogiorno. La declinazione si misura dall'equatore celeste in gradi da zero a $\pm 90^\circ$ a seconda che S sia sopra o sotto l'equatore stesso. Contrariamente alle coordinate A, h ed H, la coordinata δ non dipende dall'istante di osservazione e ha quindi un carattere assoluto.

^[1] In alcuni testi l'origine è il sud il verso sempre quello orario.

Coordinate equatoriali assolute

Nel corso di un anno il Sole descrive apparentemente sulla sfera celeste un cerchio massimo che prende il nome di **eclittica** (dell'epoca) (Figura 8). Il moto del Sole sulla volta celeste sembra avvenire lungo le costellazioni dello zodiaco e poiché il piano dell'eclittica è attualmente inclinato di $\varepsilon = 23^\circ 27'$ (ε si chiama anche **obliquità dell'eclittica** ed è l'inclinazione dell'asse di rotazione della Terra rispetto alla perpendicolare al piano della sua orbita) rispetto al piano dell'equatore celeste, questi due cerchi massimi si intersecano in due punti. Il punto in cui l'eclittica interseca equatore celeste in corrispondenza del quale il Sole passa da sotto a sopra l'equatore è chiamato **primo punto d'Ariete** o **punto vernale** o ancora **punto gamma γ** dal simbolo greco con cui comunemente si indica l'Ariete. È anche il punto in cui si trova il sole il giorno dell'equinozio di primavera. L'altro punto di intersezione, il punto in cui si trova il sole il giorno dell'equinozio d'autunno, si chiama **punto omega Ω** o anche **primo punto della Bilancia**.

Nel sistema delle coordinate equatoriali assolute gli elementi di riferimento sono quelli già introdotti nel sistema di coordinate equatoriali locali, tuttavia la terna di assi cartesiani con origine in O differisce dalla tema precedentemente definita perché ora l'asse x è diretto verso un punto fisso della sfera celeste e partecipa quindi al moto di rotazione della sfera celeste indipendentemente dall'osservatore (Figura 9). Il punto fisso è il **punto gamma γ** .

In realtà il punto γ non è fisso a causa di una lenta variazione delle giaciture dei piani equatoriale ed eclittico dovuta alla precessione degli equinozi di cui si accennerà in altra lezione. Ciò implica una lenta variazione delle coordinate equatoriali e quindi la necessità di far riferimento alla posizione di γ ad una data epoca se si vuole prescindere da questo effetto. Con riferimento alla Figura 9 ogni punto P (poli esclusi) rimane individuato dagli angoli $\gamma\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, rispettivamente detti **ascensione retta α** e **declinazione δ** .

L'ascensione retta si misura in verso antiorario (o diretto) in ore da zero a 24 h, la declinazione come già detto nel paragrafo precedente. Al momento del transito di un astro al meridiano, il suo angolo orario è uguale a zero. Un'ora dopo, la volta celeste avrà ruotato di un arco pari a $15^\circ (= 360^\circ/24 \text{ ore})$. Il suo angolo orario sarà allora esattamente pari a 1h. Anche il punto γ avrà, istante per istante, un valore del suo angolo orario, questo particolare angolo orario prende il nome di **Tempo Siderale Locale (TSL o anche t_s)**. Il Tempo Siderale Locale è pari alla somma, in valore assoluto, degli archi $\gamma P'$, cioè dell'ascensione retta dell'astro e dell'arco $P'M$ ($M = \text{Mezzocielo}$), ossia del suo angolo orario H . Si ha quindi una importante relazione: $TSL = H + \alpha$.

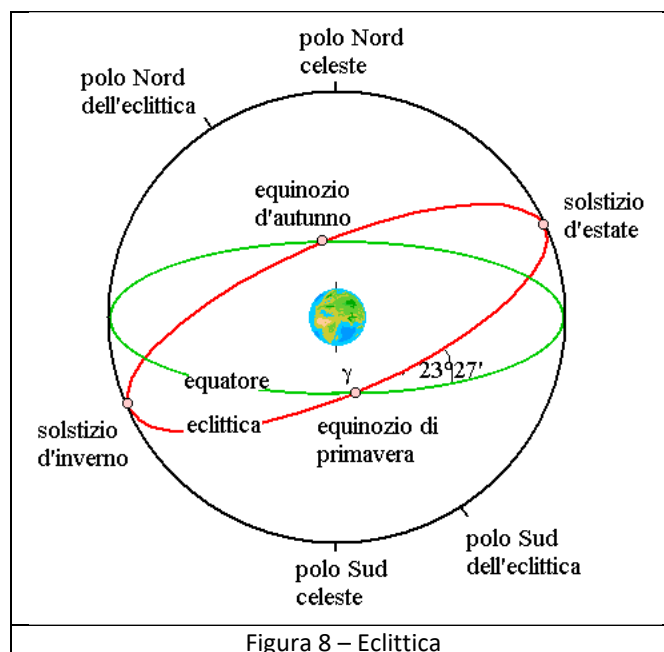


Figura 8 – Eclittica

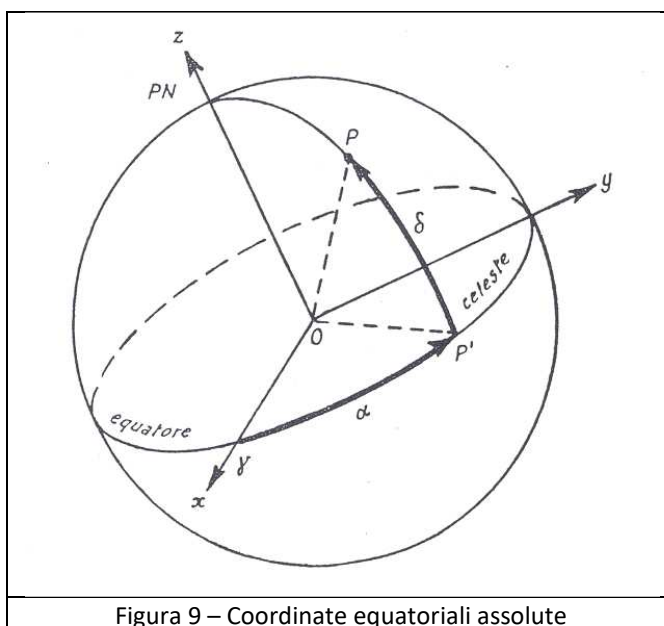


Figura 9 – Coordinate equatoriali assolute

Risulta evidente che lo zenit dell'osservatore ha declinazione uguale alla latitudine geografica e ascensione retta uguale al *TSL*. Da ciò si ricava che per conoscere il tempo siderale locale è sufficiente conoscere l'ascensione retta della stella che transita al meridiano locale in quel momento. Non è inoltre difficile osservare che l'altezza del polo sull'orizzonte è anch'esso uguale alla latitudine geografica.

Coordinate eclittiche

Nel sistema di coordinate eclittiche gli elementi di riferimento sono l'eclittica (dell'epoca) e la perpendicolare all'eclittica stessa. La terna cartesiana con origine in *O* ha l'asse *x* diretto verso il punto γ (Figura 10). Ogni punto *P* sulla sfera celeste (esclusi i poli dell'eclittica) è individuato dagli angoli $\gamma\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, detti rispettivamente **longitudine eclittica** λ e **latitudine eclittica** β , e misurati entrambi in gradi, il primo da 0 a 360° (in verso antiorario) e il secondo da zero a $\pm 90^\circ$ a seconda che *P* sia sopra o sotto l'eclittica.

Poiché il piano dell'eclittica è inclinato rispetto al piano dell'equatore celeste risulta che il Polo Nord Celeste ha coordinate eclittiche $\lambda = 90^\circ$ e $\beta = 90^\circ - \varepsilon$. L'obliquità dell'eclittica varia lentamente nel tempo a causa della variazione di giacitura dei piani dell'eclittica e dell'equatore (vedi più avanti) e variano quindi le coordinate eclittiche. Come nell'analogo caso delle coordinate equatoriali si fa pertanto riferimento all'eclittica di una data epoca.

Questo sistema di coordinate risulta particolarmente utile in tutti i problemi di astronomia planetaria poiché i pianeti si muovono attorno al Sole su orbite quasi complanari con l'eclittica.

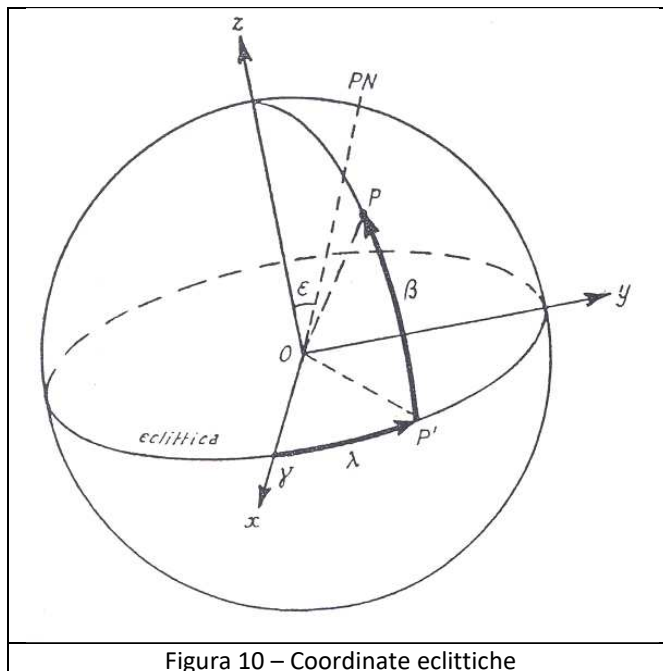


Figura 10 – Coordinate eclittiche

Coordinate galattiche

Il terzo sistema di coordinate è quello delle coordinate galattiche i cui elementi di riferimento sono il piano equatoriale della Galassia e la sua perpendicolare. Questo piano fu definito dapprima mediante conteggi stellari, successivamente come piano di massima emissività della riga 21 cm dell'idrogeno neutro interstellare. In effetti i due piani (quello definito dalle stelle e quello dell'idrogeno) sono lievemente inclinati uno rispetto all'altro, ma passano entrambi per il Sole, in modo da rispettare sempre il principio fondamentale di avere l'osservatore al centro della sfera. Una risoluzione dell'IAU del 1976 ha adottato questo secondo sistema come quello propriamente detto galattico.

Il polo nord galattico è definito alle coordinate equatoriali $\alpha = 12^h 49^m$ e $\delta = 27^\circ 24'$ al 1950 e si trova nella costellazione della Coma. La terna cartesiana di riferimento con origine nell'osservatore *O* ha l'asse *x* orientato verso il centro galattico, che è localizzabile in prossimità della radiosorgente Sagittarius A e che ha coordinate $\alpha = 17^h 42^m,4$ e $\delta = -28^\circ 55'$ (sempre al 1950) (Figura 11).

Il sistema, riferito al 2000 ha il polo nord galattico a $\alpha = 12^h 51^m 26,282s$, $\delta = +27^\circ 07' 42,01''$. Il punto del cielo in cui sia latitudine che longitudine sono pari a 0 è $\alpha = 17^h 45^m 37,224s$, $\delta = -28^\circ 56' 10,23''$ (sempre al 2000).

Gli angoli $A\hat{O}P'$ e $P'\hat{O}P$, che individuano il punto *P* sulla sfera celeste, sono nell'ordine la **longitudine galattica** *l* (elle) e la **latitudine galattica** *b*. Entrambe queste coordinate si misurano in gradi, la prima da zero a 360° in verso antiorario, la seconda da zero a $\pm 90^\circ$ a seconda che *P* sia sopra o sotto l'equatore galattico. La stessa definizione di questo sistema di coordinate rende evidente l'opportunità di usare coordinate galattiche in tutti i problemi che coinvolgono la localizzazione di oggetti nella Galassia.

Il piano galattico è inclinato di $62,3^\circ$ rispetto all'equatore celeste.

Come si è potuto vedere l'origine del Sistema di Coordinate coincide con il punto di osservazione che normalmente è un punto della superficie terrestre, in questo caso le coordinate sono dette **topocentriche** e dipendono dalla località cui si riferiscono: in particolare per gli oggetti vicini, quali la Luna e i satelliti artificiali possono variare notevolmente. A parte questi casi le differenze sono molto piccole e vengono trattate come correzioni alle coordinate *geocentriche*, la cui origine è posta nel centro della Terra.

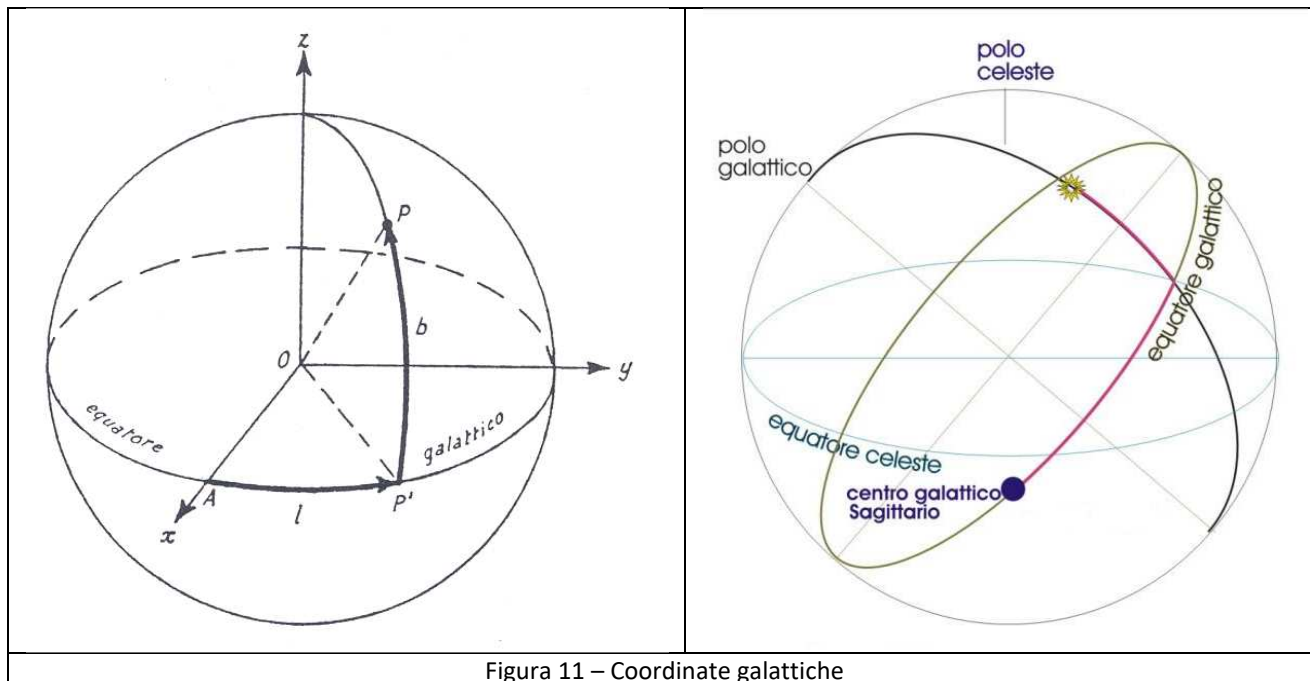


Figura 11 – Coordinate galattiche

Nello studio del sistema solare un sistema di coordinate geocentrico crea inutili complicazioni e si adotta quindi un sistema di coordinate la cui origine coincide con il centro del Sole, un sistema **eliocentrico**. Attualmente però nello studio del sistema solare, essendo necessario basarsi su un riferimento inerziale, si fissa l'origine nel baricentro del sistema solare. La differenza non è irrilevante: il baricentro del sistema solare è approssimativamente sulla superficie del Sole.

Con quello che è stato detto, non si esauriscono le possibili scelte per l'origine del sistema di coordinate, per esempio è possibile definire le coordinate **galattocentriche**, riferite cioè al centro della Galassia.

La tabella 1 riassume i principali sistemi di coordinate e le loro caratteristiche.

Tabella 1 – Le coordinate celesti						
COORDINATE	Circonferenza fondamentale	Origine	Verso	Polo	Nomi	Simboli
Orizzontali (Altazimutali)	orizzonte	Nord	N→E	zenit	azimut altezza	A h
Orarie (Equatoriali Locali)	equatore	Mezzocielo superiore	retrogrado	Polo Nord	angolo orario declinazione	H, t δ
Equatoriali (Assolute)	equatore	γ	diretto	Polo Nord	ascensione retta declinazione	α δ
Eclittiche	eclittica	γ	diretto	Polo Nord eclittica	longitudine ecl. latitudine ecl.	λ β
Galattiche	equatore galattico	definizione convenzionale	diretto	definizione convenzionale	longitudine gal. latitudine gal	l b