

SISTEMI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI IN ASTRONOMIA E IN RADIOASTRONOMIA

Flavio Falcinelli

E-mail: flaviofalci@libero.it

E' utile riassumere qualche informazione sui sistemi di riferimento e sulle unità di misura utilizzate in astronomia, nozioni indispensabili per addentrarsi con sicurezza nello studio del cosmo. Le notizie saranno ridotte all'essenziale, in quantità giusto sufficiente per inquadrare i dati osservativi nei corretti ambiti dimensionali. Maggiori e più precisi dettagli si possono trovare nella letteratura astronomica specializzata.

Si definisce *Unità Astronomica* (AU) la distanza media Terra-Sole, pari a circa $150 \cdot 10^6$ Km, mentre la distanza percorsa in un anno da un'onda elettromagnetica che si propaga nel vuoto é definita *Anno-Luce*. Si ha:

$$1 \text{ PARSEC} = 3.26 \text{ ANNI-LUCE}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ LY}.$$

Le relazioni fra le unità di misura delle distanze astronomiche sono riassunte nella seguente tabella:

• Unità Astronomica (AU):	$1.496 \cdot 10^8$ Km	
• Anno-Luce (LY):	$9.460 \cdot 10^{12}$ Km	0.307 pc
		$6.324 \cdot 10^4$ AU
• Parsec (pc):	$3.086 \cdot 10^{13}$ Km	3.262 LY
		$2.063 \cdot 10^5$ AU

La Terra percorre in un anno, attorno al Sole, un'orbita su un piano inclinato di $23^\circ, 27'$ rispetto all'equatore terrestre: visto dalla Terra, il Sole percorre un'orbita annuale apparente chiamata *eclittica*, che taglia l'equatore celeste in due punti, il punto equinoziale di primavera (o primo punto d'Ariete γ - 21 Marzo) e il punto equinoziale d'autunno (o primo punto della Libra - 23 Settembre). L'eclittica é il cerchio immaginario sulla sfera celeste formato dall'intersezione fra questa e l'orbita terrestre.

E' ben noto come le coordinate geografiche di un luogo sulla Terra siano definite dal sistema dei meridiani e dei paralleli. I *meridiani* sono cerchi massimi passanti per i poli geografici, i *paralleli* sono cerchi perpendicolari all'asse di rotazione (il massimo tra questi é l'equatore). Si ha:

- *Latitudine* φ : misurata dall'arco di meridiano compreso fra il luogo considerato e l'equatore (si conta da 0° all'equatore, fino a 90° al polo nord, da 0° all'equatore fino a -90° al polo sud);
- *Longitudine* λ : l'arco d'equatore compreso fra le intersezioni dell'equatore col meridiano del luogo e il meridiano fondamentale di riferimento di Greenwich (longitudine 0°).

La rotazione della Terra attorno al suo asse provoca il moto giornaliero apparente circolare delle stelle da est verso ovest: solo i poli celesti nord e sud, sul prolungamento dell'asse di rotazione terrestre, non prendono parte a questo moto. La stella polare, essendo a soli 0.9° dal polo nord celeste, percorre un cerchio appena discernibile ad occhio nudo. La distanza angolare del polo nord celeste (detta anche *altezza polare*) dal punto nord sull'orizzonte è uguale alla latitudine geografica φ : in una località alla latitudine $\varphi = 44^\circ$, anche il polo nord celeste si trova a 44° sopra l'orizzonte. Lo *zenit* è il punto più alto della sfera celeste, direttamente sopra l'osservatore e perpendicolare all'orizzonte, mentre il *nadir* è il punto diametralmente opposto allo zenit. Si definisce *equatore celeste* la proiezione sulla volta celeste dell'equatore terrestre: esso scende ad ovest sotto l'orizzonte e riemerge ad est, mentre raggiunge a sud la massima altezza sull'orizzonte (*culminazione*). È chiamato meridiano il cerchio massimo che passa per il punto sud sull'orizzonte, per lo zenit, per il punto nord e per il nadir.

Un osservatore terrestre può utilizzare diversi sistemi di coordinate per stabilire la posizione degli astri sulla sfera celeste. Quelli più utili sono il sistema alto-azimutale e quello equatoriale.

- *Sistema alto-azimutale* di coordinate (a,h), in cui il piano di riferimento è quello ideale che passa attraverso il punto dell'osservatore ed è parallelo all'orizzonte. I poli sono lo zenit ed il nadir ed il cerchio massimo attraverso il quale passano il nord, il sud e lo zenit è il meridiano. Si ha:

$a = \text{azimut}$, distanza angolare orizzontale [gradi] tra il punto sud e la perpendicolare all'orizzonte passante per la stella;
 $h = \text{altezza (elevazione)}$, distanza angolare [gradi] di una stella dall'orizzonte (è pari a 90° per un astro allo zenit).

Si chiama *cerchio orario* il cerchio che congiunge una stella con lo zenit, perpendicolarmente all'orizzonte. In questo sistema di riferimento le coordinate di un oggetto celeste variano continuamente durante il giorno a causa della rotazione terrestre. Nonostante ciò, esso risulta conveniente per le montature dei grandi telescopi e delle antenne per i radiotelescopi, in quanto strutturalmente semplice da costruire (il sistema deve muoversi rispetto a due assi, uno orizzontale ed uno verticale).

- *Sistema equatoriale* di coordinate (δ, α), in cui il piano di riferimento è quello ideale che taglia l'equatore terrestre. I poli sono il polo nord celeste (NCP) ed il polo sud celeste (SCP), posti rispettivamente all'intersezione dell'asse terrestre con la sfera celeste, su un'immaginaria superficie a grande distanza dal centro della Terra. Il cerchio massimo che passa per i poli e lo zenit è il cerchio meridiano. Le coordinate sono:

$\delta = \text{declinazione}$, distanza angolare [gradi] di una stella dall'equatore celeste (positiva per gli astri a nord di questo, negativa per quelli a sud). I poli celesti nord e sud hanno rispettivamente una declinazione di $+90^\circ$ e di -90° .

$\alpha = \text{ascensione retta (o RA: angolo orario)}$, è l'angolo sull'equatore celeste (misurato in ore, minuti e secondi, tenendo conto che $15^\circ = 1\text{h}$, $1^\circ = 4\text{ minuti}$, $15' = 1\text{ minuto}$, $1'' = 4\text{ secondi}$) a partire dal primo punto d'Ariete γ (equinozio di primavera) fino al cerchio orario passante per l'astro (è il cerchio massimo che passa per i poli e per l'astro).

I cataloghi stellari riportano le posizioni degli oggetti celesti in questo sistema di coordinate, dato che esse non dipendono dal tempo (cioè dal moto di rotazione diurna della Terra). In tale riferimento la posizione delle “stelle fisse” è sempre la stessa, il Sole e la Luna sono invece oggetti mobili, mentre un punto che rimane stazionario nel sistema equatoriale, si sposta, rispetto ad un punto di riferimento sulla Terra, di un giro completo ogni 24 ore. A causa del lento moto di precessione degli assi terrestri intorno al polo dell’eclittica, si verifica un altrettanto lento cambiamento delle coordinate equatoriali di un oggetto fisso sulla volta celeste (un ciclo ogni 26000 anni circa). Per questo motivo è necessario specificare la data (epoca) alla quale si riferiscono le coordinate equatoriali di un oggetto. Precisi riferimenti in questo senso si possono trovare in “Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris”.

Sebbene le posizioni degli oggetti celesti siano quasi sempre specificate nelle coordinate celesti declinazione e angolo orario (δ, α), per scopi strumentali-osservativi è spesso conveniente convertire tali coordinate in azimuth ed elevazione (a, h). Per un osservatore posto ad una data latitudine geografica φ , valgono le seguenti relazioni di conversione dal sistema (δ, α) a quello (a, h):

$$\begin{cases} \sinh = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\alpha \\ \cosh \cos\alpha = \sin\varphi \cos\delta \cos\alpha - \cos\varphi \sin\delta \\ \cosh \sin\alpha = \cos\delta \sin\alpha \end{cases}$$

e viceversa, dal sistema di coordinate (a, h) a quello (δ, α):

$$\begin{cases} \sin\delta = \sin\varphi \sinh - \cos\varphi \cos h \cos\alpha \\ \cos\delta \cos\alpha = \cos\varphi \sin h + \sin\varphi \cosh \cos\alpha \\ \cos\delta \sin\alpha = \cosh \sin\alpha \end{cases}$$

Quando un astro attraversa il meridiano, si dice che esso *transita al meridiano*. Ogni giorno si verificano due transiti: quello più vicino allo zenit si chiama *culminazione superiore*, quello più lontano *culminazione inferiore*. Se entrambe le culminazioni si verificano al di sopra dell’orizzonte, l’astro è *circumpolare*, altrimenti è inosservabile.

Il tempo misurato durante le osservazioni astronomiche e le registrazioni dei dati, oltre che quello riportato nelle tabelle e negli annuari, è il cosiddetto tempo universale UT (Universal Time) o GMT che corrisponde al tempo medio dell’Europa Occidentale alla longitudine 0° (cioè del meridiano di Greenwich). In Italia, per passare all’orario solare, occorre aggiungere un’ora al tempo GMT, due ore se è in vigore l’ora legale:

$$\begin{aligned} \text{ORA LOCALE (non legale)} &= \text{ORA GMT} + 1 \\ \text{ORA LOCALE (legale)} &= \text{ORA GMT} + 2 \end{aligned}$$

Importanti sono le relazioni tra magnitudini stellari e luminosità degli oggetti celesti. In astronomia ottica si misura la brillantezza di un astro in *magnitudo (magnitudini)* m , su una scala non lineare tale che, a brillanze decrescenti, corrispondano magnitudo crescenti. Le stelle più brillanti hanno magnitudo pari a circa 1, mentre quelle più deboli (appena visibili ad occhio nudo) sono di magnitudo 6. Il rapporto dei flussi luminosi di due oggetti celesti, le cui brillanze differiscono di una magnitudo, è pari a 2.512. Il Sole, che appare luminosissimo da Terra, ha una magnitudo visuale $m = -26.74$, mentre quella della Luna quando è in opposizione è $m = -12.73$. I pianeti hanno magnitudo comprese fra circa $m = -4$ nel caso di Venere a $m = +14$ nel caso di Plutone, quando sono al massimo della brillantezza. L’occhio umano è in grado di rilevare differenze di magnitudo fino a circa 0.1.

Se due stelle hanno magnitudo m_1 e m_2 , il rapporto fra le rispettive luminosità l_1 e l_2 (che fisicamente corrispondono alla densità di potenza del flusso luminoso $[W/m^2]$) è dato dalla formula di Pogson:

$$\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = -0.4 (m_1 - m_2).$$

Dato che in radiotecnica i rapporti di potenza sono comunemente espressi in dB, é interessante ricavare quanti dB corrispondano ad 1 magnitudo. Si ricava:

$$1 \text{ magnitudo} = 10 \log_{10}(2.512) = 4 \text{ dB}.$$

Nella seguente tabella sono confrontati i rapporti in decibel e le magnitudo.

Magnitudo	Decibel [dB]
0.25	1
1	4
2	8
5	20
10	40
20	80
30	120