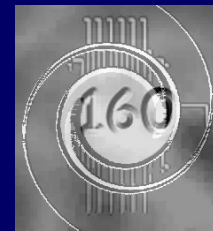


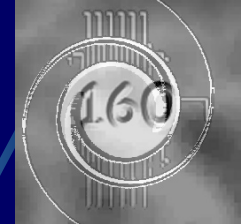


# La preelaborazione delle riprese CCD

Enrico Prosperi

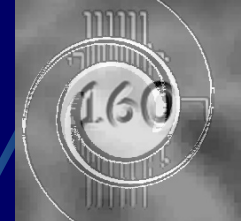
MPC 160 – Oss. di Castelmartini, Larciano (PT)





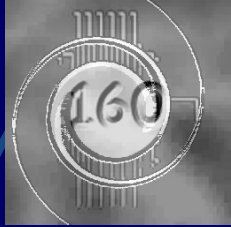
# Condizioni ideali

- Inquinamento luminoso: assente (mag vis 6,5)
- Seeing ottimale: clima asciutto, assenza di turbolenza
- Messa a fuoco perfetta: stelle puntiformi
- Tempi di posa: illimitati
- Sensore elettronico
  - efficienza quantica – 100%
  - Livello di saturazione – FWC infinita
  - rumore termico e di lettura - trascurabile
- Immagini di calibrazione: non necessarie
- Software di elaborazione: unico e automatico



# Condizioni reali

- Inquinamento luminoso: presente (mag vis 3-4)
- Seeing pessimo: turbolenza, umidità, ...
- Messa a fuoco: approssimativa e instabile
- Tempi di posa: brevi (max 45-60 sec)
- Sensore CCD: Tipo, Classe, Temperatura, costo
  - $QE_{max} \sim 30\% - 40\%$
  - $FWC < 100000 e^-$
  - Rumore termico e di lettura fisiologici (a  $T_{CCD}$ )
- Immagini di calibrazione: necessarie
- Sw di elaborazione: non automatico



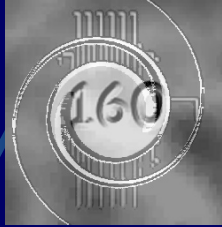
# Fattore 1: IL

## ● Sorgenti di IL

- Campo sportivo
- Insegne pub
- Illuminazione pubblica
- Zona industriale







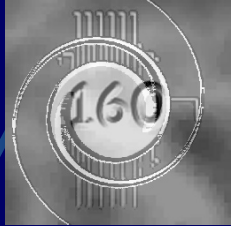
# Fattore 2: il Seeing

## ● Seeing

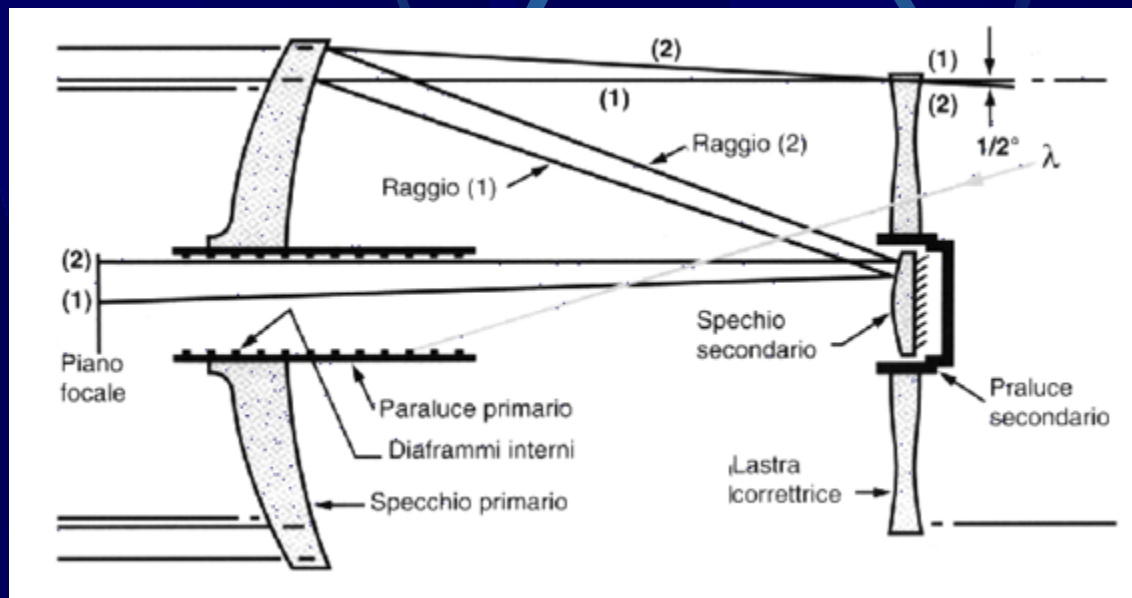
- 30m slm
- Zona umida



# Fattore 3: messa a fuoco



- Telescopio Schmidt-Cassegrain commerciale = fuoco instabile
  - Turbolenza interna
  - Giochi delle parti mobili
  - Turbolenza atmosferica



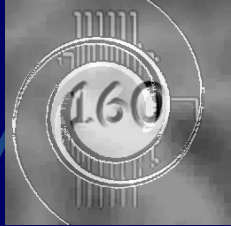
# Fattore 4: durata posa

- Montatura SSC-10 (commerciale)
  - Bassa stabilità in corsa libera = pose di 30-60 sec max per ottenere un tasso di rigetto tollerabile dei mossi (<20%-50%)
- IL
  - La brillantezza del fondo cielo pone un limite alla max durata della posa (saturazione CCD)

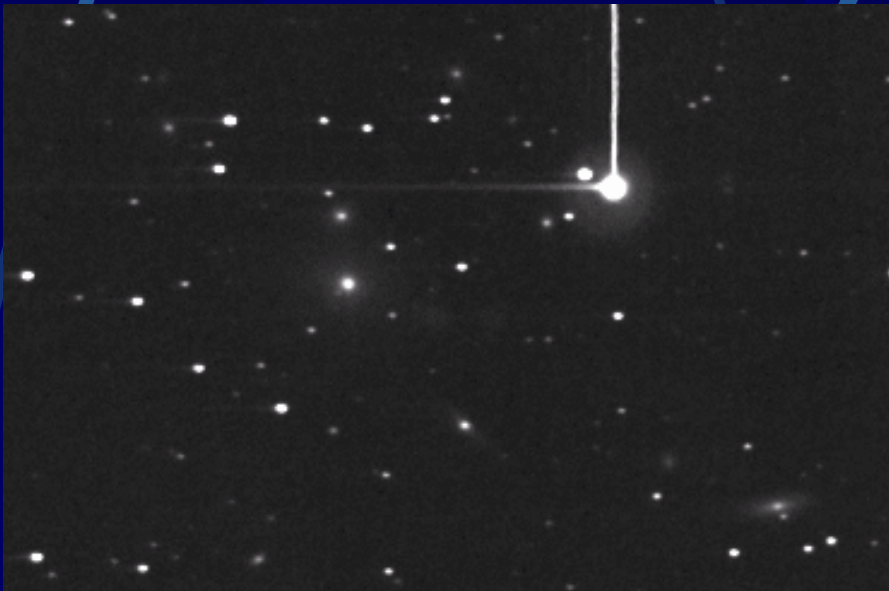
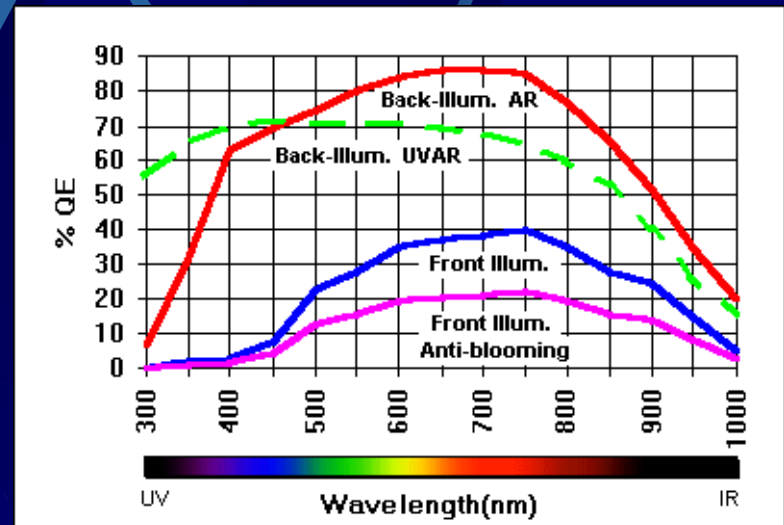




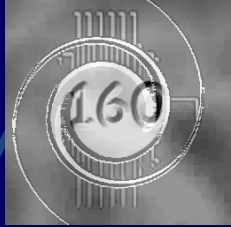
# Fattore 5: la camera CCD



- Camera CCD con KAF-0400, classe 1
  - Risposta spettrale
  - Blooming
  - Streaking – no otturatore





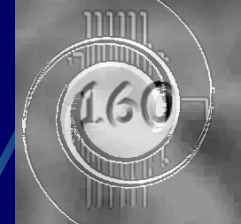


# Fattore 6: la calibrazione

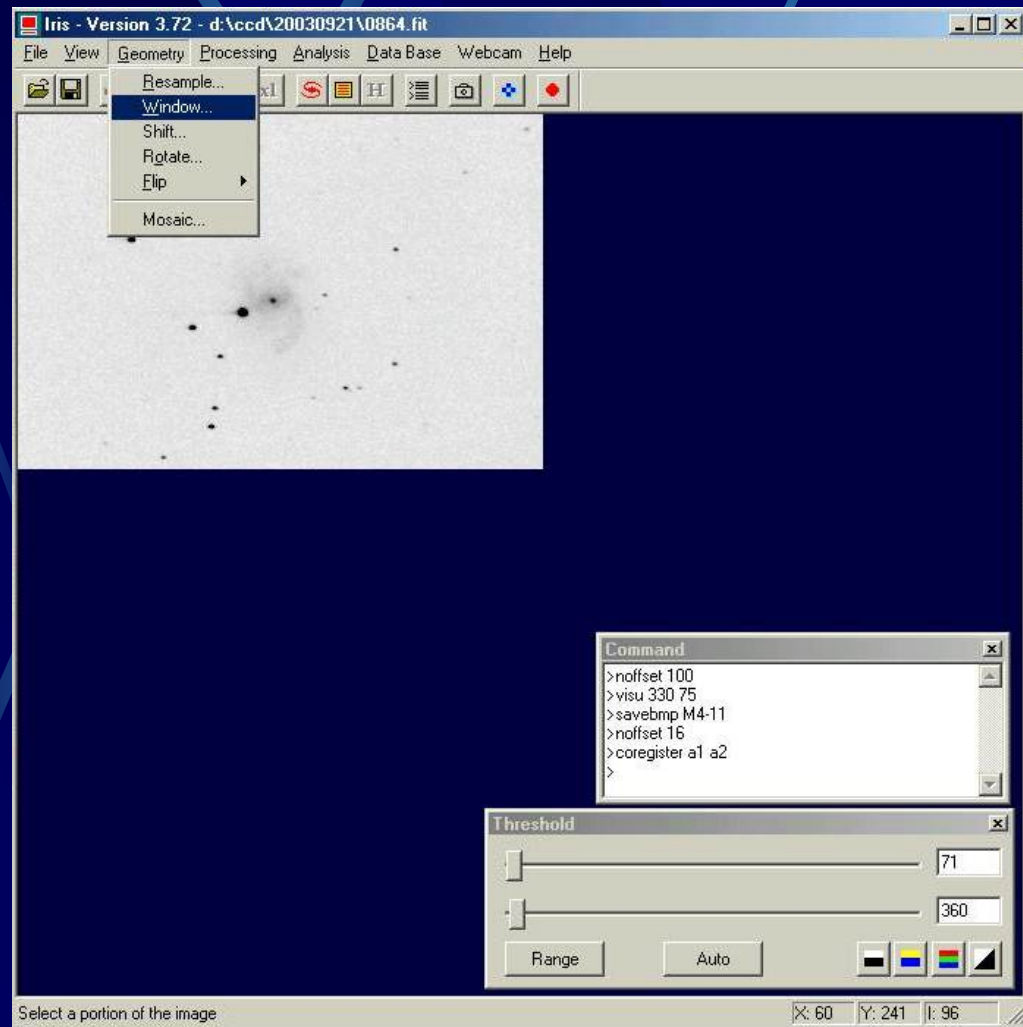
- Necessità di calibrare le riprese CCD
  - polarizzazione
  - rumore di buio
  - vignettatura e tracce di polvere

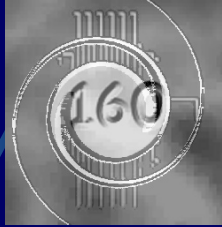


# Fattore 7: il Software



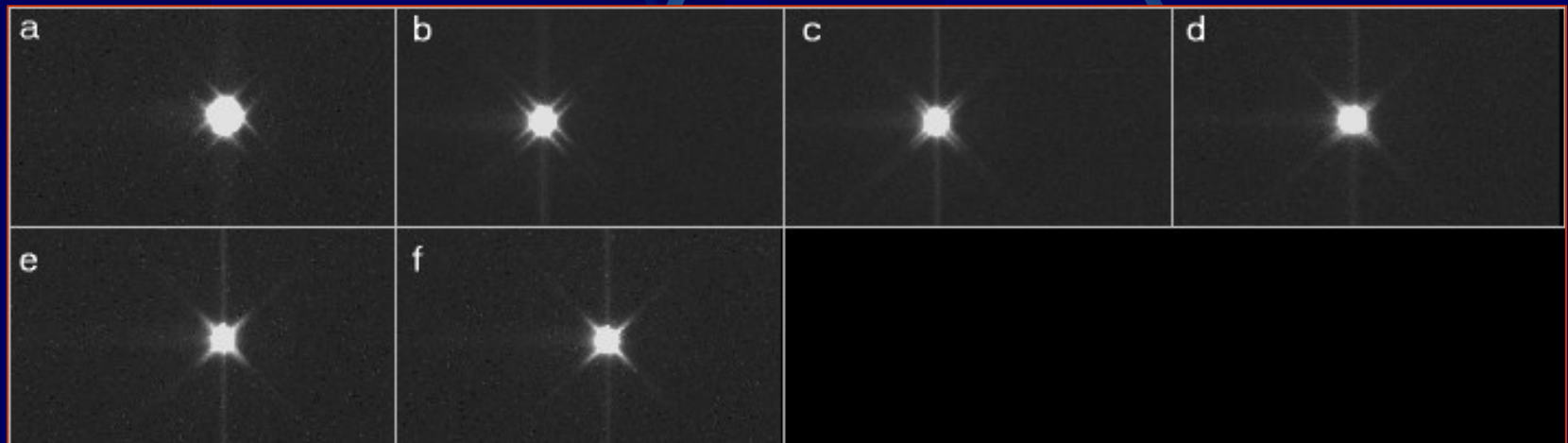
- Programmi distinti di:
- Acquisizione (QuickMiPS),
- Elaborazione (IRIS) e
- Ritocco (PaintShopPro)
- Image Processing (IRIS)
  - Pro:
    - Derivato da MiPS
    - Soddisfa molte esigenze
    - Gratuito e liberamente disponibile
    - Periodicamente aggiornato
  - Contro
    - Complesso
    - Non utilizzabile in forma batch





# Che fare?

- Limitare l'IL? **Difficile! Prendere accordi.**
- Il seeing? **Beh, il clima sta cambiando...**
- **Messa a fuoco: qui si può intervenire!**
  - Studio di tecniche per migliorare l'accuratezza
  - Rendere remota la procedura





# E ancora ...

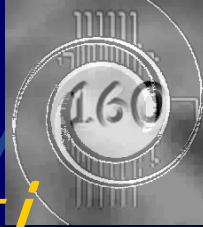
## ● Interventi su meccanica e montatura

- Stabilità: colonna con ruote e viti calanti
- Analisi dei punti deboli: piccole migliorie (p.es.: eliminazione giochi)
- Adeguamenti per attuare il controllo a distanza e facilitare la messa in postazione

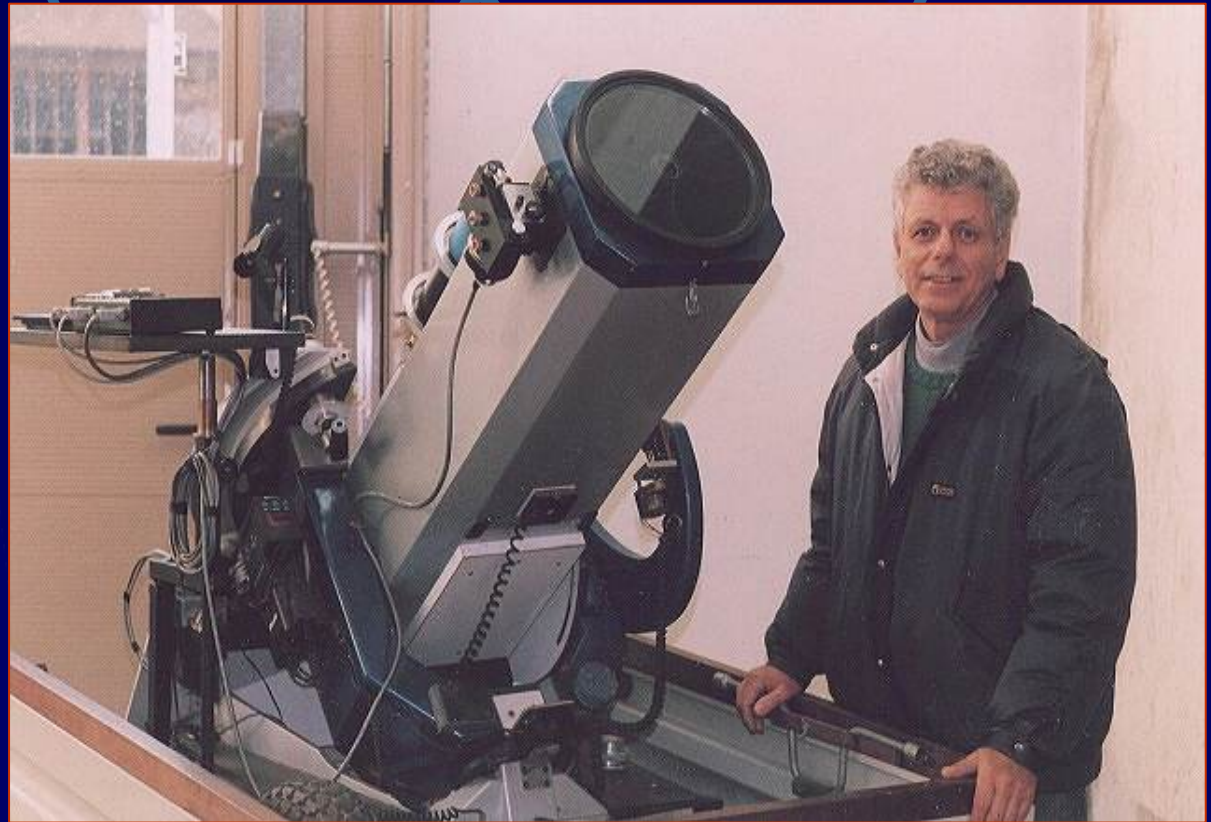




# Ci vuole un maestro: un omaggio a *Piero Lavoratti*



- In ogni disciplina occorre avere un buon maestro
- L'astrofilo più esperto e disponibile che sa consigliare e che stimola ad inseguire nuovi traguardi
- Per me e per molti astrofili toscani (e non solo) questo maestro è stato ed è Piero.



# Interventi sulla camera CCD (1)

- La camera CCD non ha l'otturatore?
- Allora lo si aggiunge!
  - il pilotaggio è già previsto dall'HW della camera e dal SW di controllo della camera CCD e di acquisizione (QMIPS32)

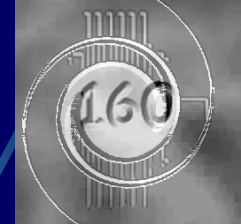


Otturatore elettromeccanico di recupero da telecamera professionale

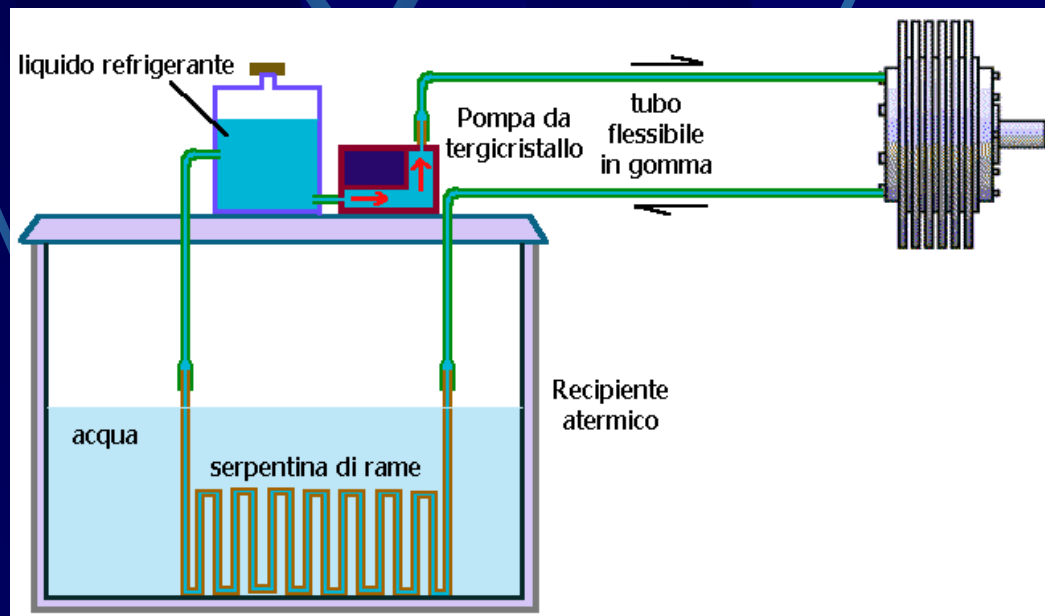


Inserimento nel "naso" da 31,8mm della camera CCD

# Interventi sulla camera CCD (2)

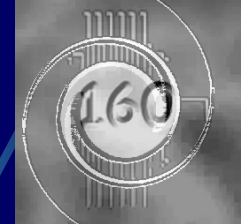


- Refrigerazione a circolazione di liquido
- La Hi-SIS 22 è già predisposta
  - Occorrente:
    - Recipiente atermico;
    - Scambiatore di calore (serpentina);
    - Pompa.

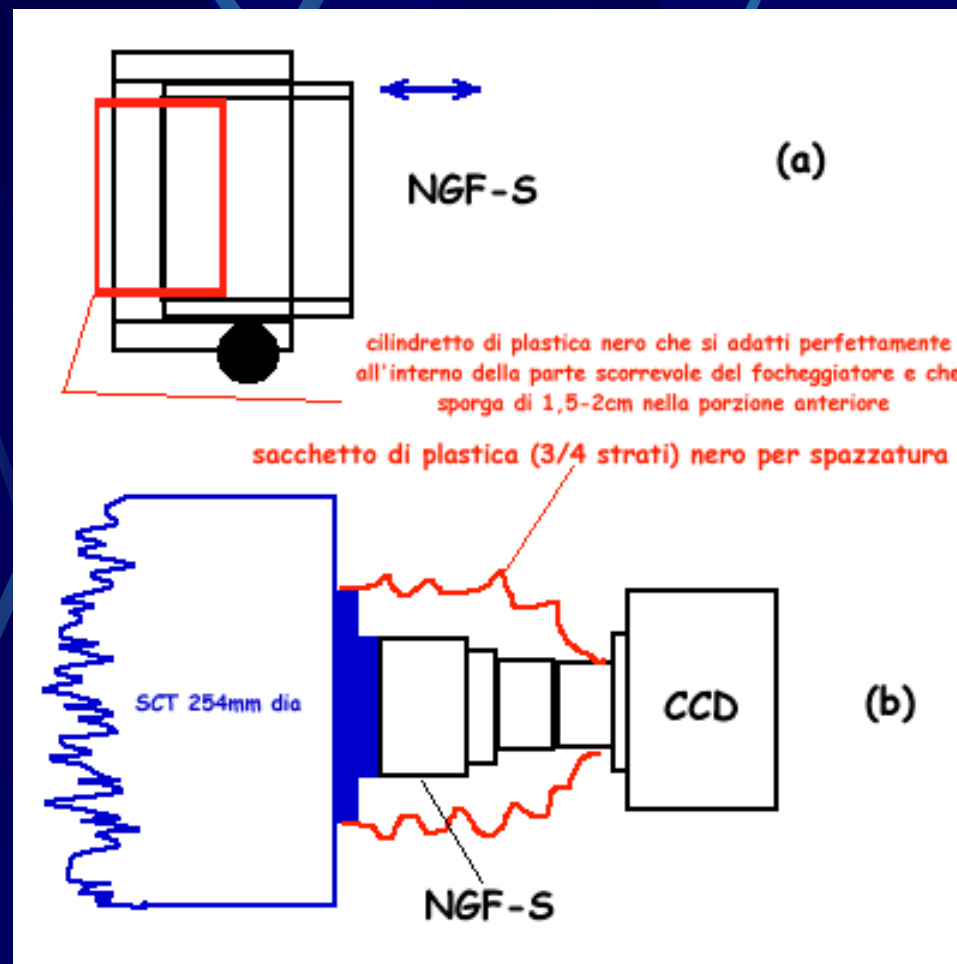




# Interventi sulla camera CCD (3)

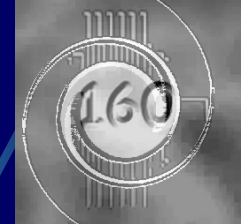


- Attenzione: si verificano infiltrazioni di luce laterali
  - Causa principale:
    - Il focheggiatore NGF-S

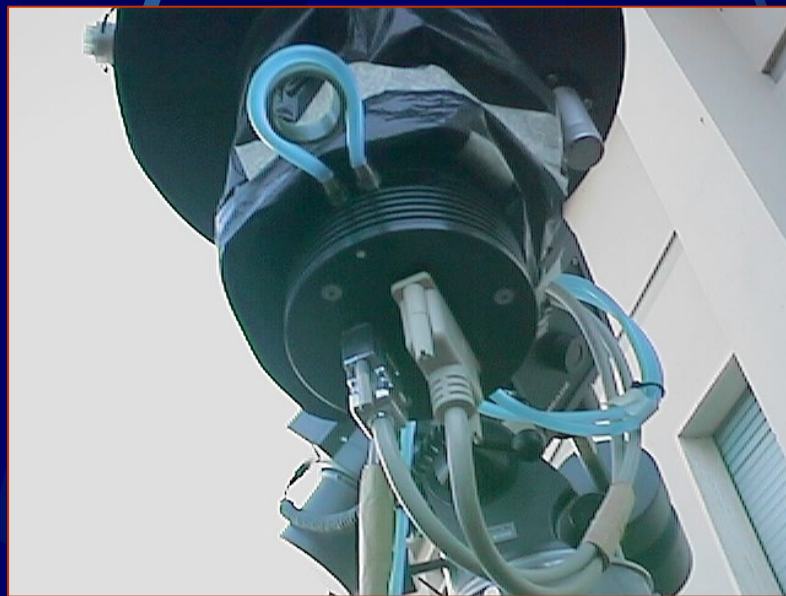




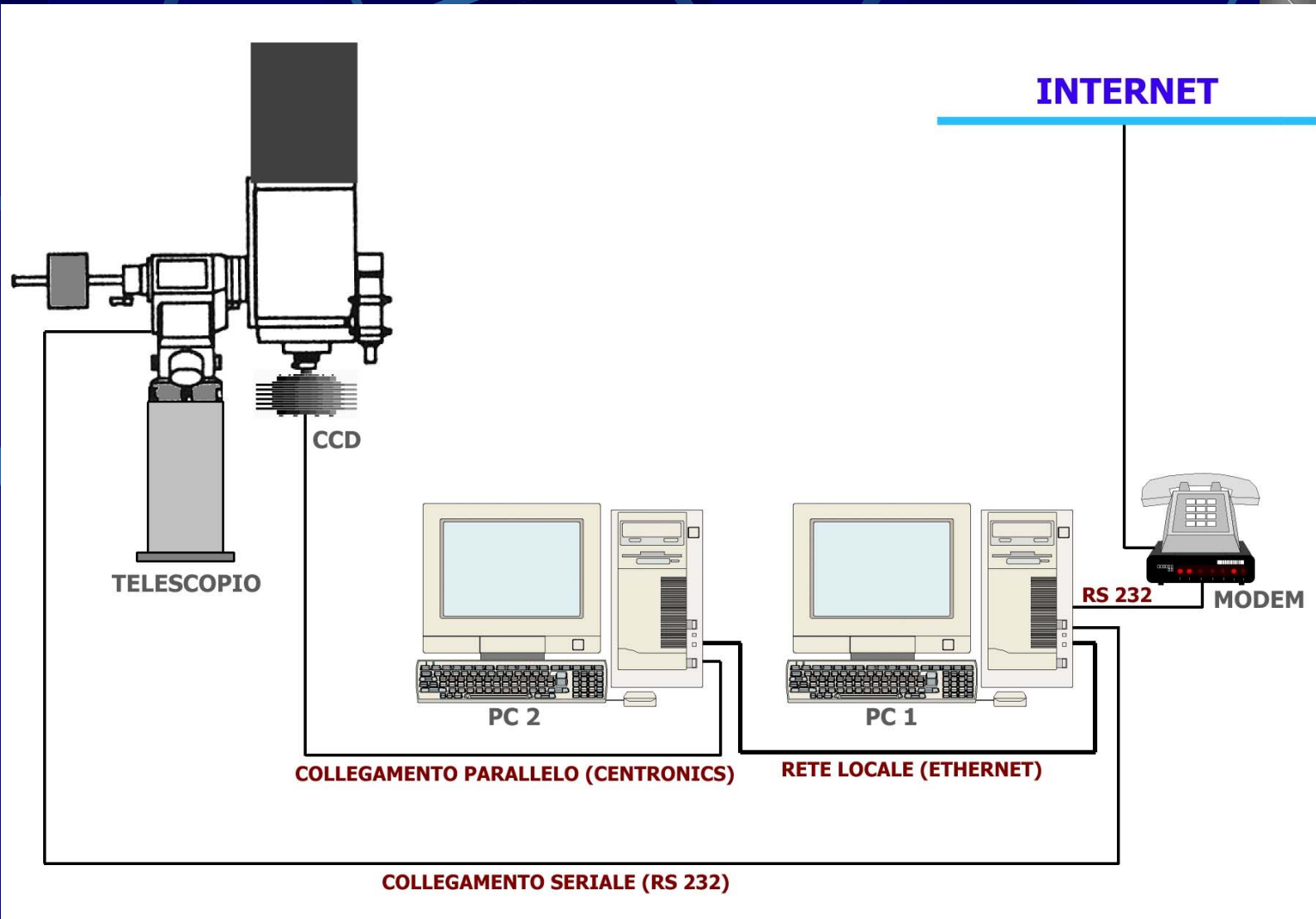
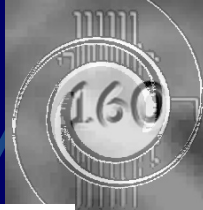
# Interventi sulla camera CCD (3bis)



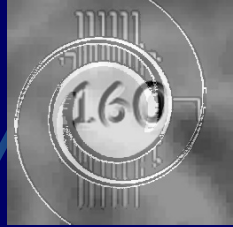
- Attuazione degli accorgimenti per limitare le infiltrazioni di luce laterale



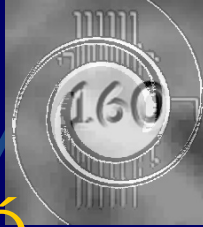
# La struttura del MPC 160



# L'impiego delle immagini di calibrazione



- Qualcuno sostiene la necessità di acquisire immagini di buio assieme alle riprese CCD, in modo che (1) **la temperatura di lavoro del sensore sia pressappoco la stessa**, e che (2) **abbiano la medesima durata**
  - Questo è corretto ma ... presuppone che **una gran parte del tempo di osservazione sia dedicata a questo compito**
    - La produttività viene pertanto sacrificata
    - Per di più occorrerebbe acquisire un certo numero di dark frames in modo da poter sintetizzare dei master dark affidabili.
- **Ci si chiede: è proprio necessario? La mia risposta è no!**
  - I master frames di calibrazione (offset o bias, dark e flat) possono essere utilizzati per settimane e talvolta per mesi!
  - Finché:
    1. **resta immutata la combinazione ottica**
    2. **non si nota un'evidente modifica del pattern di buio.**



# L'uso nel tempo delle immagini di calibrazione: perché

- Il processo di accumulo di  $e^-$  a causa dell'agitazione termica (in funzione della temperatura del sensore) è sicuramente complesso.

- Però,

- Se la temperatura varia di poco:  $T_{\text{ripresa dark}} \sim T_{\text{ripresa CCD}}$ 
  - A questo serve la refrigerazione mediante circolazione di liquido

- allora il processo può essere, con buona approssimazione, linearizzato:

$$N_{e^-} = [a + b \cdot \Delta T] \cdot \Delta t$$

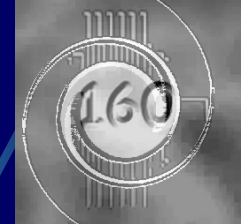
Con  $a$ : fattore di produzione di cariche alla  $T_{\text{ripresa dark}}$ ,  $b$ : termine di 1° grado

- Pertanto il fattore moltiplicativo da associare al master frame può essere calcolato sulla base della statistica di ogni singola ripresa CCD

- È un fatto che verifico, nella pratica, ormai da diversi anni
  - Ovvero da quando utilizzo la refrigerazione con liquido circolante: garantisce una buona stabilità termica del sensore anche al variare della temperatura ambiente.



# La temperatura del sensore deve variare di poco



- Se la temperatura  $T$  del sensore **non** è sufficientemente stabile nel tempo, allora il processo termico di produzione delle cariche non può più essere rappresentato da una relazione lineare ma da un modello di ordine superiore:

$$N_{\text{dark}} = [a + b \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^2 + d \cdot \Delta T^3 + \dots] \cdot \Delta t$$

- Solo se  $\Delta T$  ( $\Delta T = T_{\text{ripresa\_CCD}} - T_{\text{ripresa\_dark}}$ ) è **piccolo**, i termini superiori al primo (e, in molti casi, anche questo) possono essere **trascurati**
- si può allora calcolare il fattore moltiplicativo **k** sulla base della statistica dell'immagine corrente **Img** (per scalare il MASTER-DARK = **M\_Dark**):

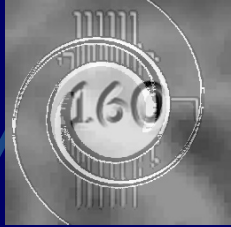
$$\text{Dark\_Img} = k \cdot \text{M\_Dark}$$

scalatura del dark-frame

$$\text{Img\_Cal} = \text{IMG} - \text{Dark\_Img}$$

calibrazione immagine

# Utilità del bias (Offset)

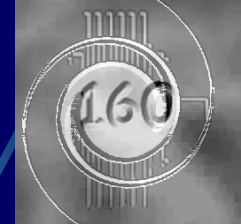


- I costruttori di camere CCD non fanno iniziare il conteggio da zero ma, per evitare effetti indesiderati in fase di digitalizzazione, aggiungono un offset di valor medio  $K$  al conteggio  $N$  di ciascun pixel:

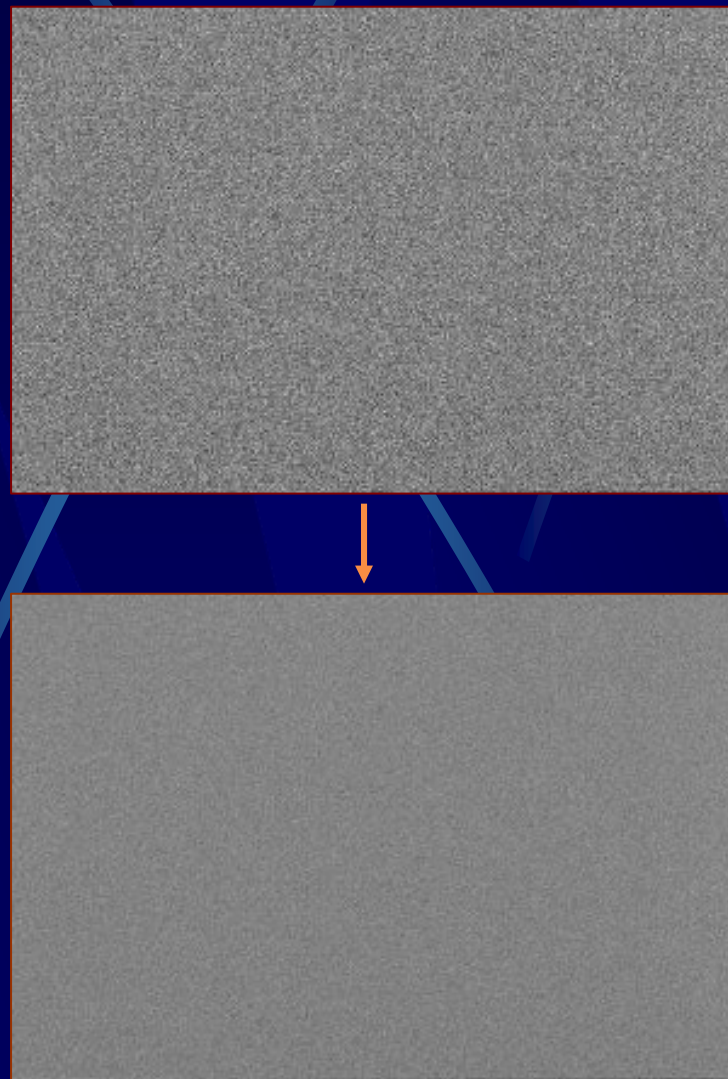
$$N = K + \alpha \cdot L \cdot \Delta t$$

- Dove:  $N$  = conteggio;  $\alpha$  = sensibilità;  $L$  = intensità radiazione incidente;  $\Delta t$  = durata esposizione.
- Per calcolare il **coefficiente moltiplicativo** da associare al **master dark** sulla base della **statistica del rumore termico della ripresa corrente** occorre rendere lineare il processo in maniera da far dipendere il conteggio, in modo direttamente proporzionale, dalla posa e dall'illuminazione
  - A questo serve l'immagine di BIAS: una posa di durata  $\Delta t=0$ . In tal modo si ottiene:  
$$\text{BIAS} = K$$
- Questa immagine va sottratta sia alle riprese CCD sia alle immagini di buio che vengono utilizzate per generare il MASTER-DARK frame.
  - Si può anche utilizzare un'immagine costante di valore pari al valor medio del BIAS (in pratica si può sottrarre tale valore al conteggio relativo a ciascun pixel)

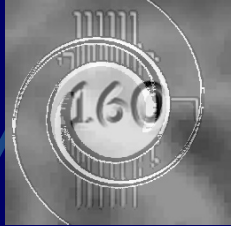
# Sintesi del Master-BIAS



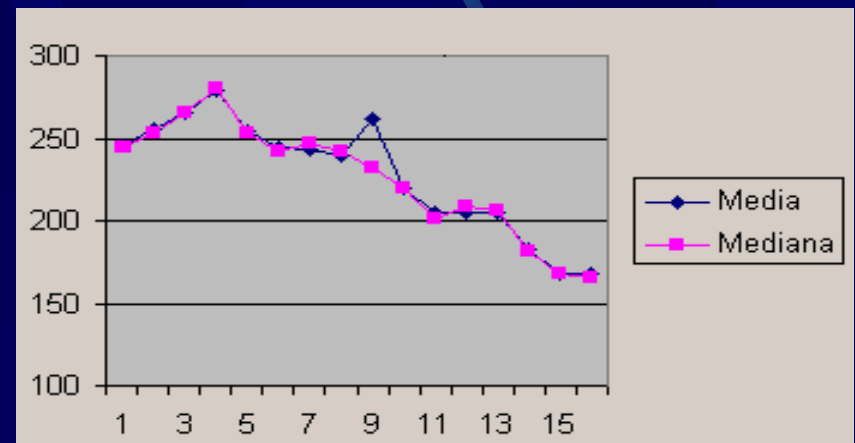
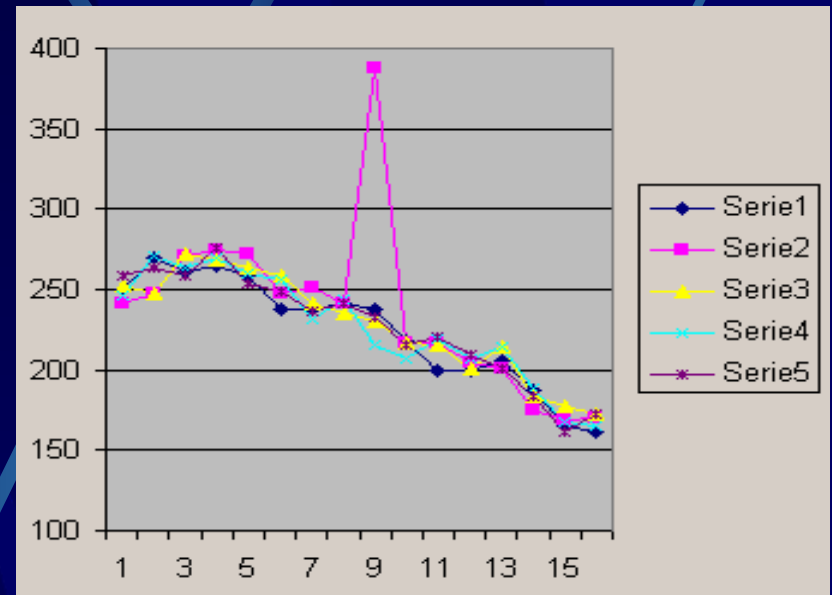
- Tutte le immagini di calibrazione vanno riprese all'equilibrio **termodinamico**: quando la temperatura ha raggiunto stabilmente il valore di regime
- Si riprendono  $n$  immagini con posa di durata  $\Delta t=0$
- Si determina quindi l'**immagine mediana**: questa sarà il **MASTER-BIAS** o **MASTER-OFFSET**



# Il valore mediano

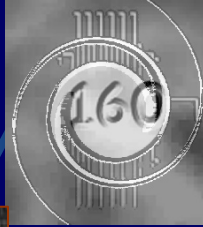


- Vale la pena di puntualizzare il concetto di elemento mediano. Infatti, questo è del tutto diverso da quello di media
  - Ragionando per sequenze di dati monodimensionali (vedi figura)
  - Il mediano si determina (nel caso di un numero dispari di sequenze o serie) come l'elemento centrale della sequenza ordinata dei dati corrispondenti ad una determinata posizione.
  - Se invece il numero di serie è pari, è il valore medio tra i due elementi centrali.



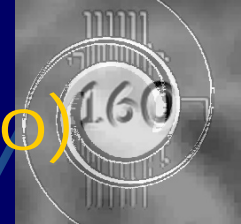


# Sintesi del Master-Dark



- Si riprende un numero  $n$  (in genere dispari, con  $n \geq 5$ ) di immagini di buio, di durata maggiore o uguale alla massima durata prevista per le esposizioni delle riprese CCD
- Si calcola l'immagine mediana delle  $n$  riprese di buio
- Si sottrae il master-bias: quella che si ottiene rappresenta il **MASTER-DARK**





# Il Flat-Field (immagine di spianamento)

## A che serve?

1. Per correggere la vignettatura e i disturbi introdotti dalla combinazione ottica impiegata
2. Per la compensazione degli artefatti dovuti alla presenza di granelli di polvere e di sporco presenti lungo il percorso ottico (in particolare quelli presenti sulle finestre ottiche della camera CCD e sul chip del sensore)

## Quindi:

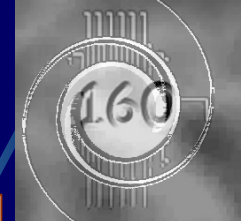
- a. Si deve rifare ogni volta che la combinazione ottica varia
- b. Deve essere eseguita con l'ottica a fuoco (e quindi dopo la messa a fuoco!)

Tra le immagini di calibrazione questa è la più difficile da sintetizzare

## Come si ottiene?

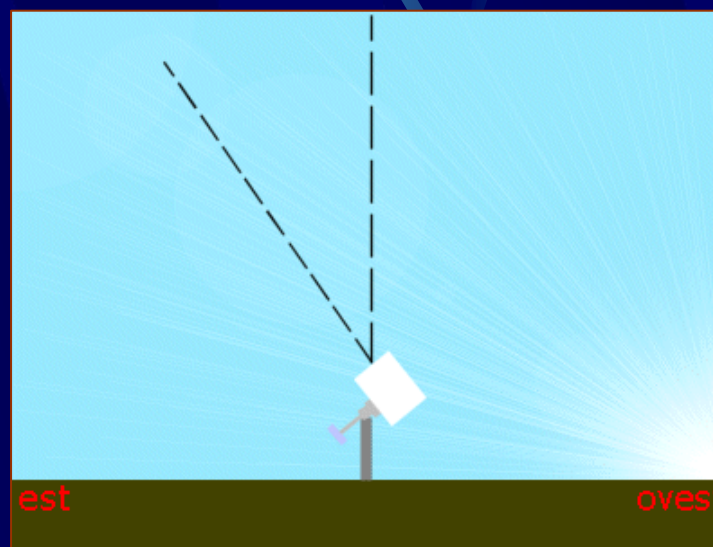
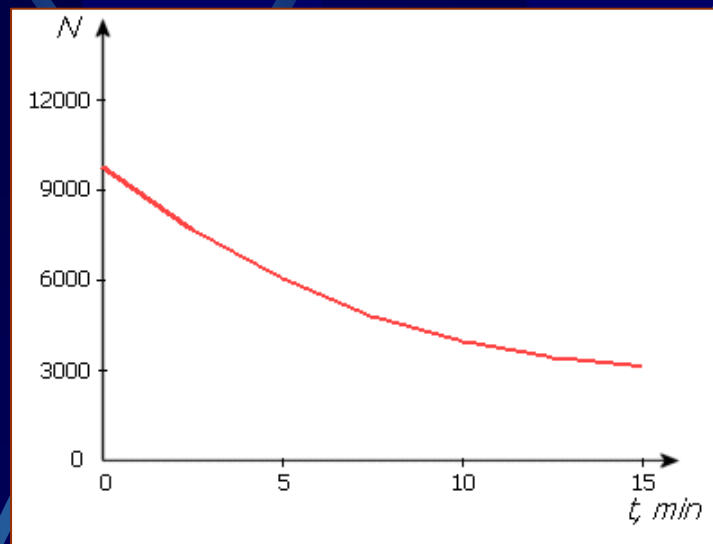
- Occorre riprendere una sequenza di  $n$  (**dispari e  $n \geq 5$** ) immagini con posa non troppo breve (almeno **10÷15 sec**) e, ovviamente, non sature (buona regola è che il valore medio dell'immagine sia **attorno a metà della dinamica della camera**) di uno sfondo uniforme:
  1. quello del fondo del cielo 30'-45' dopo il tramonto, oppure
  2. quello di una superficie illuminata uniformemente, oppure
  3. con un apparato concepito e ottimizzato per questo scopo

# Flat dal fondo del cielo

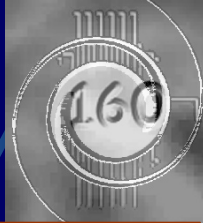


Le difficoltà consistono in

- Necessità di dover mettere **preventivamente** a fuoco
- **Attesa** fino a che il cielo abbia raggiunto la giusta luminosità
  - Da **non saturare** le singole immagini
  - Da consentire **esposizioni di circa 20"**
- **Brevità** del tempo utile
- **Variazione di luminosità** del cielo nel corso delle riprese
- **Gradiente di luminosità** della volta celeste

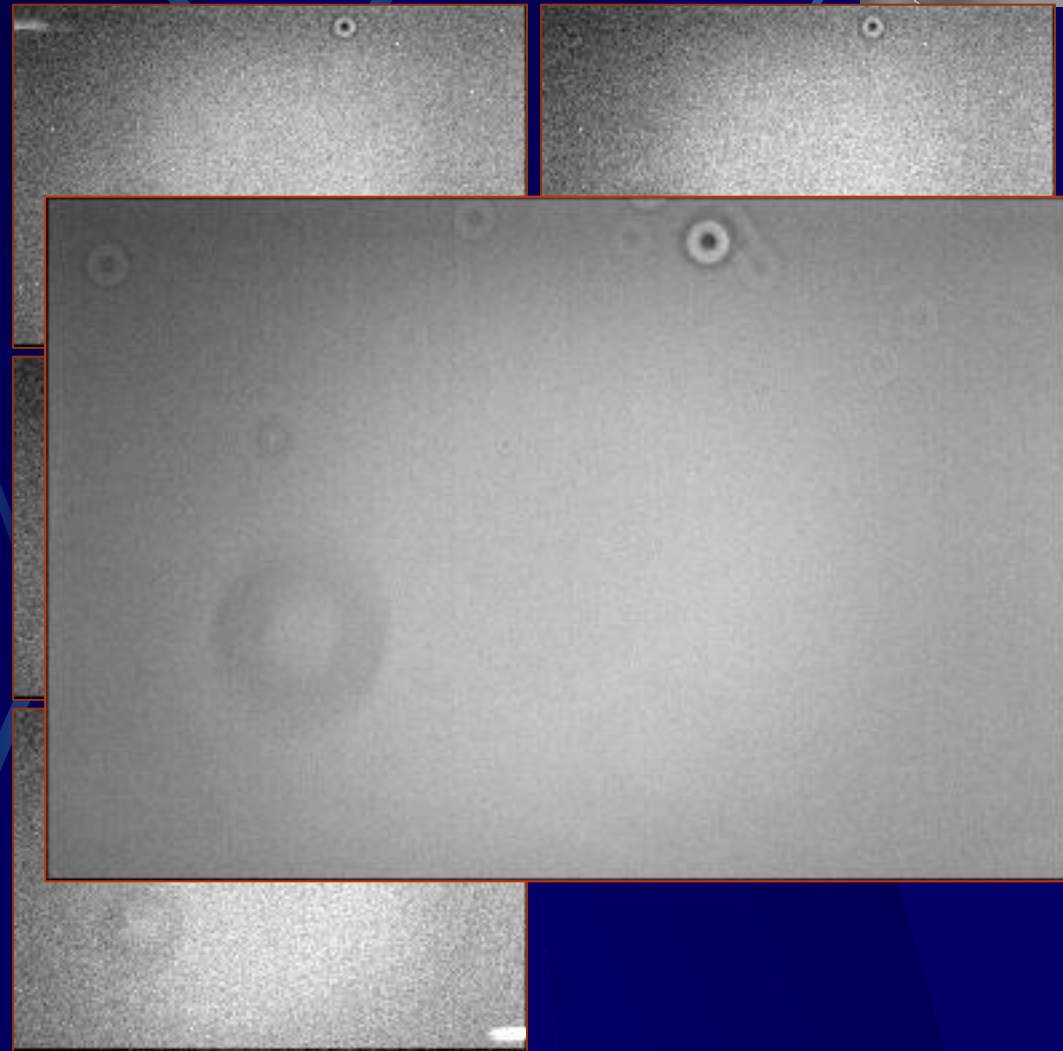


# Sintesi del Master Flat



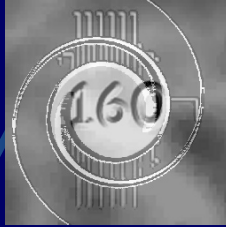
## Algoritmo per la sintesi del Master Flat-field

- Si acquisisce un numero  $n$  di flat ( $n \geq 5$ ):  $f_i, i=1, \dots, n$
- Si sottrae ad ogni flat il master bias ( $B$ )  
 $f_i^* = f_i - B \quad i=1, \dots, n$
- Per  $i=1, \dots, n$ 
  1. si calcola il fattore moltiplicativo  $k_i$  da associare al master dark ( $D$ ) e relativo all'immagine di flat corrente
  2. Si sottrae il dark scalato  
 $f_i^- = f_i^* - k_i \cdot D$
- Si scalano i singoli  $f_i^-$  con fattore moltiplicativo in modo da rendere omogeneo il valor medio di tutti i flat
- Si calcola il valore mediano degli  $n$  flat: questo sarà il Master Flat





# Il Master Flat



Si acquisisce un numero  $n$  di flat ( $n=9$ ):  
 $f_i, i=1, \dots, 9$

Si sottrae ad ogni flat il master bias ( $B$ )

$$f_i^* = f_i - B \quad i=1, \dots, 9$$

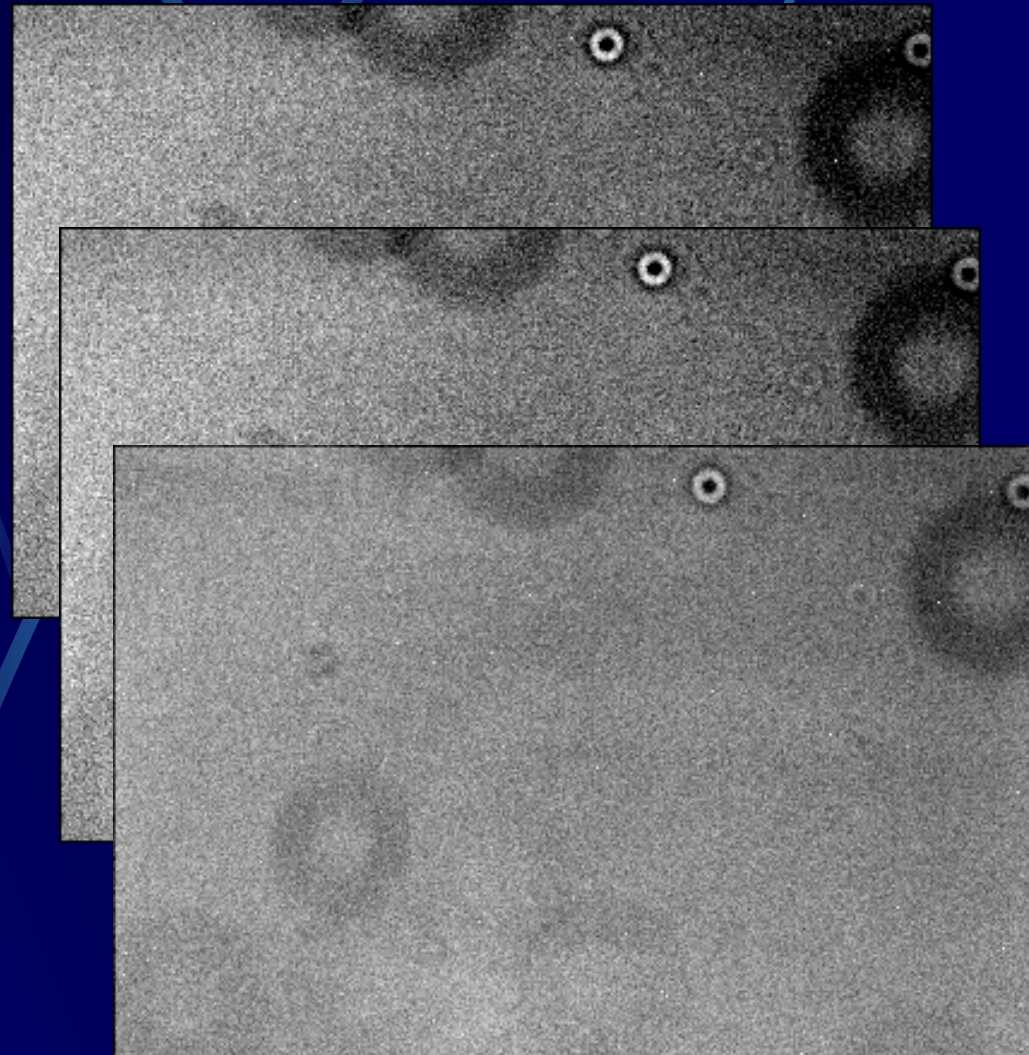
Per  $i=1, \dots, 9$

1. si calcola il fattore moltiplicativo  $k_i$  da associare al master dark ( $D$ ) e relativo all'immagine di flat corrente
2. Si sottrae il dark scalato

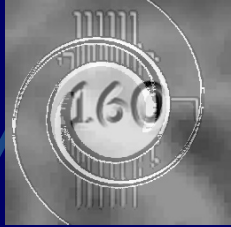
$$f_i \sim = f_i^* - k_i \cdot D$$

Si scalano i singoli  $f_i \sim$  con fattore moltiplicativo in modo da rendere omogeneo il valor medio di tutti i flat ( $B_g=8000$ )

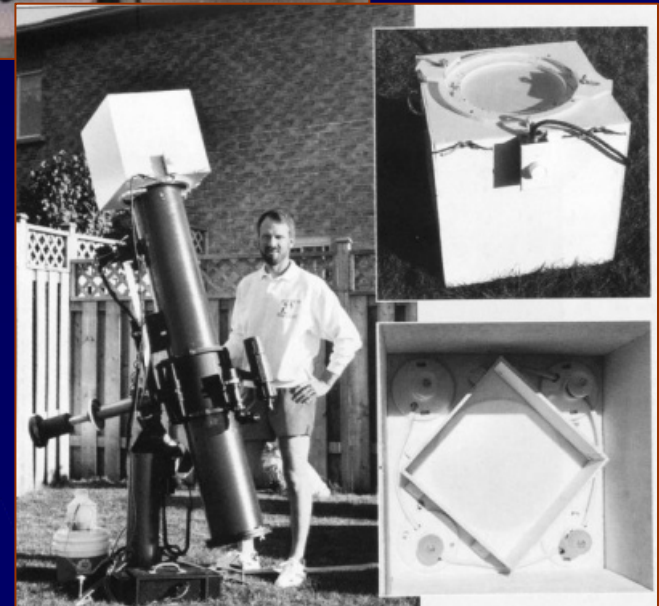
Si calcola il valore mediano dei 9 flat:  
questo sarà il Master Flat



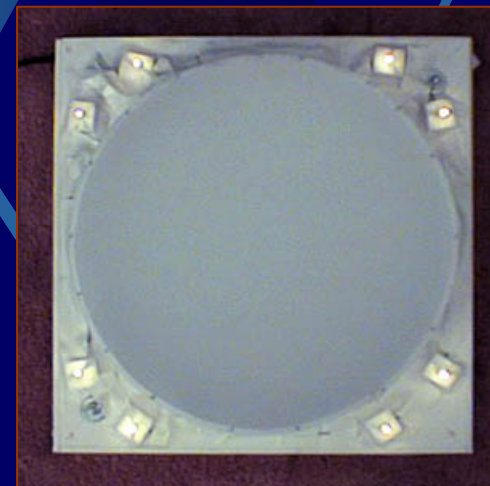
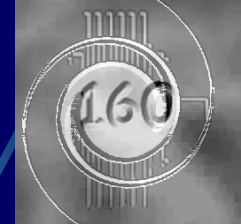
# Flat con appositi apparati



- I flat field si possono ottenere anche con apparati realizzati ad hoc per questo scopo
- **Vantaggi:**
  1. Si possono realizzare i flat quando si vuole
  2. Si possono impostare a piacimento i parametri
    - Luminosità
    - Tempo di posa
- **Accorgimento:**
  1. Si devono utilizzare sorgenti luminose con spettro continuo (come le lampade a incandescenza)

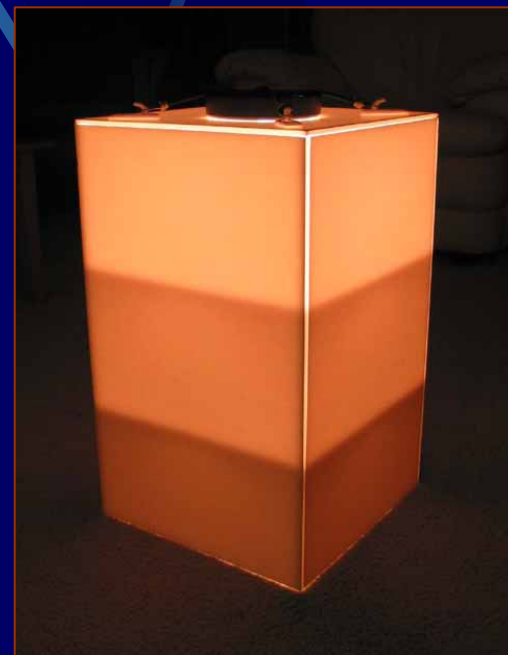
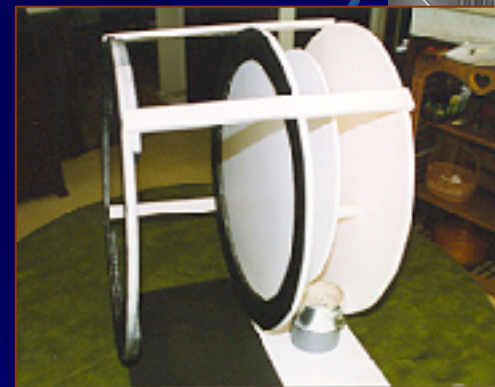


# Altri apparati (1)



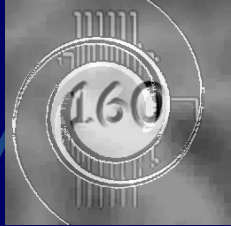


# Altri apparati (2)

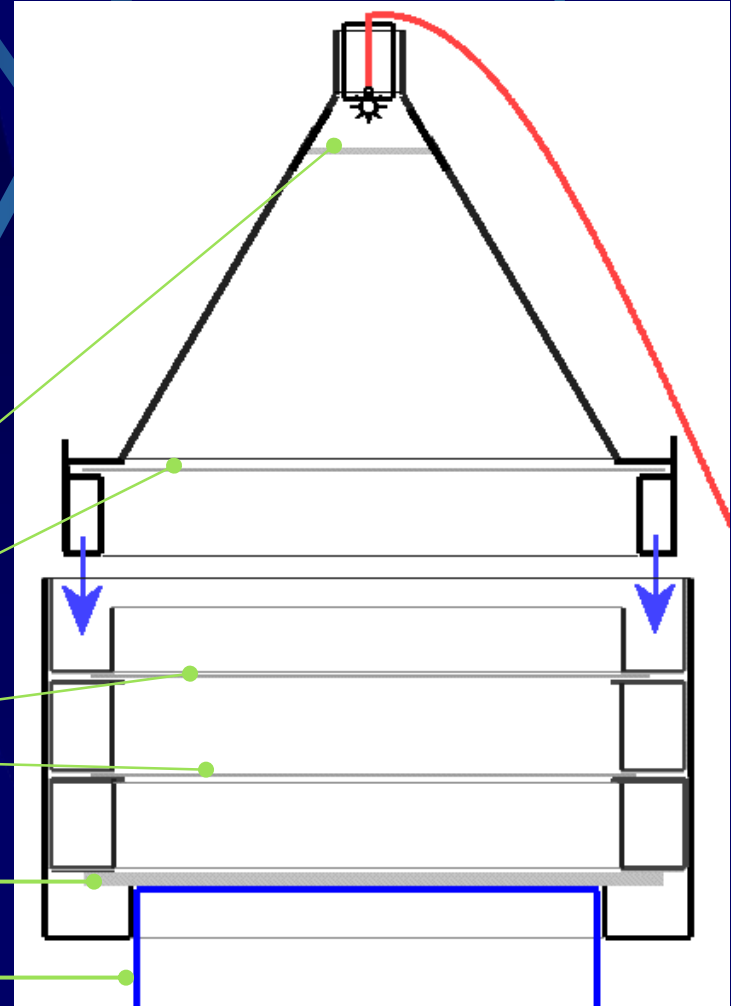




# Il mio dispositivo



Struttura leggera  
in cartoncino: va  
adattata al  
paraluce del  
telescopio.



Fogli di carta traslucida

Lastra di plexiglass

Paraluce del telescopio

# Altri particolari

