

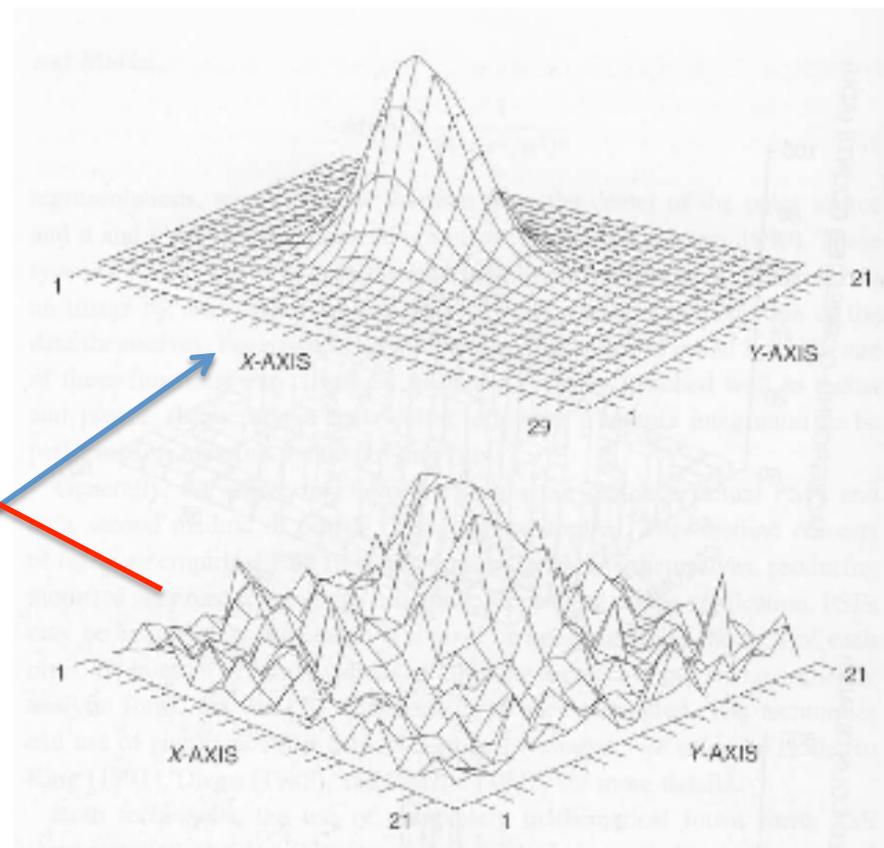
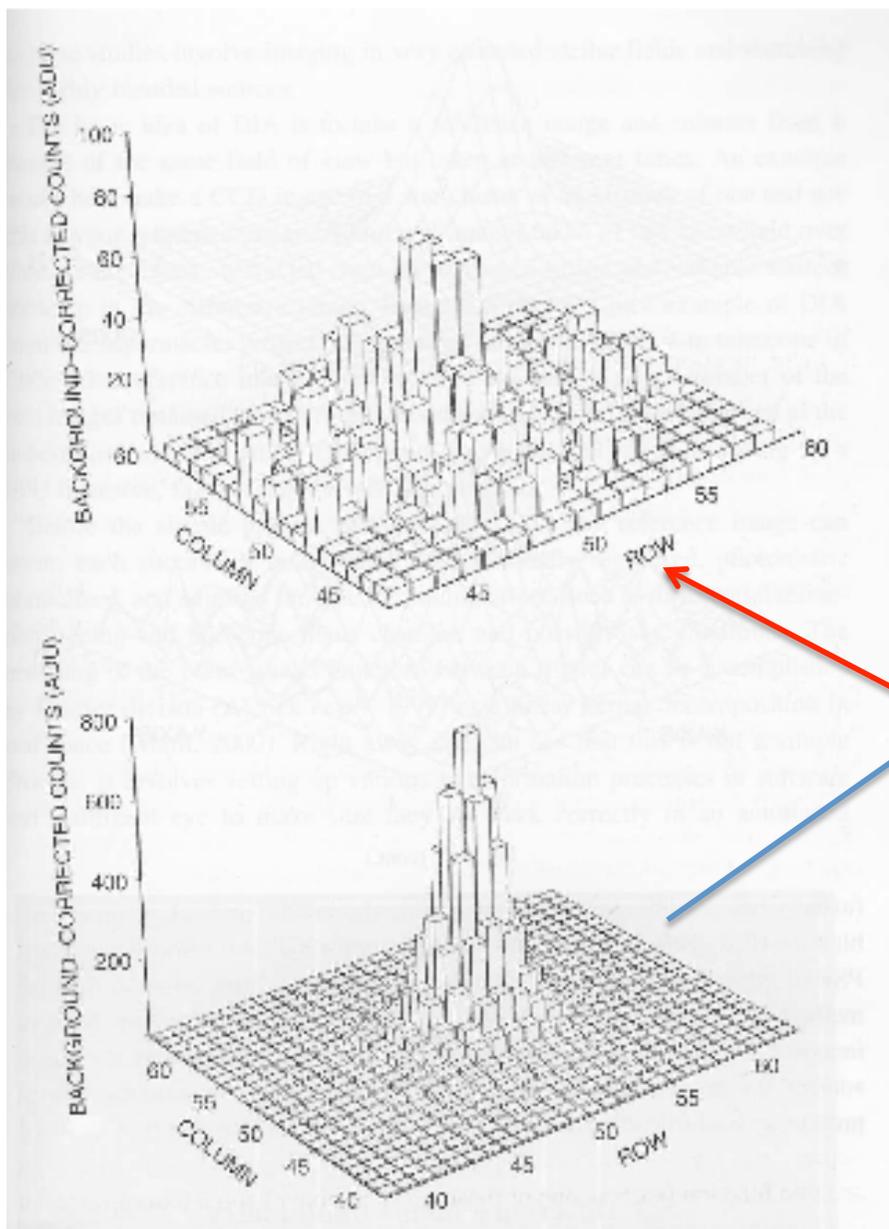
Fotometria d'apertura e rapporto Segnale-Rumore

- Come si effettua una misura fotometrica su di un frame
- Come si calibra fotometricamente un frame (1^a approssimazione)
- Come si calcola il rapporto Segnale-Rumore (S/N o SNR)
- S/N: che ce ne facciamo ?

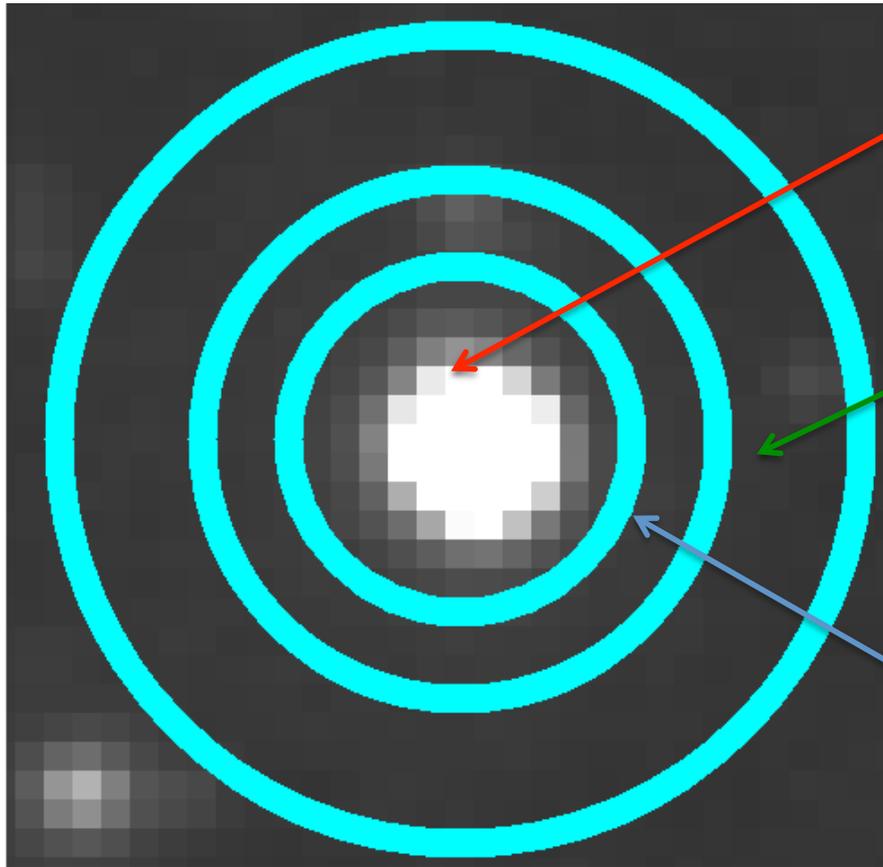
Due modi di fare fotometria:

1. Fotometria d'Apertura (quella che useremo):
Va bene per campi non troppo “affollati”
2. Fotometria tramite ricostruzione della psf:
Indispensabile in campi affollati.
Richiede un buon campionamento [FWHM della psf su almeno 2 pixel (criterio di Nyquist) – meglio su 3 o 4]

Psf reconstruction



Fotometria d'apertura: lo strumento fotometrico



Qui viene misurato TUTTO:
somma totale degli ADU di
tutti i pixel contenuti nel
cerchio

Qui è misurato il background
del fondo-cielo: si ottiene il
valore medio B .

Più è grande meglio viene
misurato il background.

Ma attenzione a non “infilarci”
stelle !

Corona circolare di
separazione per non
“contaminare” il background
con il segnale della stella

Il **SEGNALE S** è dato da:

$$S = \sum_{i=1}^n N_i - n \cdot B$$

Numero di pixel nel
cerchio interno

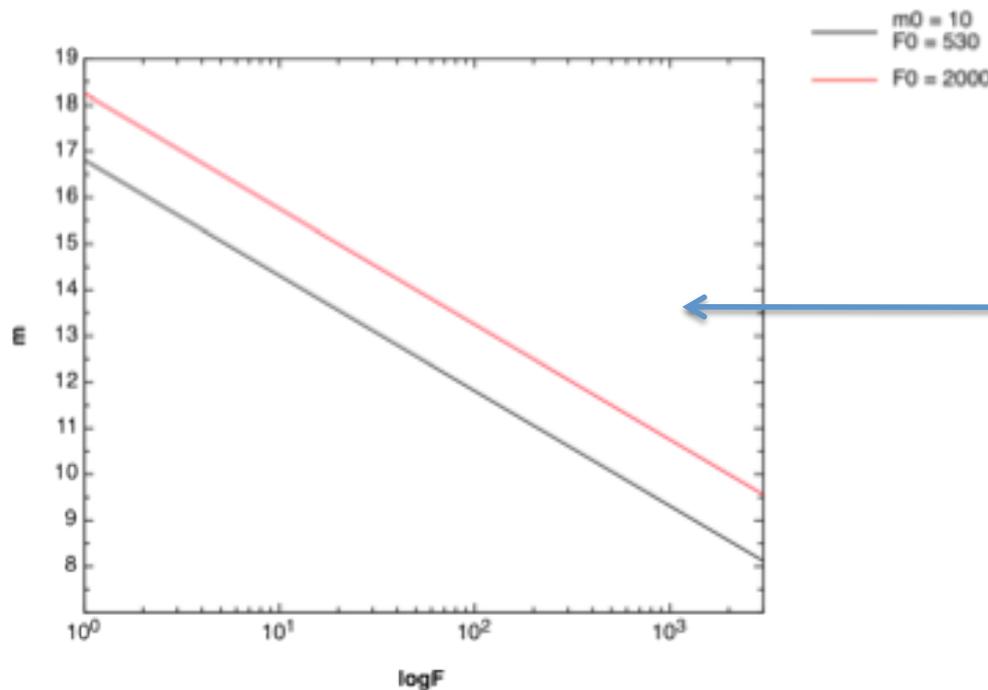
$$n \approx \pi \cdot r^2 (r_{\text{inpixel}})$$

La **magnitudine strumentale** è semplicemente:

$$-2.5 \log S$$

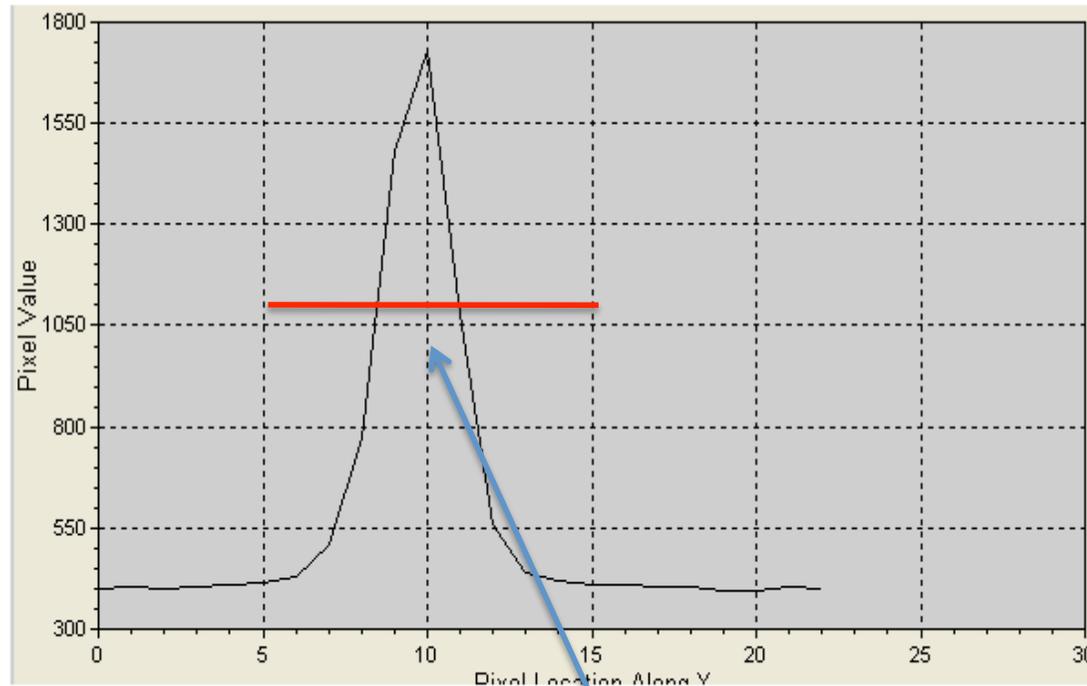
Ma S dipende da numerosi fattori sperimentali e la magnitudine “reale” si ottiene sommando una costante di calibrazione C .

La costante di calibrazione si ottiene misurando, con lo stesso apparato e nelle stesse condizioni, una stella di magnitudine nota.



Curve di calibrazione
flusso-magnitudine con
due diversi telescopi

Con che criterio si sceglie il raggio dello strumento di apertura ?

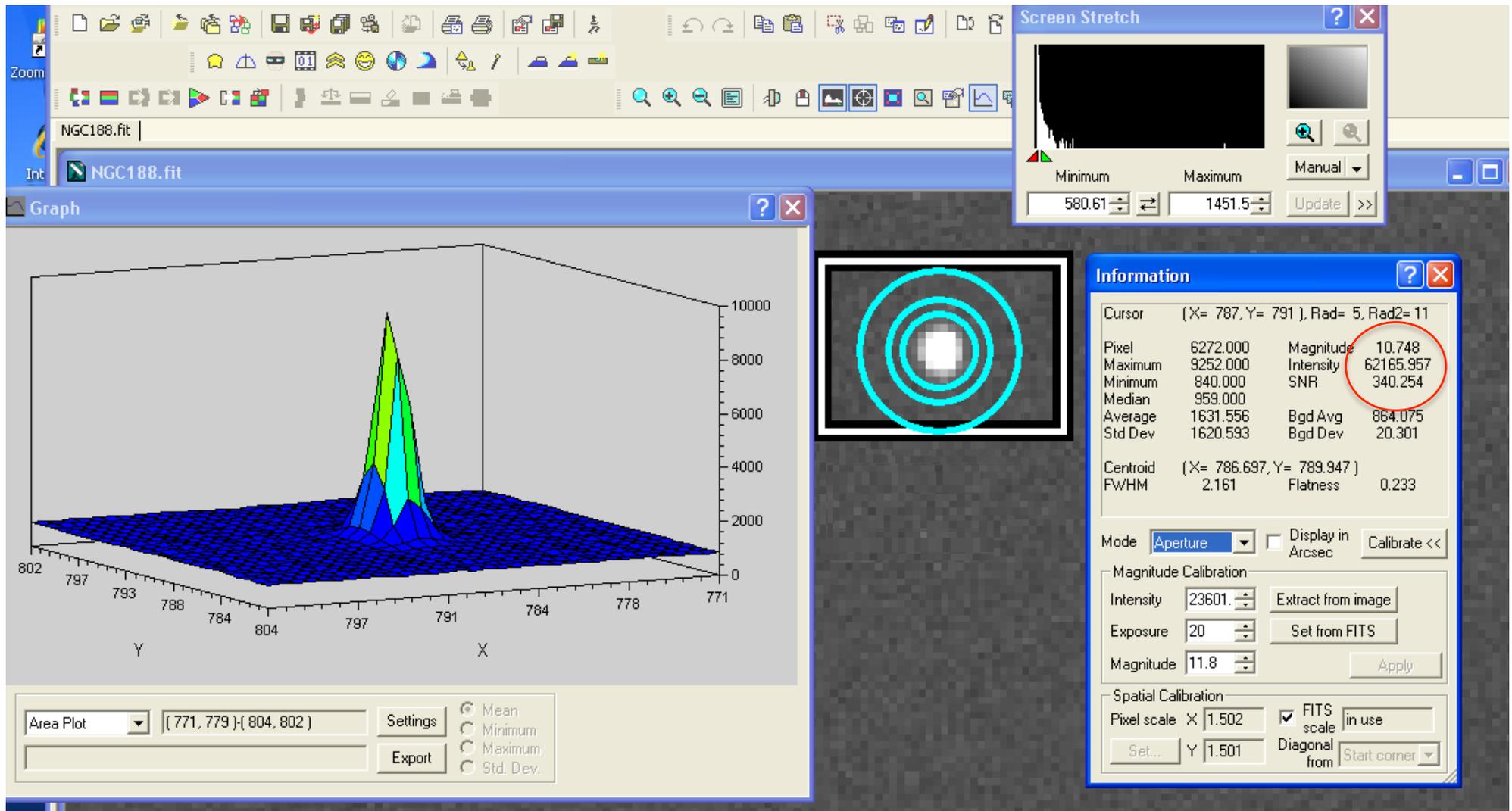


Dobbiamo contenere *tutto* il segnale della stella, ma il *minore* background possibile.
In genere: $2 r \approx 4 \div 5$ FWHM

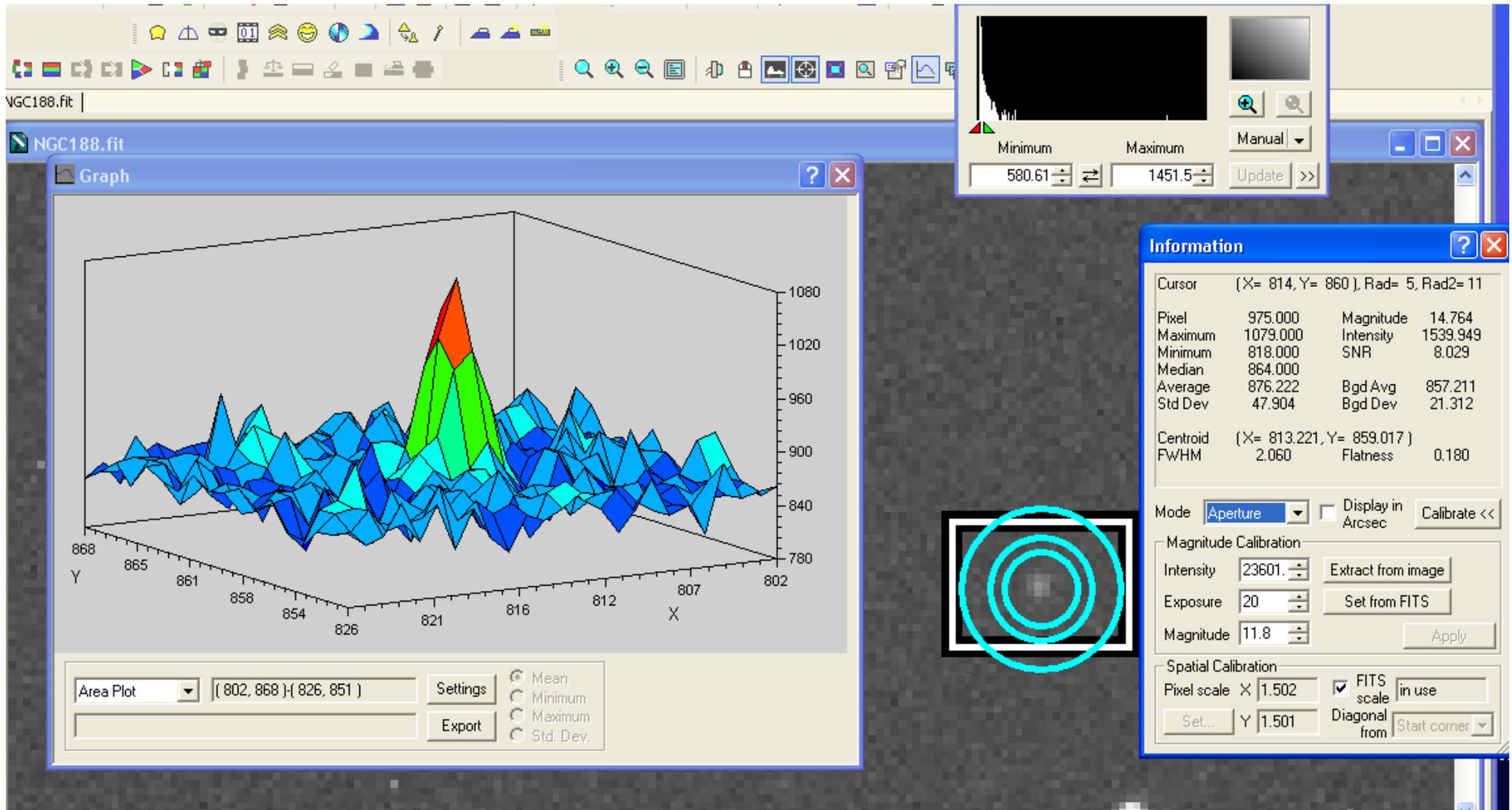
In questo caso un raggio di 4-5 pixel è ragionevole

Una volta fissato il raggio questo va mantenuto per tutte le stelle che si misurano!

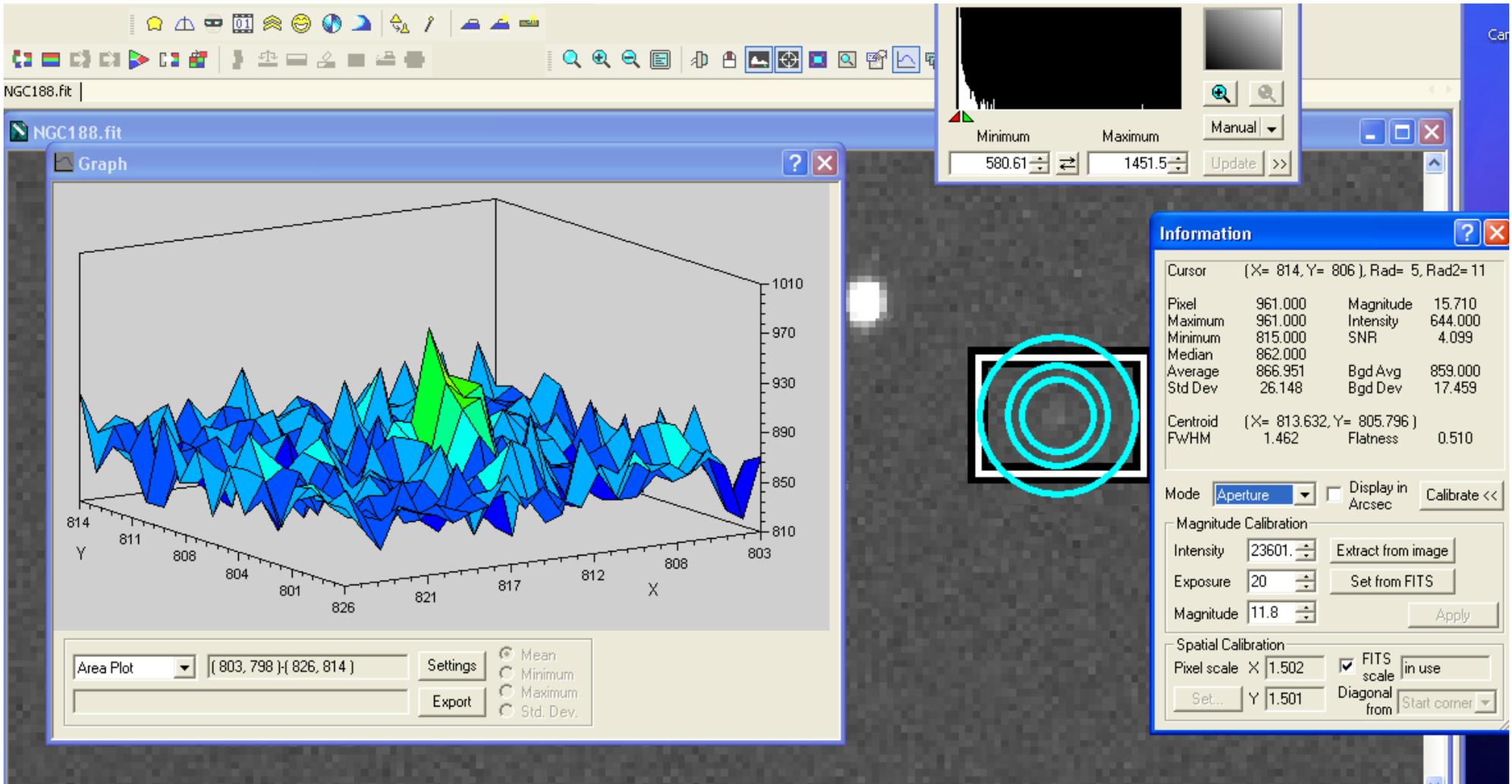
Ottimo rapporto S/N



Scarso rapporto S/N



Limite di rivelazione: magnitudine limite



Contributi al Rumore:

Fluttuazione statistica dei fotoni della sorgente (shot noise): $\sigma_{N_*} = \sqrt{N_*} \rightarrow \sigma_{N_*}^2 = N_*$

Fluttuazione statistica dei fotoni del fondo-ciolo: $\sigma_B^2 = n \cdot \sigma_{N_S}^2 = n \cdot N_S$

Fluttuazione statistica degli elettroni termici (Dark Noise): $\sigma_D^2 = n \cdot N_D$

Rumore di Lettura (Read Noise): $\sigma_{RN}^2 = n \cdot RN^2$

N_* = conteggi dovuti alla stella; N_S = conteggi dovuti al cielo; N_D = conteggi dovuti agli elettroni termici; RN = rumore di lettura

$$N_* = S = \sum_{i=1}^n N_i - n \cdot B$$

...Trascurando i contributi al rumore dei frame usati per la riduzione dei dati

Formula del rapporto S/N per i CCD

$$\frac{S}{N} = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + n(N_S + N_D + RN^2)}}$$

Star → Sky → Dark → ReadOut

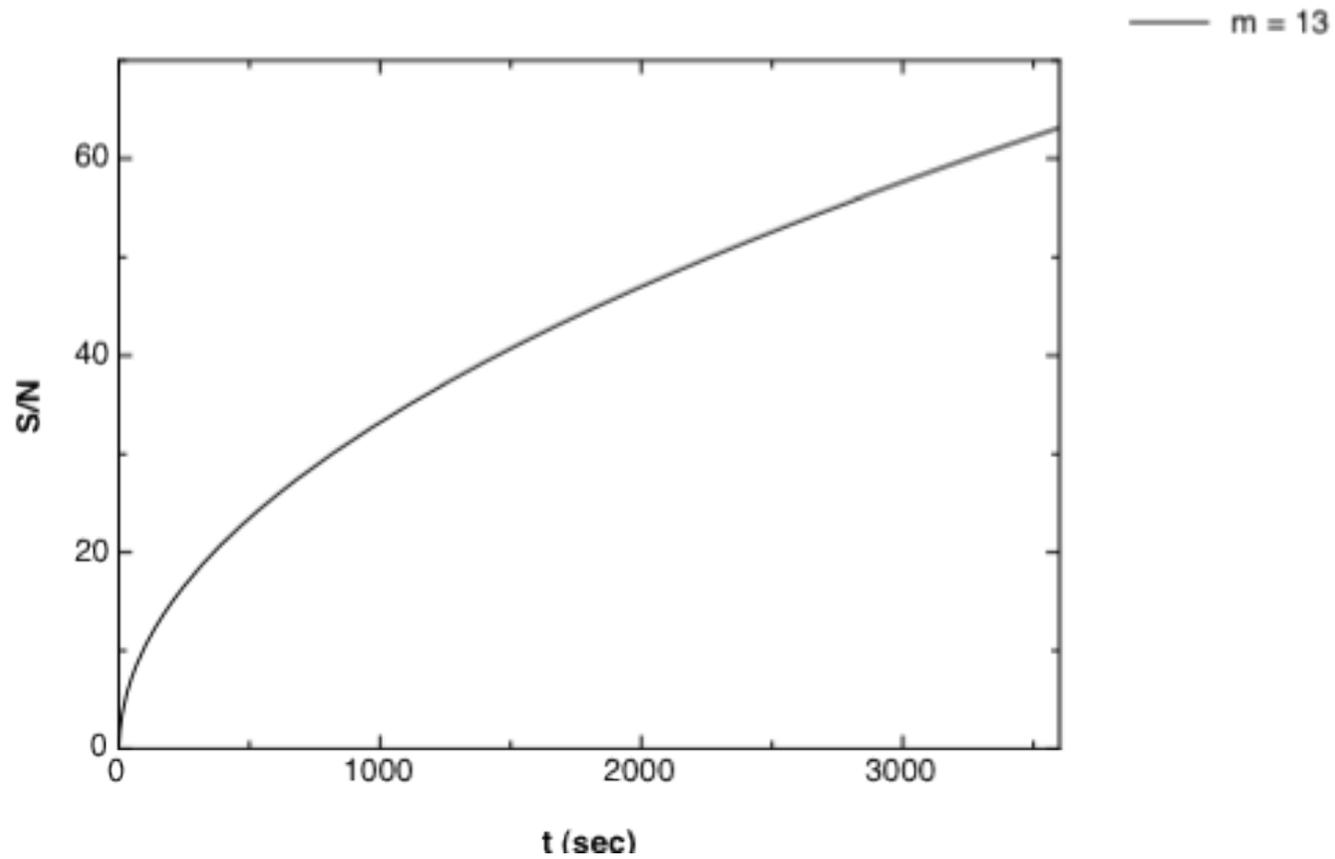
In funzione del tempo di integrazione:

$$\frac{S}{N} = \frac{F_* \cdot t}{\sqrt{F_* \cdot t + n(F_S \cdot t + I_D \cdot t + RN^2)}}$$

Nel limite di sorgente intensa e/o lungo tempo d'integrazione:

$$\frac{S}{N} \propto \sqrt{t}$$

Tipico andamento del rapporto S/N in funzione del tempo



Attenzione: per tempi di esposizione molto brevi il RN può essere dominante!

Casi limite:

Source limited:

$$\frac{S}{N} \approx \frac{N_*}{\sqrt{N_*}} = \sqrt{N_*} = \sqrt{F_* \cdot t}$$

Sky limited:

$$\frac{S}{N} \approx \frac{N_*}{\sqrt{nN_S}} = \frac{F_*}{\sqrt{nF_S}} \sqrt{t}$$

Trascurando i contributi del CCD:

$$S / N = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + n \cdot N_S}} = \frac{F_*}{\sqrt{F_* + n \cdot F_S}} \sqrt{t}$$

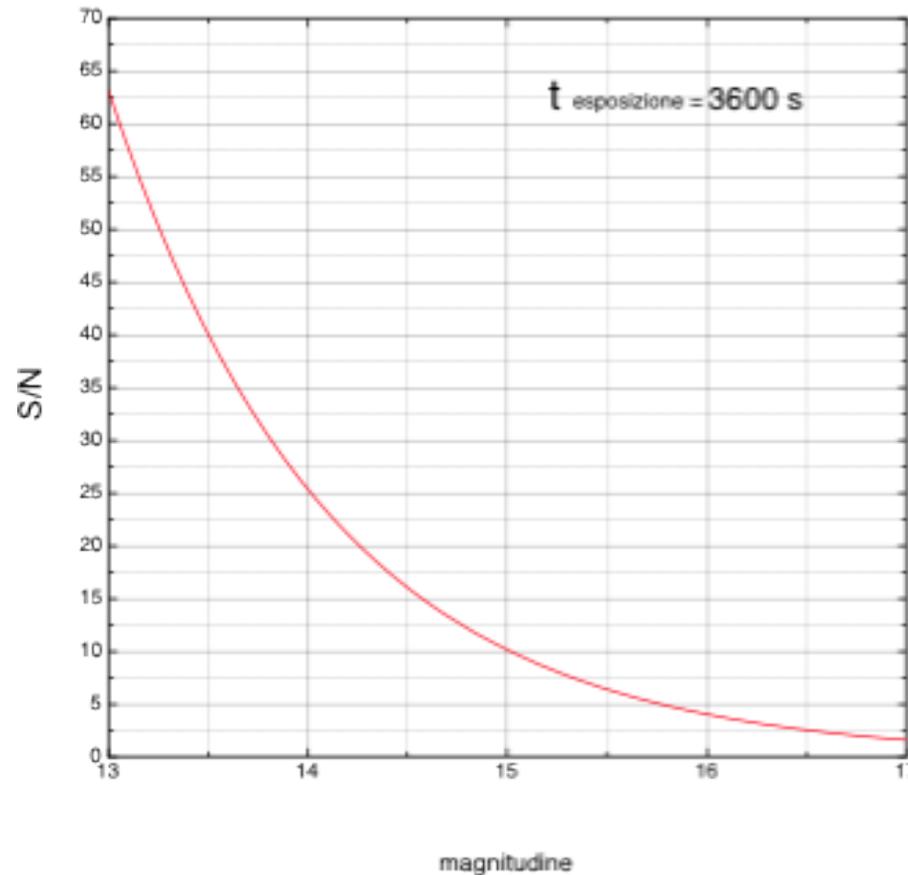
S/N in funzione della magnitudine

$$F(m) = F_0 \cdot 10^{-0.4(m-m_0)}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{F_0 \cdot 10^{-0.4(m-m_0)} \cdot t}{\sqrt{F_0 \cdot 10^{-0.4(m-m_0)} \cdot t + n(F_S \cdot t + I_D \cdot t + RN^2)}}$$

m_0 :
magnitudine
della stella di
calibrazione

F_0 :
flusso della
stella di
calibrazione



...in pratica:

1. Misuriamo (in laboratorio) I_D e RN per il nostro CCD
2. Misuriamo (al telescopio) il flusso di fondo-ciolo F_S (per pixel)
3. Misuriamo (al telescopio) il flusso F_0 di una stella di magnitudine nota m_0



Siamo in grado di stimare S/N in funzione di t per ogni magnitudine

Come utilizziamo il rapporto S/N ?:

Obiettivo: Vogliamo misurare una certa magnitudine m con una certa precisione σ_m

Fissata σ_m , dalla relazione $\sigma_m = 1.08/\text{SNR}$, risulta fissato S/N

Da S/N (per quella magnitudine) otteniamo il tempo necessario

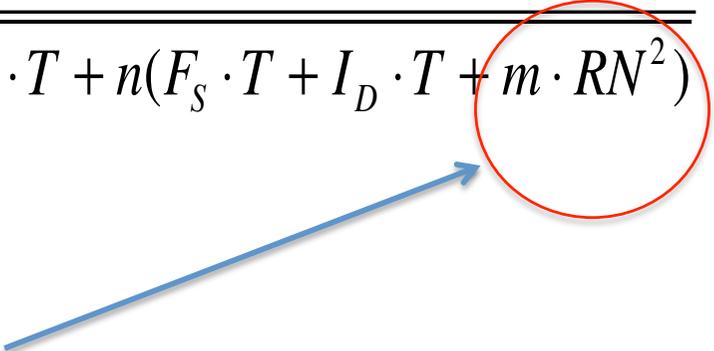
Sottoesposizioni

S/N fissa il tempo totale T. Con che criterio decidiamo il tempo t e il numero m delle sottoesposizioni e quindi il loro numero m ? ($T = mt$)

1. Per non avere esposizioni *bias dominated*:

$$(F_* + nF_S)t \gg nRN^2$$

2. m non troppo elevato. Infatti:

$$\frac{S}{N} = \frac{F_* \cdot T}{\sqrt{F_* \cdot T + n(F_S \cdot T + I_D \cdot T + RN^2)}} \neq \frac{S}{N} \Big|_m = \frac{F_* \cdot T}{\sqrt{F_* \cdot T + n(F_S \cdot T + I_D \cdot T + m \cdot RN^2)}}$$


Il rumore di lettura viene introdotto m volte !