

# Scala e potere risolutivo teorico di un telescopio (cenni)

## 1) Scala:

La scala (S) esprime (usualmente) i secondi d'arco al millimetro sul piano focale del telescopio, ed è definita in modo esatto dalla seguente equazione :

$$S \text{ ["/mm]} = 206264.8062'' / f \text{ [mm]}$$

dove f rappresenta la focale in millimetri e il valore 206264.8062 è il numero di secondi d'arco in un radiante ( $1 \text{ rad} = 57.29577951^\circ$ ). Tale rapporto fornisce immediatamente S. Nel caso del nostro telescopio (Marcon) la focale vale  $2014 \pm 4 \text{ [mm]}$  (ricavata dal sottoscritto con misure astrometriche), pertanto la scala del telescopio è  $206264.8062/2014$  :

$$S = 102.41 \pm 0.20 \text{ ["/mm]} = \\ \cong 1' 42'' \text{ al mm}$$

Utilizzando l'equazione sopra, chiunque può ricavare la scala del proprio telescopio. E' evidente in questo modo, il calcolo del campo coperto da un qualsiasi sensore posto a fuoco diretto, basta infatti conoscere le sue dimensioni lineari.

Tre esempi :

- Nel caso delle pellicole comuni, che hanno dimensioni  $24 \times 36 \text{ [mm]}$ , il campo coperto è  $\{102.41 \times 24\} \times \{102.41 \times 36\} = 0.68^\circ \times 1.02^\circ$ .
- Nel caso dell' ST-4, la sua superficie sensibile misura  $2.64 \times 2.64 \text{ [mm]}$ , ciò corrisponde a  $4'30'' \times 4'30''$ .
- I pixel dell' ST-4 misurano  $16 \times 13.75 \text{ micron}$  ( $1 \text{ micron} = 0.001 \text{ mm}$ ), quindi essi coprono singolarmente un campo  $1.64'' \times 1.41''$ .

Nota: *La scala di un telescopio dipende solo dalla focale.*

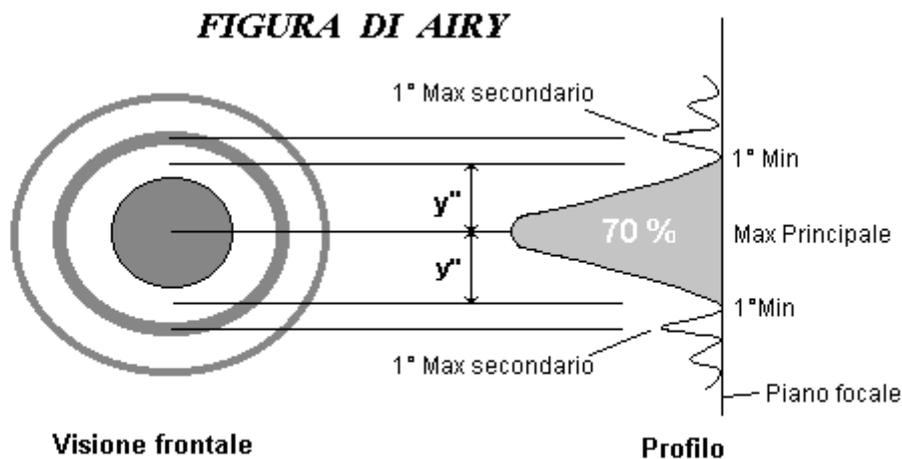
La focale del telescopio a Cima Echar ( $1.82 \text{ [m]}$ ) è di circa 20 metri, il che corrisponde ad una scala di dieci secondi d'arco al millimetro, mentre quello al Pennar ( $1.2 \text{ [m]}$ ) attualmente ha una scala di 13.75 secondi d'arco al millimetro.

## 2) Potere risolutivo teorico e Seeing:

Il potere risolutivo teorico di un telescopio dipende dal diametro e dalla lunghezza d'onda (media) alla quale si sta lavorando. Esso si esprime esattamente con la seguente equazione:

$$y'' = 1.22 \times 206264.8062 \times (\lambda/D)$$

dove  $y''$ , espresso in secondi d'arco, rappresenta la distanza minima teorica risolvibile tra due stelle,  $\lambda$  la lunghezza d'onda di osservazione e  $D$  il diametro. Supponiamo che non ci sia atmosfera (come per l'HST), allora per motivi legati alla forma del telescopio (sezione circolare), l'immagine di una stella sul piano focale (detta immagine di diffrazione), assume la seguente forma:



Quella di sinistra è una visione frontale (quello che si vedrebbe sul piano focale), mentre quella a lato è il profilo verticale (esso è lo stesso per qualsiasi altro profilo, vista la simmetria circolare della figura): i picchi corrispondono ai massimi di luce (interferenza costruttiva), mentre le zone vicine al piano focale i minimi di luce (vedi figura). Il cerchio centrale contiene circa il 70% dell'energia del fronte d'onda che arriva sul piano focale, il restante 30% è distribuito simmetricamente negli infiniti massimi secondari che determinano le "ali" della distribuzione.

In assenza di atmosfera, il fronte d'onda della stella che giunge all'osservatore è perfettamente piano, il telescopio con la sua forma circolare, ne 'esegue' la trasformata di Fourier (infatti, la T.d.F. di un segnale a gradino coincide con il profilo su disegnato) producendo la figura di Airy.

Se il telescopio avesse una sezione quadrata la figura non sarebbe quella indicata sopra.

Supponiamo di aver puntato due stelle (sempre in assenza di atmosfera) separate da un certo angolo, da quanto visto sopra (scala del telescopio), nel piano focale otteniamo due figure di Airy i cui centri sono ad una certa distanza in millimetri.

Qual è la minima distanza, tra le figure di Airy, al di sotto della quale non riusciamo più a distinguere le due stelle ?

La risposta a questa domanda viene dal criterio di Rayleigh : immaginiamo due profili (o due figure intere di Airy) e facciamoli traslare con l'immaginazione sul piano focale gradualmente uno sopra l'altro, quando il massimo principale di uno dei due si sovrappone a un primo minimo dell'altro si ha la distanza minima di separazione.

Il caso peggiore si ha quando i due massimi principali coincidono, cioè le due stelle sono perfettamente sovrapposte.

La distanza minima del criterio di Rayleigh, corrisponde in angolo, a  $y''$  calcolato sopra, ed esso è il potere risolutivo teorico.

Nel caso del nostro telescopio (Marcon Diam.=355[mm]) e ad una lunghezza d'onda di 5500 Å ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) corrispondente alla luce gialla, esso vale :

$$y'' = 1.22 \times 206264.8062 \times [5500/(355 \times 10^7)]$$

$$\cong 0.3898 ''$$

Nota : *Il potere risolutivo teorico dipende solo dal diametro del telescopio (oltre che da  $\lambda$ ).*

La presenza dell'atmosfera è devastante per l'integrità del fronte d'onda. Le variazioni della rifrazione atmosferica locale nel tempo e nello spazio, dovute a disomogeneità termiche combinate con moti non laminari nell'atmosfera, provocano una continua alterazione nella direzione dei raggi, o anche perturbazioni del fronte d'onda, provenienti dallo spazio esterno. Lo studio qualitativo e quantitativo dei moti turbolenti (free atmospheric seeing) in regime stazionario è dovuto a Kolmogorov; a livello locale ci sono effetti dipendenti dal sito (geografia circostante, boundary layer), dal tipo di cupola (dome seeing, ground seeing) e dalla forma del telescopio (mirror seeing). Il risultato finale è una frammentazione del fronte d'onda piano in piccoli fronti d'onda della dimensione caratteristica (raggio di Fried) di circa 30 cm.

Il nostri telescopi (Marcon e C10), quindi, "vedono" un fronte d'onda alla volta. Il tempo tra uno e il successivo è dell'ordine di 10 millisecondi (tempo di coerenza).

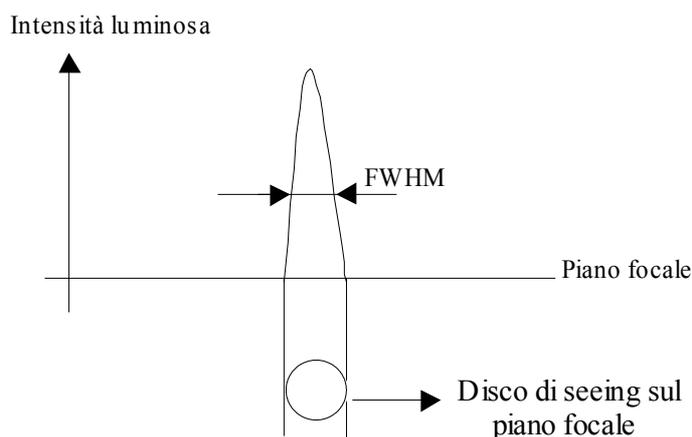
Ogni fronte d'onda conserva perfettamente l'immagine di Airy, il problema è che le inclinazioni dei fronti d'onda che arrivano sullo specchio sono diverse, tutte vicine alla direzione originale, cioè quella fuori atmosfera, ma continuamente oscillanti e differenti. Ciò produce un moto casuale sul piano focale della figura di Airy, in altre parole la stella saltella attorno ad un punto medio 100 volte al secondo (fenomeno anche detto tip-tilt). Pertanto con pose maggiori del tempo di coerenza noi non

possiamo osservare la figura di Airy, ma osserviamo tante figure di Airy sovrapposte che costruiscono il disco di seeing (il moto casuale viene integrato nel tempo).

La struttura di tale dischetto è composta da un massimo di luce (baricentro), che poi decresce tutt'intorno fino ad essere trascurabile.

Le immagini delle stelle che vediamo sulle foto è il disco di seeing !

Se consideriamo una sezione di tale dischetto, riportata in funzione della intensità luminosa, otteniamo la figura sotto:



Si definisce seeing la larghezza a metà altezza (FWHM) della curva sopra indicata.

Tale quantità, essendo dipendente dallo stato atmosferico, viene data come valor medio. Infatti è possibile avere un seeing buono per un minuto, un'ora o una notte.

Il valor medio ad Asiago è tre secondi d'arco, mentre al Paranal (Cile) dove si sta ultimando la costruzione del VLT (Very Large Telescope) è sempre inferiore a un secondo d'arco e superiore a 0.5" (ottimo !).

Per quanto ci riguarda, il seeing ha un valor medio di 2.5 secondi d'arco. Ho eseguito varie misure di FWHM nel corso del 1997 e 1998 (utilizzando il CCD), esso oscilla da 1.5" a 3" ed anche oltre in certi casi, il che evidenzia una grande dispersione, la quale però include valori anche eccellenti (inferiori a due). Sicuramente il nostro sito non vanta una stabilità atmosferica locale, quindi diviene importante l'esperienza dell'astrofilo nel giudicare la bontà 'atmosferica' della serata.

Ci sono altri due effetti legati alla turbolenza di alta e bassa atmosfera:

la **SCINTILLAZIONE** e l'**ALLARGAMENTO**.

Senza andare nei dettagli, è utile ricordare che questi due effetti non agiscono sulla posizione (nel piano focale) della figura di Airy (tip-tilt), ma combinati con il seeing rappresentano una variazione di intensità luminosa nonché un allargamento di immagini puntiformi.

E' ora chiaro il motivo per il quale non si può sfruttare il potere risolutivo teorico (nel visibile) del telescopio, infatti, bisognerebbe avere un seeing inferiore a 0.39" !

Vanzella Eros  
A.A.V.V.