

La sfera celeste

Coordinate alt-azimutali

Coordinate orarie e equatoriali

Il Tempo Siderale

Coordinate eclitticali

Coordinate galattiche

La sfera celeste - 1

Ritorniamo al modello di sfera celeste di raggio indeterminato. Ciò significa anche implicitamente che il centro della sfera celeste, a tutto rigore passante per l'osservatore (sfera topocentrica, sistemi di riferimento topocentrici), all'atto pratico può essere trasferito nel centro della Terra, o del Sole, o del baricentro del sistema solare (sfera geocentrica, eliocentrica, baricentrica) senza che ci si debba preoccupare di tale traslazione *a meno che la distanza al corpo celeste in esame sia piccola*. Dovremo pertanto fare attenzione per la Luna, i pianeti, il Sole, gli asteroidi, le comete, le stelle vicine, ma per la gran parte delle stelle, per le galassie e i corpi a distanza cosmologica l'origine del riferimento di coordinate è irrilevante.

Sulla sfera celeste, possiamo misurare *distanze angolari relative* (ad es. tra due stelle) *ancor prima di aver istituito un vero sistema di riferimento*, e dunque possiamo usare cerchi massimi e angoli al centro. La Luna e il Sole forniscono un grossolano indicatore per osservazioni visuali, avendo entrambi i corpi diametro angolare apparente di circa mezzo grado.

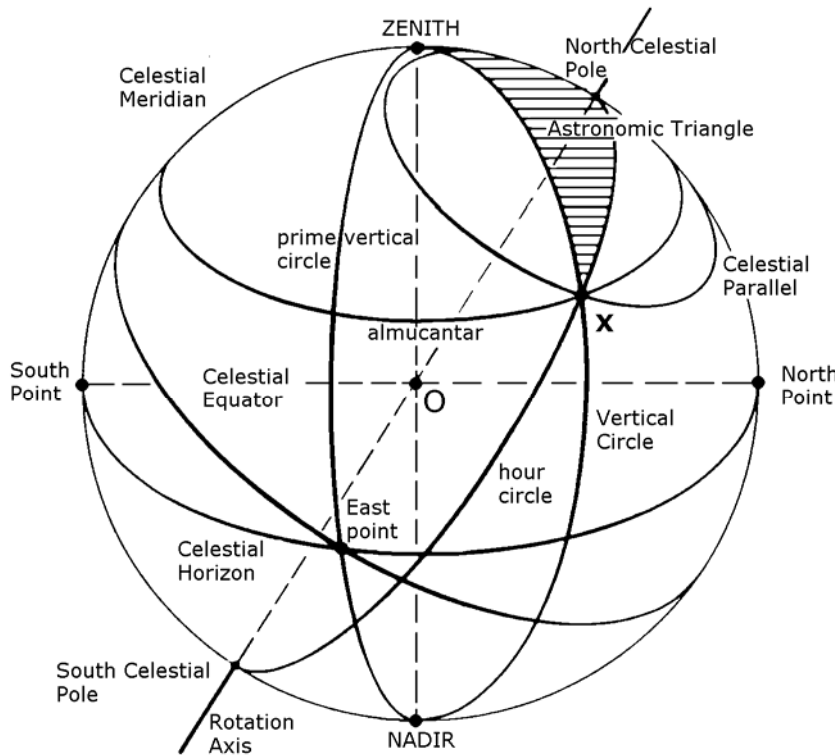
La sfera celeste - 2

Con dispositivi puramente meccanici, ad es. l'occhio più traguardi e livelle (i soli mezzi disponibili fino agli inizi del XVII secolo), si potevano raggiungere precisioni di 1 o 2 *primi* d'arco (una avvertenza, la visione fornisce impressioni associate con archi, non con angoli; per questa ragione per esempio la Luna all'orizzonte *sembra* molto più grande che allo Zenit).

Con dispositivi ottici, la precisione sulla distanza e/o posizione **relativa** può raggiungere il *millesimo di secondo d'arco*. Molto più delicato è il problema di definire e mantenere un sistema di riferimento *assoluto*, coerente su tutta la sfera celeste, in modo da operare con angoli e direzioni dal centro.

Il satellite europeo Hipparcos, i cui dati divennero disponibili dal 1997, ha portato a sostanziali miglioramenti rispetto ai cataloghi precedenti, grazie a due cruciali **vantaggi, cioè l'assenza di orizzonte e l'assenza di rifrazione atmosferica**. Dopo Hipparcos, GAIA (lancio verso il 2011) porterà un ulteriore miglioramento di circa 2 ordini di grandezza.

Zenit e Polo Celeste



Da ogni località sulla terra, la volta celeste appare ruotare attorno a una direzione che definisce i **poli** celesti, di cui solo uno è visibile sopra all'orizzonte. Si noti la **località** della costruzione, ciascun luogo ha associato un sistema di cerchi verticali rispetto ai quali la volta celeste ruota in continuazione. Le stelle sorgono a Est e tramontano a Ovest.

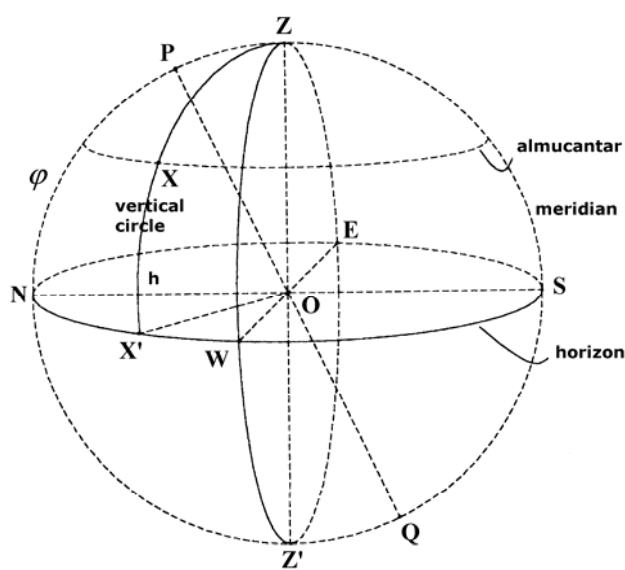
Una stella come X, il cui cerchio parallelo non va mai sotto l'orizzonte, si dice **circumpolare (per quella località)**, ed è visibile tutta la notte. V'è comunque tutta una calotta sferica che non sorge mai sopra l'orizzonte, ed è invisibile da quella data località (tranne che all'equatore).

Il sistema Alt-Azimutale

Il sistema Alt- Azimutale (o orizzontale) si basa sul piano orizzontale e sulla retta ad esso perpendicolare, cioè la verticale. Almeno in linea di principio, questo sistema si può realizzare immediatamente con dispositivi semplici, quali il filo a piombo e la livella. I punti in cui la verticale taglia la sfera celeste si chiamano rispettivamente **Zenit Z** (sopra alla testa), e **Nadir** (sotto i piedi, inosservabile) **Z'**. Il piano passante per l'osservatore e perpendicolare alla verticale (ad es. la superficie libera di un liquido) si chiama **orizzonte astronomico**, da non confondere con l'orizzonte visibile ad es. da un aereo.

Consideriamo ora il polo celeste P, e conduciamo il grande cerchio per P e Z; questo cerchio è il **meridiano** dell'osservatore, e ovviamente deve contenere anche Z' e l'altro polo S. Il meridiano taglia l'orizzonte in due punti, cioè il vero Nord (dal lato di P rispetto a Z) e vero Sud. Ogni altro circolo passante per Z, Z' (cioè contenente la verticale) si chiama appunto circolo verticale. In particolare quello a 90° dal meridiano si chiama 'primo verticale'; esso definisce sull'orizzonte i punti di vero Est (E) e vero Ovest (W). Questi quattro punti sull'orizzonte N,S,E,W sono i punti **cardinali**.

La sfera altazimutale



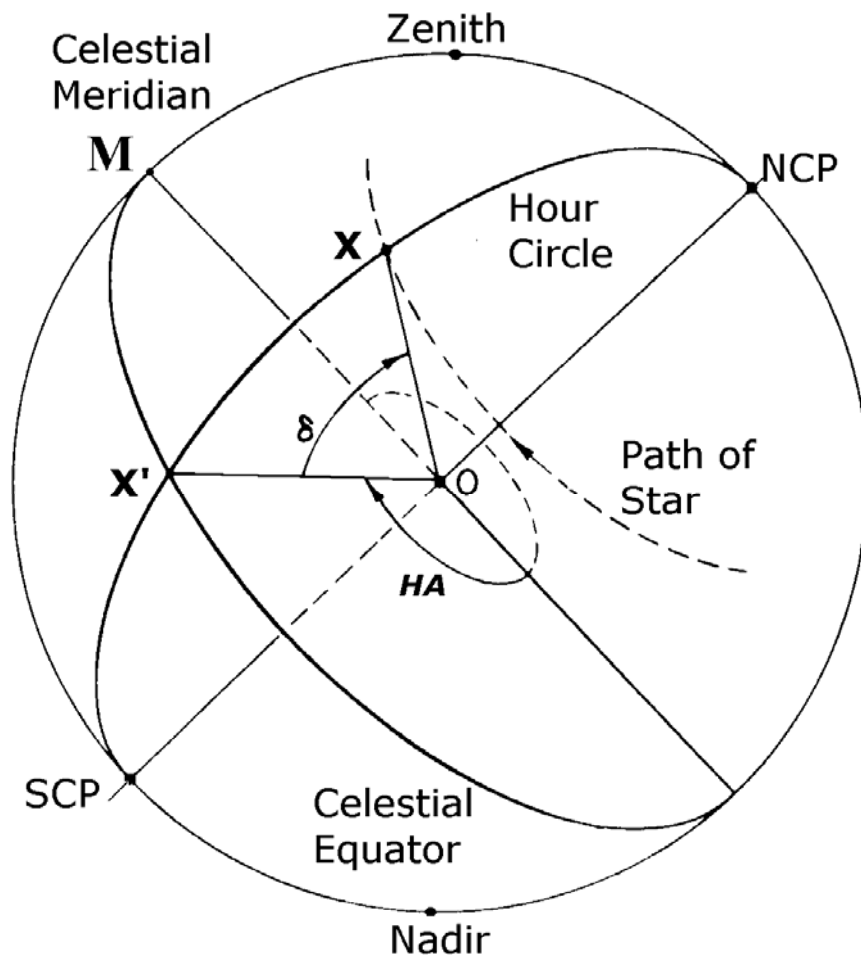
L'altezza del Polo celeste visibile sopra all'orizzonte si dice **latitudine astronomica φ** del luogo. Con termine arabo, si dicono almucantar, o almucantar, i paralleli di altezza.

Data la stella X diremo **azimut A** l'arco SX' o l'angolo al centro SOX' , e **altezza h** l'arco $X'X$ ovvero l'angolo $X'OX$. La coppia **(A, h)** dipende dalla località e cambia con il passare dei minuti causa la rotazione della volta celeste. Se **$h < 0$** l'oggetto è invisibile (sotto all'orizzonte).

Due avvertenze: 1- in molte applicazioni l'azimut si conta da N e non da S, e in alcuni sistemi il verso dell'angolo è antiorario. 2 - talvolta conviene usare l'angolo $= 90^\circ - h$, detto **distanza zenitale**.

Per passare dalla sfera topocentrica a quella geocentrica si deve conoscere la **posizione della località sull'ellissoide**, con il metodo visto in precedenza. Questo passaggio è necessario quando si osservano corpi a piccola distanza dall'osservatore, ad es. quelli del Sistema Solare (pianeti, asteroidi, comete).

Angolo Orario e Declinazione (**sistema orario**)



Sulla sfera celeste, il meridiano taglia l'equatore celeste **dalla parte del Sud** nel punto M (**mezzocielo**).

Per ogni stella X, si conduca il cerchio massimo passante per il polo visibile P (detto **cerchio orario** di P), cerchio che evidentemente passa anche per l'altro polo, e che interseca l'equatore in X'. Diremo angolo orario **HA** e declinazione δ di X la coppia di coordinate angolari:

$$HA(X) = \text{arco } MX'$$

$$\delta(X) = \text{arco } X'X$$

o i corrispondenti angoli al centro.

Sistema Orario

Ripetendo, sia X' l'intersezione tra cerchio orario e equatore: si chiamerà **angolo orario di X** , $HA(X)$, l'arco MX' , usualmente contato verso Ovest da M , e espresso in (^{h m s}) tra 0^h e 24^h :

$$HA(X) = \text{arco } MX' , \quad 0^h \leq HA(X) \leq 24^h$$

(sono possibili altre scelte, ad es. è intuitivo misurare HA positivo verso W da 0^h a 12^h , e negativo verso E da 0^h a -12^h , così come si possono usare gradi o radianti).

Quando $HA = 0^h$, si dice che la stella è in **culminazione superiore**, quando $HA = 12^h$, la si dice in **culminazione inferiore**.

La seconda coordinata di X , chiamata **declinazione δ** , è l'arco $X'X$, contato in ($^\circ \ ' \ ''$) da 0° a 90° , positiva verso il Polo celeste Nord, e negativa verso il Polo celeste Sud:

$$\delta(X) = \text{arco } X'X , \quad -90^\circ \leq \delta(X) \leq +90^\circ$$

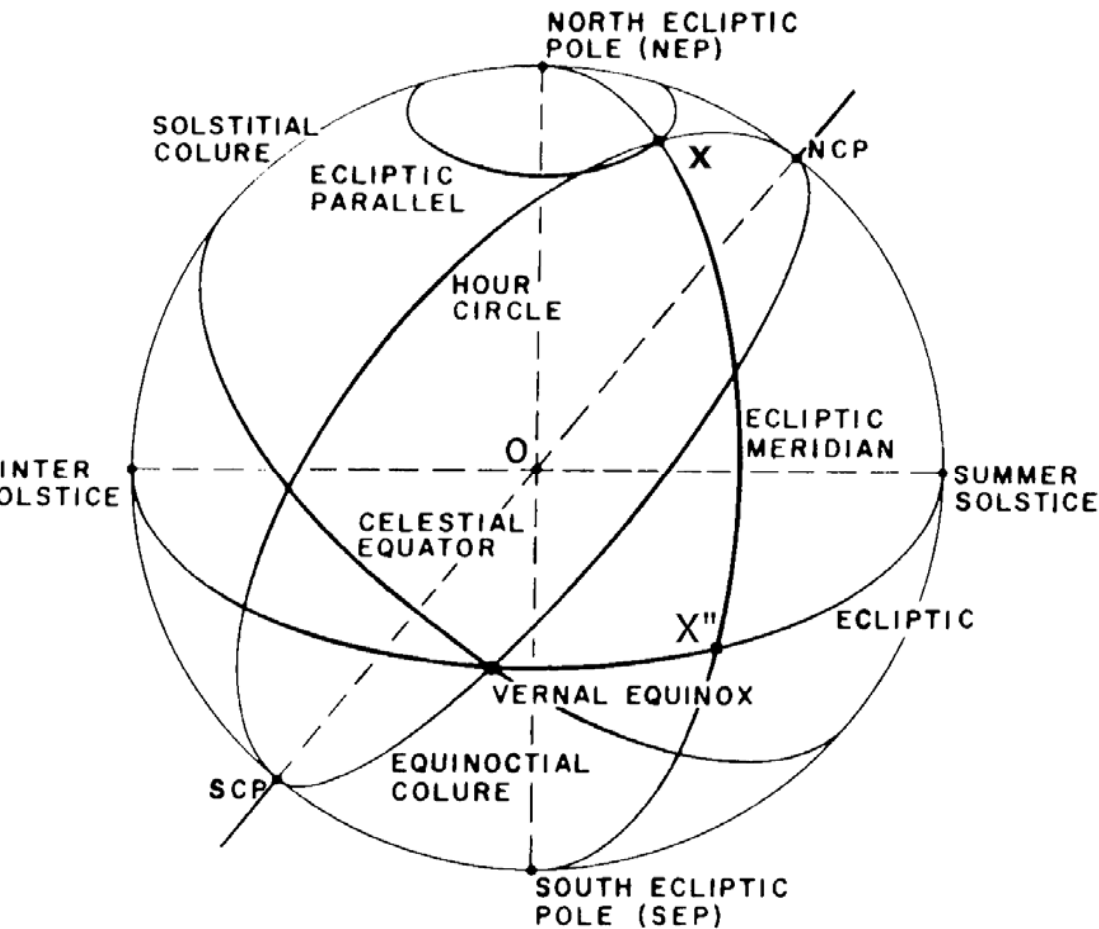
L'eclittica

Consideriamo il luogo occupato dal Sole durante il suo moto annuale sull'**eclittica**, cioè il cerchio maggiore descritto in un anno alla velocità angolare di circa $1^\circ/\text{giorno}$, in senso diretto (verso Est). L'eclittica è inclinata sull'equatore di un angolo $\varepsilon \approx 23^\circ 27'$, angolo detto **obliquità dell'eclittica**.

Equatore e eclittica si intersecano in due punti opposti, detti **equinozi**; quello vernale è dove il Sole (indicato con \odot) transita all'inizio della primavera, attorno al 21 marzo; quello autunnale si ha 6 mesi più tardi, attorno al 21 settembre. In entrambi i punti si ha $\delta(\odot) = 0^\circ$, ma la derivata of $\delta(\odot)$ è positiva nel primo caso, negativa nel secondo. Il punto vernale si indica usualmente con il segno astrologico dell'Ariete ♈ , graficamente approssimato con la lettera greca γ (gamma), il punto di autunno con il segno astrologico della Libra ♎ , approssimato con la lettera greca Ω (Omega).

I punti sull'eclittica a 90° dagli equinozi si chiamano **solstizi**, rispettivamente di estate (circa il 21 giugno) e di inverno (circa al 22 dicembre); la declinazione del Sole in questi punti è $\delta(\odot) = \pm \varepsilon$.

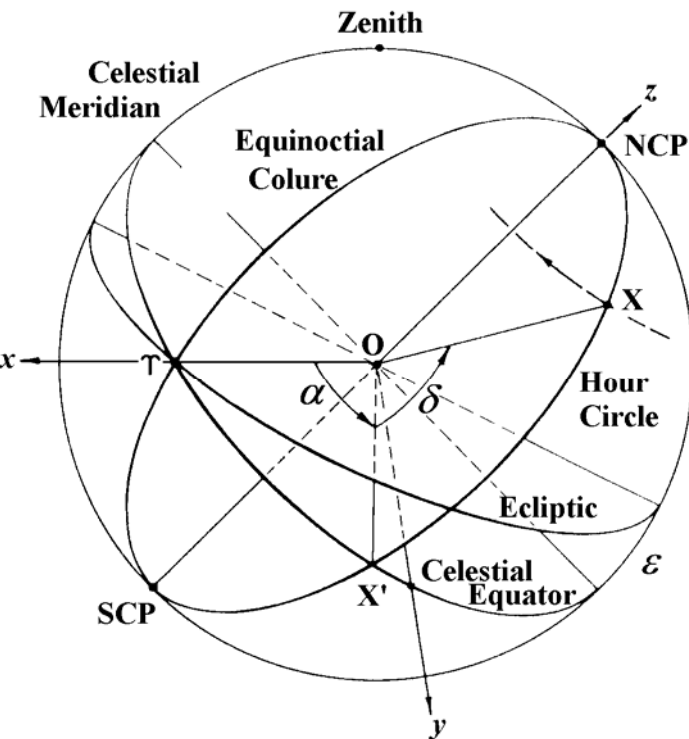
Equatore celeste e eclittica



I grandi cerchi passanti per i poli e gli equinozi o i solstizi, si dicono **coluro** degli equinozi (o rispettivamente dei solstizi). I poli dell'eclittica appartengono al coluro dei solstizi.

Il **Polo eclitticale E** e' nella costellazione del Draco, vicino alla nebulosa gassosa NGC 6543. La stella brillante piu' vicina a E e' ω Draconis, di quarta magnitudine visuale, a circa 3° di distanza.

Ascensione Retta e Declinazione (**sistema equatoriale**)

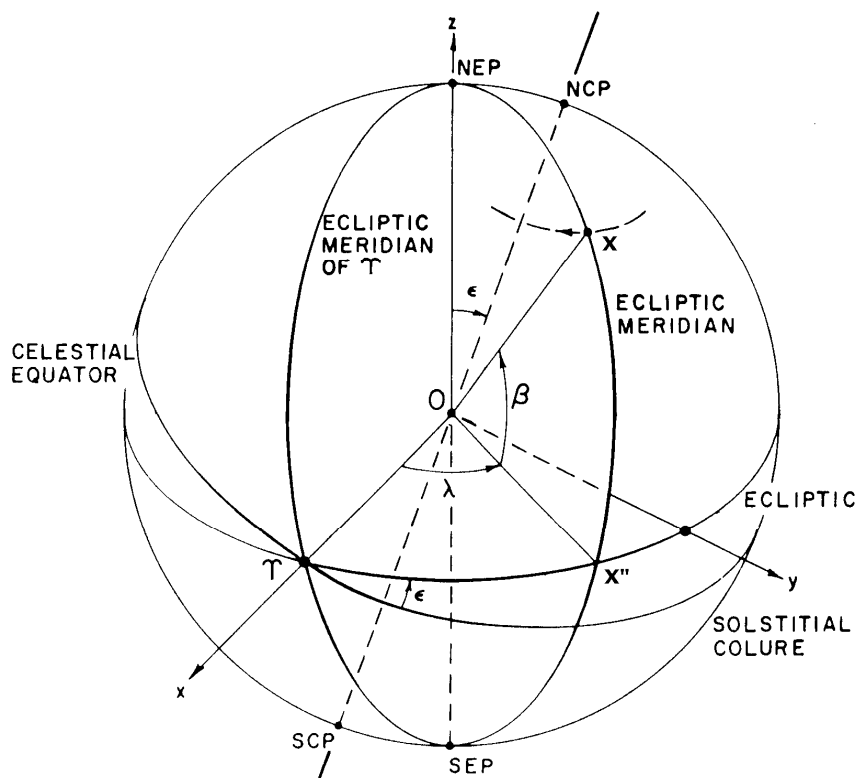


Data una stella **X**, si conduca il grande cerchio per il polo celeste NCP e **X**, che interseca l'equatore in **X'**; come origine della prima coordinata angolare si scelga il **punto vernale (o equinozio) γ** , e si misuri l'arco $\gamma X'$ in senso **diretto**: questo arco e' la **Ascensione Retta** di X, indicata di solito con la lettera greca **α** , arco $\gamma X' = AR(X) = \alpha(X)$, e misurata in (^{h m s}) da 0^h a 24^h. Si noti il verso di α , opposto a quello di HA. L'ascensione retta può anche essere definita come l'angolo al polo tra l'angolo orario della stella e il coluro vernale. Per il Sole, agli equinozi, $\alpha_{\odot} = 0^h$ and 12^h

La **declinazione** di X e' definita come prima, **$\delta(X) = \text{arco } X'X$** , $0 \leq |\delta(X)| \leq 90^\circ$.

Il polo nord dell'eclittica E ha **$\alpha(E) = 18^h$** , **$\delta(E) = 90^\circ - \varepsilon$** .

Coordinate eclitticali



Analogo al sistema equatoriale è quello eclitticale (in effetti quello usato dagli antichi).

Il sistema di coordinate eclitticali ha l'**eclittica** come piano fondamentale. Tale piano è inclinato su quello dell'equatore celeste dell'angolo ϵ (**obliquità dell'eclittica**).

L'origine del sistema di coordinate è lo stesso punto vernale γ origine delle coordinate equatoriali.

Le **longitudini eclitticali** λ si danno di solito in ($^{\circ}$ ' ") tra 0° and 360° , nello stesso verso diretto delle Ascensioni Rette.

Le **latitudini eclitticali** b si danno in ($^{\circ}$ ' ") tra 0° e $\pm 90^{\circ}$, come le declinazioni.

Il Tempo Siderale

Si definisca ora **tempo siderale** **ST** l'angolo orario del punto γ :

$$ST = HA(\gamma)$$

che è quantità continuamente variabile tra 0^h e 24^h , a causa della rotazione della Terra. Prendendo in considerazione il verso opposto di **HA** rispetto a quello di α , per una qualunque stella X abbiamo la relazione fondamentale :

$$\alpha(X) = ST - HA(X)$$

che fissa la trasformazione tra il sistema orario e quello equatoriale.

L'applicazione pratica della formula richiede che si consideri la convenzione adottata per **HA**, perché **per definizione** $0^h \leq \alpha \leq 24^h$. Ad ogni modo, quando la stella transita nel meridiano superiore (**HA** = 0^h), **la sua ascensione retta coincide con il tempo siderale**. Questa importantissima relazione può essere letta in entrambi i versi: se conosciamo bene **ST** allora determiniamo la α delle stelle che transitano in meridiano; se invece abbiamo un catalogo di stelle fondamentali per le quali conosciamo bene la α , allora determiniamo bene ST misurando i transiti di tali stelle.

Il Tempo Siderale e la rotazione della Terra

ST è quantità variabile nel tempo, causa la rotazione della Terra, che procede in modo abbastanza regolare; anzi, per ora *ignoriamo qualunque deviazione dalla uniformità* (cioè assumiamo la rotazione costante sia in modulo che in direzione). Potremmo allora costruirci un **orologio** la cui lettura coincidesse ad ogni istante con **ST**.

Per tutte le applicazioni pratiche potremmo allora legittimamente *identificare ST con un tempo*, purché ci rimanga ben presente la definizione rigorosa di **ST** come **angolo istantaneo** sull'equatore celeste tra il meridiano e il punto γ .

Le osservazioni mostrano tuttavia che la rotazione della Terra **non è** così uniforme come si poteva supporre nel passato. Sia la direzione che il modulo del vettore rotazione diurna mostrano andamenti secolari e fluttuazioni a corto periodo (precessione, nutazione, nutazione euleriana, irregolarità varie) che sono ben misurabili. Si deve dunque fare molta attenzione nell'uso di **ST** come unità di tempo.

I moti dell'equinozio - 1

Anticipiamo qui alcune nozioni che verranno esposte in maggior dettaglio nel capitolo 7.

L'ascensione retta e la declinazione rimarranno costanti tanto quanto la giacitura del piano equatoriale, e dunque il punto vernale γ , rimangono fissi rispetto alle stelle. In realtà, γ è soggetto a moti secolari e periodici che riflettono i moti dell'osservatore terrestre. Anche l'obliquità dell'eclittica ε non è proprio costante.

In aggiunta, le coordinate avranno piccole variazioni secolari a causa del moto delle stelle rispetto al Sole (*moti propri*).

Tuttavia, su corte scale temporali (ad es. 1 anno), la coppia ordinata (α, δ) rimarrà *quasi* costante, e per periodi più lunghi si possono derivare accurate *formule di correzione*.

I moti dell'equinozio - 2

Il punto vernale γ ha tre tipi di moto:

- La **precessione lunisolare**, che lo fa scivolare incontro al Sole di circa $50''.3$ all'anno **sull'eclittica**; è dunque un moto periodico con lunghissimo periodo, circa 26.000 anni, per cui lo si può considerare un effetto **secolare**
- La **precessione planetaria**, che altera ϵ a livello di $-0''.47/\text{anno}$, anche in questo caso con lunghissimo periodo
- La **nutazione**, un insieme di fenomeni a corto periodo dovuti alla retrogradazione dei nodi dell'orbita lunare (con periodo fondamentale di 18.6 anni), alla variabile distanza Terra-Luna (periodo 1 mese lunare), alla variabile distanza Terra-Sole (periodo 1 anno), e infine a un insieme di cause geofisiche. Servono oltre 110 termini per esprimere la nutazione con sufficiente precisione!

Le coordinate equatoriali osservate a una certa **data** vanno pertanto corrette a una certa **epoca** (ad es. al J2000.0) con opportune formule. Se si tiene conto solo dei fenomeni secolari (precessione lunisolare + precessione planetaria = **precessione generale**) si hanno le cosiddette **coordinate medie a quella data**.

I cataloghi astrometrici

Dunque, **il sistema equatoriale è quello fondamentale** per ogni accurata descrizione della volta celeste, ed è quello usato dai maggiori cataloghi stellari.

I nomi di alcuni cataloghi:

AGK3, FK4, SAO PPM, FK5, USNO, HIPPARCOS, TYCHO, GSC (HST).

Tali cataloghi danno la coppia (α , δ) a un'epoca iniziale (oggi J2000.0, nel passato recente B1950.0), e talvolta anche i moti propri, la magnitudine, il tipo spettrale e la velocità radiale.

Cataloghi fondamentali - 1

La costruzione di un catalogo ***fondamentale è una operazione molto complessa***. Molti cataloghi stellari hanno infatti solo natura ***differenziale***, cioè danno posizioni relative a un insieme di stelle fondamentali.

Dal 1964 si usò il catalogo detto FK4, contenente circa 1500 stelle brillanti. La sua revisione, ***FK5***, pubblicata nel 1988 da Fricke e collaboratori, dà le posizioni e moti propri di 1535 stelle brillanti, con una nuova determinazione della posizione di γ , con l'adozione delle nuove costanti di precessione raccomandate dalla International Astronomical Union (IAU) nel 1976, e l'eliminazione della aberrazione ellittica dalle coordinate medie. Fu pubblicata anche una estensione del FK5 contenente altre 3117 ***stelle secondarie*** più deboli, fino alla mag. 9.5.

Cataloghi fondamentali - 2

Dal 1997, è disponibile un nuovo riferimento fondamentale, chiamato International Celestial Reference Frame (**ICRF**), basato sulle posizioni di un piccolo numero di radiosorgenti extragalattiche (non di stelle osservate nel visibile!).

Il catalogo basato su questo riferimento, la cui origine è stata traslata nel baricentro del Sistema Solare, è chiamato International Celestial Reference System (**ICRS**). Il catalogo del satellite astrometrico europeo Hipparcos è stato riferito a questo sistema, e così lo sono le effemeridi dei corpi del Sistema Solare System pubblicate dal Jet Propulsion Laboratory.

Coordinate galattiche - 1

Il sistema di *riferimento galattico* (*coordinate galattiche*) ha natura profondamente diversa dai precedenti, perchè il suo piano fondamentale *non dipende da misure geometriche*, ma è determinato dalla *distribuzione nello spazio della materia* della Via Lattea, vuoi stelle o nubi di idrogeno interstellare.

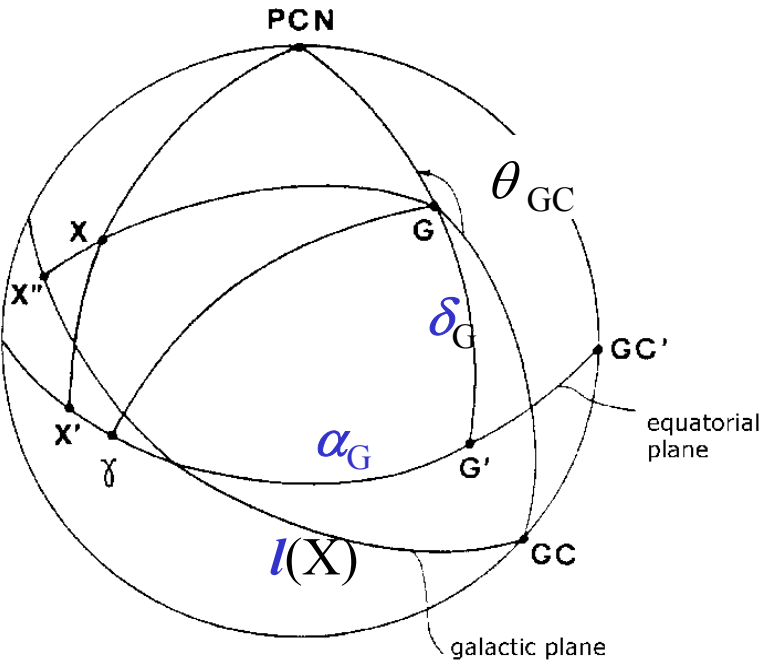
Per definire *il piano fondamentale* del riferimento si usarono dapprima i *conteggi di stelle*. Tale originale sistema venne indicato con (l^I, b^I) . Successivamente si usò **il piano di massima brillantezza superficiale dell'idrogeno interstellare**, cioè della intensità della riga 21-cm (1420 MHz), in un nuovo sistema indicato con (l^{II}, b^{II}) . Il nuovo sistema basato su dati radio e non ottici si dimostrò subito migliore del precedente, perchè non affetto da assorbimento interstellare, ed è il solo ora usato; esso viene indicato semplicemente con (l, b) .

L'origine **CG** delle longitudini eclitticali l è una radiosorgente puntiforme in direzione della costellazione del Sagittario.

Coordinate galattiche - 2

Le coordinate equatoriali del Polo Nord Galattico **G**, le coordinate equatoriali del centro galattico e il suo angolo di posizione θ_{GC} sono (all'epoca B1950.0):

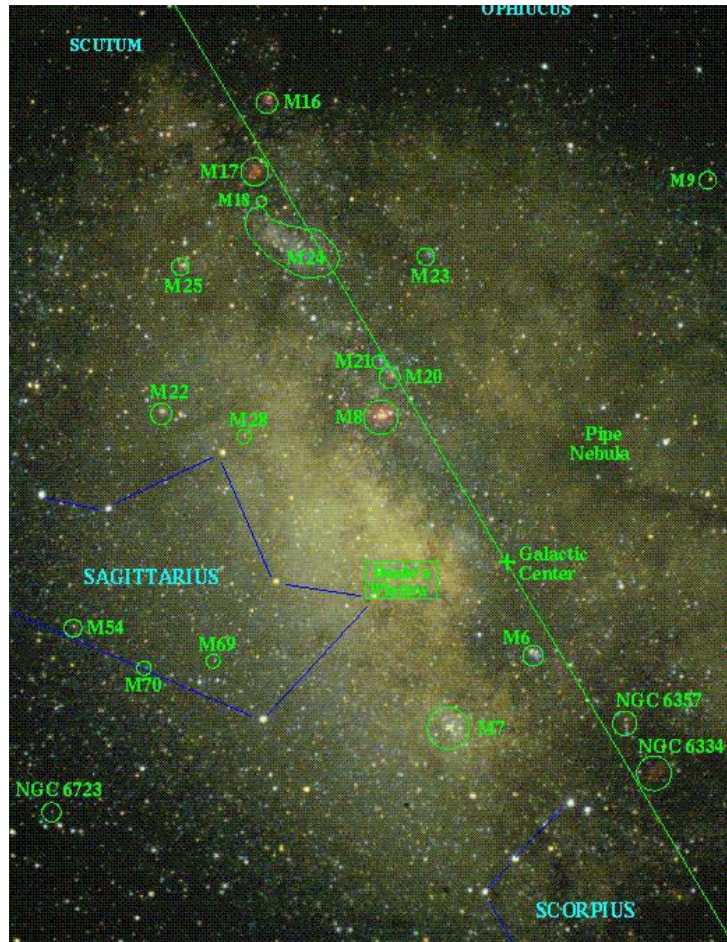
$$\begin{aligned}\alpha_G &= \text{arco}(\gamma G') = 12^h 49^m, \\ \delta_G &= \text{arco}(G'G) = +27^\circ.4, \\ \alpha_{GC} &= \text{arco}(\gamma G') = 17^h 45^m, \\ \delta_{GC} &= \text{arco}(GC' - GC) = -28^\circ.6, \\ \theta_{GC} &= 123^\circ\end{aligned}$$



Data la stella X, $l(X) = \text{arco}(GC-X'')$, $b(X) = \text{arco}(X''X)$.

Le coordinate galattiche **non** sono mai usate per dare posizioni di alta precisione.

Coordinate galattocentriche



Non si confondano le coordinate *galattiche*, il cui centro è sempre l'osservatore (o il Sole all'atto pratico), con le coordinate **galattocentriche** (X, Y, Z), che hanno lo stesso piano fondamentale, ma **la cui origine è il centro della Via Lattea**.

La distanza del Sole da tale centro, situato nella costellazione del Sagittario, si stima a circa 8 kiloparsec. La direzione del CG è individuata da una forte radiosorgente. Probabilmente al centro c'è un buco nero di massa di qualche milione di masse solari.

Foto del Centro della Via Lattea
(Anglo Australian Observatory)

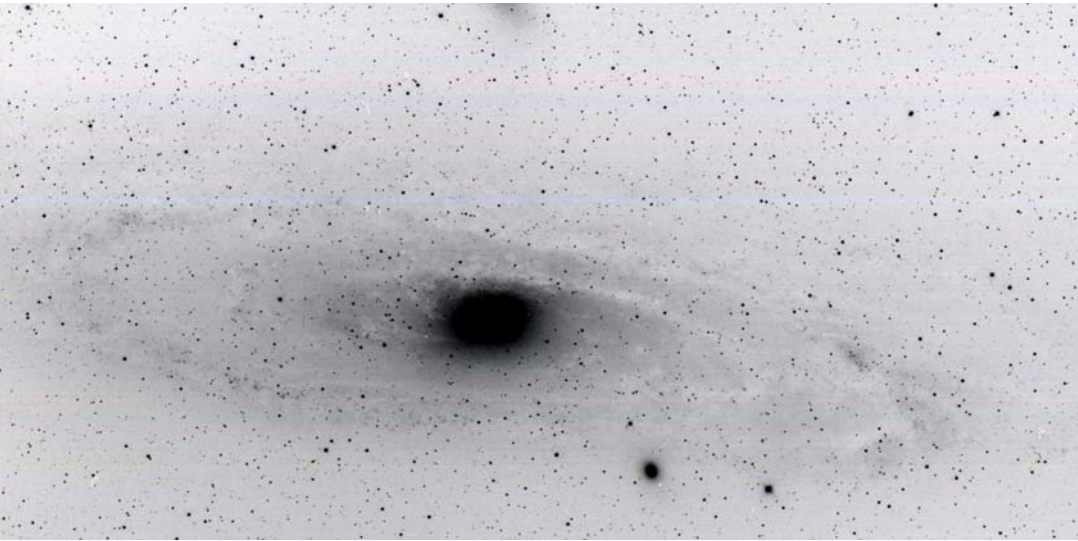
La rotazione della Via Lattea

Il Sole, e così tutto il Sistema Solare, orbita attorno al Centro Galattico su un'orbita quasi circolare (e quasi piana) alla velocità di circa 250 km/sec. La durata di una rivoluzione completa è di circa 220 milioni di anni. Dunque, se il Sistema Solare si è formato circa 4.6 miliardi di anni orsono, il Sole ha compiuto una ventina di rivoluzioni complete.

In aggiunta a questa rivoluzione galattica, il Sole si muove rispetto alle stelle vicine (***moto peculiare del Sole***) in direzione del cosiddetto 'apice del moto solare' (posizione approssimata $\alpha = 18:01$, $\delta = +26$ al 2000.0)) con una velocità di circa 20 km/s. Questo moto fu scoperto da William Herschel nel 1783.

Si faccia attenzione che il ***verso della rotazione*** della Galassia fa sì che in effetti quello che noi chiamiamo Polo Nord Galattico (situato nella costellazione della Coma) sia il polo sud nella usuale definizione collegata con il verso del vettore 'momento angolare'.

Alcune galassie a spirale



M31 (sopra), M33 (a lato). Foto
Prese con i telescopi di Asiago

