

Indice Prima Parte

1. Sensori e pixel
2. Rumore e sensibilità
3. Diaframma
4. Tempo di esposizione
5. Esposizione
6. Immagini RAW
7. Immagini JPEG
8. Bit

Sensori e pixel

Il **sensore** di una macchina fotografica digitale è il dispositivo adibito alla conversione dell'immagine ottica in informazione digitale, traducendo sostanzialmente l'energia luminosa (i *fotoni*) in segnale elettrico. Può essere considerato come una matrice (o griglia) di singole celle fotosensibili, ognuna delle quali raccoglie i fotoni e digitalizza quest'informazione in una quantità discreta che va da 0 (puro nero) a 255 (puro bianco). La matrice di fotosensori converte l'immagine in un mosaico di elementi chiamati **pixel**, l'unità minima di cui è composta un'immagine digitale, che hanno valori precisi di luminosità (*luminanza*) e colore (*crominanza*). Nel seguito della trattazione ci riferiremo per semplicità alle celle fotosensibili chiamandole pixel, pur non essendoci sempre un rapporto 1:1 ; alcune di esse sono infatti utilizzate per valutare i livelli di nero o per determinare il bilanciamento del bianco.

Le fotocamere compatte hanno sensori dai 5 megapixel in su, mentre le reflex superano tranquillamente i 12 megapixel. Non sarebbe del tutto corretto pensare che le seconde facciano foto migliori solo perché hanno più pixel, ma - come in molti altri casi - la differenza la fanno le *dimensioni*. Vediamo perché.

Abbiamo detto che i pixel "catturano" i fotoni, dunque più è brillante il punto di cui sono responsabili e più ne raccoglieranno. Dato però che c'è un limite alla loro capacità, potrebbero saturarsi senza poter rappresentare la reale luminosità della scena; avremo dunque una serie di pixel settati a 255 ma in overflow, il che fa di conseguenza diminuire il livello di dettaglio. Questo fenomeno prende il nome di "*clipped highlights*". Se però decidiamo di ridurre il *tempo di esposizione* per limitare la saturazione potremo avere il problema inverso, ovvero alcuni pixel che rimangono a 0 solo perché non hanno fatto in tempo a raccogliere i pochi fotoni delle zone più scure. Si parla in questo caso di "*clipped shadows*".

Una reflex ha un sensore più grande di una compatta, dunque pixel più grandi, dunque maggiore superficie su cui raccogliere i fotoni. In questo modo aumentano le probabilità di catturarne qualcuno in più dalle zone in ombra e allo stesso tempo diminuisce il rischio di saturarsi con quelli provenienti dalle zone brillanti.

Riassumendo, la qualità delle immagini di una macchina fotografica dipendono strettamente dal numero e dalla dimensione dei pixel del suo sensore: più sono alti i loro valori, minore diventa il *rumore* e maggiore la *gamma dinamica*.

Rumore e sensibilità

Se esponessimo più volte lo stesso pixel alla stessa quantità di luce non otterremmo mai valori identici, ma piccole variazioni statistiche chiamate **rumore**. Ciò è dovuto al fatto che l'attività elettrica del sensore genera dei segnali che vanno ad interferire con la raccolta di informazioni, e che dipendono da alcuni fattori che vedremo poi. L'insieme di questi disturbi va a formare il cosiddetto *piano rumore*, una grandezza da tenere in considerazione dato che l'output di ogni pixel deve essergli maggiore per essere significativo (cioè distinguibile dal rumore stesso).

'Come si presenta il rumore:' Il rumore nelle immagini digitali si evidenzia in prevalenza come una certa granulosità o puntinatura monocromatica (luminance noise) e/o come puntini o macchioline colorate (chroma noise) evidenti soprattutto nelle aree uniformi come il cielo, o in linee scure con poco dettaglio.

Altri fattori da cui dipende il rumore sono:

- la temperatura, più è alta e peggio è
- la **sensibilità**, ovvero - in soldoni - di quanto viene amplificato l'output del sensore. Ad esempio un'immagine all'aperto richiede bassa sensibilità poiché le condizioni luminose sono già molto buone, mentre un soggetto poco illuminato o in movimento avrà bisogno di valori maggiori. Il problema è che con l'output viene amplificato anche il rumore, da cui il classico effetto di granulosità se si esagera. Il livello di sensibilità alla luce delle macchine fotografiche digitali è espresso con la scala *ISO*, dove "ISO 100" è generalmente il valore di default (in alcuni casi anche 50). La sensibilità può essere aumentata a 200, 400, 800, ... alcune reflex arrivano e superano i 3200
- la dimensione dei pixel, motivo per cui il piano rumore della macchine digitali compatte è molto maggiore di quello delle reflex (che hanno pixel più grandi)
- la tecnologia con cui sono costruiti i sensori
- gli algoritmi di riduzione del rumore (se) utilizzati
- il **tempo di esposizione**, che se supera il secondo o due può generare il cosiddetto "*stuck pixel noise*" (o "*hot pixel noise*"), ovvero una serie di puntini colorati leggermenti più grandi di un pixel che costellano l'immagine. Ecco un esempio:



Alcuni accorgimenti possono ridurre il fenomeno del rumore.

1. Selezionare il valore ISO più basso possibile. Usando il treppiede si possono impostare tempi lunghi e grandi aperture.
2. Tenere la fotocamera spenta e al fresco fino al momento della ripresa per non riscaldare il sensore.
3. Usare una reflex digitale dotata di sensore di grandi dimensioni. Una dSLR con sensore "full frame" a ISO 1600 produce un rumore paragonabile a quello di una compatta a ISO

100.

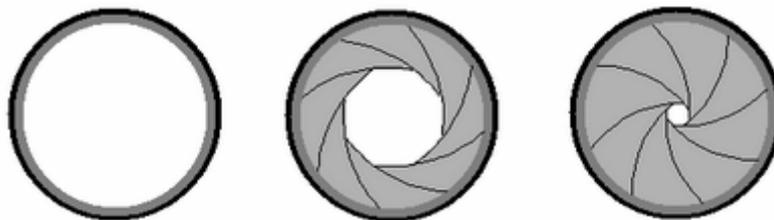
4. La compressione, tipica del formato JPEG, può aumentare il rumore nell'immagine. Nei casi in cui sia necessario minimizzare il rumore in fase di ripresa, un formato non compresso rimane la scelta obbligata.

Foto con e senza rumore



Diaframma

Il **diaframma** è il meccanismo che consente di regolare la quantità di luce che colpisce il sensore cambiando il suo diametro di apertura.



Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Diaframma_

Quando è tutto aperto si ha massima luminosità ma peggior definizione e minor *profondità di campo* (che è la distanza dall'obiettivo entro cui gli oggetti sono a fuoco), mentre man mano che si chiude si migliora la nitidezza ma si ottiene un'immagine più scura. Da quanto detto possiamo ricavare che il diaframma influenza anche la messa a fuoco dei soggetti.

L'apertura del diaframma si può regolare entro una scala di valori detti *stop* o *f-stop*, calcolati come il rapporto tra la lunghezza focale dell'obiettivo (la distanza tra la lente e l'area su cui si focalizza) e il diametro dell'apertura. Questa scala è stata standardizzata con i seguenti valori, presentati in ordine decrescente di ampiezza (e dunque di luminosità):

f/1 f/1,4 f/2 f/2,8 f/4 f/5,6 f/8 f/11 f/16 f/22 f/32 f/45 f/64

Tempo di esposizione

Il **tempo di esposizione** o *tempo di scatto* indica l'intervallo di tempo in cui il sensore rimane esposto alla luce, dunque più è alto il suo valore e più l'immagine è chiara. Si può ottenere e configurare questa proprietà regolando la velocità di apertura e chiusura di un otturatore meccanico posto tra l'obiettivo e il sensore, oppure intervenendo sui tempi di accensione e spegnimento dei fotodiodi collegati ai pixel.

Generalmente i tempi di esposizione sono espressi come frazioni di secondo, con valori scelti in modo che ognuno sia il doppio del precedente:

1/1000 1/500 1/250 1/125 1/60 1/30 1/15 1/8 1/4 1/2

Ovviamente si possono avere anche tempi superiori al secondo, per convenzione multipli di 2 (1, 2, 4, 8, ...). E' da notare che ad ogni passaggio verso destra la quantità di luce raccolta raddoppia.

Non esiste un tempo di esposizione ottimale, dipende dalla situazione; va infatti considerato che per un soggetto in movimento il suo valore dovrebbe essere piuttosto basso o la foto uscirebbe mosso. Ecco una splendida gif chiarificatrice offerta da wikipedia:



Perché le foto non vengano mosse un tempo di esposizione di almeno 1/60 è sufficiente nella maggior parte delle situazioni, a patto che non si stia usando lo zoom; in quest'ultimo caso il suo valore dovrà diminuire, ad esempio impostando 1/125 se stiamo usando uno zoom di 3x. Per soggetti in movimento come ciclisti o corridori è opportuno utilizzare tempi di 1/125 o inferiori, mentre per oggetti che si muovono a grande velocità come le automobili o i treni è consigliabile un valore da 1/500 in giù.

La regola del pollice per evitare che una foto esca mosso per colpa del fotografo consiste nell'usare un tempo inferiore al reciproco della lunghezza focale in uso. Se la lunghezza focale è di 200 mm, allora il tempo di sicurezza minimo è 1/200. Tutte le considerazioni relative alla ripresa di soggetti in movimento restano tuttavia valide. In particolare, un essere umano "normale" può essere ripreso con un tempo di 1/125, mentre per un bambino vivace è meglio non salire troppo sopra 1/250. Per fotografare Cthulhu è consigliato NON guardare quello che si sta facendo, pena la perdita di sanità mentale.

Esposizione

Abbiamo visto che sia la regolazione dell'apertura del diaframma che i tempi di scatto condizionano la quantità di luce ricevuta dal sensore, ora definiamo questa grandezza **esposizione** dell'immagine e la rappresentiamo con una scala di valori discreti chiamata **EV** (*Exposition Value*) che tengono conto di entrambi i fattori. Per la cronaca, esiste anche

una seconda scala chiamata *LV (Light Value)* che considera anche la sensibilità ISO ed è un indice della luminanza della scena.

Il valore "EV 0" è dato dalla combinazione di un'apertura del diaframma di f/1 e da un secondo di tempo di esposizione (per avere un "LV 0" bisognerebbe avere anche un "ISO 100"). Ogni volta che si dimezza la quantità di luce raccolta dal sensore (raddoppiando il tempo di scatto o dimezzando l'apertura) l'EV aumenta di 1; in generale potremo dire che bisogna scattare con valori EV alti solo quando si è in condizioni di elevata luminosità, o si rischierebbe una sovraesposizione.

Da quanto detto finora possiamo dedurre che una stessa EV si può ottenere con un'ampia varietà di combinazioni di apertura del diaframma e velocità di scatto (e sensibilità); potremo quindi realizzare foto più o meno nitide dello stesso soggetto mantenendo inalterata la luminosità.

Inutile dire quanto sia difficoltosa la scelta della corretta esposizione per una scena. Molte fotocamere dispongono ormai di uno strumento di misurazione automatica, l'*esposimetro*, che imposta un valore di EV in base alla quantità di luce media rilevata. Possono essere sia interni che esterni, anche se questi ultimi sono più precisi e affidabili dato che possono lavorare sulla luce incidente l'oggetto e non solo su quella riflessa.

Esistono situazioni note in cui gli *exposition value* calcolati dagli esposimetri interni risultano falsate:

- foto in spiaggia o in montagna, dove il riflesso del sole sull'acqua o sulla neve fa percepire alla macchina più luce di quanta in realtà serva per illuminare il soggetto; di conseguenza la fotocamera imposterà tempi di scatto molto brevi producendo immagini scure
- foto con sfondo scuro e soggetto sufficientemente illuminato, interpretate dal sensore come un ambiente in ombra da compensare mantenendo alti i tempi di scatto. In questo caso si ottengono foto mosse e/o slavate

Fortunatamente esistono diverse soluzioni a questi problemi:

1. scattare le foto in modalità "mare" o "montagna", una funzionalità presente in molte fotocamere e che adatta il calcolo dell'esposizione a queste condizioni ambientali
2. zoomare sul soggetto su cui si vuole che sia calcolata l'esposizione, premere per metà il pulsante di scatto così che tale calcolo venga effettuato, zoomare indietro riportando la visuale all'inquadratura desiderata sempre mantenendo semipremuto il tasto di scatto e premerlo infine del tutto
3. intervenendo manualmente sugli *exposition value*, portandoli ad esempio a +1 per quanto riguarda le foto in spiaggia o con la neve, così che passi il doppio della luce

Immagini raw

Al contrario delle immagini a cui siamo abituati (JPG, GIF, TIFF, ...), **raw** non è una sigla ma l'esatta traduzione del termine inglese "grezzo". Un'immagine raw contiene le informazioni originali così come sono state trasmesse dal sensore della fotocamera, senza che siano in alcun modo compresse o processate; ogni pixel conterrà dunque l'informazione di un unico colore (il rosso il verde o il blu), da cui il tipico aspetto a "mosaico" di immagini di questo tipo.

La conversione nei formati comuni prevede diversi passaggi (*demosaiicing*, *bilanciamento del bianco*, applicazione di una *curva tonale*, impostazione della *profondità di colore*, ...), che essendo applicati manualmente a partire da dati "non contaminati" dalla fotocamera permetteranno di imprimere alla foto la resa desiderata.

Il loro principale svantaggio è che ogni produttore di fotocamere (e addirittura modelli di uno stesso produttore) ha il suo formato raw proprietario, utilizzabile al meglio solo con software dedicato.

Altri due svantaggi sono le dimensioni maggiori rispetto ai JPEG (ma non ai TIFF), e tempi più lunghi di elaborazione e scrittura.

Immagini JPEG

Il formato **JPEG** (*Joint Photographic Experts Group*) è quello più diffuso per le immagini digitali per due motivi: è compatibile con tutti i browser, viewer e programmi di fotoritocco, ma soprattutto consente di comprimere in modo consistente le immagini senza perdere troppo in qualità.

Vediamo come agisce. Dato che l'occhio è più sensibile ai dettagli che ai colori, e che tra i primi nota di più quelli vistosi, come prima operazione la codifica JPEG riorganizza l'immagine distinguendo tra informazioni del colore e informazioni dei dettagli. A questo punto suddivide l'immagine in tanti quadrati da 8 pixel per lato, così da applicare in modo indipendente su ognuno di essi la compressione. Quest'ultima è di tipo *lossy*, cioè con perdita di dati, e per i motivi che abbiamo spiegato prima sarà più intensa sulle informazioni che riguardano il colore e i dettagli più fini.

L'intensità dell'algoritmo di compressione è personalizzabile, così che l'utente possa trovare il giusto compromesso tra dimensione del file e qualità dell'immagine. Una foto JPEG con qualità del 100% ha dimensioni fino a sei volte più piccole dell'originale non compressa, ma la qualità rimane praticamente inalterata. Scendendo a 80% la dimensione si riduce di 10 volte rispetto l'originale e l'immagine rimane comunque buona, con qualche deterioramento sui bordi dei soggetti. E così via.

La maggior parte delle fotocamere digitali permettono di scegliere tra tre livelli di compressione, corrispondenti alle seguenti tre fasce: *basic* (qualità minore ma alta compressione), *normal* (quella di default) e *fine* (miglior qualità con minor compressione).

Ultima osservazione, quando si sta lavorando su un'immagine è meglio salvarla in formato non compresso (ad esempio il TIFF) e non in JPEG, o la qualità diminuirebbe ad ogni nuova compressione anche se la foto non è stata modificata. La codifica dovrebbe essere applicata solo a elaborazione ultimata.

Bit

Concludiamo questa prima parte di *appunti di fotografia digitale* con una breve parentesi. Sappiamo tutti benissimo che i **bit** sono l'unità fondamentale di informazione, e che possono avere due soli valori: 1 o 0. Con un solo bit si può dunque rappresentare il bianco o il nero, con due bit anche due toni di grigio, mentre già con 8 bit si arriva a poter individuare 256 tonalità possibili (da 0 a 255).

La codifica più comune delle immagini JPEG prevede 24 bit per pixel, 8 per ciascuno dei tre canali di colore (rosso, verde, blu), per un totale di 16,7 milioni tonalità possibili.

Vedremo nella prossima parte della guida che la visione umana, al contrario dei sensori delle fotocamere, noterà meglio i dettagli delle zone in ombra che quelli più esposti. Una codifica dell'immagine che tiene conto di questa proprietà è quella a *32 bit con virgola mobile*, dove avremo 1 bit per il segno, 23 per la mantissa e 8 per l'esponente. In questo modo riusciremo a rappresentare un numero infinito di toni tra lo 0 e l'1, circa 8 milioni tra l'1 e il 2 e via via a scalare fino ad arrivare ai 128 toni che separano il livello 65534 dal 65535. Siamo quindi in linea con la percezione dell'occhio: più ricettività per i toni scuri, e viceversa.

Indice Seconda Parte

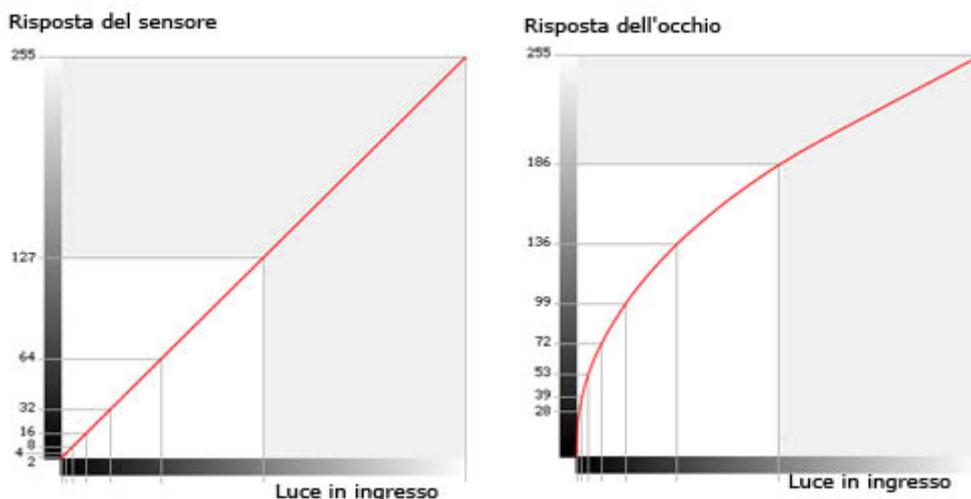
1. Linearità dei sensori
2. Istogrammi
3. Gamma
4. Gamma dinamica
5. Gamma tonale
6. Curve

Linearità dei sensori

I sensori sono dispositivi **lineari**, ovvero a fronte di un raddoppiamento della quantità di luce raddoppiano anche le loro uscite. Se però ci sono dei pixel che saturano o che non riescono a raccogliere abbastanza fotoni avremo però delle situazioni di *non-linearità* nelle zone rispettivamente più chiare e più scure.

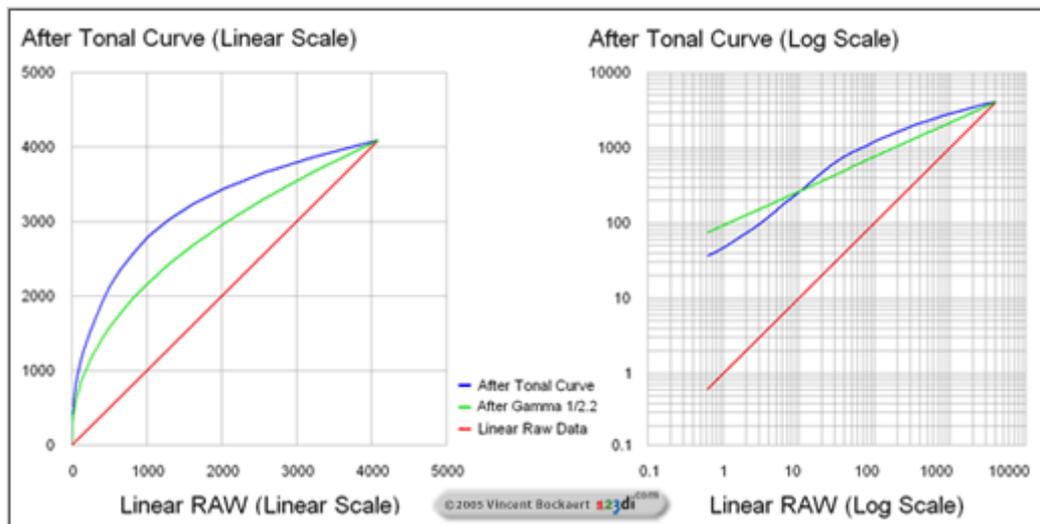
L'occhio umano non è lineare, ma tende ad *amplificare le ombre* e a *comprimere le zone più brillanti*. Ciò significa che se raddoppiassimo la quantità di luce in una scena poco illuminata percepiremmo un cambiamento molto maggiore di quello che avvertiremmo in condizioni di elevata luminosità.

Ecco due curve indicative: la prima rappresenta la linearità dei sensori, la seconda la non linearità dell'occhio (ciò che per il sensore ha valore 127 da noi viene percepito come 186).



La fotocamera riesce a compensare la visione umana applicando alla propria curva lineare una [curva tonale](#), che assegnerà più informazioni alle zone in ombra e meno a quelle brillanti.

Nei grafici seguenti sono riportate in rosso la curva lineare, in blu la curva tonale applicata ad essa, e infine in verde la curva percepita. A sinistra il tutto è riportato su scala lineare, a destra su scala logaritmica.



http://www.dpreview.com/Learn/Articles/Glossary/Camera_System/images/response_tonal.gif

Quando si scatta una foto direttamente in formato JPEG la curva tonale applicata automaticamente dalla fotocamera potrebbe tagliare alcuni dettagli delle zone più chiare e più scure, cosa che non succederebbe se si scattasse in formato raw. Queste ultime utilizzano infatti la curva tonale corretta, così che la resa visiva su monitor o su carta dell'intera *gamma dinamica* sia piacevole alla vista.

Istogrammi

Uno strumento importantissimo per farci comprendere la nostra immagine digitale è l'**istogramma**, che rappresenta sotto forma di grafico com'è distribuita la luminosità dei pixel. Ad ognuno di essi viene infatti assegnato un valore che va da 0 (nero) a 255 (bianco), così da ottenere i 256 livelli che saranno disposti sull'asse delle x e su cui verranno costruiti gli istogrammi stessi; l'altezza di questi ultimi dipende dal numero di pixel che hanno quella particolare luminosità: maggiore è il numero e più alti sono.

Vediamo un esempio:



Due osservazioni di carattere generale sul grafico:

- gli istogrammi hanno tutti un pixel di larghezza e sono attaccati tra loro poiché eventuali spazi vuoti potrebbero essere interpretati come assenza del tono corrispondente
- da sinistra a destra del grafico avremo i toni più scuri, poi i grigi intermedi, infine i toni più brillanti

Ma ai fini pratici è utile esaminare l'istogramma di un'immagine? Certo, dà importanti informazioni sull'esposizione e sulla qualità dei dettagli. Facciamo una serie di esempi:



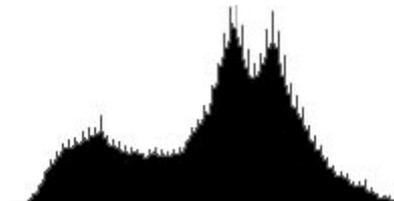
L'immagine è correttamente esposta e infatti possiamo notare un buon istogramma, con la zona più scura che aumenta gradualmente e quella più luminosa che decresce dolcemente.



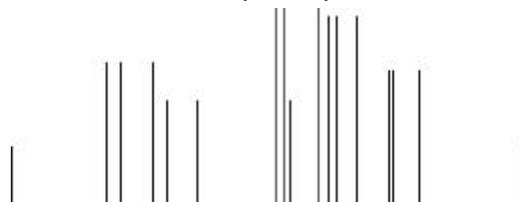
Quest'immagine è invece chiaramente sottoesposta, e lo vediamo anche dall'istogramma in cui si notano molti pixel con valore 0 o prossimi ad esso. Il fatto che i pixel più scuri siano saturi farà perdere un sacco di informazioni sui dettagli delle zone in ombra.



Abbiamo ora un'immagine sovraesposta, dove valgono le considerazioni esattamente opposte del caso precedente (stavolta perdiamo dettagli sulle zone più luminose).



Immagini con molto contrasto (quella in alto) avranno valori molto alti agli estremi dell'istogramma, mentre in quelle poco contrastate (subito sotto) le barre saranno concentrate al centro nei toni di grigio intermedi, da cui l'aspetto più fumoso.



Quest'ultimo caso non ha nulla a che vedere con l'esposizione, ma è un chiaro esempio di **posterizzazione** dell'immagine, ottenuta diminuendo il numero di toni utilizzabili per descriverla. L'effetto che si ha è la perdita di sfumature tra le varie gradazioni di colori, il che si traduce con la perdita di continuità del grafico, caratterizzato da pochi istogrammi disposti a pettine e con valori abbastanza diversi tra loro.

Dagli esempi visti non vorremmo far passare l'idea che una buona immagine digitale la si riconosce da picchi bassi agli estremi e valori più alti nei mezzi toni. Questo risultato è apprezzabile (e da ricercare) nelle scene illuminate in modo piuttosto omogeneo, ma poi molto dipende dal soggetto: se la maggior parte dei suoi toni sono scuri (scene "*low key*") è logico aspettarsi istogrammi sbilanciati verso sinistra, altrimenti (scene "*high key*") verso destra.

La maggior parte delle fotocamere hanno esposimetri interni che valutano l'illuminazione del soggetto e "tarano" in base a tale stima la luminosità della foto. Questa operazione tende a spostare i valori più alti verso i mezzi toni, e se generalmente il risultato è accettabile ci sono casi (vedi scene *low* ed *high key*) in cui andrebbero corretti manualmente. La consultazione degli istogrammi in queste situazioni è dunque cosa buona e giusta per ottenere gli effetti voluti.

Gamma

La **gamma** di un monitor (a tubi catodici o LCD che sia) rappresenta quel fattore di non linearità che lega input e output dell'immagine, dove per input si intende il livello di luminosità dei pixel e per output il valore con cui viene visualizzato su schermo. Più precisamente, la gamma è l'esponente a cui bisogna elevare il valore di ingresso per ottenere quello d'uscita. In formula:

$$\text{output} = \text{input}^{\text{gamma}}$$

Il valore di gamma standard è 2.2, adottato da *PAL* e *NTSC* (due codifiche di trasmissione video), e corrisponde più o meno all'inverso della risposta umana. Il sistema operativo Windows tara il monitor via software su questo valore, mentre ad esempio Macintosh lo fissa a 1.8.

Per avere un'idea, se prendiamo un'immagine scattata da una fotocamera che applica una correzione di gamma a 2,2 e provassimo a visualizzarla su un monitor con risposta lineare (gamma 1), ciò che vedremo sarebbe una foto troppo luminosa e con poca profondità. Ribaltando il punto di vista, considerando cioè non più il momento della visualizzazione ma quello dell'acquisizione, se scattiamo una foto con gamma pari a 1 ed un colore standard, sui nostri monitor la prima apparirà più scura della seconda.

Gamma dinamica

Per **gamma dinamica** di un sensore si intende il rapporto tra il segnale più grande e quello più piccolo che può registrare. Il valore massimo è direttamente proporzionale alla capacità del pixel, mentre quello più basso, essendo generato nella situazione di assenza di esposizione, può essere considerato il livello del rumore. Sulla base delle considerazioni fatte nel capitolo precedente sulla gamma, prima di andare avanti sottolineiamo un concetto: il soggetto di una foto ha una propria gamma dinamica,

la fotocamera ne ha un'altra, lo schermo un'altra ancora e - ovviamente - anche l'occhio ne ha una sua. Sono tutte uguali? Ovviamente no.

Le macchine fotografiche con un'ampia gamma dinamica, ad esempio le reflex, sono in grado di catturare maggiori dettagli sia nelle zone in ombra che in quelle più luminose. Tale caratteristica è strettamente collegata alle maggiori dimensioni dei loro pixel, per i motivi che abbiamo visto nel primo capitolo della prima parte.

Riprendiamo ora gli esempi visti nel paragrafo sugli istogrammi e commentiamoli considerando la loro gamma dinamica:

- nel primo caso la gamma dinamica della fotocamera è riuscita a catturare quella della scena, ed infatti dall'istogramma notiamo come sia i dettagli in ombra che in luce intensa siano garantiti
- nel secondo e terzo caso abbiamo una gamma dinamica della fotocamera limitata, la prima per problemi di sottoesposizione, la seconda per sovraesposizione
- nel quarto caso la gamma dinamica della fotocamera è inferiore a quella della scena, ed infatti perdiamo dettagli sia nelle zone scure che in quelle chiare
- nel quinto caso la gamma dinamica della fotocamera è superiore a quella della scena

Nelle fotocamere la gamma dinamica viene comunemente misurata in f-stop, quindi in potenze di 2. Ad esempio una gamma dinamica di 14 f-stop significa un contrasto di 16384:1, dove 16384 e 1 rappresentano il numero massimo e minimo di fotoni che possono essere raccolti dai pixel. L'occhio umano può vedere su una gamma di quasi 24 f-stop, motivo per cui si adatta così facilmente alla situazione ambientale e per cui è difficile fare foto piacevoli.

La gamma dinamica *registrabile* dipende anche dalla precisione con cui i fotodiodi traducono in digitale le misurazioni della quantità di luce. Per intenderci, 8 bit di precisione equivalgono a 8 f-stop (256 livelli di luminosità possibili), 12 bit equivalgono a 12 f-stop (la profondità di colore più comune per il formato raw, che arriva a rappresentare ben 4096 livelli diversi). Questi sono solo i valori teorici, che non tengono conto dei limiti posti dal rumore; in realtà il massimo che ci si può aspettare da una fotocamera è una gamma dinamica che va dai 5 ai 9 f-stop.

Perché nel paragrafo precedente abbiamo parlato di gamma dinamica "registrabile"? Perché anche partendo da immagini a 8 bit è possibile visualizzare foto con gamme dinamiche ampissime, applicando *curve tonali* o con la tecnica dell'HDR.

Gamma tonale

La **gamma tonale** corrisponde al numero di toni usati per descrivere la gamma dinamica, dove per tono si intende il livello di saturazione di un colore o della scala di grigi.

Gamma tonale e dinamica, spesso oggetto di confusione, sono strettamente collegate:



La gamma tonale può essere pensata come l'insieme delle molte gradazioni di grigio (compresi il nero puro e il bianco puro) rappresentate nell'immagine finale. L'esposimetro lavora privilegiando i toni medi. Se inquadrare quello che per voi è un muro bianchissimo - o all'opposto un pezzo di carbone nero come la notte - l'esposimetro calcolerà (o cercherà di farlo) una esposizione tale per cui quell'oggetto apparirà di un grigio medio, il cosiddetto "grigio al 18%" (in bianconero, la tonalità di grigio di un qualsiasi oggetto che riflette il 18% della luce che lo colpisce).

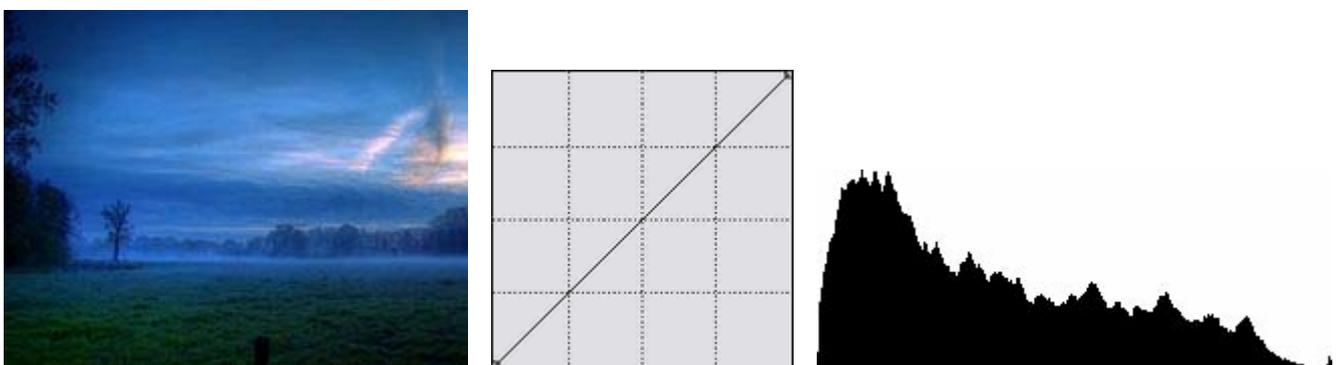
Curve

Abbiamo visto nel capitolo sulla linearità dei sensori che la comprensione e manipolazione delle **curve** è molto importante per l'intervento sui toni e sul contrasto dell'immagine.

Ricordiamo che le curve sono una rappresentazione grafica del rapporto tra la luce in ingresso (asse x) e la risposta in uscita (asse y), e che quella del sensore di una macchina fotografica non è altro che una diagonale a 45° che passa per il centro, motivo per cui si parla di *risposta lineare*.

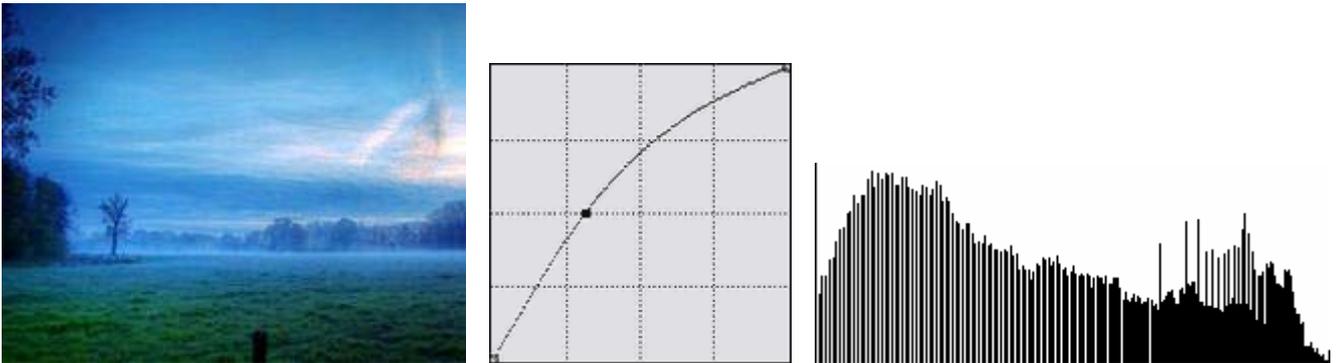
I software delle fotocamere e molti programmi di fotoritocco consentono di modificare l'aspetto delle curve, e noteremo come aumentando o diminuendo la pendenza di quella lineare l'immagine visualizzata cambi – e molto – toni e contrasto.

Facciamo ora una serie di esempi illustrativi. Abbiamo la seguente immagine di partenza, di cui mostriamo anche la curva tonale e l'istogramma:



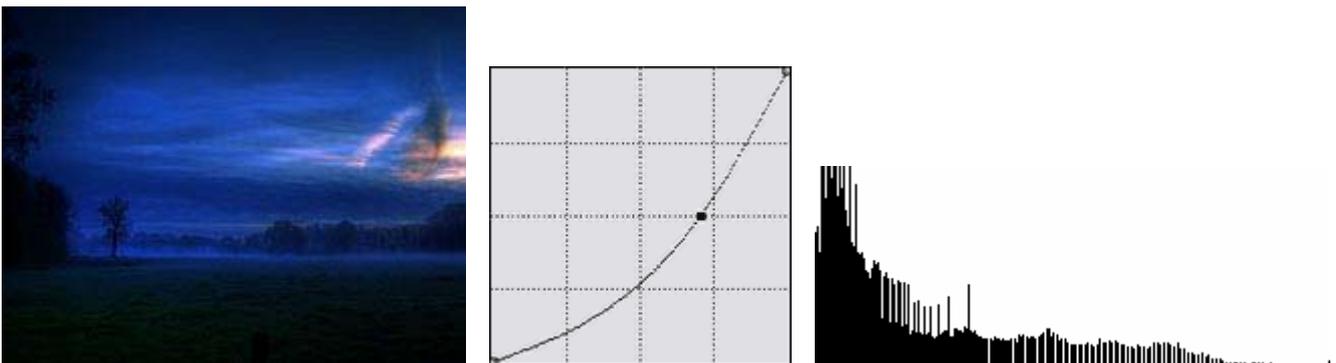
In questo caso abbiamo una perfetta risposta lineare, ovvero i valori di input corrispondono a quelli di output. Anticipiamo che la pendenza della curva è proprio la *gamma*, e che maggiore è il suo valore e più contrastata è l'immagine.

Cominciamo ad intervenire sulla luminosità: spostiamo il punto centrale della curva verso sinistra.



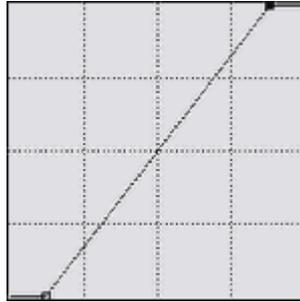
Trascinando il punto centrale verso sinistra abbiamo rimappato i punti della curva in modo che la maggior parte di essi si trovino nella metà superiore dell'output, con la conseguenza che l'immagine appare più chiara.

Adesso invece spostiamo il punto centrale della curva verso destra.



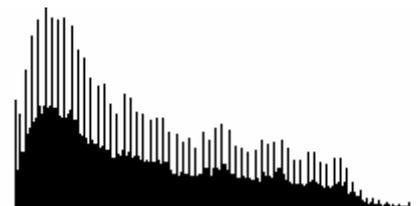
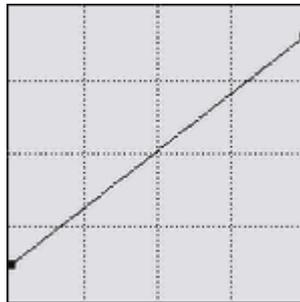
L'immagine in questo caso è diventata più scura perché il rimappaggio dei punti della sua curva ha traslato la maggior parte di essi nella metà inferiore dell'output, quindi a bassi valori di luminosità.

Interveniamo ora sul contrasto trascinando gli estremi della curva (i punti in alto a destra e in basso a sinistra) muovendoli orizzontalmente verso il centro, come effettuato qui sotto.



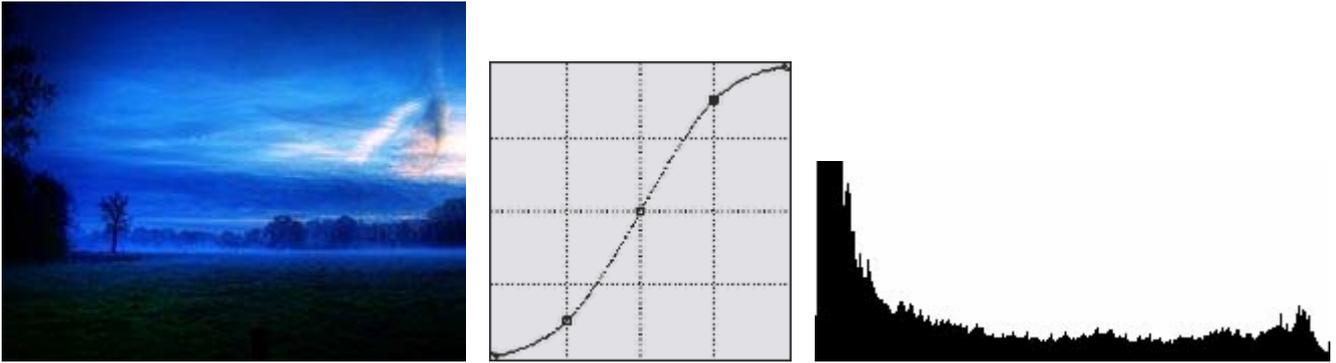
Come già anticipato, aumentando la pendenza della curva aumenta anche il contrasto dell'immagine. Notare dall'istogramma come questo tipo di curva abbia saturato agli estremi, con la conseguente perdita di dettagli nelle zone in ombra e in quelle più luminose.

Intuitivamente, per diminuire il contrasto dovremo spostare gli estremi della curva verticalmente verso il centro.



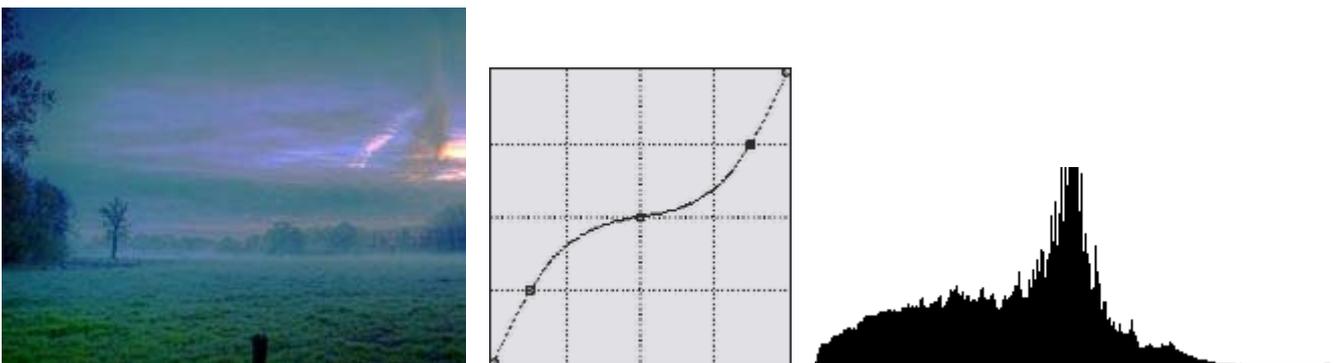
Notiamo come la pendenza della curva sia diminuita, e come di conseguenza anche la gamma dinamica si sia ridotta: i neri non sono più così neri e i bianchi non sono più così bianchi, si tende ovunque al grigio.

Come fare per intervenire sul contrasto senza perdere dettagli? La soluzione è tener conto anche dei mezzi toni. Per farlo fissiamo alcuni valori di riferimento sull'asse x: 64, 128, 192. Aumentiamo ora la pendenza della curva iniziale (quella lineare), spostando le coordinate a questi nuovi valori: (64,32) – (128,128) – (192,223). Ecco il risultato:



Cosa è successo? E' aumentato il contrasto dell'immagine, ed infatti nell'istogramma i picchi si sono spostati verso gli estremi (zone in ombra e quelle brillanti) appiattendosi nella parte centrale, ma senza eccessiva saturazione. La curva ottenuta è chiamata **S-curva**, ed aumenta il dettaglio dei mezzitoni riducendo il contrasto nelle zone più chiare e più scure, rendendo la percezione dell'immagine più vicina a quella dell'occhio umano.

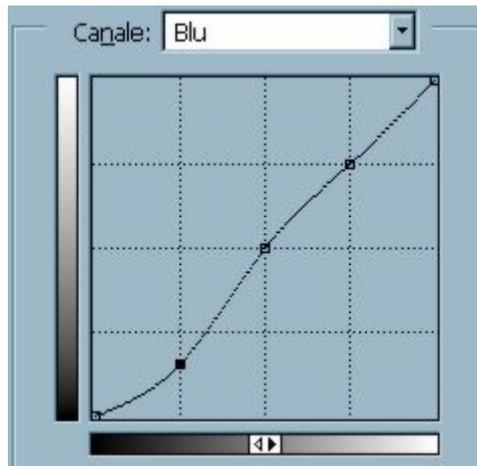
Cambiamo ancora le coordinate della curva in: (32,64) – (128,128) – (223,192).



L'effetto stavolta è di una diminuzione del contrasto dell'immagine, con conseguente appiattimento dei valori agli estremi dell'istogramma e picchi maggiori nei mezzitoni. La curva ottenuta è chiamata **S-curva invertita**, ed aumenta i dettagli delle zone in luce e in ombra.

Dagli esempi visti possiamo trarre almeno altre due conclusioni. Anzitutto va detto che le curve (a meno che non abbiano pendenza negativa) garantiscono sempre la *gerarchia tonale*: se tra due toni ce n'è uno più luminoso, questo rimarrà tale anche dopo la manipolazione della curva (seppur con minore o maggiore differenza).

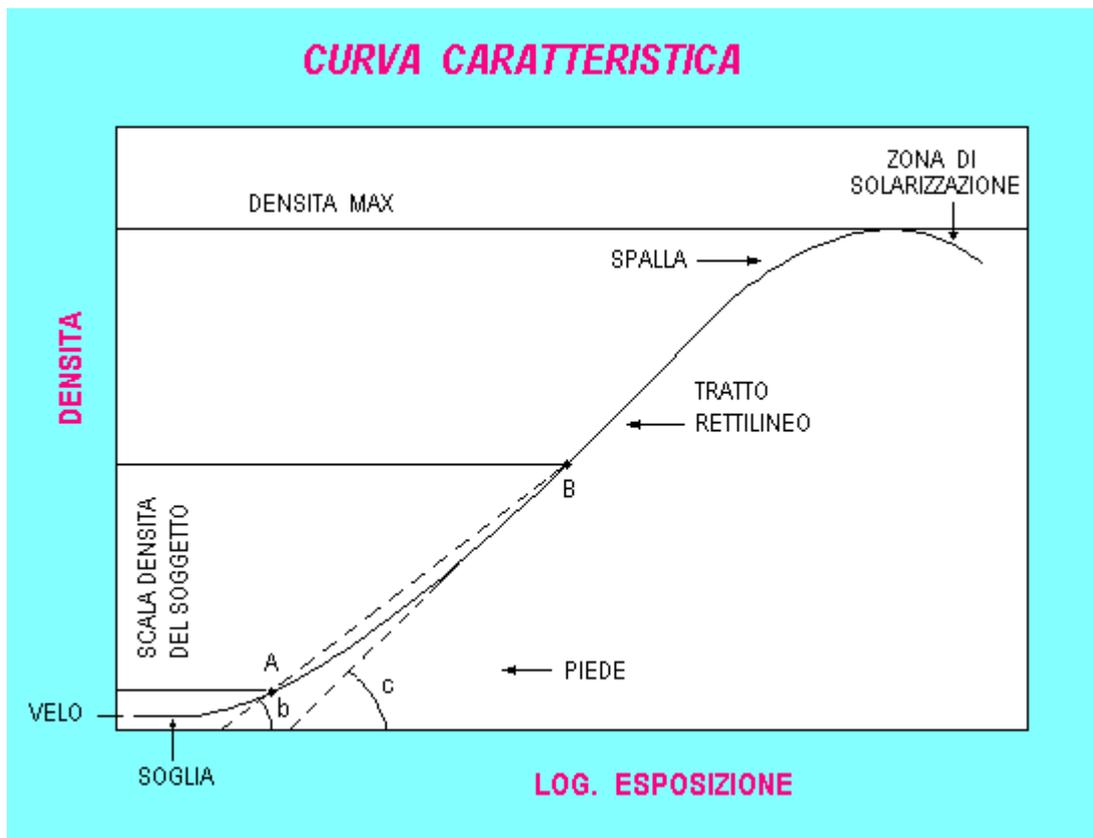
Notiamo poi che la pendenza della curva non influisce solo sul contrasto, ma anche sulla saturazione del colore; una S-Curve ha colori più saturi di una S-Curve invertita. Come possiamo sfruttare questa caratteristica? E' presto detto. Finora abbiamo lavorato sia sugli istogrammi che sulle curve tonali considerando tutti e tre i colori RGB insieme, ma gli stessi strumenti possono essere applicati ad un singolo canale per volta. Mettiamo allora che ho una foto con le zone più scure bluastre: se vado a diminuire la pendenza della curva del blu nella zona dei toni scuri posso risolvere (o comunque attenuare) il problema.



Intervento sulla curva del blu

CURVA CARATTERISTICA

La curva caratteristica sotto riportata è stata elaborata dagli studi di Hurter e Driffeld, per cui la curva è anche chiamata H&D. Essa è semplicemente un diagramma che presenta gli effetti di ogni grado di esposizione (ascisse) su un determinato materiale sensibile alla luce, come aumento di densità (ordinate), sono rappresentati ogni valore di esposizione, dalla sottoesposizione completa fino alla completa sovraesposizione.



Curva caratteristica H&D