

Il guadagno di una camera digitale

Negli ultimi anni, le maggiori ditte produttrici di fotocamere digitali (DSLR) stanno combattendo forsennatamente per aggiudicarsi il sensore con maggiore numero di pixel ed elettronica in grado di fornire il maggiore numero di ISO. Proprio per questo motivo abbiamo deciso di affrontare per l'ennesima volta l'argomento ISO, ovvero *"il guadagno di una camera digitale"*. Altri articoli presenti su questo sito sono ["il significato degli ISO nelle fotocamere digitali"](#) e ["gli ISO e l'immagine astronomica"](#). ASTROtrezzi ha approfondito in dettaglio il processo che porta, partendo dai "fotoni" (luce) proveniente da oggetti celesti lontani nello spazio e nel tempo, ad avere una bellissima immagine astronomica sul monitor di casa nostra. Il guadagno di una camera digitale (e quindi vedremo gli ISO) si trova tra la generazione del segnale da parte del sensore CCD o CMOS (vedi l'articolo ["La generazione del segnale"](#)) ed il conseguente processo di digitalizzazione dello stesso (vedi l'articolo ["ADC: dal mondo analogico a quello digitale"](#)). Riassumiamo quindi brevemente cosa succede: il nostro raggio di luce (fotone) prodotto in una lontana galassia, viaggia per milioni di anni fino a raggiungere la nostra ottica (obiettivo e telescopio) che lo devia facendolo incidere su un pixel del nostro sensore. Qui, con una certa probabilità dettata dall'efficienza quantica (vedi l'articolo ["Efficienza quantica"](#)) viene convertito in elettroni. Dato un certo **tempo di esposizione**, la quantità di carica raccolta dal pixel viene amplificata e quindi digitalizzata da un componente elettronico noto come ADC (Analog to Digital Converter). Questo processo di amplificazione permette di ottimizzare la dinamica del sistema ovvero far sì che la fotocamera possa raccogliere il maggior numero di sfumature di grigio (ricordiamoci che il sensore è in bianco e nero, vedi per esempio l'articolo ["costruire](#)

[un'immagine a colori](#)").

Supponiamo come esempio di lasciare esposto il nostro sensore per un certo tempo (tempo di esposizione) alla pioggia di fotoni cosmici. Una volta passato questo intervallo di tempo andiamo, come dei contadini, a raccogliere il numero di elettroni accumulati in ciascun pixel. Supponiamo che questi variano da 0 (cielo nero) a N (nucleo della galassia), rimanendo sempre al di sotto della massima *Full Well Capacity* ossia il massimo numero di elettroni immagazzinabili in un singolo pixel. A questo punto il nostro segnale dovrà essere digitalizzato a 14bit (ovvero convertito in 16384 differenti toni di grigio, misurati in ADU dove 0 ADU è il nero e 16383 ADU è il bianco). Prima della digitalizzazione però il segnale viene moltiplicato/diviso per un certo coefficiente detto **guadagno della camera (G)** e misurato in elettroni (e-) per ADU (alcuni definiscono guadagno il rapporto inverso ovvero ADU per e-). Quindi il numero di ADU in uscita dalla nostra camera andrà da 0 (per 0 elettroni prodotti nel sensore) a N/G . Ovviamente $G < 1$ significa che il segnale viene amplificato mentre $G > 1$ ridotto. Esiste una correlazione tra guadagno e ISO che però dipende dalla fotocamera digitale considerata (il guadagno è scelto in modo di ottimizzare la dinamica del sensore). Nel caso della Canon EOS 40D, il guadagno varia da 3.40 e-/ADU a 100 ISO a 0.21 e-/ADU a 1600 ISO.

Supponiamo quindi di aver raccolto con la nostra esposizione un numero di elettroni pari a 20000, allora questi corrisponderebbero a 5882 ADU a 100 ISO e 95238 ADU a 1600 ISO. Come si vede nel primo caso stiamo utilizzando il 36% della dinamica, mentre nel secondo caso, tutti i pixel che hanno collezionato più di 3440 elettroni appariranno come bianchi (16383 ADU) in quanto mandano in saturazione l'ADC. Ecco quindi che nel secondo caso l'immagine risulterà *bruciata* ovvero perdiamo informazioni sulle sfumature dei bianchi.

Abbiamo qui imparato una cosa molto importante: il guadagno non aumenta la sensibilità del sensore. Quest'ultimo infatti

agisce solo al termine della raccolta della luce e pertanto non influenza la capacità o meno del sensore di immagazzinare i fotoni. Quindi il numero di fotoni raccolti da una CCD astronomica o DSRL è indipendente dal numero di ISO utilizzati ma è legato unicamente al tempo di esposizione e alle caratteristiche dell'ottica (rapporto focale). Chiamare (come si fa abitualmente) gli ISO *sensibilità* è quanto di più fuorviante si possa pensare. Ma allora come agiscono gli ISO sulle nostre immagini astronomiche?

Prima di tutto dobbiamo chiederci quale è il tempo di esposizione che abbiamo a nostra disposizione. Ricordiamo ancora una volta come quest'ultimo sia il parametro fondamentale della nostra ripresa astronomica. Supponiamo di avere un tempo t massimo dettato da vari fattori (tempo a disposizione, rischio meteo o inquinamento luminoso, qualità di inseguimento della montatura, numero di scatti che vogliamo mediare ...). Andiamo quindi a misurare quanti elettroni riusciamo a collezionare in questo tempo utilizzando la nostra ottica (obiettivo fotografico o telescopio ad un certo rapporto focale fissato). Per fare ciò impostiamo gli ISO al minimo. Se già con gli ISO al minimo la nostra foto risulta già in saturazione (perdiamo informazione sui bianchi) allora sarà necessario abbassare il tempo di esposizione, altrimenti dovremo modificare gli ISO in modo che la nostra dinamica venga completamente coperta dai 16 bit dell'ADC. In figura 1 vediamo l'effetto di un'immagine che non sfrutta la dinamica, che la sfrutta appieno o va in saturazione.



Figura 1: (A) immagine che non sfrutta appieno la dinamica, (B) immagine corretta, (C) immagine in saturazione

Analizzando questa figura notiamo un problema tanto importante in astronomia quanto in fotografia tradizionale. Nella nostra immagine abbiamo sia parti deboli (nebulosità) caratterizzate da un numero esiguo di elettroni accumulati nel pixel che regioni luminose come le stelle, al limite della saturazione già a bassi valori di ISO. Come fare ad ottenere quindi immagini corrette dove le stelle luminose non vanno in saturazione e le deboli nebulosità possano emergere?

La risposta è ovviamente semplice dal punto di vista teorico quanto complessa da quello sperimentale: aumentare il numero di ADU ossia il numero di bit dell'ADC. Questa è la soluzione che in astronomia è stata affrontata con le camere CCD dedicate che lavorano infatti con ADC a 16 bit e non a 14 bit come le DSLR tradizionali. Il futuro delle reflex sarà quello di avere dinamiche sempre superiori in modo che ad un certo valore di ISO sarà possibile ottenere sfumature di neri e bianchi che poi verranno sfruttare in post-produzione al fine di ottenere immagini corrette.

In assenza di alti bit, l'unica possibilità è fare una doppia esposizione ovvero una a bassi ISO per le stelle ed una ad alti ISO per la debole nebulosità. Questa ultima frase potrebbe trarre alle sbagliate conclusione che aumentando gli ISO vediamo gli oggetti più deboli e quindi aumentiamo la sensibilità della camera. Come detto in precedenza questo non è vero. Alzare gli ISO vuol dire semplicemente "spalmare" il segnale sulla dinamica fornita dall'ADC. In questo processo non solo andremo ad aumentare il segnale (presente ed indipendente dagli ISO) ma anche il rumore.

Quindi riassumendo le migliori condizioni di lavoro sarebbero tempi lunghi e bassi ISO o in mancanza di tempo ISO adatti ad ottimizzare la dinamica del soggetto della ripresa (nebulose, galassie o ammassi). Il tutto diventerebbe ottimale se agli scatti deepsky si aggiungesse uno scatto "veloce" ottimizzato

sulle stelle di campo in modo da salvarne i colori.

Questo ovviamente in un mondo idilliaco. Infatti se alti ISO significa alto *rumore elettronico*, lunghi tempi di esposizione significa alto *rumore termico*. Il secondo può essere eliminato grazie all'utilizzo del master dark frame, mentre il primo sommando più scatti. Ecco quindi l'amletico dilemma: meglio tanti scatti ad alti ISO o pochi scatti a bassi ISO? Se si considera un intervallo di tempo determinato (la notte astronomica), allora tenuto conto del tempo necessario per effettuare i dark frame, è meglio **effettuare molti scatti a elevati valori di ISO**, come dimostrato nell'articolo "[gli ISO e l'immagine astronomica](#)". Questo ovviamente a patto che il rumore introdotto nell'amplificazione del segnale (ISO) sia casuale. Questo è vero generalmente per reflex semi-professionali o professionali. Per le reflex non professionali consigliamo un range di ISO compresi tra 400 e 800 ISO. Infine, nel caso di fotocamere raffreddate (CentralDS o CCD astronomiche), immagini a lunga posa risultano prive di rumore termico e pertanto si consigliano tempi di esposizione lunghi e valori di ISO bassi. Riportiamo a titolo di esempio in figura 2 il risultato del test riportato nell'articolo "[gli ISO e l'immagine astronomica](#)".



Figura 2: Confronto tra la somma rispettivamente di 4 immagini da 8 minuti a 200 ISO e 30 immagini da 1 minuto a 1600 ISO.

Facciamo inoltre notare come, in assenza di scatti multipli (e

quindi riduzione del rumore elettronico presente negli scatti ad alti ISO), l'utilizzo di tempi di esposizione lunghi e bassi valori di ISO è consigliata. Questa è la condizioni standard della fotografia tradizionale.

Concludendo quindi: il **segnale astronomico** (numero di fotoni che incidono sul pixel) non dipende dal numero di ISO utilizzati ma è funzione del tempo di esposizione. Maggiore sarà il tempo di esposizione e maggiore saranno le informazioni che andremo a raccogliere. A questo punto aspetta all'astrofotografo **cercare di non perdere queste preziose informazioni** scegliendo il valore di ISO più adatti. Questi dipenderanno dalla luminosità dell'oggetto, dal tempo a disposizione per effettuare la/le posa/e, dalla possibilità di effettuare multipli scatti, dal rumore dell'ADC (casuale o no?), da rumore termico dalla dinamica dell'ADC (14 o 16 bit). Figura 2 mostra come, seppur l'immagine a sinistra sia stata ottenuta esponendo per 8 minuti, questa sia stata distrutta dall'eccessivo rumore termico. Infatti raccogliendo meno informazioni (1 minuti) ma ottimizzando il valore degli ISO (elevati a patto di avere multipli scatti) si è riusciti a spremere al massimo l'informazione ottenendo un risultato analogo in termini di informazioni e superiore in termini di rumore.