

Telescopi Astronomici

Giuseppe Cutispoto

INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania

giuseppe.cutispoto@inaf.it

Versione: 30 marzo 2020



In questa dispensa, distribuita gratuitamente, sono utilizzate informazioni e disegni prelevati da vari siti presenti sulla rete. Si ringraziano gli autori per aver messo a disposizione i materiali.

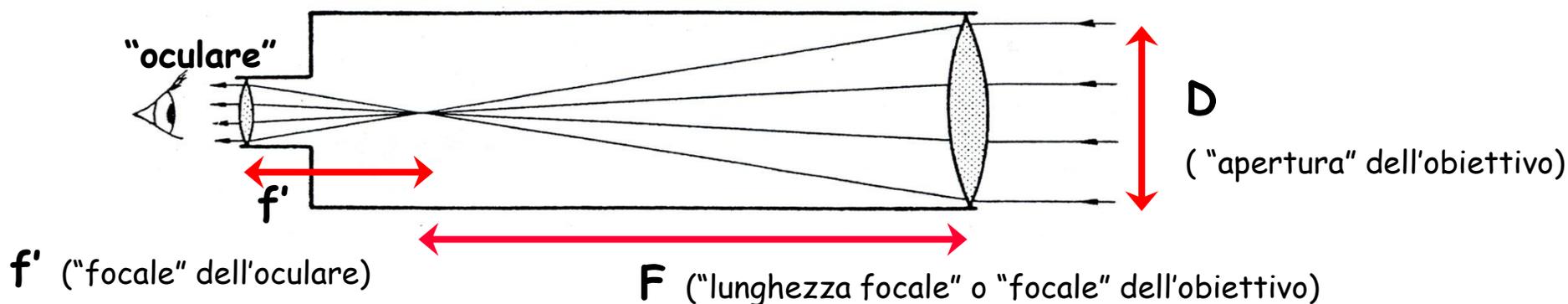


I Telescopi

Lo studio dei corpi celesti è, in gran parte, basato sull'analisi della loro radiazione elettromagnetica. Fino al 1609, anno in cui Galileo rivolse verso il cielo il suo "Perspicillum exactissimum", le osservazioni astronomiche venivano effettuate a occhio nudo. Oggi i telescopi sono gli strumenti più utilizzati per studiare l'Universo. Essendo in grado di catturare molta più radiazione dell'occhio umano, ci permettono di osservare oggetti altrimenti invisibili. La possibilità di "ingrandire" le sorgenti estese permette inoltre di cogliere molti più dettagli rispetto alle osservazioni a occhio nudo

Classificazione dei telescopi

In base a tipo di raccoglitore della luce ("obiettivo") i telescopi sono divisi in tre categorie: rifrattori (lente), riflettori (specchio), catadiottrici (lente + specchio). La luce raccolta converge nel "fuoco" e viene esaminata (per osservazioni visuali) con un "oculare".



f/n : "rapporto di apertura" o "rapporto focale" indica quante volte (n) la focale è maggiore dell'apertura (es.: riflettore, $D = 20$ cm, $f/8$, indica un telescopio dotato di uno specchio da 20 cm di diametro la cui lunghezza focale di 160cm)

Ingrandimento

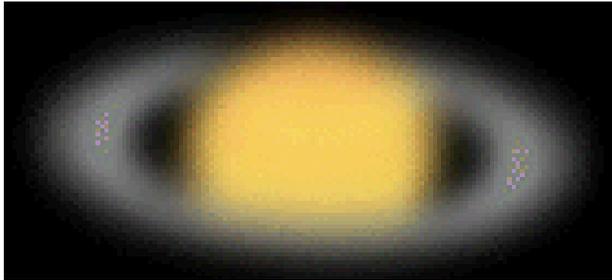
E' dato dal rapporto tra la focale del telescopio (F) e quella dell'oculare (f'). Quindi **non è una caratteristica del telescopio!**

$$I = \frac{F}{f'}$$

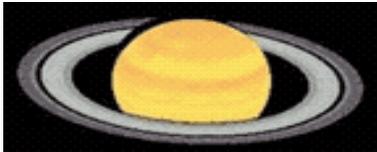
Il **massimo ingrandimento** utile (I_{\max}) è funzione del rapporto tra il potere risolutivo del rivelatore e il potere risolutivo del telescopio

Per osservazioni visuali: $I_{\max} \sim D$ (in millimetri)

Quindi con un telescopio $D = 50$ cm e $f/8$ ($F = 400$ cm), avremo $I_{\max} \sim 500$, che si otterrà utilizzando un oculare con $f' = 8$ mm. I_{\max} dipende anche dal tipo di telescopio (per i rifrattori si può arrivare anche a $I_{\max} \sim 2D$) e dall'oggetto osservato



Nella pratica si deve sempre adattare l'oculare alle condizioni atmosferiche ed è molto difficile utilizzare un telescopio al suo massimo ingrandimento. Se il "seeing" (ovvero gli effetti dovuti alla "turbolenza" dell'atmosfera della Terra) è elevato, con un ingrandimento minore otterremo immagini di qualità migliore.

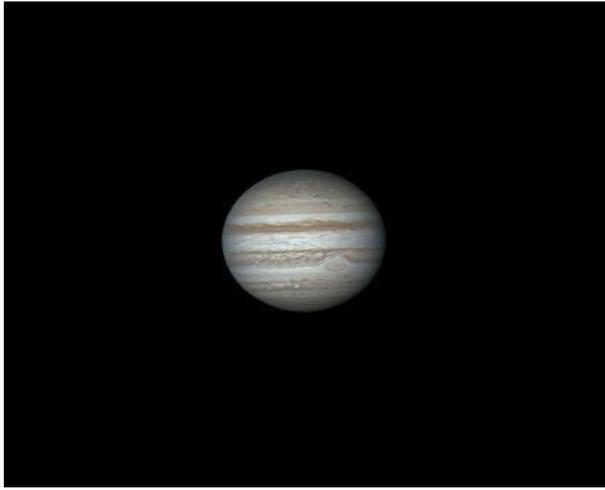


Si vedano ad esempio le due figure a sinistra, dove quella in alto è stata ottenuta utilizzando un ingrandimento maggiore

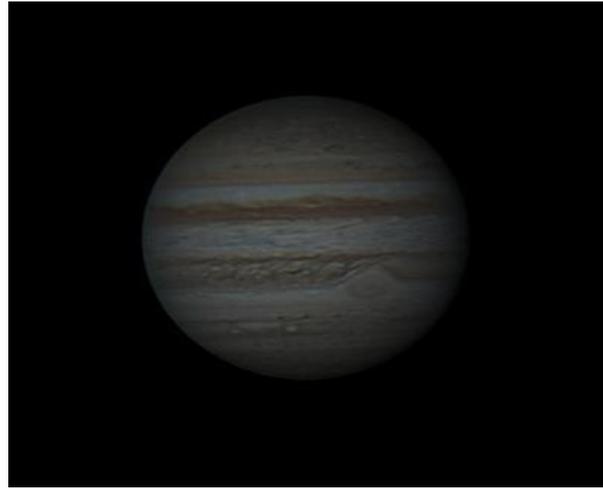
Con il **minimo ingrandimento** (I_{\min}) si disperde la luce su un'area delle stesse dimensioni del rivelatore

Per osservazioni visuali: $I_{\min} \sim D/7$ (con D in millimetri)

Quindi con un telescopio $D = 50$ cm e $f/8$ avremo, $I_{\min} \sim 70$, che si otterrà utilizzando un oculare con focale $f' = 56$ mm



Basso ingrandimento



Alto ingrandimento

A parità di telescopio, un oculare con focale più corta fornisce un'immagine con dimensioni lineari maggiori, ma con una luminosità superficiale minore. Ciò in quanto con un maggiore ingrandimento la stessa quantità di energia (quella raccolta dal telescopio è fissata dalla sua apertura) viene dispersa su un'area più grande

Campo visivo ("FoV")



La distanza tra i bordi opposti dell'immagine fornita da un telescopio è il suo "Campo Visivo" (FoV). Anche il FoV non è una caratteristica di un telescopio, in quanto dipende dal FoV dell'oculare utilizzato e dal corrispondente ingrandimento:

$$\text{FoV}_{\text{telescopio}} = \frac{\text{FoV}_{\text{oculare}}}{I} = \frac{f' \text{FoV}_{\text{oculare}}}{F}$$

Gli oculari possono avere: $50^\circ < \text{FoV}_{\text{oculare}} < 80^\circ$

Se $\text{FoV}_{\text{oculare}} = 60^\circ$ e $I = 200$, avremo $\text{FoV}_{\text{telescopio}} = 0.3^\circ = 18'$

Potere Risolutivo

A causa della natura ondulatoria della luce l'immagine di una sorgente puntiforme (quale può essere considerata una stella) non è un punto, ma una "figura di diffrazione" (la cui parte centrale è comunemente indicata come "disco di Airy")



Immagine di una sorgente puntiforme

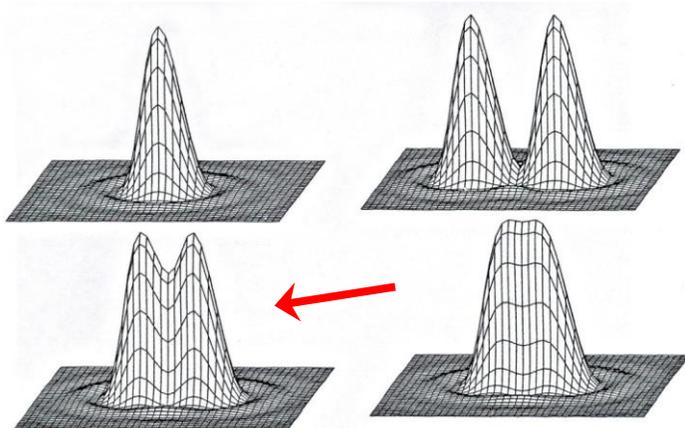
La figura di diffrazione **non è un difetto delle ottiche**, ma una **limitazione** imposta dalla **natura ondulatoria** della luce.

Il "potere risolutivo" (α) di un telescopio con apertura "D" per osservazioni alla lunghezza d'onda " λ " è dato da:

$$\alpha \text{ (rad)} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad \text{oppure} \quad \alpha \text{ (")} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \cdot 206265$$

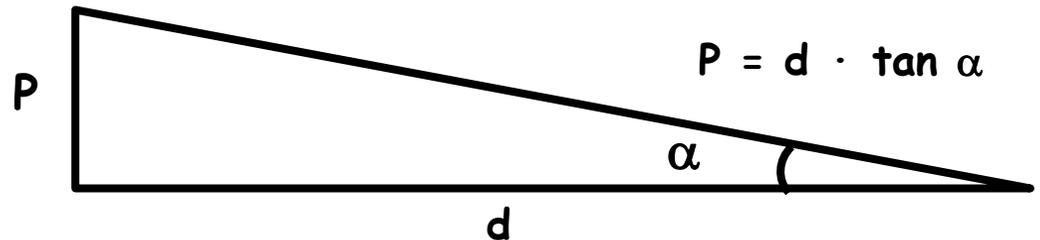
$$(1 \text{ radiante} \cong 57^\circ 17' 45'' \cong 206265'')$$

ed è la distanza angolare minima di due sorgenti puntiformi che risultano separabili (criterio di Rayleigh); ovvero, nota la distanza (d) di un corpo esteso, le dimensioni (P) del più piccolo particolare del corpo che risulta distinguibile.



Se $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ (banda del "visibile") e $D = 1 \text{ m}$

$$\alpha = \frac{1.22 \cdot 5500 \cdot 10^{-10} \cdot 206265}{1} = 0''.14$$



Se viene indicata la frequenza (ν) della radiazione al posto della lunghezza d'onda, vale la relazione: $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Quindi, ad esempio, con un telescopio da 1m ($\alpha = 0''.14$) per osservazioni nel visibile, potremmo dalla Terra distinguere oggetti con 260 m di diametro sulla superficie della Luna:

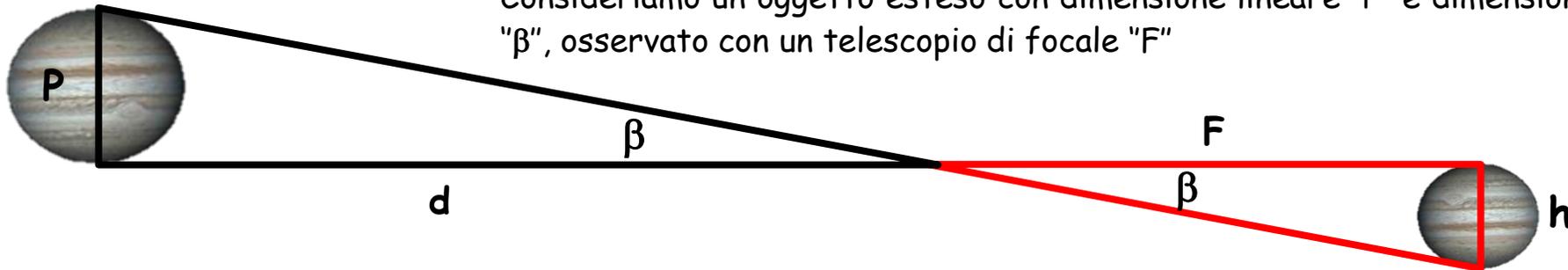
$$P_{\text{Teorico}} = 384.4 \cdot 10^3 \cdot \tan 0.000039 = 0.26 \text{ km}$$

In realtà il "seeing" impedisce, di norma, di raggiungere il limite di diffrazione e "stabilisce" il potere risolutivo effettivo di un telescopio. Per gran parte dei siti osservativi il seeing vale $\sim 1''$ (pari al potere risolutivo di un obiettivo di 14 cm) che permette di distinguere sulla superficie della Luna solo oggetti con diametro di almeno 1.88 km: $P_{s=1''} = 384.4 \cdot 10^3 \cdot \tan 0.00028 = 1.88 \text{ km}$

La nostra atmosfera introduce quindi delle severe limitazioni al potere risolutivo dei telescopi di grandi dimensioni, ma non alla loro capacità di raccogliere grandi quantità di radiazione. Gli astronomi cercano di limitare gli effetti del seeing con un'opportuna scelta dei luoghi di osservazione o con osservazioni dallo spazio. Recentemente la realizzazione delle ottiche "Adattive" ha consentito, su piccoli FOV, di rimuovere dalle immagini gran parte dei disturbi introdotti dall'atmosfera

Dimensioni di un oggetto esteso sul piano focale

Consideriamo un oggetto esteso con dimensione lineare "P" e dimensione angolare " β ", osservato con un telescopio di focale "F"



La dimensione lineare "h" dell'oggetto sul piano focale del telescopio (che non è mostrato nella figura) vale: $h = F \cdot \tan \beta$

Aberrazioni

Tutte le superfici delle lenti o degli specchi per uso astronomico devono essere lavorate con precisione (P) dell'ordine di $\lambda/8$

se $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ allora $P \sim 0.1 \mu\text{m}$

Anche se le superfici sono perfettamente lavorate sono comunque presenti delle "aberrazioni" che degradano la qualità delle immagini ottenute da un telescopio:

- **Aberrazione Cromatica** (principale aberrazione nei rifrattori)
- **Coma** (principale aberrazione nei riflettori)

L'aberrazione cromatica dei rifrattori viene in buona parte corretta costruendo i "doppietti astronomici", ovvero degli obiettivi costituiti da due lenti, realizzate con vetri con indice di rifrazione diverso, incollate tra loro.

Il Coma può essere in, gran parte, corretto con un accurato disegno degli specchi (= configurazione Ritchey-Chrétien, specchi iperbolici)

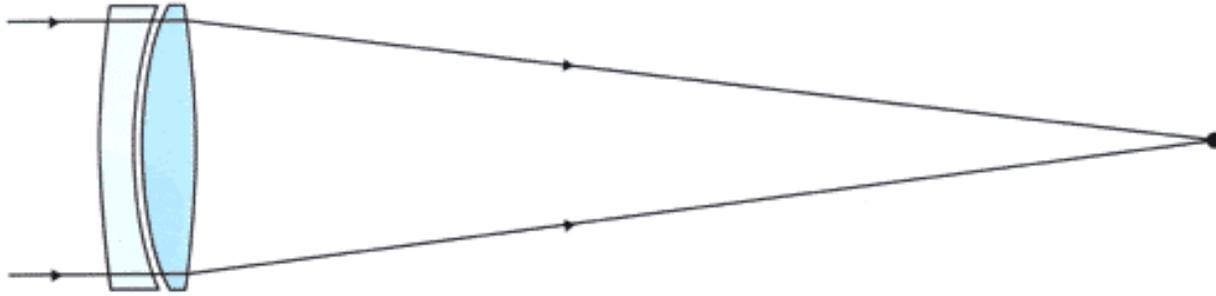
Il più grande rifrattore mai costruito (inaugurato nel 1897) è quello dello Yerkes Observatory, che ha una lente da 102 cm

I riflettori più grandi attualmente in funzione hanno specchi con diametro tra 8 e 10m; nei prossimi anni entreranno in funzione riflettori con specchi "segmentati" con diametro totale di quasi 40m.

Tra questi l'E-ELT, che avrà un primario di 39.3 m di diametro costituito da 798 specchi esagonali ciascuno con un diametro di 1.4 m

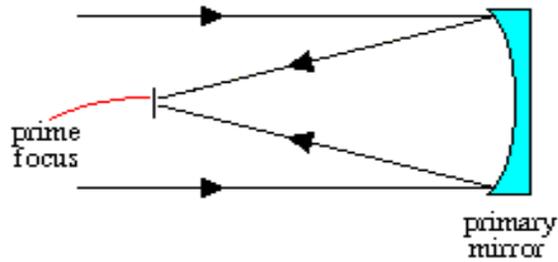
Il principale progetto per la prossima generazione di telescopi nello spazio è il JWST, che avrà uno specchio da 6m e verrà collocato nel punto L2 dell'orbita della Terra

Schemi ottici dei telescopi

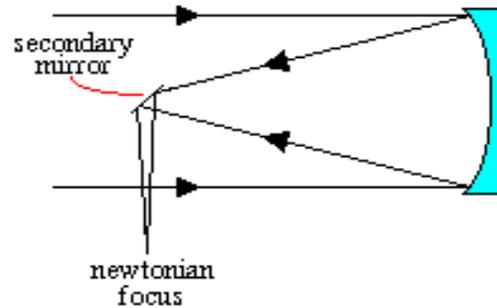


Rifrattore

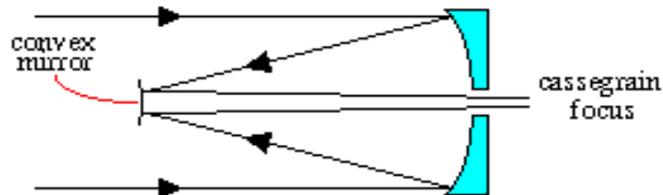
Prime



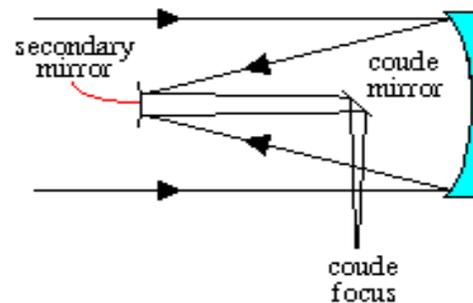
Newtonian



Cassegrain



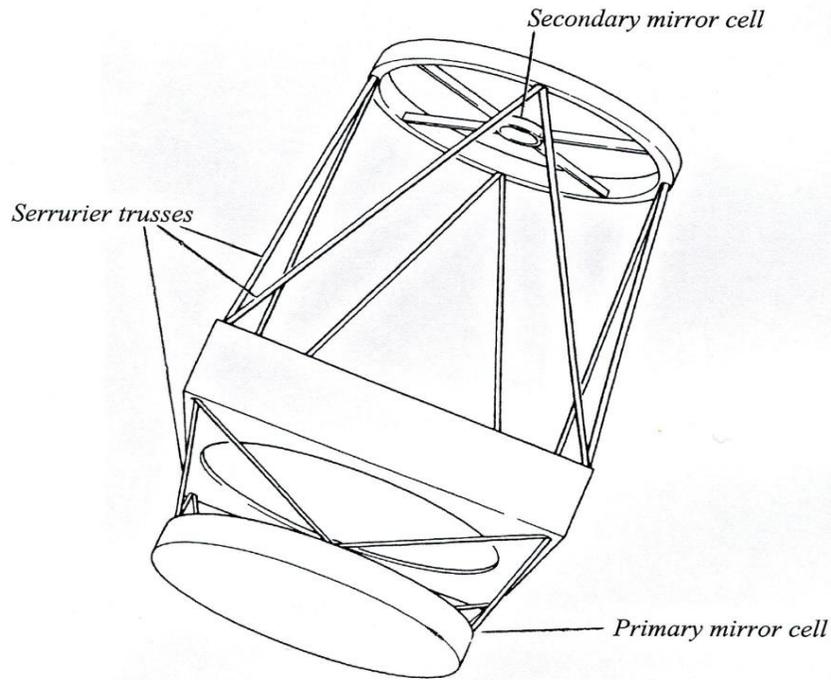
Coude



Diversi tipi di
configurazione di un

Riflettore

Le Montature



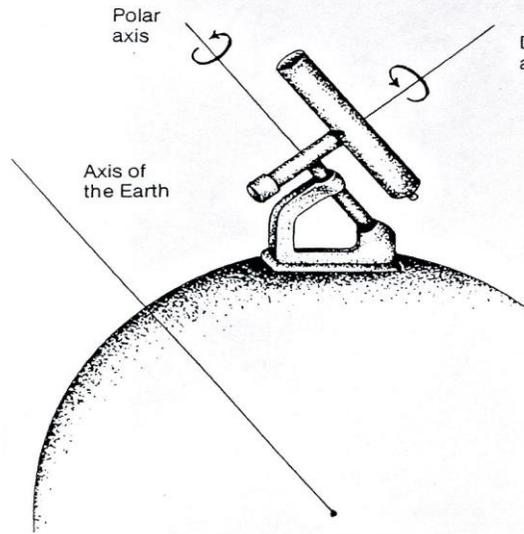
- Mantengono le ottiche allineate
- Dirigono il telescopio
- Mantengono il puntamento (tracking)

Pro:

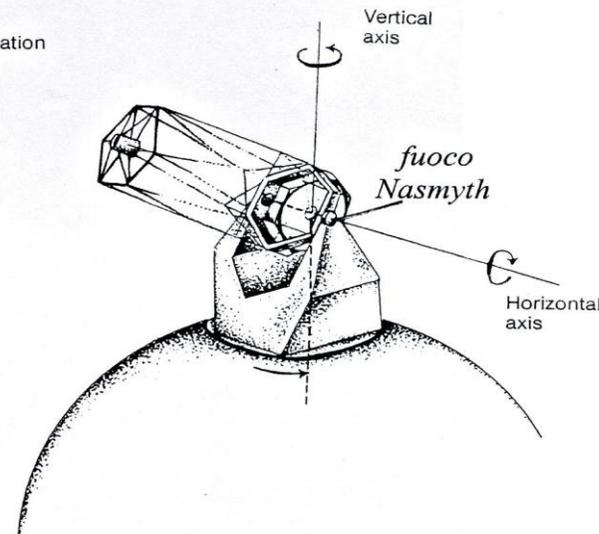
- movimento uniforme per il tracking

Contro:

- maggior costo
- flessioni
- bilanciamento



Montatura Equatoriale



Montatura Altazimutale

Pro:

- semplicità
- fuochi Nasmyth

Contro:

- rotazione del campo visivo
- tracking con velocità variabile

Velocità radiale

E' la componente del vettore velocità di un corpo celeste nella direzione dell'osservatore.

La velocità radiale si misura sfruttando l'effetto Doppler, in quanto la lunghezza d'onda della radiazione emessa da un corpo in allontanamento aumenta (spostamento verso il rosso), mentre la lunghezza d'onda della radiazione emessa da un corpo in avvicinamento diminuisce (spostamento verso il blu).

La velocità radiale di un astro viene misurata ottenendo spettri ad alta risoluzione e confrontando la lunghezza d'onda di righe spettrali conosciute misurata nello spettro (λ_{oss}) con la lunghezza d'onda delle stesse righe misurata in laboratorio (λ_0 = lunghezza d'onda "a riposo").

Una velocità radiale positiva indica che la distanza da un corpo sta aumentando, una velocità radiale negativa indica che la distanza sta diminuendo. Attualmente le migliori misure di velocità radiale consentono di apprezzare spostamenti minori di 1 m/s.

Detta v_r la velocità radiale di un corpo celeste, per velocità piccole rispetto alla velocità della luce c valgono le relazioni:

$$v_r = c \frac{\lambda_{oss} - \lambda_0}{\lambda_0} \quad \lambda_{oss} = \frac{v_r}{c} \lambda_0 + \lambda_0$$

Per velocità radiali più elevate occorre usare l'approssimazione relativistica e valgono le relazioni:

$$v_r = c \frac{\lambda_{oss}^2 - \lambda_0^2}{\lambda_{oss}^2 + \lambda_0^2} \quad \lambda_{oss} = \lambda_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v_r}{c}}{1 - \frac{v_r}{c}}}$$

Le velocità così misurate sono riferite a un osservatore sulla Terra. Una volta sottratti gli effetti del moto della Terra intorno al Sole (che può contribuire fino a ± 30 km/s) e degli altri moti della Terra, si ottengono le velocità radiali riferite al Sole, dette eliocentriche.