



UNA RECENSIONE NON CONVENZIONALE

Il test di una camera astronomica prodotta da QHYCCD dal punto di vista di un utilizzatore di una DSLR

QHY163M

CAMERA CMOS



UNA DIVERSA PROSPETTIVA

Chi, come molti, ha iniziato a praticare l'astrofotografia con una fotocamera reflex (DSLR) probabilmente ad un certo punto è stato tentato al passaggio ad una camera astronomica dedicata, sia per migliorare la sensibilità alla linea H-alfa che per ridurre il rumore termico. Ma quando si abbandona la reflex per un nuovo giocattolo si abbandonano anche le proprie certezze. In che modo vanno impostati i parametri che prendono il nome di *gain* e *offset*? Che relazione esiste tra di essi e la sensibilità ISO, il tempo di esposizione ed il rumore prodotto dalla camera?

In questa recensione non convenzionale ho cercato di coprire tutti gli aspetti di base della QHY163M, sforzandomi però di mantenere il punto di vista di chi arriva da una DSLR, per rispondere a domande come:

- ★ Come devo impostare il *Gain* per ottenere la stessa esposizione in metà del tempo?
- ★ Con una DSLR posso ridurre il rumore di lettura a spese del range dinamico. Vale anche per la QHY163M?
- ★ In che modo l'*offset* influenza l'esposizione? Come devo impostarlo in relazione al *Gain*?
- ★ Qual è il valore tipico del rumore di lettura? O meglio, qual è l'esposizione minima per essere limitati dal fondo cielo?



RIGUARDO ALL'AUTORE

—

Mi chiamo Alessio Beltrame e abito in provincia di Udine, dove sono nato nel 1966. Mi sono laureato in Ingegneria con una tesi sull'intelligenza artificiale applicata alla progettazione elettronica, ma sono sempre stato affascinato dalla fisica e dall'astronomia, prima ancora di frequentare la scuola elementare.

Sono anche un appassionato di fotografia, con un particolare interesse verso la fotografia calcistica. Quest'ultimo è uno dei generi fotografici in cui la conoscenza tecnica della fotocamera e della fisica che ne permette il funzionamento sono importanti tanto quanto gli aspetti artistici. Nel corso degli ultimi due anni ho finalmente trovato il tempo e le motivazioni per combinare la fotografia con una delle mie passioni da bambino, arrivando così all'astrofotografia.

Considerato il mio background prettamente tecnico/scientifico, mi riesce sempre difficile evitare di pensare a cosa succede all'interno della fotocamera nell'istante in cui si preme il tasto dell'otturatore.



COPYRIGHT & DISCLAIMER

—

Tutti i testi, le foto e le grafiche contenute in questo documento sono di mia proprietà e concesse in licenza secondo i termini della **Creative Commons License CC BY-NC-SA**.

Sebbene abbia cercato, per quanto possibile, di essere accurato nell'esecuzione dei test e nella stesura di questa recensione, non posso garantire una precisione del 100%. I contenuti di questo documento sono pertanto forniti senza alcuna garanzia implicita o esplicita.

La stesura di questo documento non è stata sponsorizzata o supportata da QHYCCD o da altre aziende.



INTRODUZIONE

COME SONO ARRIVATO ALLA QHY163M

In termini relativi sono un principiante dell'astrofotografia, avendo iniziato a dedicarmi a questo genere da meno di due anni. Come la maggior parte dei principianti in astrofotografia, ho iniziato utilizzando la reflex in mio possesso, una Canon 7D Mark II (da qui in poi abbrevierò il suo nome in 7D2). Si tratta di un'ottima macchina in generale, ma anche di una delle migliori opzioni per chi si dedica all'astrofotografia, soprattutto in virtù dei miglioramenti apportati da Canon al contenimento del rumore termico. Tuttavia, i miei interessi sono rivolti principalmente agli oggetti dello spazio profondo e, in particolare, alle nebulose ad emissione.

Sfortunatamente, si tratta proprio del tipo di soggetto in cui la 7D2 non regge il confronto con le camere astronomiche dedicate, in parte per la scarsa sensibilità alla linea H-alfa, ma anche per il fatto di non possedere un sistema di raffreddamento (nelle notti estive si è fortunati quando la temperatura del sensore non oltrepassa i 35°C). Se a ciò si aggiunge il dover lottare costantemente con l'inquinamento luminoso, il passo verso una camera CCD è la logica conseguenza¹. O no?

Ebbene, da poco più di un anno esiste un'alternativa. Di recente QHYCCD e ZWO hanno iniziato ad offrire camere raffreddate con tecnologia CMOS e specificamente progettate per l'astrofotografia *deep sky* (anche se non disdegnano affatto l'alta risoluzione, grazie ad un frame rate elevatissimo). Ho trovato l'idea intrigante, e ho trovato un'ulteriore conferma nell'articolo in 3 parti curato da Mauro Narduzzi di SkyPoint (vedi [BIBLIOGRAFIA](#)). Dopo una chiacchierata a quattr'occhi con lo stesso Mauro Narduzzi, mi sono deciso all'acquisto della camera QHY163M (la sigla M sta per monocromatica).

Non ho nemmeno fatto in tempo a percorrere i 10 km scarsi che separano la sede di SkyPoint da casa mia, che il meteo ha iniziato a fare i capricci (cosa tutt'altro che sorprendente). Mi sono detto che, perlomeno, sarebbe stata un'ottima occasione per imparare qualcosa di più sulla mia nuova camera. Prima dell'acquisto mi ero parzialmente documentato, ma volevo comunque verificare le specifiche del costruttore e quanto riportato online. Ma più di ogni altra cosa, volevo capire in cosa la QHY163M si differenzia e in cosa assomiglia alla mia 7D2.

Come fotoamatore, impostare diaframma, tempi e ISO è diventato un automatismo. Ma che relazione c'è tra questi parametri e quelli della QHY163M, GAIN e Offset? Non vorrei essere frainteso: per me è perfettamente chiaro il significato fisico del gain e dell'offset di un sensore, ci ho pure scritto un e-book (vedi [BIBLIOGRAFIA](#)). GAIN e ISO sono una misura dell'amplificazione elettrica del segnale in un sensore, tuttavia agiscono in modi diversi. Chi usa una reflex sa che può raddoppiare il tempo di esposizione se al contempo dimezza la sensibilità ISO e viceversa. Ma con la QHY163M per raddoppiare il tempo di esposizione occorre **ridurre** il GAIN di 60. Questa è una delle lezioni che ho imparato e che ho deciso di condividere con tutti gli astronomi che fossero interessati alla QHY163M or o a camere molto simili come la ZWO ASI1600M.

Per questi motivi, questo documento potrebbe essere interessante per tutti coloro che pensano di acquistare una camera CMOS, in particolare per coloro che utilizzano una reflex.

Spero che troviate utili i dati contenuti in questa recensione. Buona lettura.

¹ Naturalmente, è possibile migliorare la sensibilità H-alfa rimuovendo il filtro IR della reflex. È anche possibile installare un sistema di raffreddamento. Tuttavia, per me si tratta di pratiche insensate, soprattutto se la reflex da modificare è di tipo pro o semi-pro come la 7D2. Ma anche se si è pronti a sacrificare il bilanciamento del bianco e la possibilità di utilizzare il display su una macchina da quasi 2000 €, occorre considerare che il costo di una modifica IR+cooling ha un costo comparabili a quello di una QHY163M nuova. Inoltre, se la modifica non comporta anche la rimozione del filtro Bayer, una reflex rimane una camera OSC (One Shot Color) che non può competere con una camera monocromatica in termini di rapporto segnale rumore, nemmeno in LRGB, figuriamoci in banda stretta.



LA PROCEDURA DI TEST

—

LE SPECIFICHE E IL TEST

La QHY163M è una camera astronomica raffreddata della linea COLDMOS di QHYCCD. In un mercato caratterizzato da una vita piuttosto lunga, la QHY163M è un prodotto relativamente nuovo, essendo stato introdotto sul mercato nel 2016.

Contrariamente al trend comune nel settore delle camere per astrofotografia, in cui la tecnologia CCD fa la parte del leone, la QHY163M è basata sul sensore Panasonic MN34230 con tecnologia CMOS, costituito da un chip di 4/3" con pixel da 3.8 μ e una risoluzione complessiva di 16 megapixel. È presente un sistema di raffreddamento fino a -40°C rispetto alla temperatura ambiente, costituito da celle di Peltier a doppio stadio.

I driver forniti da QHYCCD consentono di impostare diversi parametri, tra cui:

- ★ *GAIN*: permette di impostare il guadagno del sensore, ovvero il rapporto tra elettroni e ADU;
- ★ *Offset*: sostanzialmente è una costante aggiunta alla lettura di ciascun pixel, al fine di evitare che si verifichi il clipping a zero dei pixel a causa del rumore. In alcuni contesti questa costante è detta anche *pedestal* o *bias*.
- ★ *USB Traffic*: consente di regolare la velocità di trasmissione sulla porta USB. Importante soprattutto per l'alta risoluzione, in cui si vuole ottenere il massimo frame rate. Tuttavia, impostando la massima velocità (0) si riduce anche l'incidenza dell'amp glow (bagliore di amplificazione).

Ho misurato le seguenti caratteristiche del sensore:

- ★ Linearità
- ★ Read out noise (RON)
- ★ Rumore termico (dark current)
- ★ Full Well Capacity (FWC), cioè il numero massimo di elettroni che possono essere "contenuti" nel pozzo di potenziale di un pixel
- ★ Dynamic range, cioè il rapporto tra il massimo segnale rilevabile (prima della saturazione) e il rumore di lettura, per una data combinazione di GAIN e Offset
- ★ Il guadagno, ovvero il rapporto tra elettroni raccolti da un pixel e la corrispondente lettura in ADU (analog-to-digital units, dette anche DN - Data Numbers).



NOTA: Il parametro GAIN della camera e il guadagno (gain) sono entità diverse. Per evitare ambiguità, indicherò il parametro GAIN sempre in lettere maiuscole.

Le quantità sopra elencate sono state misurate in corrispondenza di diversi valori di GAIN e Offset.

CONDIZIONI DI TEST

Tutte le misure sul sensore in esame sono state effettuate collegando la camera QHY163M ad una ruota portafiori QHYFCW2-M e ad un rifrattore Takahashi FSQ-85EDX (f/5.3) puntato verso una superficie bianca uniforme, in condizioni di illuminazione costante. Tutte le esposizioni sono state effettuate con filtro Luminanza Astronomik L-2 da 36 mm.

Le misure con fotocamera DSLR sono state realizzate mediante una Canon EOS 7D Mark II con obiettivo EF 70-200L f/2.8 USM IS II impostato a f/4 e puntato sulla stessa superficie riflettente, nelle medesime condizioni di illuminazione.



TEST REPORT - 1

LINEARITÀ

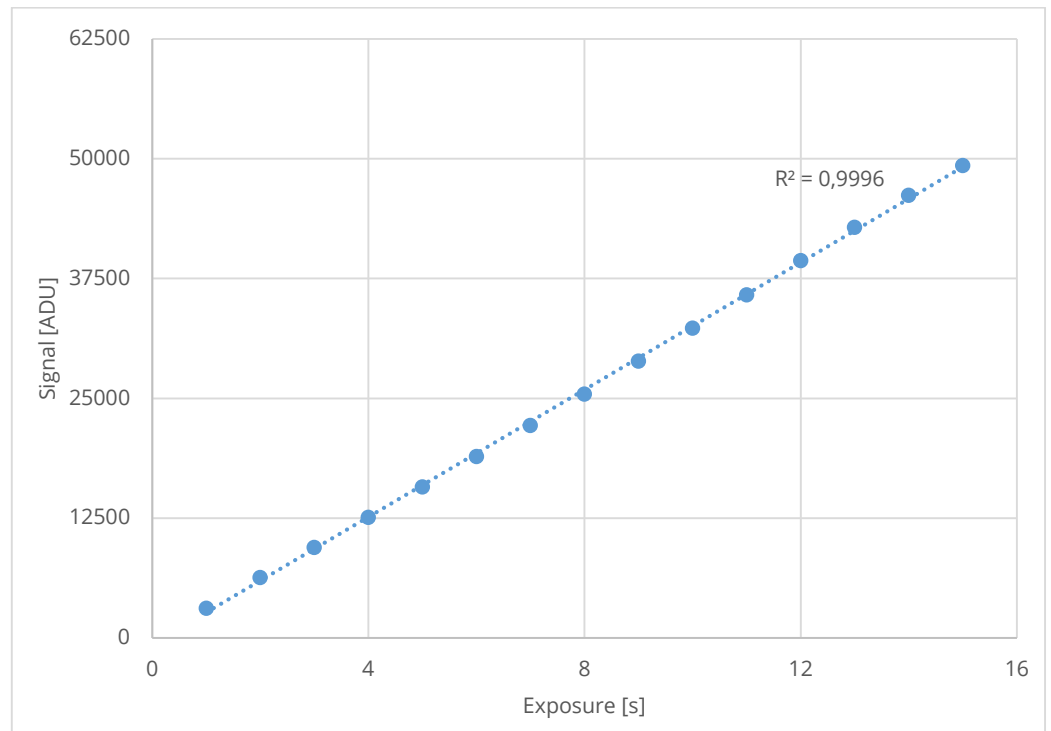
Per valutare la linearità, ho eseguito 15 pose con tempi di esposizione crescenti, in modo da coprire la totalità (o quasi) del range in uscita dal sensore (le letture in ADU sono a 16 bit, dunque con range $0 \div 65535$, anche se il convertitore analogico/digitale del sensore è a 12 bit; vedi anche paragrafo [ADC a 12 bit, letture a 16 bit](#)). Le sequenze di esposizione sono state programmate mediante Sequence Generator Pro, al fine di ridurre al massimo il tempo totale di esecuzione e quindi minimizzare l'errore dovuto ad una possibile variazione di intensità luminosa della superficie bersaglio.

Le misure di linearità sono state effettuate in 3 serie, con diversi valori di Gain e Offset:

- ★ Gain = 0; Offset = 10
- ★ Gain = 120; Offset = 40
- ★ Gain = 300; Offset = 60

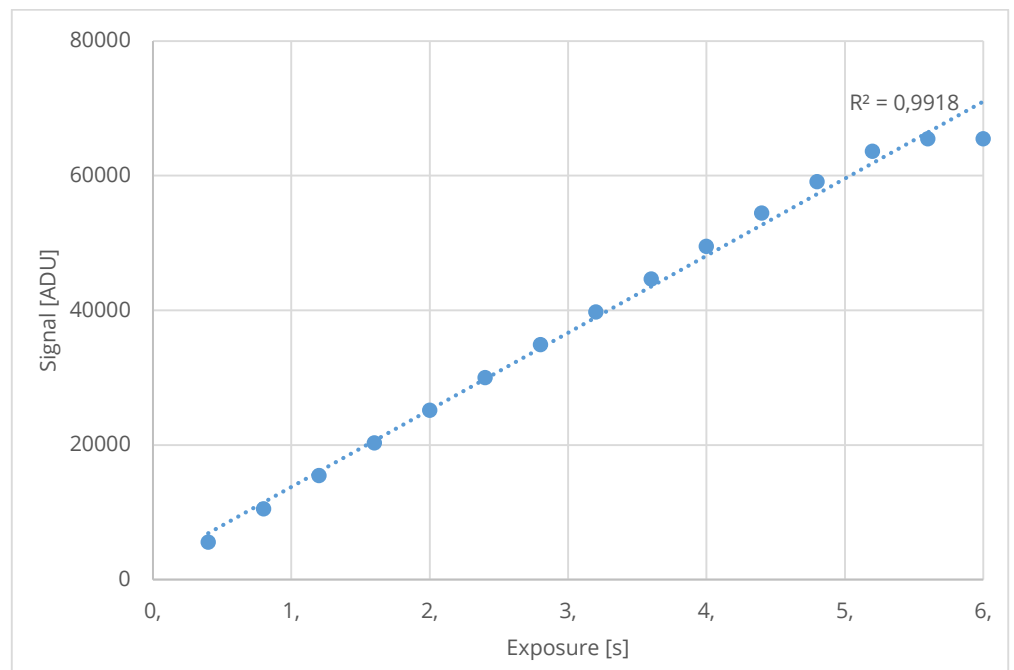
SERIE 1: GAIN 0 - OFFSET 10

Esposizione [s]	Media [ADU]	Mediana [ADU]	Minimo [ADU]
1	3100	3104	160
2	6299	6320	160
3	9424	9456	160
4	12569	12608	160
5	15700	15760	160
6	18871	18944	160
7	22086	22176	160
8	25332	25440	160
9	28726	28886	160
10	32175	32336	160
11	35651	35824	160
12	39136	39376	160
13	42636	42864	160
14	45945	46192	160
15	49302	49296	160



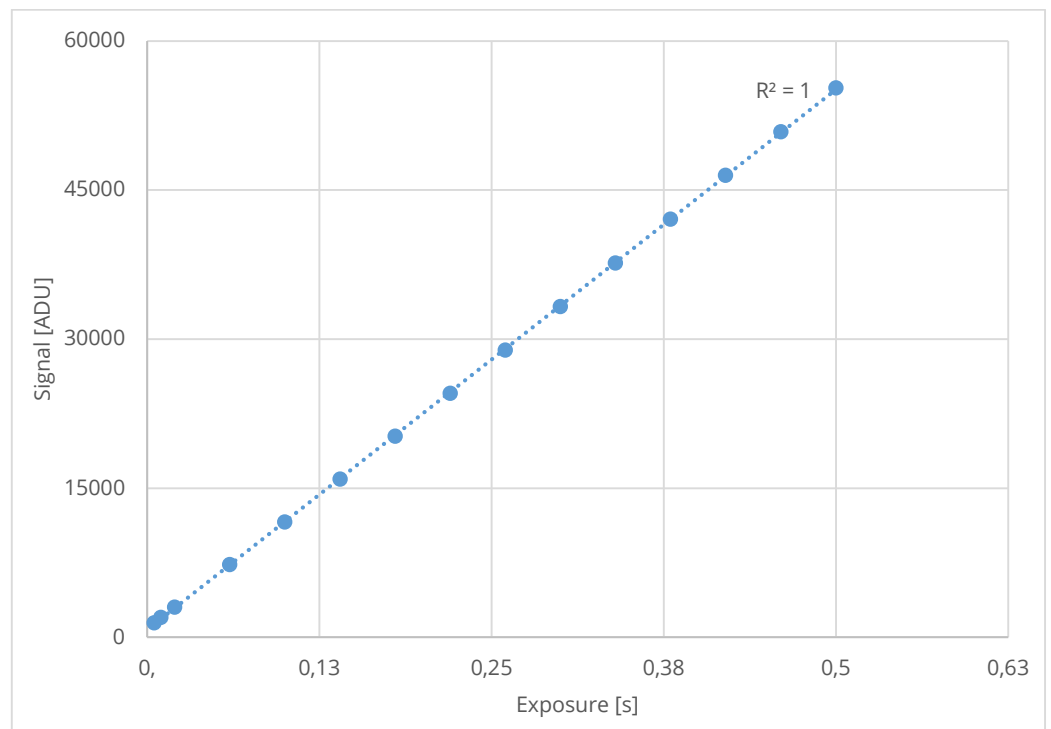
SERIE 2: GAIN 100 - OFFSET 40

Esposizione [s]	Media [ADU]	Mediana [ADU]	Minimo [ADU]
0,4	5554	5552	640
0,8	10492	10512	640
1,2	15419	15456	640
1,6	20259	20304	640
2	25085	25152	640
2,4	29952	30032	640
2,8	34793	34912	640
3,2	39629	39760	640
3,6	44501	44656	640
4	49342	49520	640
4,4	54118	54436	640
4,8	58890	59136	640
5,2	63345	63648	640
5,6	65397	65504	640
6	65485	65504	640



SERIE 3: GAIN 300 - OFFSET 60

Esposizione [s]	Media [ADU]	Mediana [ADU]	Minimo [ADU]
0,005	1491	1472	16
0,01	2088	2000	16
0,02	3060	3040	16
0,06	7322	7312	960
0,1	11616	11600	960
0,14	15943	15920	960
0,18	20262	20256	960
0,22	24575	24560	960
0,26	28923	28912	960
0,3	33279	33280	960
0,34	37688	37680	960
0,38	42071	42080	960
0,42	46671	46480	960
0,46	50859	50880	960
0,5	55262	55280	960

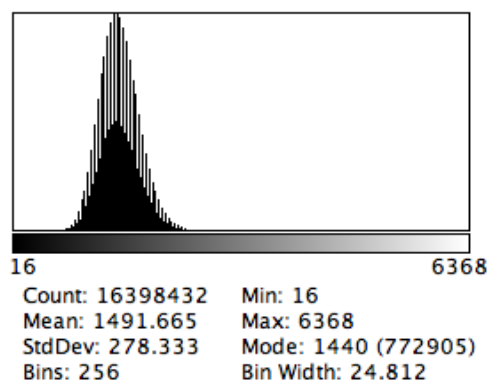


VALUTAZIONE DEI RISULTATI

La linearità del sensore appare eccellente, indipendentemente dalle condizioni di test. La conferma è costituita dall'analisi di regressione lineare, che restituisce sempre un coefficiente di regressione R, sostanzialmente pari a 1 (perfetta corrispondenza tra campione e ipotesi di linearità).

L'unico dato anomalo (Gain 100 - Offset 40 - Esposizione di 6 secondi) è dovuto al raggiungimento della Full Well Capacity (saturazione del sensore).

Interessanti da notare anche le 3 misurazioni del Caso 3 (Gain 300 - Offset 60) che restituiscono un valore minimo di 16 ADU (su circa 300-500 pixel - corrisponde sostanzialmente ad altrettanti pixel freddi), un dato anomalo che non trova ancora una spiegazione del tutto convincente (alla luce della relazione tra elettroni e ADU che verrà descritta nel paragrafo [ExpressionE DEI pixel in ADU](#) e del fatto che l'istogramma di un bias frame sembra sufficientemente spaziato rispetto all'origine), ma che in ogni caso pare legata al valore di Offset in relazione a quello del Gain. In particolare, questo dato sembra indicare che un valore di Offset pari a 60 è insufficiente per un Gain di 300.





La mia impressione è che accada qualcosa di strano in corrispondenza delle esposizioni ultra-corte, verosimilmente un timing non sufficientemente accurato. La stessa QHYCCD raccomanda di utilizzare un'esposizione di 0.3 secondi per i Bias frame. Vedi anche [Parametri fondamentali del sensore](#) nelle pagine seguenti.



TEST REPORT - 2

OFFSET IN ADU

Analizzando i dati delle tabelle fornite nel paragrafo sulla misura della [Linearity](#), appare subito evidente che l'offset (che appare come valore minimo di ciascuna immagine) produca un valore corrispondente in ADU pari a $16 * \text{Offset}$.

Pertanto:

Offset	ADUs added to signal
10	160
40	640
60	960

ADC A 12 BIT, LETTURE A 16 BIT

Sebbene il convertitore analogico/digitale utilizzato nel sensore sia a 12 bit, le letture vengono presentate nel range $0 \div 65535$ ADU, ovvero a 16 bit. Dai dati misurati, e in accordo con quanto dichiarato dal costruttore (anche se non in modo propriamente formale), risulta che le misurazioni dell'ADC vengono semplicemente sottoposte ad uno shift di 4 bit a sinistra, il che corrisponde a moltiplicare per 16 la lettura dell'ADC.

La conferma sperimentale si può ottenere analizzando il file FITS prodotto dalla camera. Nelle prove è stato utilizzato un semplice script *python*:

```
# REQUIRES AstroPy & NumPy
from astropy.io import fits
# Open FITS files - change filename as needed
hdulist=fits.open("test.fit")
hdu=hdulist[0]
# Scanning actual data
# Data is stored as an array (rows) of arrays (columns)
# Pixel at row r and column c is stored in hdu.data[r][c]
# n = number of anomalous bits found
n = 0
for row in range(0,len(hdu.data)):
    print("Scanning sensor line #%s out of %s" % (row,len(hdu.data)))
    for col in range(0,len(hdu.data[row])):
        if (hdu.data[row][col] & 0x000F) != 0:
            print("Pixel value not multiple of 16 at %s, %s" % (row,col))
            n = n + 1
print ("A total of %s pixels with non zero value in the 4 least significant
bits have been found" % n)
```

Lo script scansiona l'intero file alla ricerca di pixel in cui almeno uno dei 4 bit meno significativi è diverso da zero, riportando alla fine il numero totale di pixel che soddisfano questa condizione. Nei test effettuati tale numero risulta pari a zero, il che conferma l'ipotesi di partenza.



ESPRESSIONE DEI PIXEL IN ADU

Per quanto trovato, risulta che il valore di un pixel $P(r,c)$, espresso in ADU, risulta dato da:

$$P(r,c) = 16 * (P_e(r,c) / g + \text{Offset})$$

dove:

- ★ $P(r,c)$ è il valore del pixel alla riga r e colonna c , espresso in ADU
- ★ $P_e(r,c)$ è il valore del segnale (in elettroni) per il pixel alla riga r e colonna c
- ★ g è il guadagno dell'amplificazione di segnale, espresso in elettroni/ADU; questo dato dipende dal parametro Gain (impostato a livello di driver) in un modo che analizzeremo nei paragrafi successivi.
- ★ Offset è l'omonimo dato impostato a livello di driver.



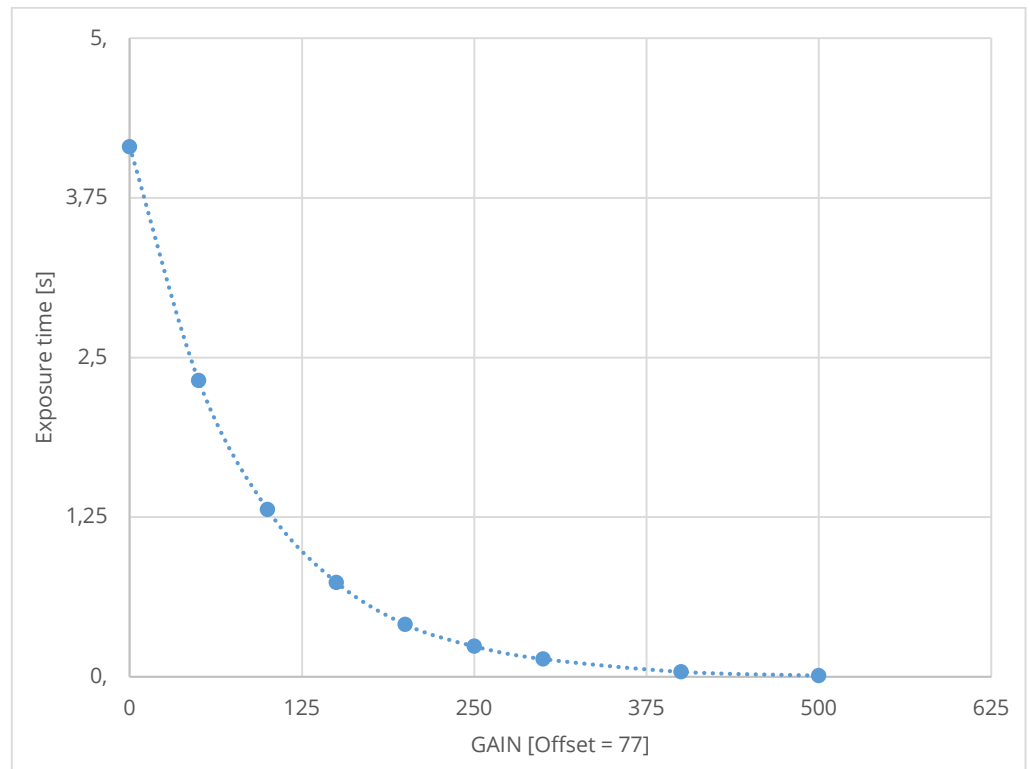
CONFRONTO CON UNA DSLR

GAIN VS DURATA DELL'ESPOSIZIONE

L'analisi successiva è stata quella di determinare la relazione tra Gain e durata dell'esposizione. In sostanza, data una superficie caratterizzata da una luminosità costante, si tratta di determinare qual è il tempo necessario a raggiungere un determinato livello di segnale in ADU (qui fissato arbitrariamente a 40.000 ± 500 ADU) in base al livello di gain selezionato.

Per semplicità, in tutta la prova si è mantenuto costante il valore di Offset (pari a 77) e si è variato il livello di Gain dal minimo (0) fino a 500 (il massimo ammesso è 560). I tempi di esposizione corrispondenti al raggiungimento delle 40.000 ADU sono stati determinati per approssimazioni successive, facendo ricorso allo strumento Flat Calibration Wizard di Sequence Generator Pro.

GAIN	Offset	Esposizione [s]
0	77	4,15
50	77	2,32
100	77	1,31
150	77	0,74
200	77	0,41
250	77	0,24
300	77	0,14
400	77	0,04
500	77	0,01



L'andamento della curva è quello che ci si aspetta da una legge esponenziale. Per analogia con il mondo DSLR, si è ipotizzato che il tempo di esposizione sia proporzionale a $T_0 * 2^{G/k}$, dove G è il valore di Gain, T_0 è l'esposizione in corrispondenza di $G=0$ e k una costante da determinare. Nella tabella che segue sono riportati i dati listati in precedenza, ai quali è stata aggiunta una colonna in cui viene calcolata la formula data in precedenza con $T_0 = 4,15$ (determinato dalla misurazione) e $k = 60$ (ipotizzato).

Gain	Offset	Esposizione [s]	Modello [s]
0	77	4,15	4,15
50	77	2,32	2,33
100	77	1,31	1,31
150	77	0,74	0,73
200	77	0,41	0,41
250	77	0,24	0,23
300	77	0,14	0,13
400	77	0,04	0,04
500	77	0,01	0,01

Ma come si può usare l'equazione precedente in modo semplice e senza calcolatrice alla mano? Basta ricordarsi questa semplice regoletta:



Se si somma (sottrae) 60 al GAIN, il tempo di esposizione si dimezza (raddoppia).

Per chi è proprio fissato a pensare in termini di ISO, ecco un'altra regoletta:



Per aggiungere l'equivalente di uno stop ISO basta aumentare il GAIN di 60; per sottrarre l'equivalente uno stop ISO basta togliere 60 al GAIN.

Non fraintendetemi. Questa regola si applica solo all'amplificazione (non al rumore di lettura, sul quale tornerò a breve), tuttavia è un punto di partenza per determinare quanto dovrebbe essere lunga un'esposizione ad un determinato livello di GAIN.

Diciamo che si è ottenuto un buon istogramma con un GAIN = 30 e con un'esposizione di 600 secondi. Come deve il GAIN per ottenere un'immagine equivalente con un'esposizione di soli 300? Con una reflex si raddoppierebbe la sensibilità ISO (per esempio, da 800 a 1600), ma in questo caso sarebbe la risposta sbagliata: con la QHY163M occorre aggiungere 60 al valore precedente del GAIN, quindi passare a 90 (raddoppiandolo come gli ISO ci si fermerebbe a 60).

EQUIVALENZA GAIN - ISO

Il passo logico successivo consiste nel determinare un'equivalenza tra la camera QHY163M ed una DSLR consiste nell'individuare a quale sensibilità ISO corrispondano i diversi valori di Gain.

Un rapido test ha permesso di calcolare questa equivalenza. Sono state eseguite delle esposizioni di prova con una Canon EOS 7D Mark II a diverse sensibilità ISO, con lo stesso metodo utilizzato in precedenza (bersaglio bianco illuminato da luce uniforme, obiettivo impostato a f/4). Nei 3 casi si è ottenuta una lettura media pari a 12000 ADU. Il passo successivo è stato quello di ripetere la prova, questa volta utilizzando la QHY163M montata su un Takahashi FSQ-85 EDX (f/5.3), a diversi valori di Gain e impostando la durata dell'esposizione in modo da raggiungere lo stesso risultato in ADU (12000).

Configurazione	Esposizione [s]
Canon 7D Mark II @ ISO 100	4,00
Canon 7D Mark II @ ISO 400	1,00
Canon 7D Mark II @ ISO 1600	0,25
Canon 7D Mark II @ ISO 6400	0,07
QHYCCD QHY163M @ GAIN 0 Offset 10	3,80
QHYCCD QHY163M @ GAIN 100 Offset 40	0.85
QHYCCD QHY163M @ GAIN 300 Offset 60	0,10

Sebbene ci sia una certa somiglianza tra i dati, occorre considerare il diverso rapporto focale utilizzato. Pertanto, occorre dividere i tempi rilevati per la QHY163M per un fattore pari a $(5.3/4)^2$, ovvero il quadrato dei rapporti focali.

Alla luce di questa correzione, la tabella viene rivista in questo modo:

Configurazione	Esposizione [s]
Canon 7D Mark II @ ISO 100	4,00
Canon 7D Mark II @ ISO 400	1,00
Canon 7D Mark II @ ISO 1600	0,25
Canon 7D Mark II @ ISO 6400	0,07
QHYCCD QHY163M @ Gain 0 Offset 10	2,16
QHYCCD QHY163M @ Gain 100 Offset 40	0,48
QHYCCD QHY163M @ Gain 300 Offset 60	0,06



Si può ora notare che, a parità di altre condizioni, l'esposizione a Gain 0 per la QHY163M dura circa la metà di un'equivalente esposizione a ISO 100 della 7D Mark II. **Se ne può ricavare che la condizione GAIN = 0 può essere associata ad una sensibilità ISO 200 su DSLR** (in realtà il dato sarebbe più vicino ai valori standard - in termini di terzi di stop - di ISO 160, ma per semplicità assumeremo un'equivalenza con uno stop "intero").

Sulla base di quanto riportato nel paragrafo precedente (un incremento di 60 unità di Gain produce un dimezzamento del tempo di esposizione necessario ad ottenere un dato livello di segnale in ADU), si può quindi elencare una corrispondenza completa tra valori di Gain e sensibilità ISO:

ISO	GAIN
200	0
400	60
800	120
1600	180
3200	240
6400	300
12800	360
25600	420
51200	480
102400	560

Come ulteriore conferma, il dato a ISO 6400 per la Canon 7D Mark II (0.07 s) e quello a GAIN 300 per la QHY163M (0.06 s) sono sostanzialmente identici, a meno degli errori sperimentali. L'impostazione DSO del driver ASCOM di QHYCCD (Deep Sky Object - GAIN = 177 e Offset = 74) è equivalente ad impostare una sensibilità ISO 1600 su una DSLR.

Nota: nelle ultime release del driver ASCOM, QHYCCD ha introdotto la possibilità di salvare le combinazioni più utilizzate di Offset e Gain, attribuendo a ciascuna di esse un nome mnemonico. Due combinazioni sono impostate per default all'installazione del driver: DSO e Planetary).



TEST REPORT - 3

PARAMETRI FONDAMENTALI DEL SENSORE

Le misure successive sono state eseguite al fine di valutare alcuni dei parametri maggiormente utilizzati nella valutazione delle prestazioni di un sensore di immagine.

Le esposizioni di prova sono state eseguite con sensore alla temperatura di -10°C (circa 35°C in meno rispetto alla temperatura ambiente). Per ognuna delle configurazioni di test sono stati ripresi due *flat*, due *bias* e due *dark*, questi ultimi della durata di 60 e 600 secondi. Le immagini riprese sono state elaborate con lo script **BasicCCDParameters** di PixInsight.



Nota: alcuni dati pubblicati da Jon Rista per una camera con lo stesso sensore (ASI1600 - <https://www.cloudynights.com/topic/579728-flat-frames-what-is-the-ideal-adu-value/#entry7920805>) sembrano suggerire fluttuazioni anomale relative ai Bias frames eseguiti con esposizioni inferiori 0,2 secondi; tale affermazione non è stata verificata e tutte le esposizioni per i Bias sono state dell'ordine del millisecondo. Vedi anche [VALUTAZIONE DEI RISULTATI](#))

Nelle tabelle che seguono sono riportati i dati delle misurazioni. Va ricordato il fatto che la lettura di ciascun pixel viene sottoposta ad uno shift a sinistra di 4 bit, ovvero ad una moltiplicazione per 16 (vedere [paragrafi precedenti](#)). Ne consegue che il valore di guadagno riportato è 16 volte inferiore a quello effettivo (per esempio, il guadagno riportato per la configurazione GAIN 0 - OFFSET 10 è pari a 0.302 e-/ADU, ma quello effettivo è uguale a $0.302 * 16 = 4.832$ e-/ADU).

SERIE 1: GAIN 0 - OFFSET 10

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	148.119	---	---	---	ADU
stddev B1	11.529	---	---	---	ADU
mean D1	149.055	---	---	---	ADU
stddev D1	17.217	---	---	---	ADU
mean D2	133.844	---	---	---	ADU
stddev D2	90.849	---	---	---	ADU
mean F1+F2	64712.932	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	462.256	---	---	---	ADU
mean B1+B2	296.127	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	16.240	---	---	---	ADU
mean D1-B1	0.935	---	---	---	ADU
gain	0.302	---	---	---	e-/ADU
readout noise	3.466	---	---	---	e
readout noise	11.483	---	---	---	ADU
dark current	0.028	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	19780.793	---	---	---	e
dynamic range	5706.995	---	---	---	steps

SERIE 2: GAIN 120 - OFFSET 60

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	952.855	---	---	---	ADU
stddev B1	21.426	---	---	---	ADU
mean D1	958.763	---	---	---	ADU
stddev D1	59.014	---	---	---	ADU
mean D2	1005.679	---	---	---	ADU
stddev D2	297.159	---	---	---	ADU
mean F1+F2	70899.485	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	973.186	---	---	---	ADU
mean B1+B2	1905.543	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	29.825	---	---	---	ADU
mean D1-B1	5.908	---	---	---	ADU
gain	0.073	---	---	---	e-/ADU
readout noise	1.538	---	---	---	e
readout noise	21.089	---	---	---	ADU
dark current	0.004	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	4778.602	---	---	---	e
dynamic range	3107.489	---	---	---	steps

**SERIE 3: GAIN 174 - OFFSET 77**

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	1228.049	---	---	---	ADU
stddev B1	33.851	---	---	---	ADU
mean D1	1202.522	---	---	---	ADU
stddev D1	100.643	---	---	---	ADU
mean D2	987.622	---	---	---	ADU
stddev D2	512.542	---	---	---	ADU
mean F1+F2	64908.739	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	1261.937	---	---	---	ADU
mean B1+B2	2456.284	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	46.678	---	---	---	ADU
mean D1-B1	-25.528	---	---	---	ADU
gain	0.039	---	---	---	e/ADU
readout noise	1.296	---	---	---	e
readout noise	33.006	---	---	---	ADU
dark current	0.002	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	2573.605	---	---	---	e
dynamic range	1985.549	---	---	---	steps

SERIE 4: GAIN 300 - OFFSET 150

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	2388.946	---	---	---	ADU
stddev B1	119.661	---	---	---	ADU
mean D1	2447.470	---	---	---	ADU
stddev D1	316.169	---	---	---	ADU
mean D2	2810.659	---	---	---	ADU
stddev D2	1209.323	---	---	---	ADU
mean F1+F2	73496.307	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	2765.222	---	---	---	ADU
mean B1+B2	4777.133	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	166.170	---	---	---	ADU
mean D1-B1	58.524	---	---	---	ADU
gain	0.009	---	---	---	e/ADU
readout noise	1.060	---	---	---	e
readout noise	117.500	---	---	---	ADU
dark current	0.000	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	591.102	---	---	---	e
dynamic range	557.745	---	---	---	steps

ELEMENTO DI CONFRONTO: CANON EOS 7D MARK II

A titolo di paragone con una DSLR, si possono trovare delle misurazioni, per esempio, a questi indirizzi:

- ★ <http://www.sensorgen.info/CanonEOS-7D-Mark-II.html>, oppure
- ★ <http://www.clarkvision.com/reviews/evaluation-canon-7dii/>.

I dati principali sono riportati di seguito:



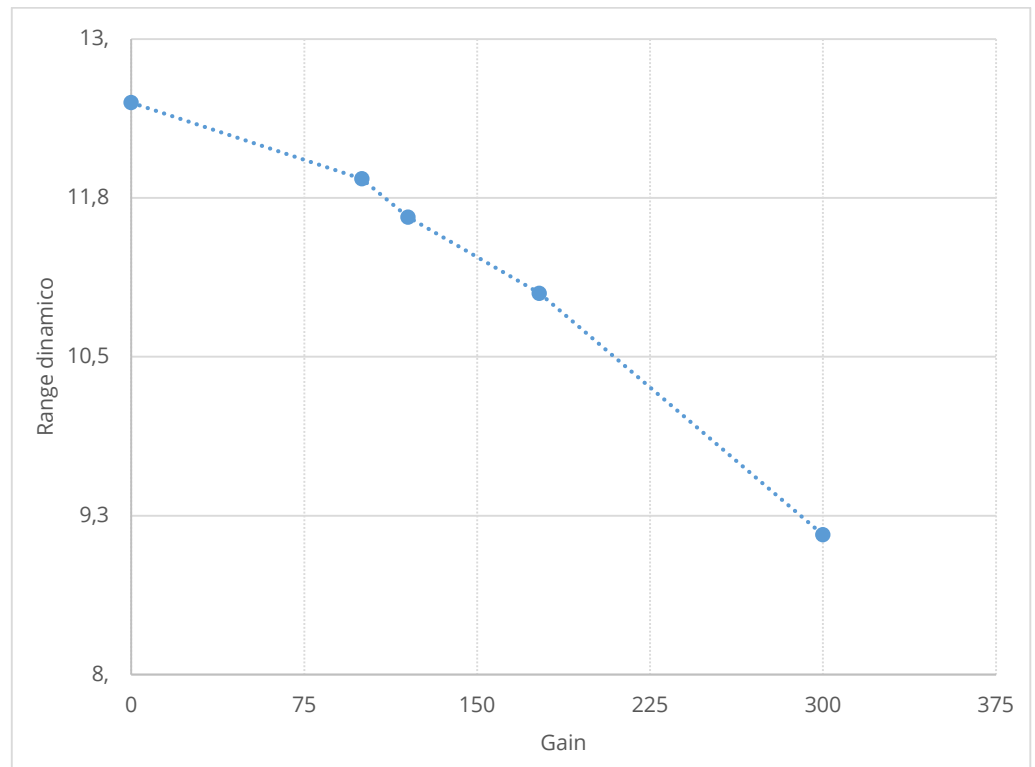
Sensorgen	Readout noise [e-]	FWC [e-]	Dynamic range [stops]
ISO100	12,9	29544	11,2
ISO200	8,0	18552	11,2
ISO400	5,2	9724	10,9
ISO800	4,0	4866	10,2
ISO1600	2,8	2509	9,8
ISO3200	2,1	1236	9,2
ISO6400	2,2	626	8,1
ISO12800	2,0	320	7,3

Clark	Gain [e-/ADU]	Readout noise [e-]	FWC [e-]	Dynamic range [stops]
ISO100	2,74	15,0	31800	11,0
ISO200	1,34	7,8	17800	11,2
ISO400	0,67	4,6	8910	10,9
ISO800	0,34	3,2	4520	10,5
ISO1600	0,168	2,4	2230	9,9
ISO3200	0,084	1,9	1110	9,2
ISO6400	0,042	1,7	560	8,4
ISO12800	0,021	1,6	279	7,4

DYNAMIC RANGE

Come da specifica del costruttore, **il Range Dinamico (Dynamic Range - DR) arriva a 12.5 stop a Gain = 0** e si mantiene su valori eccellenti (11 stop) fino al livello di Gain = 177. Anche a Gain elevati, 300 e oltre, si ottengono comunque oltre 9 stop di Range Dinamico.

GAIN	Dynamic range [stops]
0	12,5
120	11,6
174	11,0
300	9,1



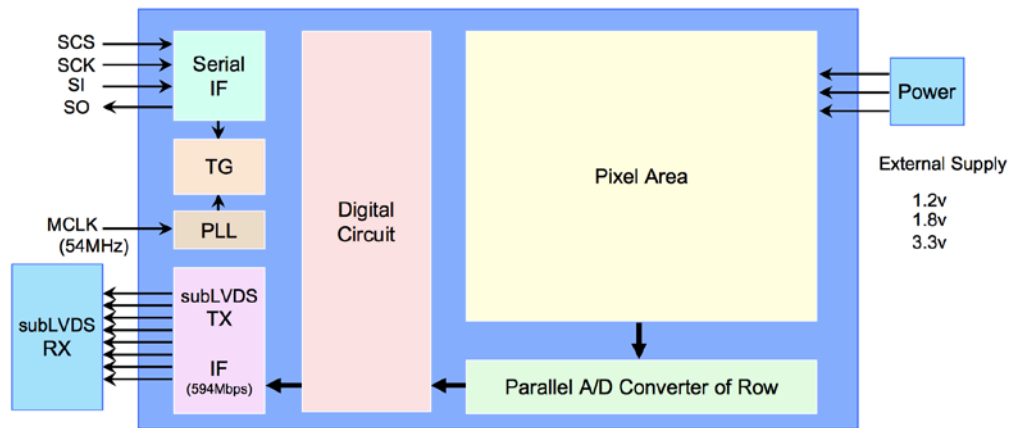
Il confronto con la DSLR di riferimento (Canon 7D Mark II) evidenzia in modo schiacciante le prestazioni della QHY163M dal punto di vista del range dinamico. In condizioni di uso "equivalente" (dal punto di vista del guadagno), per esempio ISO 1600 per Canon 7D Mark II e Gain 177 per QHY163M, quest'ultima offre un range dinamico pari a 11 stop, contro i 9,8-9,9 della 7D Mark II.

Il vantaggio è ancora più evidente quando si seleziona un basso guadagno: mentre la Canon 7D Mark II si ferma sostanzialmente a 11 stop (anche a ISO 100), la QHY163M sale agevolmente oltre i 12 stop, toccando quota 12.5 al minimo guadagno possibile. Si tratta dell'unica condizione in cui il convertitore analogico digitale (ADC) della QHY163C diventa un limite, in quanto (per la risoluzione a 12 bit contro i 12.5 stop di range dinamico) il *rumore di quantizzazione* non è più trascurabile **sulla singola esposizione** (nello stacking di più esposizioni si possono agevolmente raggiungere risultati equivalenti a quelli di ADC a 16 bit; bastano 8-10 esposizioni per rendere di nuovo trascurabile il rumore di quantizzazione).

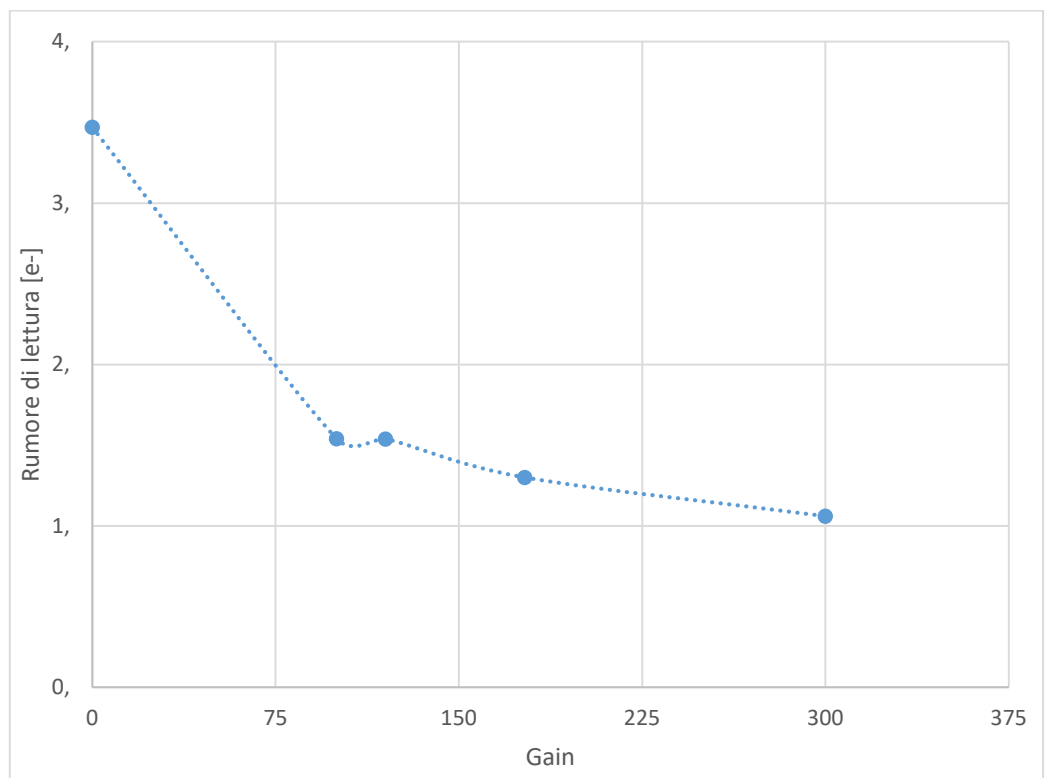
READOUT NOISE

Come nel caso dei sensori Sony delle ultime generazioni (e contrariamente alla stragrande maggioranza dei sensori Canon), il sensore Panasonic della QHY163M presenta un rumore di lettura (Read Out Noise - RON) molto ridotto anche a guadagno molto basso e caratterizzato da una curva che si appiattisce molto rapidamente attorno al valore minimo di 1 elettrone. Si tratta di una caratteristica distintiva dei sensori caratterizzati da **un livello di downstream noise molto basso e pertanto sostanzialmente insensibili al guadagno usato** (nel mondo DSLR questi sensori sono denominati ISO-invarianti). Si tratta verosimilmente di un design con ADC integrato sul sensore stesso.

In buona sostanza, ciò a Gain = 100 si arriva ad un punto in cui aumentare ulteriormente il Gain non produce effetti molto apprezzabili sul rumore di lettura.



GAIN	Readout noise [e-]
0	3,47
100	1,54
177	1,30
300	1,06



Il confronto con la Canon 7D Mark II evidenzia di nuovo una netta superiorità della QHY163. Ma anche le DSLR di Nikon con i più recenti sensori Sony non offrono prestazioni migliori a quelle della QHY163M.



Confronto ancora più semplici con le camere astronomiche basate su sensori CCD, il cui rumore di lettura va da un minimo di 6 elettroni ad un valore medio attorno agli 8-10 elettroni.



CONFRONTO CON UNA DSLR – PARTE 2

USARLA COME UNA REFLEX

Non dovrebbe sorprendere, visto che entrambe sono basate sulla tecnologia CMOS. La QHY163M può essere utilizzata, per certi versi, come una DSLR. Con quest'ultima si può migliorare il rumore di lettura aumentando la sensibilità ISO. Lo stesso si può fare con una QHY163M aumentando il GAIN. In entrambi i casi il vantaggio diminuisce progressivamente mentre si sale con ISO/GAIN e, dopo un certo punto, l'ulteriore miglioramento diventa trascurabile.

D'altro canto, una DSLR mostra il meglio di sé in termini di gamma dinamica al più basso valore di sensibilità ISO. Lo stesso si verifica con la QHY163M, che offre il migliore range dinamico a GAIN=0.

FULL WELL CAPACITY

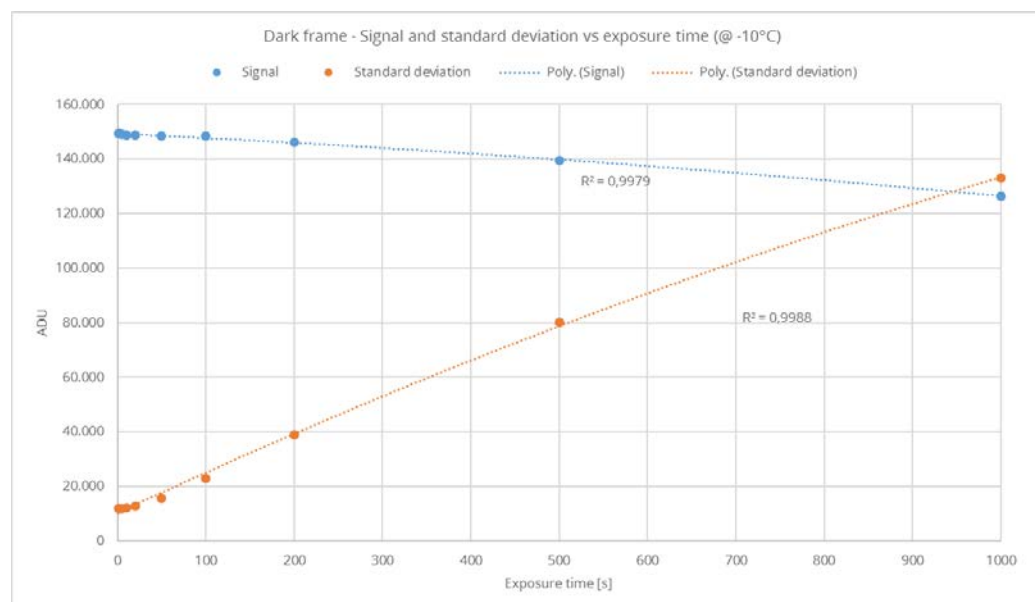
La Full Well Capacity (FWC) determinata mediante le prove è pari a circa 19.800 elettroni, pertanto in linea con il valore indicato dal costruttore (circa 20.000). Si tratta di un valore piuttosto lontano dal limite teorico di 2000 elettroni per micron quadrato (circa 29000 elettroni nel caso dei pixel da $3.8 \mu^2$ della QHY163M), probabilmente come conseguenza dell'abbondante circuiteria di lettura e conversione a bordo chip (meno spazio per la superficie attiva - dal punto di vista della cattura di fotoni). Si tratta comunque di un parametro che influisce solo indirettamente sulle prestazioni del sensore (assieme al rumore di lettura definisce il range dinamico).



TEST REPORT - 4

DARK CURRENT

La cosa più strana di questa camera consiste nel fatto che la media di un Dark frame è tipicamente inferiore alla media di un Bias frame corrispondente (ovvero con stessi valori di GAIN e Offset). Più lunga è la durata di "esposizione" di un Dark frame, minore è la media, mentre la deviazione standard aumenta come ci si aspetta.





A quanto pare, questo effetto è dovuto alla calibrazione del punto nero effettuata dal sensore per mezzo della *optical black area*. Si tratta di una zona del sensore schermata dalla luce, utilizzata per definire il valore di tensione associato ad un nero perfetto. L'effetto del bagliore di amplificazione (vedi paragrafo successivo) fa sì che, per lunghe esposizioni, la temperatura di questa zona aumenti e con essa la relativa corrente di buio. Tutto ciò si traduce con una sovracorrezione, che produce il decadimento del valore medio osservato.



Questo fenomeno non produce alcun effetto negativo sull'immagine finale, a patto di effettuare una buona calibrazione. In particolare, ci si deve assicurare:

- **Acquisire i Dark frames alla stessa identica temperatura e durata di esposizione del light frames. Va da se che si debbono utilizzare i medesimi valori di GAIN and Offset impiegati per i light.**
- **Non effettuare lo scaling del Master Dark. Chi usa PixInsight dovrebbe disabilitare l'opzione Optimize per il Master Dark nel processo ImageCalibration.**
- **Chi preferisce calibrare i propri Dark con un Master Bias dovrebbe aggiungere un offset (pedestal) per evitare il troncamento a zero nel corso della sottrazione del Master Bias dai dark.**

Il fenomeno di cui sopra va invece considerato nella misura della dark current, che non può essere misurata nel solito modo (sottraendo la media di un bias frame da un dark frame). Per lunghe esposizioni, questo metodo produrrebbe risultati negativi, che chiaramente non possono essere veritieri.

La strada alternativa consiste nell'utilizzare due dark frame della stessa durata e alla stessa temperatura, chiamiamoli D1 e D2. Si sottrae D2 da D1 (in PixInsight si può usare PixelMath – in ImageJ si può usare Image operations – Subtract). Poiché il fixed pattern noise è lo stesso in entrambe le immagini, la sottrazione dà luogo ad una nuova immagine in cui il contributo al rumore è dato solo dal rumore termico e dal rumore di lettura.

Ora, per la proprietà della distribuzione di Poisson possiamo calcolare la deviazione standard dell'immagine risultato della sottrazione, indicandola con $\sigma(D1-D2)$:

$$\sigma_{1-2} = \sigma(D1 - D2) = \sqrt{\sigma(D1) + \sigma(D2)} = \sqrt{2} \sigma'$$

$$\sigma' = \frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}}$$

in cui ho assunto che:

$$\sigma' \cong \sigma(D1) \cong \sigma(D2)$$

In altre parole, la deviazione standard dei due dark frame è circa uguale e pari a σ' . Ciò è verosimile, in quanto i due dark sono presi nelle stesse condizioni e quindi dovrebbero essere (mediamente) molto simili (naturalmente i singoli pixel possono essere totalmente differenti).

Ora, per un dark frame possiamo scrivere:

$$\sigma = \sqrt{D_c t + RON^2 + FPNU^2}$$

Dove $D_c t$ è il segnale dovuto alla dark current (da non confondere con il rumore termico, che è la



radice quadrata di tale segnale!), dato dal prodotto della dark current D_c per il tempo t ; RON è il rumore di lettura; FPNU è il fixed pattern noise. Possiamo riscrivere questa equazione come:

$$\sigma^2 = D_c t + RON^2 + FPNU^2$$

$$D_c t = \sigma^2 - RON^2 - FPNU^2$$

Conosciamo il valore di RON dalle misure precedenti e possiamo determinare σ per ogni dark frame, ma non possiamo discriminare il contributo della dark current e quello del fixed pattern noise. Tuttavia, se sottraiamo un dark frame da un altro dark frame, il fixed pattern noise si elide e la deviazione standard è data dalla formula di cui sopra, per cui rimangono con:

$$D_c t = \left(\frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}}\right)^2 - RON^2$$

infine, risolvendo per D_c troviamo che:

$$D_c = \frac{\left(\frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}}\right)^2 - RON^2}{t}$$

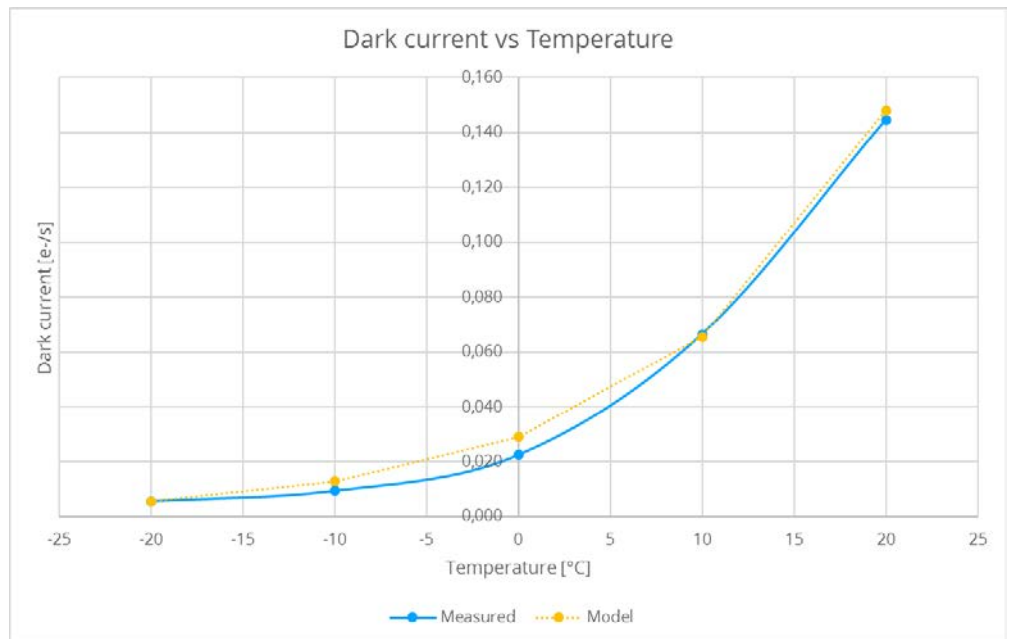
Questa è la stessa formula citata da Buil (vedi **Error! Reference source not found.**), tranne il fatto che tutte le variabili sono espresse in ADU invece che in elettroni. Per trovare il risultato in elettroni basta moltiplicare la dark current per il guadagno al quadrato. In alternativa, si può moltiplicare la standard σ_{1-2} per il guadagno G e ricordarsi di esprimere il rumore di lettura in electrons:

$$D_c = \frac{\left(G \frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}}\right)^2 - RON_e^2}{t}$$

Venendo alle cose importanti, la dark current si mantiene su livelli ragionevolmente contenuti, anche se non raggiunge mai valori da record. In definitiva, ci si può attendere di scendere attorno a **0.01 elettroni per pixel al secondo** in condizioni operative tipiche (grazie al sistema di raffreddamento che consente di scendere di 40°C al di sotto della temperatura ambiente, è probabile che ci si ritrovi ad operare a -10°C o meno anche in estate).

Temperatura [°C]	Dark current misurata [e-/s]	Dark current stimata [e-/s]
-20	0,006	0,006
-10	0,009	0,013
0	0,022	0,029
10	0,067	0,066
20	0,145	0,148

La colonna dark current stimata si riferisce al modello matematico con il quale vengono correlate temperatura e dark current. Generalmente si assume che la dark current raddoppi ogni volta che la temperatura di lavoro aumenta di T_k gradi centigradi, dove T_k è una costante che dipende dallo specifico sensore utilizzato e che tipicamente assume valori attorno a $5 \div 6$ °C. Per questa camera ho misurato un valore di T_k leggermente più elevato, attorno a 8.5 °C ed ho usato questo valore per calcolare la terza colonna della tabella. Il grafico che segue mostra la buona corrispondenza tra i dati misurati e il modello:



Rispetto ad un tipico CCD c'è quindi minor ritorno nello spingere il sensore a temperature sempre più basse. L'altro lato della medaglia è che si paga meno pegno quando, a causa dell'elevata temperatura ambiente, non si riesce a spingere la temperatura del sensore molto in basso.

Con riferimento al valore assoluto del rumore termico, in un'esposizione di 15 minuti a -20°C ci saranno poco più di 5 elettroni di rumore termico, che sommati al rumore di lettura danno luogo ad un rumore complessivo di circa 6 elettroni, contro i circa 10 elettroni per il solo rumore di lettura del più diffuso sensore CCD, il KAF-8300.



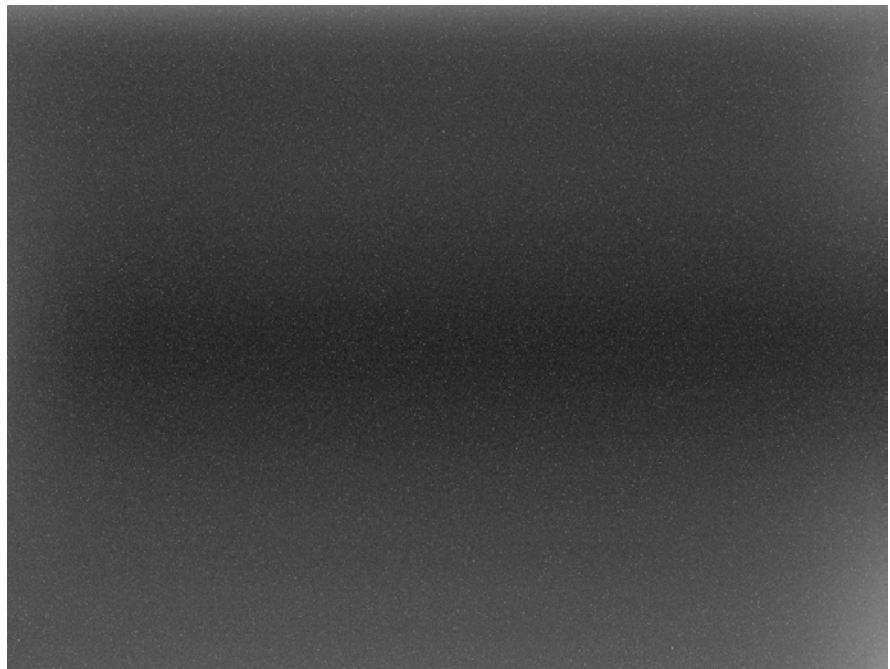
Per inciso, pare che la temperatura minima di funzionamento di questa camera sia di -30°C , nel senso che il firmware non consentirebbe di andare oltre. Non ho potuto verificare questa affermazione, perché al momento in cui scrivo la temperatura esterna non è mai scesa sotto ai 10°C .



TEST REPORT - 5

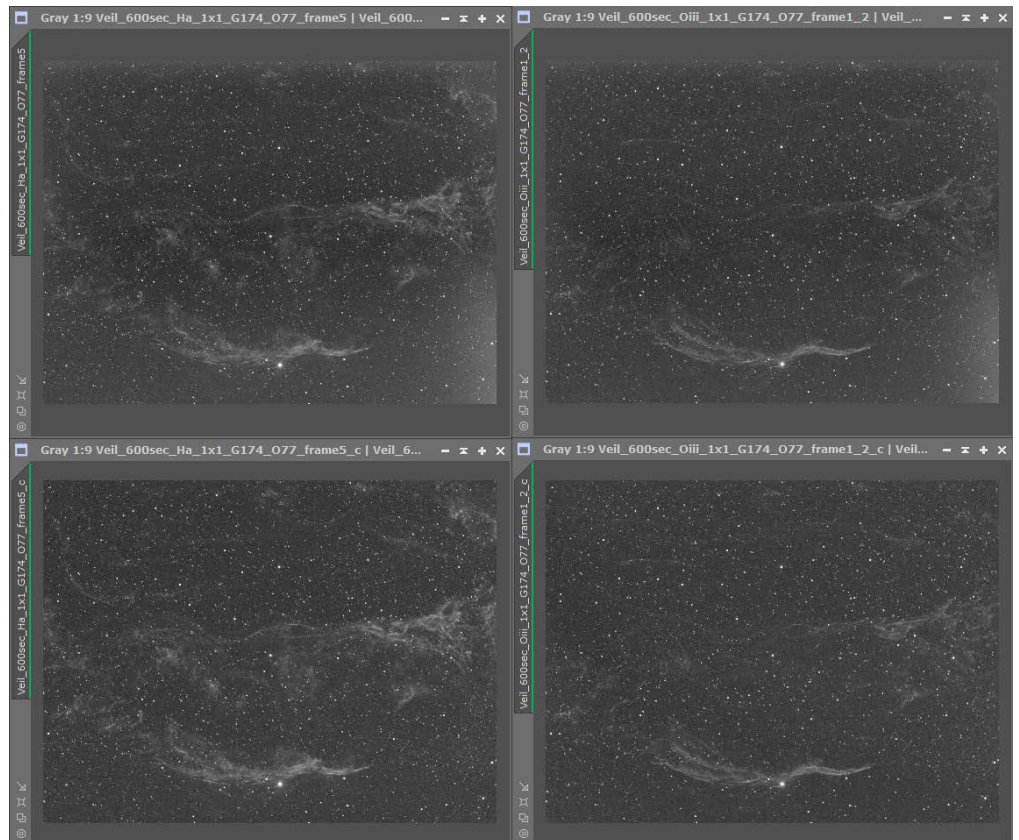
AMP GLOW (BAGLIORE DI AMPLIFICAZIONE)

La presenza di Amp Glow sul bordo destro dell'immagine (e in modo molto meno pronunciato sul lato superiore) risulta evidente solo in esposizioni relativamente lunghe (dell'ordine della decina di minuti) e solo con uno stretch dell'immagine. In altri termini, **l'Amp Glow non dovrebbe costituire un problema in nessun caso** e probabilmente, per pose brevi (30-60 secondi), potrebbe non essere indispensabile effettuare la calibrazione con i dark frame (soprattutto quando il rumore dovuto all'inquinamento luminoso rende trascurabile il rumore termico).



Amp Glow per un'esposizione di 600 secondi @ -10°C (STF stretch with PixInsight)

In ogni caso, una buona calibrazione consente di rimuovere gli effetti dell'amp glow, come mostrato nelle immagini (calibrazione in PixInsight con 100 Bias frame, 16 Dark frames e 20 Flat frames).



Rimozione dell'amp glow mediante calibrazione (con bias, dark and flat frames). Riga in alto: light frames non calibrati (sinistra H-alpha, destra O-III). Riga in basso: la versione calibrata degli stessi frames.



Di nuovo, raccomando di disabilitare lo scaling durante la calibration (in PixInsight è l'opzione Optimize option nel tab "Master Dark" del processo ImageCalibration), al fine di evitare una sottocorrezione o una sovracorrezione. È molto più semplice utilizzare dark frame ripresi alla stessa temperatura, durata di esposizione GAIN e offset dei light frame.



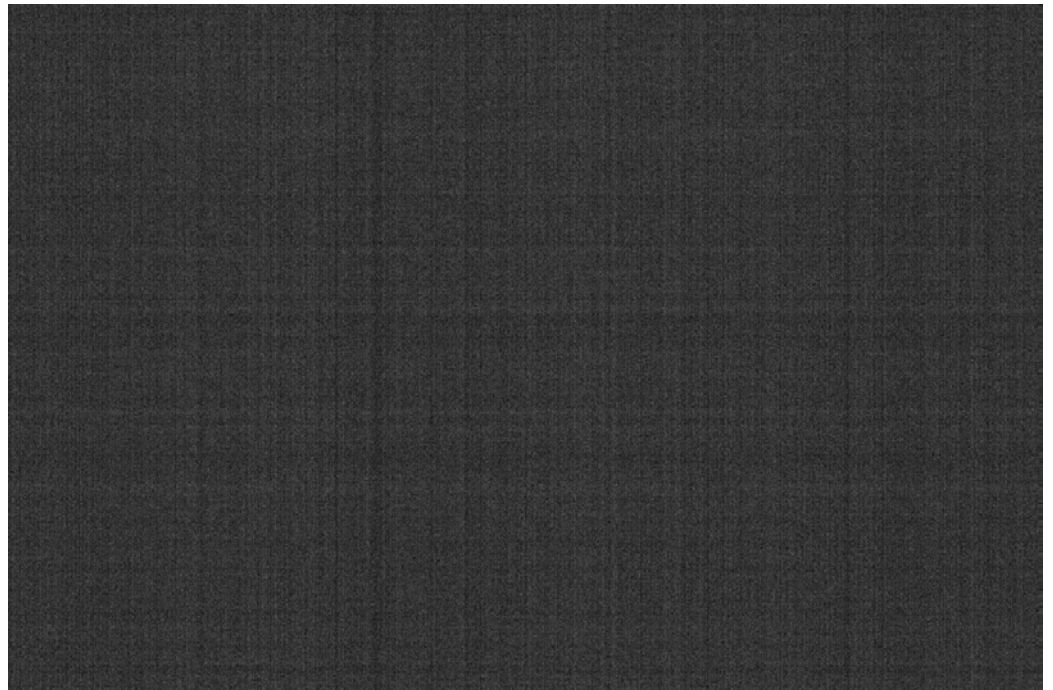
TEST REPORT - 6

RUMORE SPAZIALE (PATTERN NOISE)

Tra le sorgenti di rumore nell'acquisizione di immagine, quelle principali sono di tipo **temporale**. Con questa definizione si indicano le sorgenti che producono un rumore variabile nel tempo in modo sostanzialmente casuale. Esistono però sorgenti di rumore che tendenzialmente interessano in modo costante gli stessi pixel, dando così origine a schemi ricorrenti (pattern). Queste sorgenti di rumore vengono definite di tipo **spaziale** (in alcuni casi si parla anche di *rumore correlato* - il termine inglese maggiormente utilizzato è Pixel Response Non Uniformity o PRNU) ed hanno la particolarità che il loro effetto risulta essere molto più visibili all'occhio umano di quanto sia il rumore temporale (casuale). Ciò è dovuto alla fisiologia del cervello umano, particolarmente abile nell'individuare forme all'interno del caos.

Si tratta generalmente di un problema legato alla circuiteria di lettura di righe e colonne, ma i pattern possono essere dovuti ad una non perfetta uniformità nella lavorazione del substrato di silicio.

Un *bias frame* della Canon EOS 7D (prima versione, o Mark I), notoriamente affetta da banding come la maggior parte delle DSLR con sensore Canon prodotte fino al 2014, chiarisce immediatamente la natura del problema.

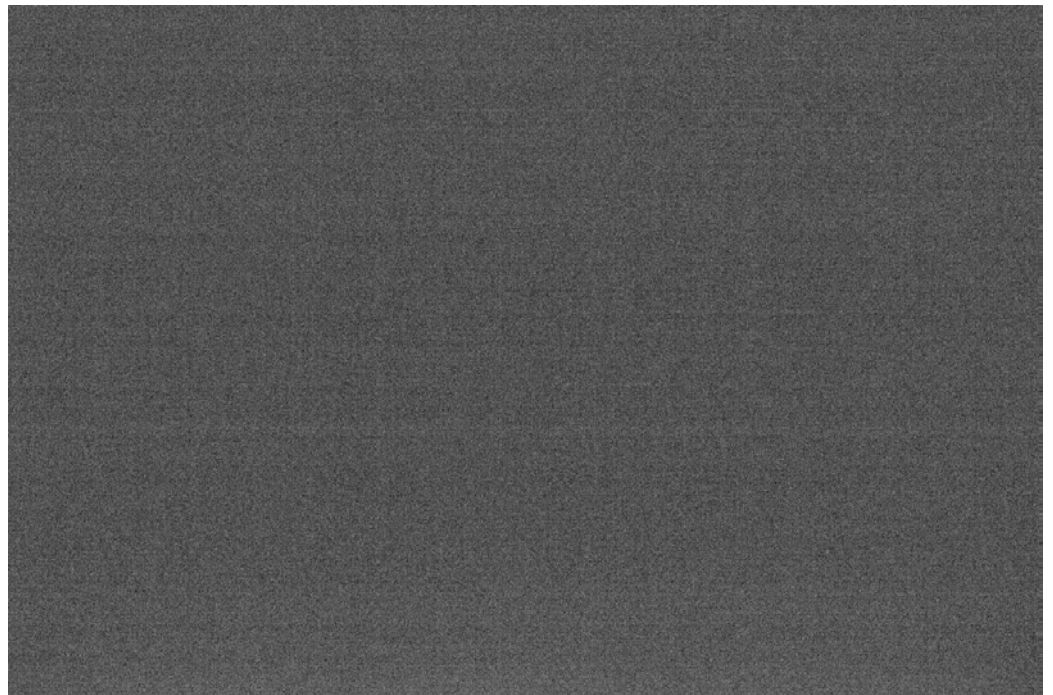


Bias frame - Canon EOS 7D

Nonostante l'immagine sia stata ridimensionata al 25%, si notano agevolmente delle striature sia verticali che orizzontali. Questo tipo di rumore ha generalmente poca influenza sulla fotografia diurna, tranne il caso in cui si debba ricorrere ad un recupero delle ombre nelle zone sottosposte (per esempio quando il range dinamico della scena ripresa è particolarmente elevato).

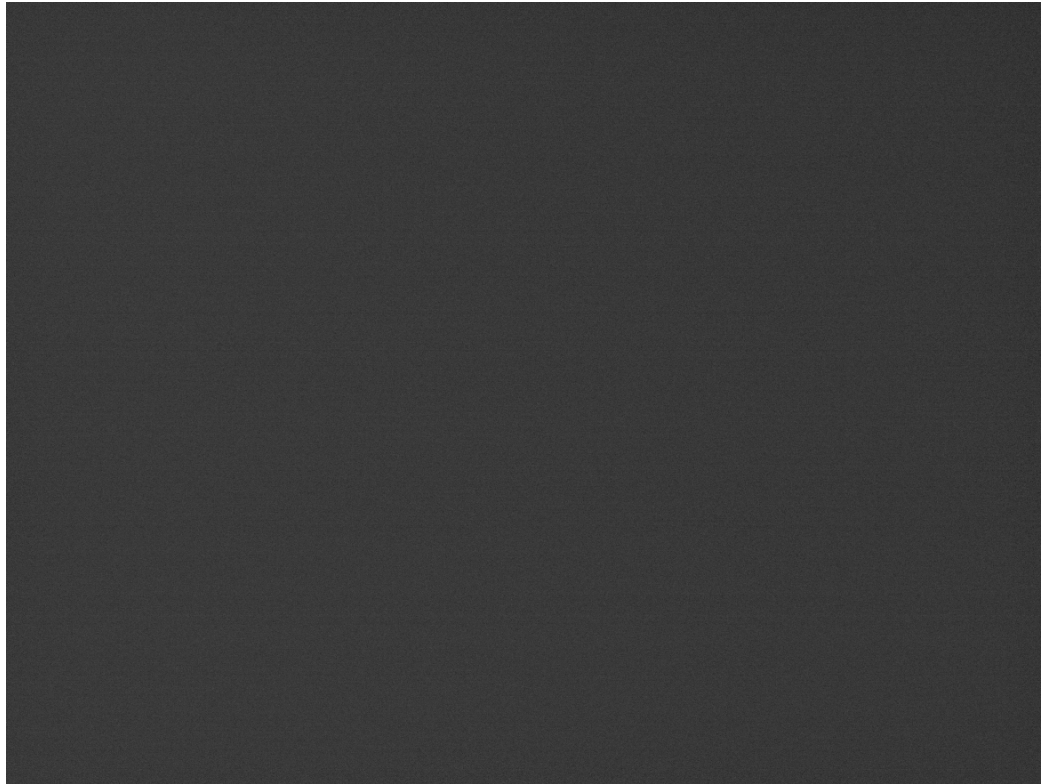
Il problema è invece molto più rilevante nel caso della fotografia astronomica, a causa dei livelli estremi di stretch ai quali le immagini vengono normalmente sottoposte. Poichè si tratta di un rumore non del tutto casuale, le comuni tecniche quali la calibrazione con i *bias frame*, e persino al *dithering*, possono non essere del tutto efficaci. Infatti, le *bande* possono benissimo apparire in posizioni diverse in ogni *light frame* (anzi, questa è praticamente la norma), quindi la sottrazione dei *bias frame* risulta (almeno parzialmente) inefficace.

I sensori CMOS prodotti negli ultimi anni (in particolare quelli di Sony - per Canon solo da fine 2014) hanno ridotto drasticamente il problema. Per esempio, un tipico *bias frame* della Canon 7D Mark II evidenzia un netto miglioramento dal punto di vista del banding.



Bias frame - Canon EOS 7D Mark II

Per quanto riguarda la camera QHY163M, la situazione appare ancora migliore e di primo acchito non c'è traccia di banding:

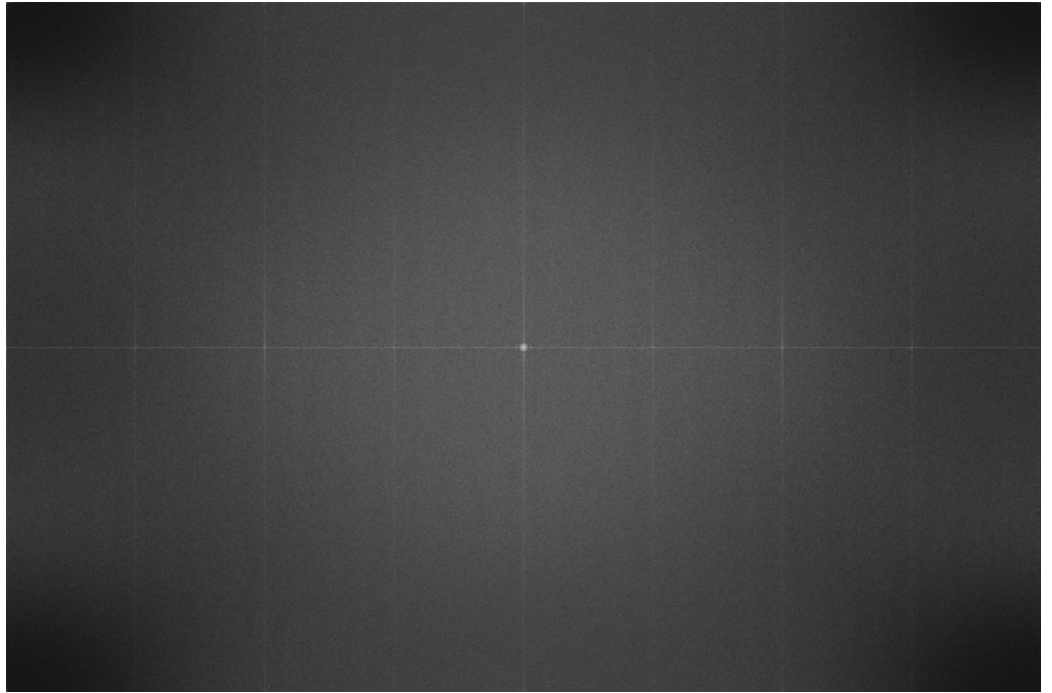


Bias frame - QHY163M

Tutte le immagini riportate sono state sottoposte a auto-stretch utilizzando i tool ScreenTransferFunction + HistogramTransformation di Pixinsight.

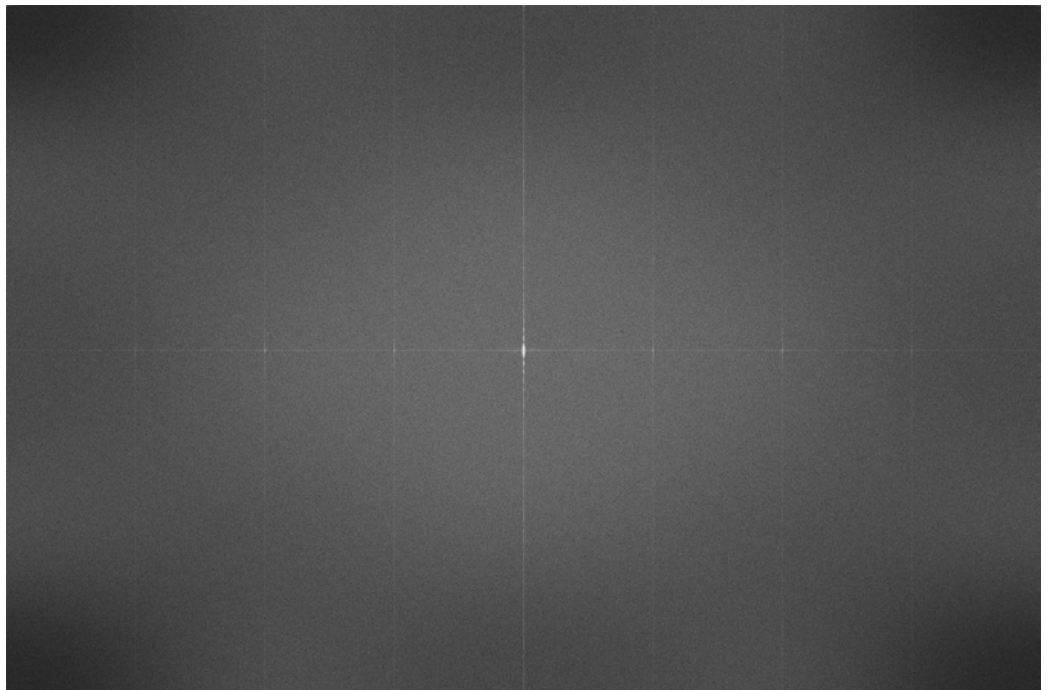
Il modo migliore di valutare, da un punto di vista più analitico, la presenza di rumore spaziale è quello di calcolare la DFT (*Discrete Fourier Transform* - Trasformata di Fourier discreta) dei bias frame.

Per la Canon 7D si evidenzia la presenza di linee verticali e orizzontali, corrispondenti rispettivamente a banding orizzontale e verticale; il fatto che le linee siano multiple, in particolare quelle in senso verticale, implica la presenza di bande a diversa *frequenza*, ovvero visivamente di diverse dimensioni (alcune più strette, altre più larghe). Il fatto che le linee della DFT siano orizzontali o verticali conferma la correlazione su righe e colonne (piuttosto che in una direzione "diagonale").



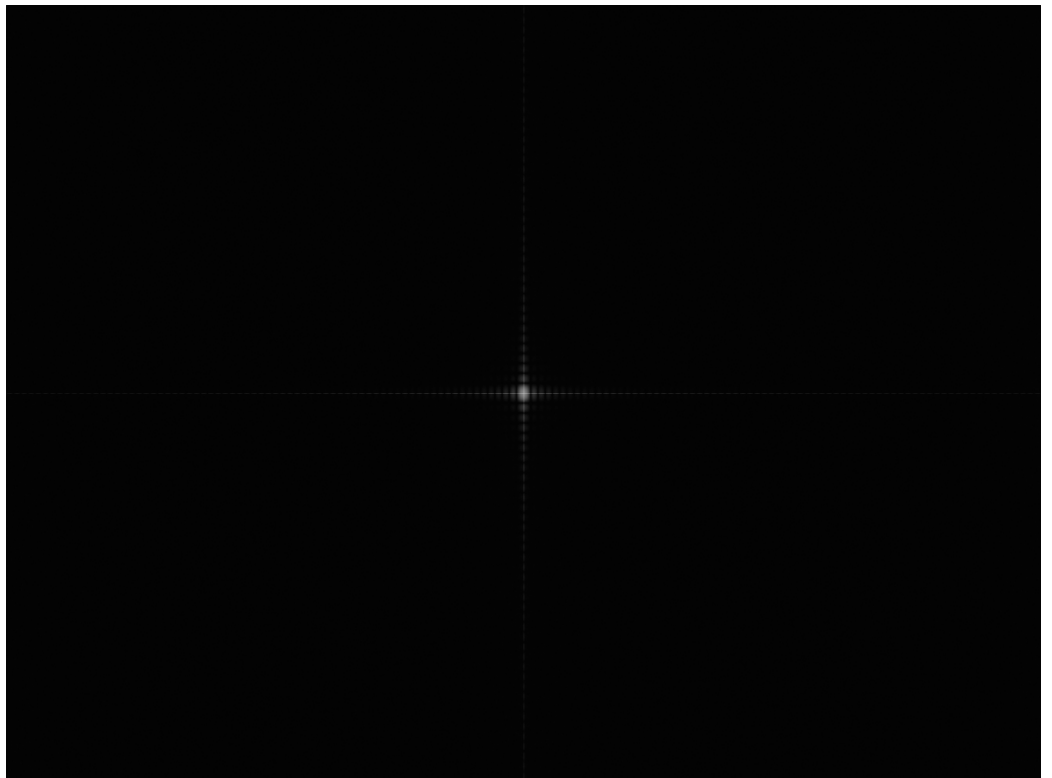
DFT - bias frame della Canon EOS 7D

La situazione è simile, ma migliore, per la Canon 7D Mark II: la minore intensità delle linee verticali indica che il banding orizzontale è meno pronunciato, mentre quella orizzontale, anch'essa più tenue rispetto al caso della 7D, conferma che il banding verticale è pressochè invisibile.



DFT - bias frame della Canon EOS 7D Mark II

La DFT del bias frame della QHY163M conferma in toto l'esame visivo: il "punto" centrale appare estremamente evidente, come dovrebbe essere idealmente.



DFT - bias frame della QHY163M

In sintesi, le prestazioni del sensore della camera QHY163M appaiono eccellenti dal punto di vista del pattern noise, il che dovrebbe poter consentire un'ottima calibrazione dei light frame.

Se poi si considera che il livello di del rumore di lettura è estremamente contenuto, se ne può dedurre che la calibrazione con i bias frame potrebbe non essere necessaria se non per chi cerca la massima qualità possibile per l'immagine finale (ovvero per chi è anche disposto ad adottare tempi di integrazione dell'ordine delle decine di ore).



RIEPILOGO

VERDETTO FINALE

Trenta pagine di recensione ed ho appena grattato la superficie. Ci sarebbe molto altro da dire a proposito della QHY163M, a partire dagli standard qualitativi elevati fino alla chicca della scaldiglia sul vetro protettivo del sensore, per evitare la formazione di condensa. Non va dimenticato che questa camera si sdoppia e può essere utilizzata benissimo come camera planetaria per alta risoluzione, grazie alla possibilità di raggiungere i 100 frame al secondo a 800x600 pixel. Tuttavia, queste informazioni si possono trovare sul sito di QHYCCD e in altre recensioni, per non parlare delle spettacolari immagini ottenute con questa camera.

La QHY163M e le sue sorelle CMOS meriterebbero anche una discussione approfondita sul modo in cui questa tecnologia stia rivoluzionando l'astrofotografia, consentendo di applicare tecniche tipiche dell'alta risoluzione anche alla fotografia del cielo profondo (tante pose di breve durata piuttosto che poche pose di lunga durata). Ma a questo tema ci ha già pensato Mauro Narduzzi, con un approfondito articolo a cui faccio riferimento in Bibliografia.

La cosa più importante da dire è che mi sono innamorato di questa camera subito dopo il primo light frame (per la cronaca, 10 minuti in H-alfa sulla nebulosa Velo). Tutte le specifiche appaiono in linea con quanto affermato dal produttore e dagli altri recensori. Il rumore di lettura, la

linearità e il range dinamico sono niente meno che eccellenti, un risultato ragguardevole per una camera che si può acquistare a circa 1400 Euro (1000 in meno rispetto ad una camera entry level con sensore CCD. Il rumore termico non è da record, ma è totalmente sotto controllo. L'amp glow si fa notare nelle lunghe esposizioni, ma viene totalmente rimosso da una buona calibrazione e non desta alcuna preoccupazione.

Nel complesso, la QHY163M è un prodotto che non esito a raccomandare a tutti gli astrofotografi in cerca di un di un sensore di media taglia ed una scelta perfetta per chi, arrivando da una DSLR, è propenso all'acquisto di una camera più performante. Proprio chi arriva da una reflex, per certi versi si sentirà a casa con una QHY163M, perché la logica di funzionamento è molto simile. A questo livello di prezzo, modificare la propria reflex invece di acquistare una QHY163M è veramente insensato.



BIBLIOGRAFIA

Per un confronto tra le tecnologie CMOS e CCD in astrofotografia, inclusi alcuni test sulla QHY163M:

- ★ Mauro Narduzzi - Skypoint Srl
CMOS contro CCD. Fine di un'era?
<https://www.skypoint.it/it/blog/20-cmos-contro-ccd-fine-di-un-era-pt-1>
- ★ Christian Buil
CMOS vs CCD
<http://astrosurf.com/buil/CMOSvsCCD/index.html>

Per informazioni approfondite sulla tecnologia dei sensori e sulle modalità di misurazione delle loro prestazioni:

- ★ Junichi Nakamura (Ed.)
Image sensors and signal processing for digital still cameras
2006 Taylor & Francis
- ★ Emil Martinec
Noise, Dynamic Range and Bit Depth in Digital SLRs
University of Chicago - <http://theory.uchicago.edu/~ejm/pix/20d/tests/noise/>
- ★ QSI
Understanding CCD Read Noise
http://www.qsimaging.com/ccd_noise.html
- ★ R.I. Hornsey
Part III: Noise in Image Sensors
University of Waterloo

Il mio e-book gratuito sul rumore nei sensori di immagine, indirizzato a tutti i fotografi ma con un occhio di riguardo per chi si occupa di astrofotografia:

- ★ Alessio Beltrame
Rumore e sensibilità ISO nei sensori di immagine
<http://www.alessiobeltrame.com/il-negozio/>

La mia prima luce con la QHY163M:



(vedi anche [astrobin](#))