

La Misura degli angoli in astronomia

- La misura degli angoli sulla sfera celeste permette di stabilire la direzione di un astro rispetto ad un opportuno sistema di riferimento (locale, equatoriale, eclitticale, galattico).
- La conoscenza delle posizione angolari degli astri ha consentito fin dall'antichità di redigere i cataloghi astronomici, di studiare i moti e di sviluppare i metodi di misura del tempo.
- Il metodo delle **Parallassi Trigonometriche**, che è alla base della conoscenza delle distanze cosmiche è fondato su misure di posizione angolare.
- **Le misure angolari sono quindi fondamentali per la costruzione di un modello tridimensionale del cosmo e per la conoscenza della meccanica celeste e della gravitazione universale.**

Una breve storia delle misure angolari

- 130 A.C. Ipparco misura la posizione di un migliaio di stelle con una precisione di circa 1° e redige il primo catalogo stellare.
- XVI sec l'astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601) effettua misure con una precisione di $1' \sim 0.02^\circ$.
Le sue osservazioni sono state fondamentali l'affermazione del modello copernicano (nonostante egli proponesse una teoria geocentrica!).
- Oggi le osservazioni da terra permettono di misurare gli angoli con una precisione di circa $3 \times 10^{-6} \text{gradi} \sim 0''.01$
- Il satellite Hipparcos (1997) ha misurato, dallo spazio, 120.000 stelle con una precisione di $2.8 \times 10^{-7} \text{gradi} \sim 0''.001$.

Una ricca collezione di strumenti di misura antichi e' visitabile presso il Museo Astronomico e Copernicano dell' Osservatorio Astronomico di Roma.

Le informazioni sul satellite Hipparcos si possono trovare nel sito <http://astro.estec.nl/Hipparcos>.

La Misura delle distanze astronomiche

Le misure di distanza in Astronomia sono necessariamente tutte di tipo indiretto, i metodi fondamentali sono i seguenti:

- Riflessione Laser o Radar (all'interno del sistema solare)
- Parallassi trigonometriche (Pianeti, Stelle nelle vicinanze del Sole)
- Metodi Dinamici (Stelle e Ammassi stellari vicini)
- Metodi Fotometrici (Stelle lontane, ammassi stellari, galassie, ammassi di galassie)
- Effetto Doppler Cosmologico (Galassie e ammassi di galassie)

Riflessione Laser o Radar

Si invia un segnale radar o un fascio laser verso la superficie del pianeta e si misura il tempo di andata e ritorno del segnale, si ricava la distanza moltiplicando il tempo per la velocità della luce nel vuoto.

Il metodo Laser è stato utilizzato per misurare la distanza della Luna sulla cui superficie, durante le missioni Apollo (1969-72), erano stati collocati degli specchi per la riflessione del fascio.

Il metodo Radar permette di misurare la distanza dei pianeti più vicini (Mercurio, Venere, Marte) e di alcuni asteroidi.

Parallassi Trigonometriche

E' il metodo fondamentale per la misura delle distanze cosmiche. E' la versione astronomica della triangolazione geodetica.

Si misura lo spostamento angolare della posizione apparente dell'astro per effetto dello spostamento dell'osservatore lungo una linea (**base**) ortogonale alla linea di vista.

Storicamente e' stato utilizzato per le misure delle distanze planetarie usandocome base il diametro terrestre, (parallassi diurne).

Le distanze stellari possono essere misurate utilizzando come base il diametro dell'orbita terrestre, cioe' effettuando le misure di posizione di una stella a distanza di sei mesiuna dall'altra (parallassi annue).

Gli angoli delle parallasse delle stelle sono tutti piu' piccoli di un secondo d'arco.

La distanza che corrisponde ad una parallasse di $1''$ e' l'unita' di misura delle distanze astronomiche e prende il nome di **parsec (pc)**, $1pc = 3.09 \times 10^{16}m = 3.26$ anni luce.

E' facile vedere che se la distanza d e' espressa in parsec e l'angolo di parallasse p in secondi d'arco la relazione tra distanza e parallasse e' la seguente $d = \frac{1}{p}$

La stella piu' vicina Proxima Centauri ha una parallasse

$p = 0''.76$, la sua distanza e' dunque $d = \frac{1}{0.76} = 1.32pc$.

A causa degli errori di misura la precisione del metodo e' tanto minore quanto piu' e' lontano l'oggetto. Come gia' detto, da terra e' possibile osservare parallassi dell'ordine di 0.01 secondi quindi la distanza massima misurabile e' circa 100 pc (alcune migliaia di stelle). Il satellite HipparCOS ha permesso di estendere enormemente la misure fino a distanze dell'ordine di 1000 pc.

Metodi Dinamici

Sono basati sulla misura spettroscopica delle velocità radiali e sulla contemporanea determinazione del corrispondente spostamento angolare (moto proprio). Vengono applicati per ottenere la distanza di ammassi stellari vicini o di singoli oggetti per i quali sia apprezzabile una variazione del diametro, per esempio alcune novae (Nova Cyg 1992).

Metodi Fotometrici

Si basano sul fatto che l'intensità I della radiazione che giunge da una sorgente diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza d :
$$I = \frac{L}{4\pi d^2}.$$

Quindi se si conosce la luminosità intrinseca della sorgente, si può ricavare la sua distanza; bisogna tuttavia tenere conto dell'effetto dell'assorbimento della materia diffusa nello spazio che può attenuare severamente l'intensità della radiazione.

Qualunque sorgente di cui si conosce la luminosità intrinseca è dunque un indicatore di distanza (candela campione).

Per esempio ricordiamo le variabili regolari Cefeidi per le quali è possibile conoscere la luminosità dalla misura del periodo della loro variabilità. Le Cefeidi sono stelle molto luminose e possono essere osservate anche in galassie lontane (fino a 4 Mpc). Altri indicatori di distanza sono le grandi galassie ellittiche che si trovano al centro degli ammassi di galassie.

Il telescopio spaziale Hubble che permette di distinguere più dettagliatamente sia singole stelle "candele campione" all'interno delle galassie, che di osservare galassie più lontane ha dato un grandissimo contributo all'estensione della scala delle distanze cosmiche.

Effetto Doppler Cosmologico - Legge di Hubble

La determinazione della distanza delle galassie piu' vicine e la misura dello spostamento verso il rosso delle loro righe spettrali nell'ottico porto' alla scoperta che esse si allontanano le une dalle altre (Hubble 1929) confermando le ipotesi dell'Universo in espansione (De Sitter 1917).

La velocita' di recessione v delle galassie e' legata alla loro distanza d ed e' descritta dalla Legge di Hubble:
$$v = H_0 \times d, \text{ ove } H_0 \sim 75 \frac{\text{km/sec}}{\text{Mpc}}.$$

Nota la costante di Hubble H_0 , la legge puo' essere usata per determinare le distanze delle galassie piu' lontane e degli ammassi di galassie attraverso la misura spettroscopica delle velocita' radiali.

La luminosita' apparente delle stelle viene valutata attraverso la scala delle magnitudini.

Questa scala risale ad Ipparco di Nicea che divise le stelle visibili ad occhio nudo in sei classi tali che le stelle piu' brillanti erano di prima grandezza e quelle al limite della visibilita' di sesta.

Poiche' la percezione dell'occhio e' direttamente proporzionale al logaritmo dello stimolo dovuto alla radiazione, Pogson (1856) defini' la magnitudine come:

$$m = -2.5 \log I + \text{cost}$$

dove I e' l'energia raccolta per unita' di superficie nell'unita' di tempo e , per la magnitudine visuale, la costante e' scelta in modo tale da mantenere la corrispondenza con la scala di Ipparco.

La differenza di magnitudine tra due stelle e' dunque:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

ed il rapporto di intensita' e':

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{-0.4(m_1 - m_2)}$$

Quindi se:

- $\Delta m = 1$ — — — — $\rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10^{-0.4}$
- $\Delta m = 5$ — — — — $\rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10^{-2}$

E' facile comprendere che l'intensita' osservata I dipende dalla sensibilita' del rivelatore e dalla capacita' dello strumento di intercettare la radiazione di una certa lunghezza d'onda.

Quindi I e' una funzione della lunghezza d'onda o meglio dell'intervallo di lunghezze d'onda nel quale si effettuano le osservazioni. Per questo motivo vengono definiti i:

SISTEMI FOTOMETRICI

Tra questi il piu' famoso e' il sistema **U, B, V** ove le lettere maiuscole designano le magnitudini misurate in bande spettrali che sono centrate rispettivamente alle seguenti lunghezze d'onda:

- U — — — — $> 350 \text{ nm}$ ultravioletto
- B — — — — $> 435 \text{ nm}$ blue
- V — — — — $> 550 \text{ nm}$ visuale

Le differenze tra magnitudini ottenute in bande diverse, per esempio (U-B), (B-V), prendono il nome di **Indici di colore**.

Poiche' le atmosfere stellari emettono secondo la legge di Planck (Corpo Nero), **gli indici di colore intrinseci** (cioe' quelli corretti per gli effetti dell'assorbimento interstellare) sono legati alla temperatura della stella (**Temperatura Effettiva**).

Il diagramma colore-magnitudine: **$V - (B - V)$** , e' direttamente connesso a quello **temperatura-luminosita'** che, dai suoi scopritori, prende il nome di **Diagramma Hertzsprung Russel**.