

## **Esperienza di laboratorio:**

### **Misura di alcuni parametri di una Camera CCD**

Lo scopo dell'esperienza è la misura di alcuni parametri della camera CCD a disposizione.

I parametri da misurare sono:

**Corrente di buio (Dark Current, DC)** in  $e^-/\text{pixel}/\text{sec}$

**Linearità:** quanto è lineare la risposta della camera in funzione dei conteggi

**Guadagno (Gain, G)** in  $e^-/\text{ADU}$

**Rumore di lettura (Read Noise, RN)** in  $e^-$

#### **1. Materiali**

Ogni gruppo ha a disposizione una camera CCD, un telescopio, una flat-box e un computer su cui è installato il software per il controllo della camera (MaxIm DL).

Le camere utilizzate sono:

SBIG ST-8XME

SBIG ST-7XME

SBIG ST-402ME

(verificate il modello che vi è stato assegnato chiedendo al vostro assistente di laboratorio).

Verificate le caratteristiche della vostra camera (QE, n° di pixel, pixelsize, Dark Current di specifica, RN di specifica, etc.):

Per le ST-7 e ST-8 andate su:

<http://www.sbig.com/site/assets/files/18223/usbmanrev14.pdf>

Per la ST-402 andate su:

<http://www.sbig.com/site/assets/files/18225/st402man.pdf>

Nella relazione riportate le principali specifiche della vostra camera.

Il telescopio viene utilizzato per un migliore accoppiamento ottico tra la camera e la flat-box, in particolare per ridurre la luce parassita (ambientale) che potrebbe influenzare le misure (soprattutto quelle di linearità).

La flat-box è la sorgente di illuminazione uniforme e costante necessaria per produrre i flat e per le misure di linearità.

Il software Maxim DL viene utilizzato per governare la camera, acquisire bias, flat e dark, fare operazioni sui files, misurare le grandezze statistiche necessarie, etc.

Nella relazione descrivete brevemente il vostro apparato sperimentale.

## **2. Metodi**

Una volta collegate al computer con il cavo USB le camere possono essere accese e connesse al software.

Abbassate la temperatura in step di 5°C fino ad arrivare al valore di circa 3°C (non conviene andare sotto lo zero per evitare problemi di *freezing* del sensore, dovuto all'umidità: sarebbe poi necessario un tempo abbastanza lungo per scongelare il sensore). Aspettate almeno 5 minuti prima di iniziare le acquisizioni.

Per le misure che seguono potete seguire l'ordine che preferite. In fase di elaborazione dati tenete conto che il valore di G vi occorre per ottenere il valore della DC in elettroni e per calcolare RN.

### **2.1. Misura della DC**

In un'immagine di tipo Dark (Dark Frame) la carica accumulata nei pixel sarà dovuta principalmente alla corrente termica. Misurando l'andamento della carica accumulata in funzione del tempo, è possibile misurare la corrente di buio a una determinata temperatura.

- a) Acquisire almeno 5 immagini di tipo Dark a tempi di esposizione crescente (es.: da 1 a 5 minuti) e a temperatura costante .
- b) Con Maxim tramite lo strumento *view menu->information windows* in modalità Area misurare il valore medio (*average*) dell'intero frame per ogni tempo di esposizione.
- c) Riportare su grafico i conteggi in funzione del tempo di esposizione. Eseguire un fit lineare dei dati. Il coefficiente angolare misura la corrente di buio espressa in ADU/pixel/secondo per la temperatura utilizzata.
- d) Per ottenere il valore in elettroni/pixel/secondo moltiplicare per il guadagno.

Confrontate il valore ottenuto con quello di fabbrica. Cosa osservate ?

## 2.2. Misura della Linearità

Osservando l'andamento del valore medio d'immagini di tipo Flat a tempo di esposizione crescente è possibile misurare l'andamento della linearità del CCD al variare dei conteggi raggiunti.

Accendete la flat-box. Esponete un flat e stimate il tempo necessario per arrivare alla saturazione dei conteggi (65.536). Fate in modo, regolando l'intensità della flat-box, che questo tempo sia di almeno 20-30 secondi.

- a) Acquisire almeno 20 immagini di tipo Flat (Flat Field) a tempo di esposizione crescente (es., da 1 a 20 sec).
- b) Misurare il valore medio dell'intero frame tramite *view menu->information windows* in modalità Area.
- c) Riportati i valori dei conteggi in grafico. Potrete notare uno scostamento dalla linearità all'aumentare dei tempi di esposizione, e quindi all'aumentare dei conteggi.

d) Per evidenziare linearità effettuare un grafico della derivata normalizzata a 1. In questo modo siete in grado di misurare la percentuale di linearità al variare del tempo di esposizione.

*Quale è il valore di saturazione teorico per la vostra camera in elettroni e in ADU? Cosa effettivamente osservate? Per quale valore dei conteggi la risposta del CCD inizia a scostarsi dalla linearità?*

*Inserite le risposte a queste domande nella vostra relazione di Laboratorio.*

### 2.3. Misura di RN

Il segnale prodotto in un'immagine Bias (Bias Frame) è dovuto alle correnti di polarizzazione e al rumore di lettura (Readout Noise, RN) prodotto dall'elettronica del CCD. La deviazione standard di un'immagine di tipo Bias ci consente di misurare quindi il rumore di lettura della camera.

Per cui, in linea di principio:

$$RN = \sigma_B \text{ (in ADU); } RN = G \cdot \sigma_B \text{ (in elettroni)}$$

Tuttavia questo presuppone che tutti i pixel si comportino nello stesso modo: che le correnti di polarizzazione siano le stesse per tutti i pixel e che di fatto il frame di Bias non presenti gradienti.

Se così non è, la distribuzione statistica del valore dei pixel nel frame di Bias risulta può larga e la misura del RN falsata.

Per ovviare a questo inconveniente si acquisiscono *due* Bias Frame e si sottraggono l'uno dall'altro. La fluttuazione statistica del frame ottenuto non sarà più affetta da gradienti e sarà pari a:

$$\sigma_{B1-B2} = \sqrt{\sigma_{B1}^2 + \sigma_{B2}^2} \approx \sigma_B \cdot \sqrt{2}$$

da cui:

$$RN(e^-) = \frac{G \cdot \sigma_{B1-B2}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Per misurare RN:

- a) Acquisire 10 coppie d'immagini di tipo Bias e, tramite lo strumento *process menu->pixel math*, ottenere un'immagine che sia la differenza tra le due.  
ATTENZIONE: Allo scopo di evitare valori negativi dei pixel, che sono ignorati dal software che li riporta a zero, alterando quindi il valore della deviazione standard, aggiungere al primo frame (B1) dal quale deve essere sottratto l'altro (B2) un valore fisso sufficientemente elevato (*process menu->pixel Math-> Add Costant*). Questo valore, per evitare valori negativi, deve essere maggiore della differenza tra il valore minimo di B1 e il valore massimo di B2.
- b) La deviazione standard del frame differenza divisa per  $\sqrt{2}$  è pari al rumore di lettura della camera espresso in ADU.
- c) Moltiplicare per il guadagno (misurato con il metodo seguente) per ottenere il rumore della camera espressa in elettroni.
- d) Utilizzare i 10 valori ottenuti per ottenere il valore medio di RN e la sua deviazione standard.

Confrontate il valore di RN ottenuto con quello teorico.

## 2.4. Misura di G

Il Guadagno viene misurato a partire da un frame di Flat (Flat Field). Si utilizza una sorgente di illuminazione uniforme, nel nostro caso una flat-box.

Supponendo che sia F il valore medio misurato del flat in ADU allora  $F = N/G$ , con N il numero di elettroni (valore medio degli elettroni nel frame).

Conoscendo N si potrebbe ricavare G, ma in genere N non è noto (avremmo bisogno di una sorgente assoluta, calibrata in flusso e di una conoscenza accurata dell'efficienza quantica).

Per misurare G si procede quindi diversamente.

Scriviamo l'espressione per la deviazione standard di F (in ADU):

$$\sigma_F^2 = \left(\frac{\sigma_N}{G}\right)^2 + RN^2$$

I due contributi sono dovuti alla fluttuazione statistica di n e al rumore di lettura.

Possiamo scrivere:

$$\sigma_F^2 = \left(\frac{\sqrt{N}}{G}\right)^2 + RN^2 = \frac{F \cdot G}{G^2} + RN^2 = \frac{F}{G} + RN^2$$

da cui:

$$G = \frac{F}{\sigma_F^2 - RN^2} \quad (2)$$

Come nel caso del Bias frame utilizzato per calcolare RN anche nel caso del Flat è opportuno usare la deviazione standard della *differenza* tra due frame per evitare artefatti. Per cui si acquisiscono due Flat Field,  $F_1$  ed  $F_2$ , se ne fa la differenza e si ottiene la deviazione standard del file differenza che sarà legata alla deviazione standard del flat dalla relazione:

$$\sigma_{F_1-F_2} = \sqrt{\sigma_{F_1}^2 + \sigma_{F_2}^2} \approx \sigma_F \cdot \sqrt{2}$$

In questo caso abbiamo bisogno anche del valore medio del Flat che otteniamo come valore medio della somma dei due flat. Prima di fare questa operazione è necessario sottrarre i bias dai flat (supponendo che il tempo di esposizione sia breve e che si possa quindi trascurare il contributo del dark). Pertanto:

$$F = \frac{(\bar{F}_1 - \bar{B}_1) + (\bar{F}_2 - \bar{B}_2)}{2} = \frac{(\bar{F}_1 + \bar{F}_2) - (\bar{B}_1 + \bar{B}_2)}{2}$$

Sostituendo nella (2) si ottiene (RN va inserito in ADU):

$$G = \frac{(\bar{F}_1 + \bar{F}_2) - (\bar{B}_1 + \bar{B}_2)}{\sigma_{F_1-F_2}^2 - \sigma_{B_1-B_2}^2} \quad (3)$$

Questa è l'espressione utilizzata per calcolare il guadagno a partire da una coppia di flat e da una coppia di bias.

Se la riscriviamo in questo modo:

$$(\bar{F}_1 + \bar{F}_2) - (\bar{B}_1 + \bar{B}_2) = G \cdot (\sigma_{F_1-F_2}^2 - \sigma_{B_1-B_2}^2) \quad (4)$$

otteniamo una retta di coefficiente angolare G che può essere calcolato con i minimi quadrati ponendo  $y = (\bar{F}_1 + \bar{F}_2) - (\bar{B}_1 + \bar{B}_2)$  e  $x = (\sigma_{F_1-F_2}^2 - \sigma_{B_1-B_2}^2)$ .

Sperimentalmente:

- a) Acquisire 10 coppie Bias Frame e 10 coppie di Flat Field, con tempi di esposizione crescenti. Fate in modo che per il tempo più basso di esposizione il valore medio del segnale nel frame raggiunga almeno il 20% del valore di saturazione e che per il tempo più alto non venga superato il valore di saturazione (mantenersi entro il 70-80 % massimo).
- b) Tramite lo strumento area misurare i valori medi dei frame.
- c) Per ogni coppia di Bias e di Flat effettuare una sottrazione dei frame ( $F_1-F_2$ ) e  $B_1-B_2$ ), (*process menu->pixel Math-> subtract*).  
ATTENZIONE: Come nel caso della misura di RN, allo scopo di evitare valori negativi dei pixel, che sono ignorati dal software che li riporta a zero, alterando quindi il valore della deviazione standard, aggiungere al primo frame ( $F_1, B_1$ ) dal quale deve essere sottratto l'altro ( $F_2, B_2$ ) un valore fisso sufficientemente elevato (*process menu->pixel Math-> Add Costant*). Questo valore, per evitare valori negativi, deve essere maggiore della differenza tra il valore minimo di  $F_1$  o  $B_1$  e il valore massimo di  $F_2$  o  $B_2$ .
- d) Misurare tramite lo strumento area la deviazione standard dei frame sottrazione.
- e) Utilizzare la (4) per calcolare G con il metodo dei minimi quadrati. Calcolare anche la deviazione standard.

Anche in questo caso confrontate il valore ottenuto con quello delle specifiche tecniche della vostra camera.

Consigliabile: a causa della vignettatura introdotta dal telescopio, le immagini di Flat non presentano un'omogeneità d'illuminazione su tutto il campo. Questo effetto di vignettatura potrebbe portare a una sovrastima della deviazione standard e quindi

*a una sottostima del valore di guadagno. Per una migliore misura è opportuno prendere in considerazione non tutto il frame ma solo una zona centrale di circa 200x200 pixel. Per tagliare tutte le immagini nella stessa zona è possibile utilizzare lo strumento view->batch process. Espandere la finestra tramite la freccia verso destra e inserire tutte le immagini da tagliare. Premere il tasto rosso di registrazione e selezionare l'area da tagliare tramite edit->crop. Una volta registrata l'azione è possibile replicarla su tutte le immagini selezionate. In questo modo, per la misura tramite lo strumento area, non si deve selezionare ogni volta la zona da considerare.*