

## **Elaborazione di immagini digitali**



**nel fenomeno di interferenze aliene**

**Gaetano Borgosano**



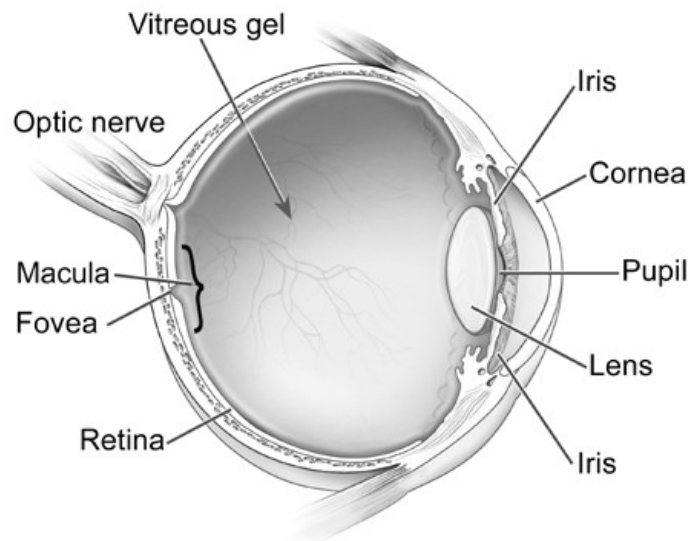
**Creative Commons License**

**[www.leggeuniversale.tk](http://www.leggeuniversale.tk)**

La computer grafica e le elaborazioni delle immagini digitali è uno dei settori più affascinanti dell'informatica, che ha influenzato pesantemente la nostra società. Ereditando tutta l'esperienza della fotografia su pellicola ed evolvendosi esponenzialmente grazie all'utilizzo in massa di sensori opto-elettronici quali CCD e sensori CMOS, la computer grafica si è guadagnata una presenza costante nella vita quotidiana dell'uomo. Tutto sembra avere occhi digitali.... videocamere, fotocamere, telefonini, webcam sparse per le strade, satelliti che ci guardano dall'alto....

Cerchiamo allora di capire quali sono i meccanismi fondamentali della computer grafica e come utilizzare efficacemente l'elaborazione delle immagini digitali per analizzare con rigore scientifico alcune immagini “sospette” che diffusamente vengono scattate dalla massa.

## Capitolo1: 1.1 L'occhio umano



Il **bulbo oculare** (o globo oculare) ha una forma sferoidale, nella quale si riconosce un polo anteriore ed uno posteriore. A livello del polo posteriore si diparte il **nervo ottico** da un'area molto limitata da una fitta corona di altre emergenze nervose, che costituiscono i fasci più esterni di questo nervo. Sezionando il bulbo si può identificare una camera anteriore e una camera posteriore, seguite dal **corpo vitreo** e nel fondo da una serie di membrane, presenti anche ai lati. La camera anteriore è delimitata verso l'esterno dalla **cornea**, caratteristicamente trasparente, mentre posteriormente è limitata dal **cristallino** (**lente biconvessa**) e dalle estroflessioni della **corona ciliare**. La camera posteriore è di dimensioni più piccole, ed è compresa tra l'iride e le formazioni che vincolano il cristallino alla corona ciliare. Posteriormente si trova il corpo vitreo (o **umor vitreo**) del bulbo, che costituisce il più vasto mezzo diottrico del bulbo, senza alcuna importanza in relazione alla convergenza.

Le membrane che avvolgono il bulbo sono (dalla più interna alla più esterna):

- la **retina** o superficie altamente differenziata, che contiene le **cellule** primarie della sensibilità alla luce.
- la **coroide** o uvea, superficie devoluta essenzialmente all'irrigazione vasale del bulbo;
- la **sclera** o **sclerotica**, che compare anche all'esame esterno dell'occhio, di colore biancastro costante su tutta la superficie dell'occhio; è di natura fibrosa.

La retina possiede 2 tipi di sensori. I Coni che servono per la percezione del colore, ed i bastoncelli che servono per la percezione della luce.

I **coni** sono circa **6/7 milioni** e sono concentrati in una zona centrale della retina, la **fovea**.

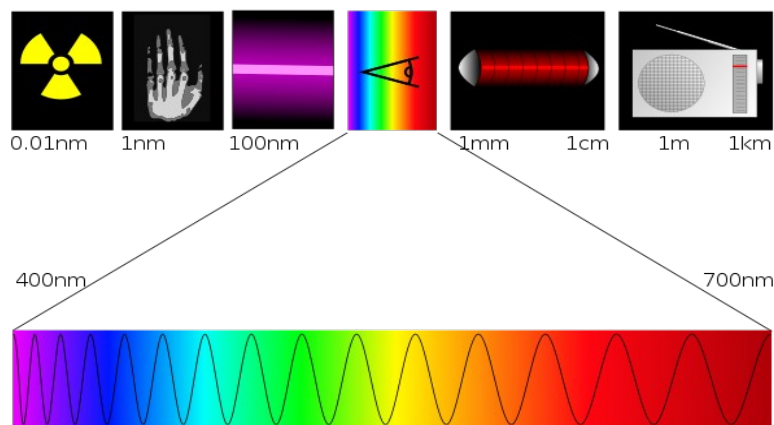
Sono fortemente sensibili al colore ed ogni cono è collegato ad un nervo ottico. I coni sono responsabili della vista **FOTOTICA** o della luce chiara.

I **bastoncelli** sono circa **75/150 milioni** e sono distribuiti su tutta la retina. Sono poco sensibili al colore ed sono collegati a gruppi ad un nervo ottico. I bastoncelli sono responsabili della vista **SCOTOPICA** o della luce scura. La fovea è una regione di 1,5 mm x 1,5 mm ed ha una popolazione di coni di circa 150.000 elementi per mm quadrato. Il numero di coni nella fovea è di circa 337.000 elementi;

Le cellule dei coni e dei bastoncelli contengono speciali **pigmenti** che si decompongono appena vengono raggiunti dai raggi di luce, poi si riformano immediatamente per essere pronti per una

nuova reazione, è un'operazione rapidissima, che dura una frazione di secondo, ma durante quel breve periodo quella singola cellula non è più in grado di trasmettere alcun segnale. Noi, però, abbiamo l'impressione di vedere senza interruzioni. Questo è possibile perché l'immagine sulla retina non si cancella subito, ma rimane impressa 1/10 di secondo. Ciò ci consente di «legare» varie immagini e percepirle in modo continuo. Questo è il meccanismo che ci permette di vedere un film al cinema senza accorgerci che stiamo vedendo una serie di fotografie in rapida successione.

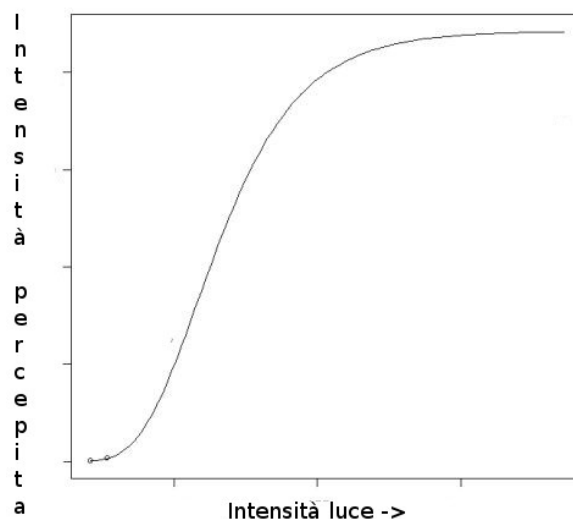
I coni ed i bastoncelli rappresentano dei sensori biologici di luce come sensori che rivelano determinate lunghezze d'onda della luce stessa e, in quanto sensori non possono percepire l'intero range della radiazione elettromagnetica ma solo una piccola porzione dello spettro elettromagnetico identificato appunto come “luce visibile” caratterizzata da una lunghezza d'onda che va dai 400nm ai 700 nm.



### Intensità percepita

Poiché le immagini digitali sono rappresentate da un numero finito di intensità, è importante conoscere come l'occhio umano riesca a discriminare tra i diversi livelli di intensità.

Si è sperimentalmente dimostrato che l'intensità percepita dall'occhio si può descrivere matematicamente tramite una funzione logaritmica dell'intensità incidente nell'occhio.



Il sistema visivo umano non opera contemporaneamente su tutto il range delle intensità percepite, ma solo su una porzione di esso. Inoltre riesce a distinguere in maniera differente se si trova in una

zona chiara o in una zona scura, campionando dunque il suo range (**range dinamico**).

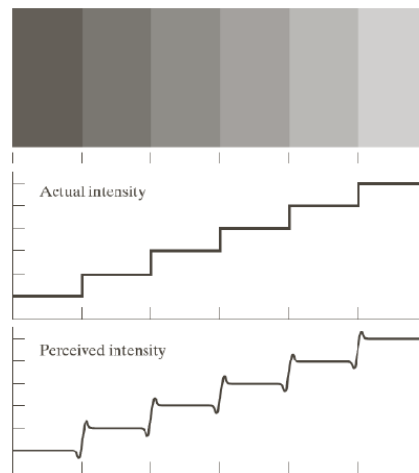
Un effetto di ciò provoca illusioni ottiche, tra cui il **contrasto simultaneo**.

Anche se le intensità nei quadratini centrali sono uguali, esse vengono percepite in maniera differente in base allo sfondo: se lo sfondo è scuro, il centro appare più chiaro e viceversa.



### **Bande di Mach (Ernst Mach, 1865)**

Anche se le bande hanno una intensità costante, esse vengono percepite in maniera non uniforme all'approssimarsi dei bordi. In figura si vedono le bande, la loro intensità e l'intensità percepita.



## **1.2 La luce e i tipi di colore**

L'occhio umano percepisce come colore di un oggetto quella luce che l'oggetto stesso riflette. Se un oggetto riflette tutte le lunghezze d'onda luminosa, allora l'oggetto sarà percepito come bianco. Un oggetto che riflette le lunghezze d'onda da 500 a 570 nm ed assorbe tutto il resto, sarà percepito come di colore verde.

Per descrivere la luce bastano i seguenti valori:

**RADIANZA**: cioè la quantità di luce emessa dalla sorgente luminosa;

**LUMINANZA**: cioè la misura dell'energia percepita dall'utente;

**BRILANTEZZA**: è un valore soggettivo che indica la sensazione di colore.

### **I sensori di colore dell'occhio (i coni)**

Nella retina ci sono tre tipi di coni:

**TIPO S**: Sensibili alle lunghezze d'onda corte (short, colori bluastrici)

**TIPO M**: Sensibili alle lunghezze d'onda medie (middle, colori verdastri)

**TIPO L**: Sensibili alle lunghezze d'onda lunghe (long, colori rossastri)

Tutti i primati hanno questi tre tipi di cellule retinali. I non primati come ad esempio i cani hanno solo due tipi di cellule retinali per i colori mentre gli uccelli ne hanno ben 5 tipi differenti (da cui il detto: hai una vista d'aquila!),

*L'occhio umano risulta possedere in maggioranza più coni di tipo M per cui è più sensibile alle sfumature del verde.* Il verde in pratica viene percepito con meno difficoltà dall'occhio umano e risulta essere un colore “riposante” per la vista.

### Teoria del tristimolo (Young, 1802)

Tutti i colori si possono ottenere “mescolando” tre colori fondamentali in proporzioni differenti.

In realtà questa ipotesi è FALSA se non facendo una riduzione sul numero di colori rappresentabili.

### Standard CIE

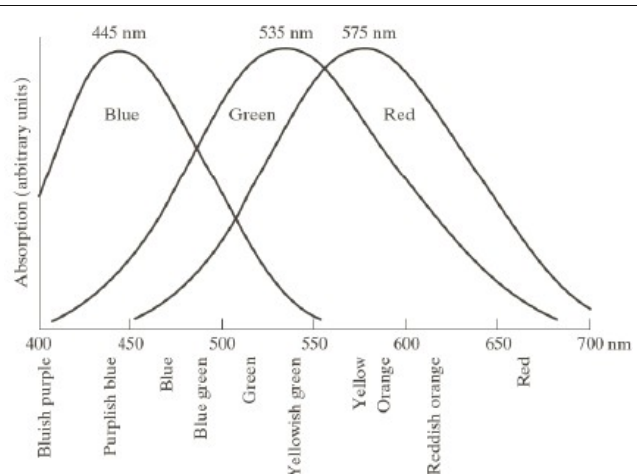
Nel 1931 il CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) ha fissato le lunghezze d'onda standard per i tre colori primari:

**Blue = 435,8 nm**

**Verde = 546,1 nm**

**Rosso = 700 nm**

Anche se nel 1965 i dati sperimentali hanno dimostrato che in realtà il valore reale è lievemente differente.



### I colori primari e i colori secondari

I colori Rosso R, Verde G e Blue B sono detti colori primari. Combinandoli tra di loro NON si ottengono tutti i colori visibili. Combinandoli a due a due si ottengono i colori secondari: **Magenta M, Giallo Y e Ciano C.**

L'uso del termine primario è stato ampiamente frainteso nel senso che i tre colori primari standard, mescolati in varie proporzioni di intensità, venivano considerati capaci di produrre tutti i colori visibili. Come si vedrà a breve, questa interpretazione non è corretta a meno che si permetta anche alla lunghezza d'onda di variare, ma in questo caso non si avrebbero tre colori primari standard fissi.

### Diagramma cromatico CIE

Se x è la quantità di rosso

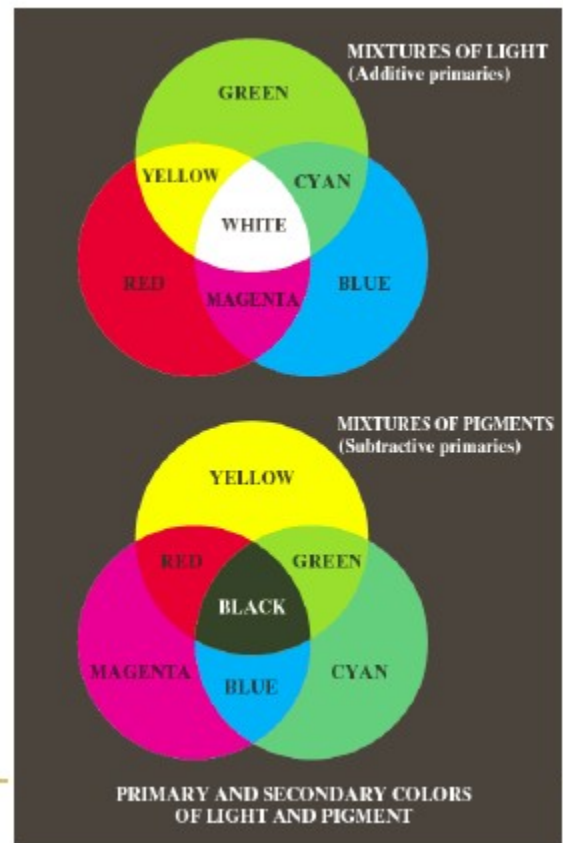
Se y è la quantità di verde

z è la quantità di blu ottenuta come

$$z = 1 - (x + y)$$

La rappresentazione grafica al variare di x e y da origine al diagramma cromatico CIE.

Come si vede dall'immagine affianco si ottengono determinati colori dalla somma e sottrazione dei colori primari. Si distinguono quindi i **colori additivi** nei quali la luce proveniente da sorgenti di colore differente viene fusa insieme per formare nuovi colori. La somma dei 3 colori fondamentali dà il colore bianco (**RGB**). Viceversa nei sistemi passivi si utilizzano i **colori sottrattivi** nei quali la luce viene assorbita selettivamente alle diverse lunghezze d'onda, riflettendone solo alcune che comporranno colori desiderati. Nella stampa ad esempio, gli inchiostri, tipicamente i secondari (**CMY**), assorbono selettivamente una certa gamma di lunghezze d'onda della luce. L'occhio allora percepisce la luce riflessa che non viene assorbita, da qui il termine “sottrattivi”. Quando sono presenti tutti i colori la luce (in linea di principio) viene completamente assorbita in tutte le sue lunghezze d'onda ed appare nera. Tuttavia la riproduzione su carta del colore nero ottenuta per presenza di tutti e tre i colori CMY è dispendiosa e si preferisce utilizzare un quarto inchiostro, il nero K, (CMYK dove K sta per black).



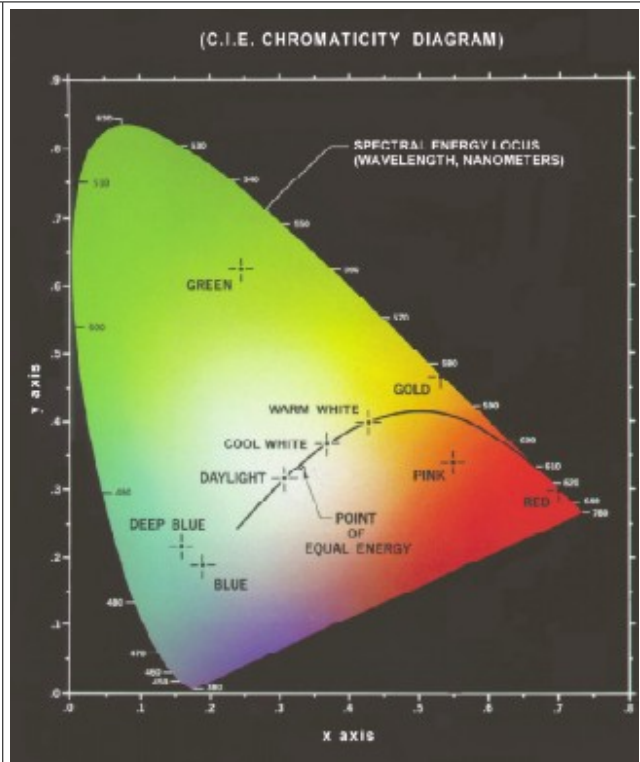


### Diagramma cromatico CIE

In tale diagramma tutti i colori delle lunghezze d'onda visibili sono disposti lungo i bordi. Il punto di uguale energia è il bianco. Qualsiasi colore lungo il bordo non ha bianco, quindi è puro.

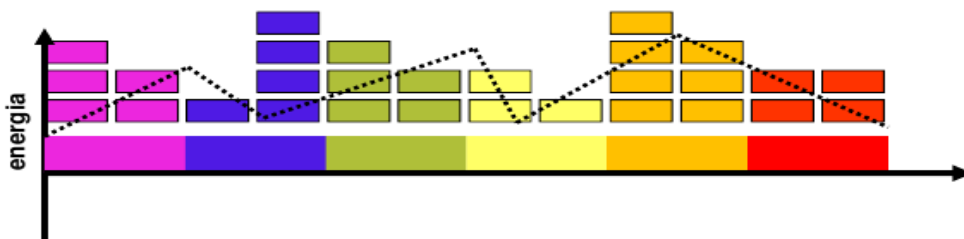
Unendo due colori con una linea, tutti i colori nella linea sono quelli ottenibili mischiando i due colori. Unendo un colore con il bianco si ottengono tutti le tonalità di quel colore.

Unendo R G e B si ottiene un triangolo che contiene tutti i colori che si possono produrre. Da notare che il triangolo non copre tutta l'area, quindi non tutti i colori si ottengono unendo R G e B.



## 2.2 Gli spazi di colore

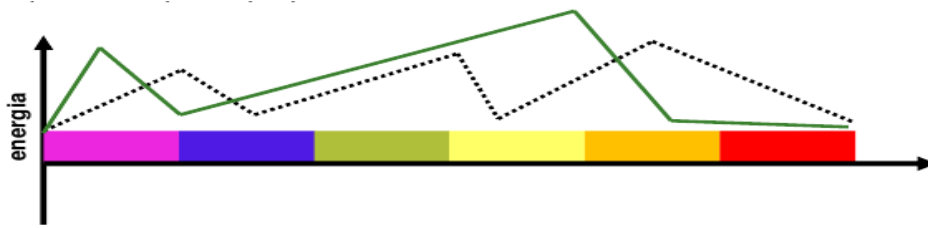
In natura i colori puri sono rari. Se misurassimo con uno spettroscopio il colore di un oggetto, ovvero la luce da esso riflessa noteremo che l'oggetto riflette un certo andamento di tutto lo spettro della luce visibile. Ogni lunghezza d'onda trasporta differenti quantità di energia. La energia totale della radiazione è la somma di tutti i contributi di energia dalle diverse lunghezze d'onda che compongono la luce visibile. Lo "spettro" di un illuminante è il diagramma dei contributi di energia che esso apporta per ciascuna differente lunghezza d'onda.



Per colori percepiti allora dobbiamo intendere miscele di radiazione luminosa in ogni lunghezza d'onda della luce. Poiché, come già detto, l'occhio umano, per avere un insieme finito di sensori di luce, discretizza lo spettro della luce, allora spettri differenti producono sensazioni cromatiche eguali; per cui possiamo percepire anche due colori come uguali anche se in realtà caratterizzati da due differenti spettri di luce. Tali spettri di luce sono noti come **metameri**.

Questa caratteristica permette di mantenere una percezione costante del colore di una superficie anche se cambia la luce che la illumina, e quindi anche se cambia lo spettro di luce.

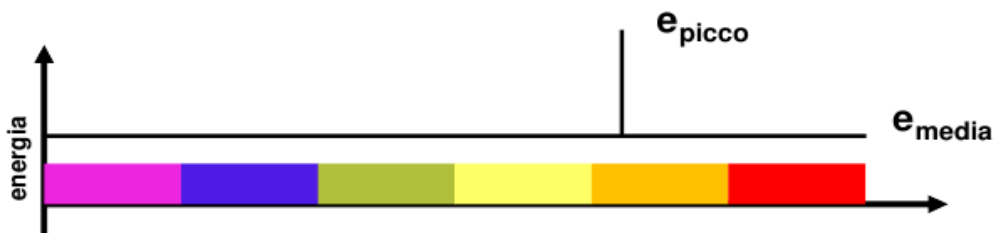




Lo spettro tratteggiato e quello continuo producono (nel cervello) il medesimo colore.  
Un modello che caratterizza lo spettro di un metamero è il modello del pittore.

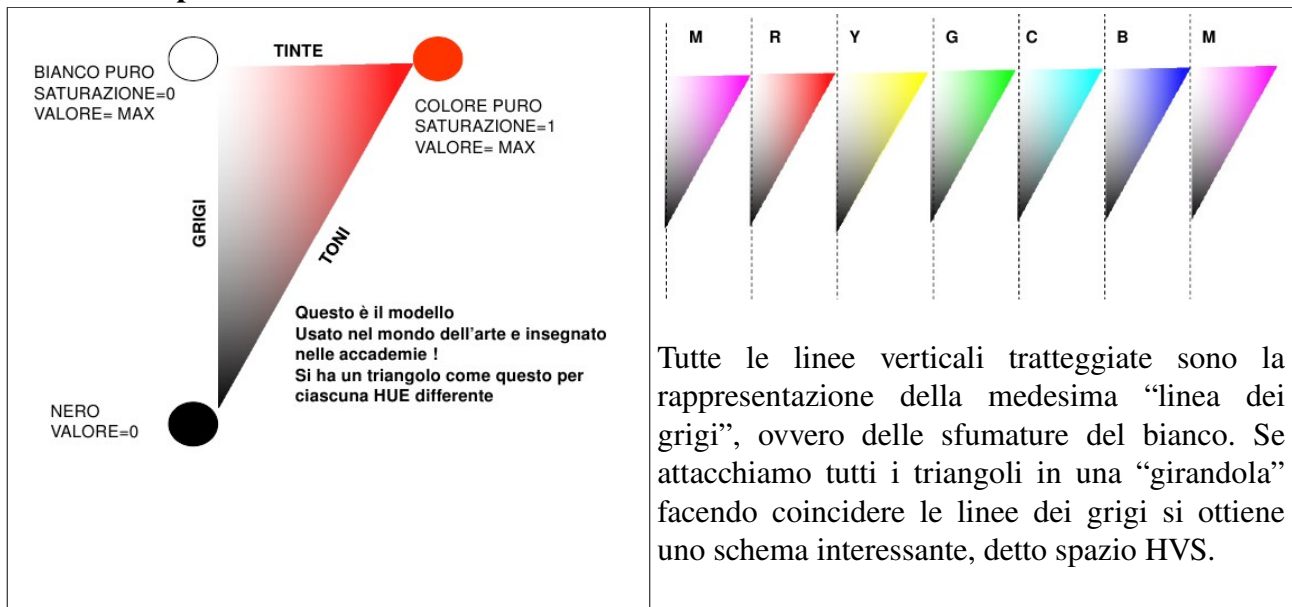
### Modello del pittore:

Ogni spettro ha un metamero della seguente forma:



La lunghezza d'onda in cui si ha il picco massimo è responsabile del “colore percepito” (detto anche in inglese **HUE**). Il rapporto  $(e_{\text{picco}} - e_{\text{media}}) / (e_{\text{picco}} + e_{\text{media}})$  è la **SATURAZIONE**, cioè quanto il colore è puro. Meno luce bianca equivale ad un maggiore valore del rapporto.  $e_{\text{media}}$  è proporzionale al contenuto energetico della radiazione: essa può essere considerata una misura della “**luminosità**” di una radiazione (detto anche **VALORE**).  
Esso da un contributo “bianco” al colore percepito.

### Modello del pittore: schema di Munsell

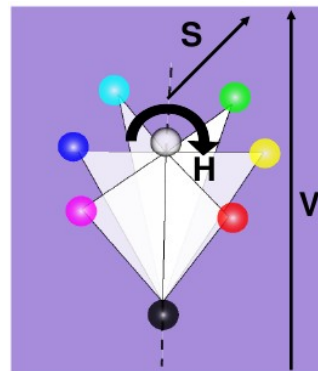


## Lo spazio HVS (o HVI)

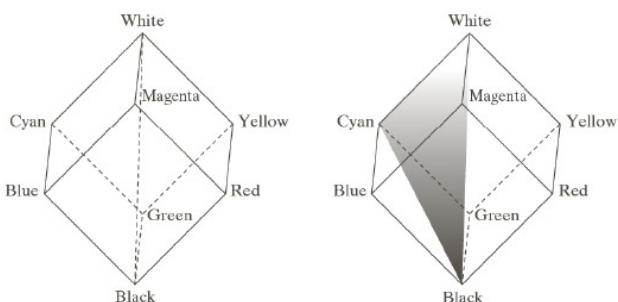
**H = hue (colore);** copre tutti i colori ordinati in sequenza

**S = saturazione;** da un minimo (centro) pari al bianco puro ad un massimo (periferia) colore puro.

**V = valore o luminosità;** da un minimo (nessuna energia emessa) ad un massimo.



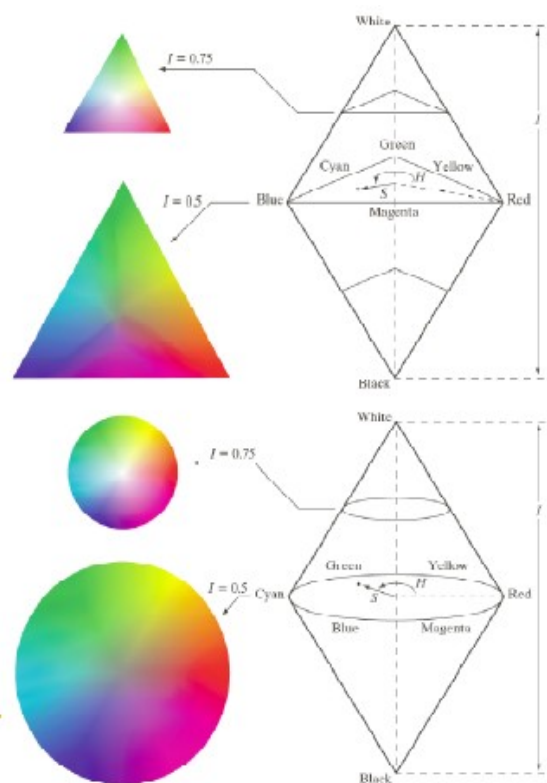
## Relazioni tra RGB e HVS



Si considera uno spazio tridimensionale con le 3 componenti RGB come coordinate indipendenti. Le tonalità di grigio, dal nero al bianco si trovano nella diagonale del cubo.

**PRO:** - Intuitivo; - la rappresentazione è significativa: i parametri HSV hanno una perfetta interpretazione nelle nostre percezioni dell'occhio.

**CONTRO:** - Modello non lineare; - La struttura di piramide esagonale non ci permette di distinguere quanti sono i “colori base”.



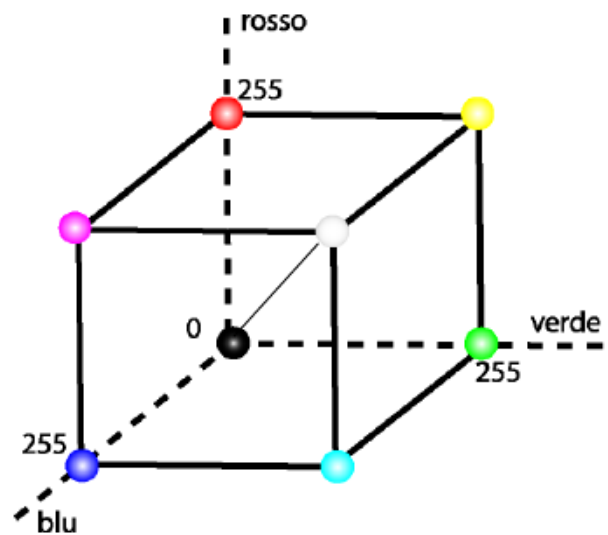
## Modello additivo: RGB

Nel modello RGB ciascun colore è ottenuto mischiando i tre colori fondamentali secondo la teoria del tristimolo. Se ogni componente di colore è intesa come una coordinata cartesiana, allora il modello RGB può essere graficamente descritto da un cubo.

I contributi del RED, GREEN e BLUE sono assunti indipendenti l'uno dall'altro (e quindi rappresentanti da direzioni perpendicolari tra loro). Ogni colore è un punto contenuto dentro il cubo. La retta che congiunge nero e bianco è la retta dei grigi. In un dispositivo a colori additivi, come un display CRT, la luce è prodotta da tre

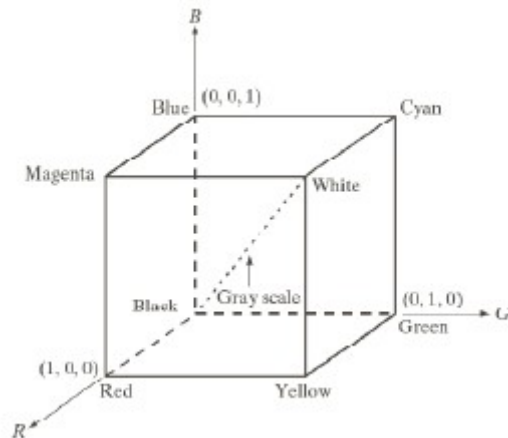


fosfori primari, rosso, verde, e blu (RGB). Questi fosfori vengono eccitati separatamente formando un fascio di elettroni. La luce emessa dai tre fosfori stimola nell'occhio i tre tipi di recettori per produrre la percezione dei colori. PRO: semplice da usare e implementare in software e hardware. De facto è uno STANDARD. CONTRO: percettivamente poco comodo: difficile capire guardando un colore in natura in quale proporzione vi contribuiscano l'R, il G e il B. CUBO RGB e piramide HSV si trasformano l'un l'altro mediante semplici algoritmi (non lineari).



### Modello sottrattivo CMY

Il modello complementare a RGB è CMY, Ciano, Magenta e Giallo. Quando non c'è inchiostro nella carta la luce riflessa è bianca; quando sono presenti tutti e tre i colori, la luce viene (in linea di principio) assorbita e la carta appare nera. In pratica, l'assorbimento completo è difficile da ottenere quindi si utilizza un quarto inchiostro, il nero (CMYK, dove K sta per black).



### Conclusioni:

Le rappresentazioni dei colori nello spazio RGB (o CMY il duale) non sempre sono le più convenienti.

Sono disponibili altre rappresentazioni che usano componenti che sono specificatamente relazionate al criterio usato per descrivere la luminanza, la tinta e la saturazione (HSV).

**LA TINTA** descrive che colore è presente (rosso, verde, giallo, ecc.) e può essere correlato alla lunghezza d'onda dominante della sorgente di luce.

**LA SATURAZIONE** invece, esprime quanto è vivo il colore (molto forte, pastello, vicino al bianco) e può essere correlato alla purezza o alla distribuzione dello spettro della sorgente.

**LA LUMINANZA** è la grandezza che tende a valutare la sensazione luminosa ricevuta dall'occhio, è legata quindi all'intensità della luce (quanto il colore è bianco, grigio o nero) e può essere correlata alla luminosità della sorgente.

Gli spazi di colore nei quali una componente è la luminosità e le altre due componenti sono legate alla tinta e alla saturazione, vengono chiamate rappresentazioni **luminanza- cromaticanza**.

Per la rappresentazione in luminanza-cromaticanza si utilizza lo spazio di colore YUV e sui derivati.

## Lo spazio YUV

La **luminanza** in un sistema additivo è ottenuta mediante una combinazione lineare della intensità luminosa dei canali rosso, verde e blu. Un'approssimazione abbastanza fedele della luminanza Y si ottiene attraverso la somma pesata:

$$Y = 0.3R + 0.6G + 0.1B$$

Se per semplicità i valori di R, G e B sono del range [0,1] anche Y è espresso attraverso una scala relativa tra 0 e 1, e i pesi riflettono i singoli contributi alla luminosità totale.

Il termine **crominanza** è definito come la differenza tra il colore e un bianco di riferimento alla stessa luminanza. I valori della crominanza possono pertanto essere espresse da un insieme di differenze di colore, e, definiti come segue:

$$U = B - Y$$

$$V = R - Y$$

$$U \in [-229.5, 229.5]$$

$$V \in [-178.5, 178.5]$$

Queste differenze di colore valgono 0 quando R=G=B. Questa condizione produce il grigio che non ha crominanza. La componente V controlla i colori dal rosso al blu-verde. Mentre la componente U controlla i colori dal blu al giallo.

## Lo spazio YCbCr

Lo spazio YCbCr è fortemente legato allo spazio YUV. Esso utilizza la stessa coordinata del sistema YUV, mentre le coordinate U e V vengono scalate e shiftate producendo due variabili, Cb e Cr rispettivamente. In particolare le equazioni per e sono:

$$C_b = \frac{U}{2} + 114,75$$

$$C_r = \frac{V}{1.6} + 111,57$$

Con questa trasformazione i valori della crominanza stanno sempre nell'intervallo da **0 a 255**. Questo sistema di coordinate viene largamente utilizzato dagli standard di compressione (Es. JPEG). Y rappresenta la luminanza mentre Cb e Cr rappresentano la crominanza del blue e del rosso.

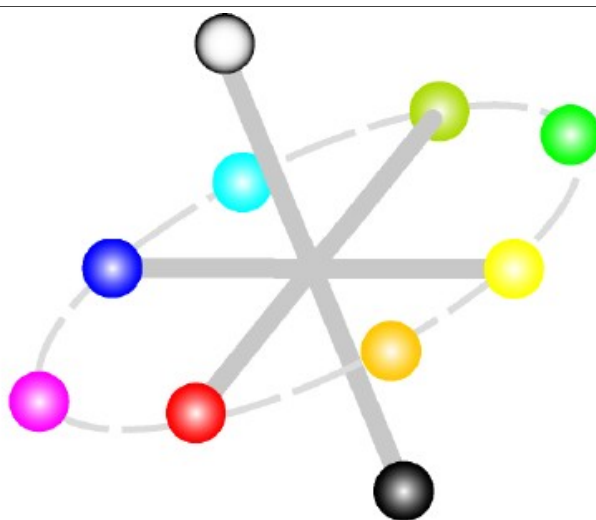
## minima differenza percettiva

Se si variano i parametri (RGB oppure HSV) di pochissimo il colore percepito resta eguale all'occhio di un umano. “**minima differenza percettiva**” = valore max entro il quale contenere le variazioni dei parametri per non variare percettivamente il colore. In RGB e HSV non esiste una unica “minima differenza percettiva” sull'intero spazio (colori più saturi sono più sensibili alle variazioni dei parametri di quelli meno saturi). I modelli **RGB e HSV NON SONO percettivamente uniformi**. I modelli **luminanza-crominanza SONO percettivamente uniformi**.

### Color Opponency

Due coppie di colori sono “opposte” (ovvero danno massimo contrasto): BLU-GIALLO VERDE-ROSSO

Usare sfondo blu e scritte gialle per il massimo contrasto tra colori (nero su bianco darà comunque maggiore contrasto!). Se si vuole “estrarre” una regione da una immagine tratta dalla natura basandosi sul suo colore, guardare ai valori RGB porta a risultati poco soddisfacenti. Se si guardano i valori nello spazio Color Opponency invece si ha una migliore “estrazione”.



## Capitolo 2 : Acquisizione delle immagini

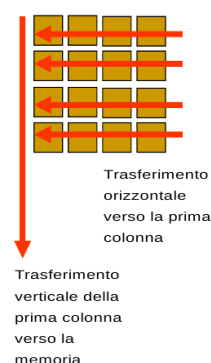
Quando la luce colpisce un oggetto, una parte dello spettro della luce visibile viene assorbito maggiormente ed una parte viene riflesso (ovvero viene riflesso maggiormente un gruppo di lunghezze d'onda della luce dello spettro). La luce riflessa ci fa percepire il colore dell'oggetto. Per creare una immagine digitale, è essenziale che tale luce riflessa sia catturata da un sensore ed elaborata. Nelle macchine fotografiche digitali, i sensori sono disposti su una matrice. I più diffusi sensori di questo tipo sono i CCD.

### CCD: Charged Coupled Device

Si tratta di dispositivi elettronici che se colpiti da fotoni assumono una carica positiva. Le celle del CCD non possono caricarsi oltre un certo limite (*fenomeno di sovra-saturazione*).

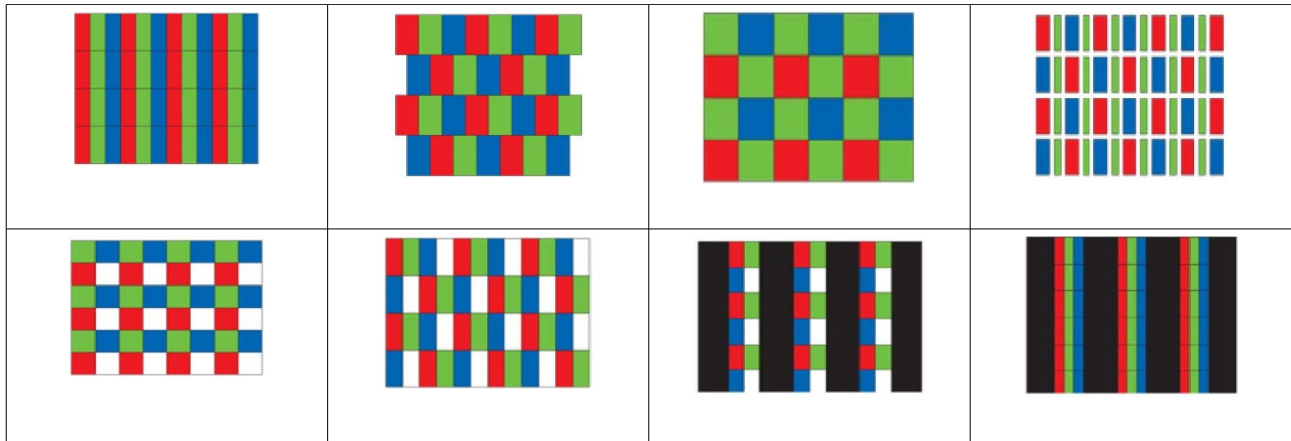
Il numero di celle per area di esposizione è un parametro di qualità della fotocamera misurato in **MEGAPIXEL**.

Dopo che le cariche sono state acquisite da una matrice di celle esse debbono essere trasferite in una memoria digitale. La scansione avviene per fasi, una fase per ciascuna colonna della matrice. Ad ogni fase viene trasferita in memoria la prima colonna della matrice, nello stesso tempo tutti gli elementi (dalla seconda colonna in poi) vengono trasferiti dalla propria colonna a quella precedente.



Poiché ogni cella memorizzerà solo un colore per volta e non una terna, occorre scegliere qual' è il modello di memorizzazione ottimale. I due colori mancanti per completare la terna, saranno ottenuti per **interpolazione** dai pixel vicini. Il grado di accuratezza del risultato dipende da quanto è sofisticato il metodo di interpolazione.

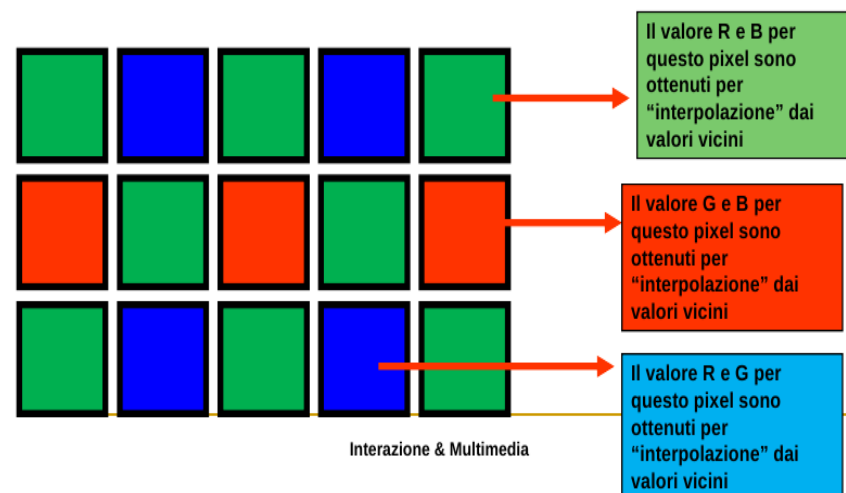
Alcuni modelli di memorizzazione:



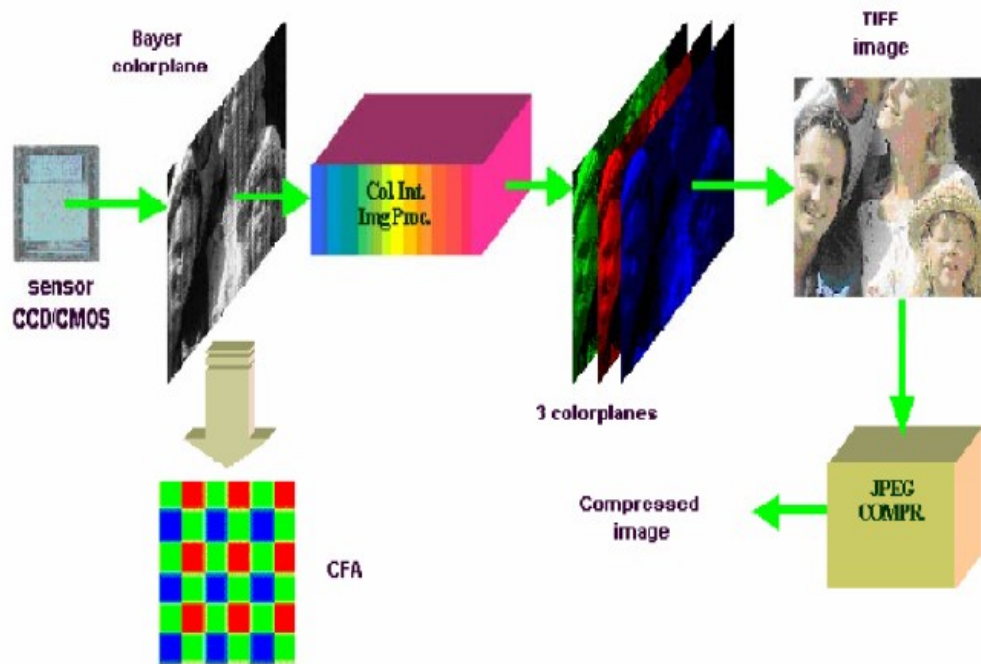
## Il Bayer Pattern

Lo schema più utilizzato è il BAYER PATTERN. È stato proposto nel 1970 dal Bryce Bayer ed utilizzato dal 1980 in tutti i dispositivi elettronici. Esso presenta un rapporto 1:2:1 per R:G:B, dove i pixel verdi sono disposti sulle “diagonali”. Esso privilegia le misure nel canale verde perché è quello più importante per la percezione umana. Una immagine in Bayer Pattern è conservata nel formato “raw” (da cui la possibilità di salvare le immagini di una fotocamera nel pc direttamente in formato .raw ed in seguito convertire in formato TIFF con un software che interpola i dati).

Se per ogni pixel, si memorizza solo una componente di colore, tutte le altre dovranno essere ottenute per interpolazione dai pixel vicini. In seguito, da una immagine raw, tramite interpolazione si ottengono 3 piani che rappresentano l'immagine punto punto con tre colori distinti, il rosso, il verde ed il blue.



## Schema di acquisizione e memorizzazione di una immagine



## Capitolo 2: 2.1 Funzione immagine

Un'immagine è rappresentata da una funzione bidimensionale  $f(x,y)$  dove  $x$  e  $y$  sono le coordinate spaziali, ed  $f(x,y)$  è proporzionale alla luce incidente nell'oggetto e anche a quella riflessa.

Quindi  $f(x,y) = i(x,y) r(x,y)$  Dove  $i$  è la luce incidente ed  $r$  quella riflessa.

In teoria il valore di  $f(x,y)$  è un numero reale, ma per produrre una immagine digitale abbiamo bisogno di valori discreti. Questo passaggio dal continuo al discreto è fatto mediante le operazioni di campionamento e di quantizzazione. Il piano XY in cui stanno le coordinate dell'immagine è detto DOMINIO SPAZIALE e le variabili  $x,y$  sono dette variabili spaziali o coordinate spaziali.

È importante ricordare che convenzionalmente il primo elemento della matrice è sempre l'elemento in alto a sinistra. L'asse a destra è orientato dall'alto verso il basso; l'asse in alto è orientato da sinistra verso destra. Questo è il quarto quadrante del piano cartesiano, ma le coordinate sono tutte positive.

### Tipi di immagini:

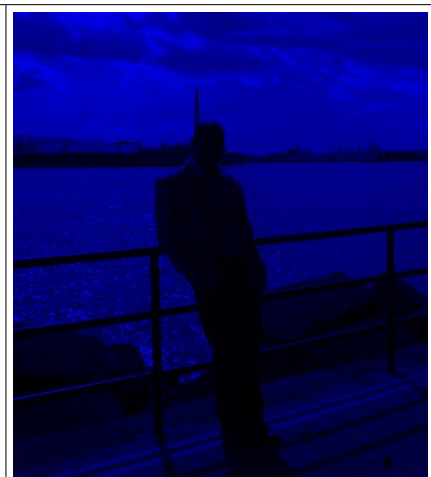
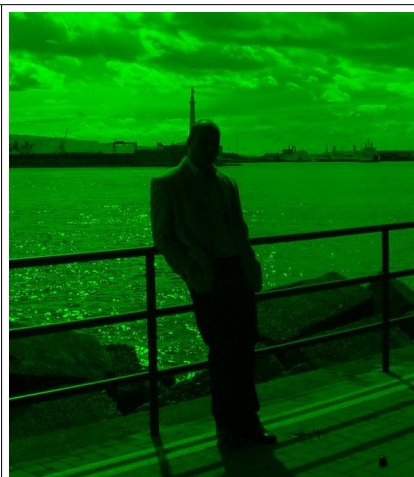
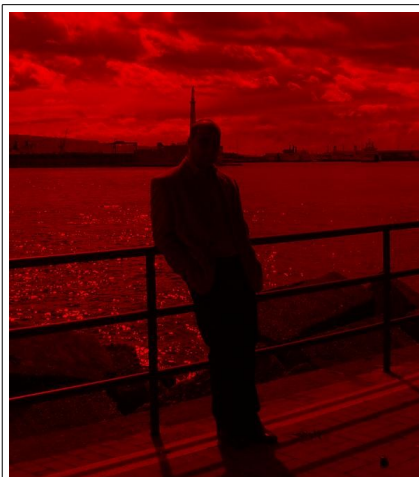
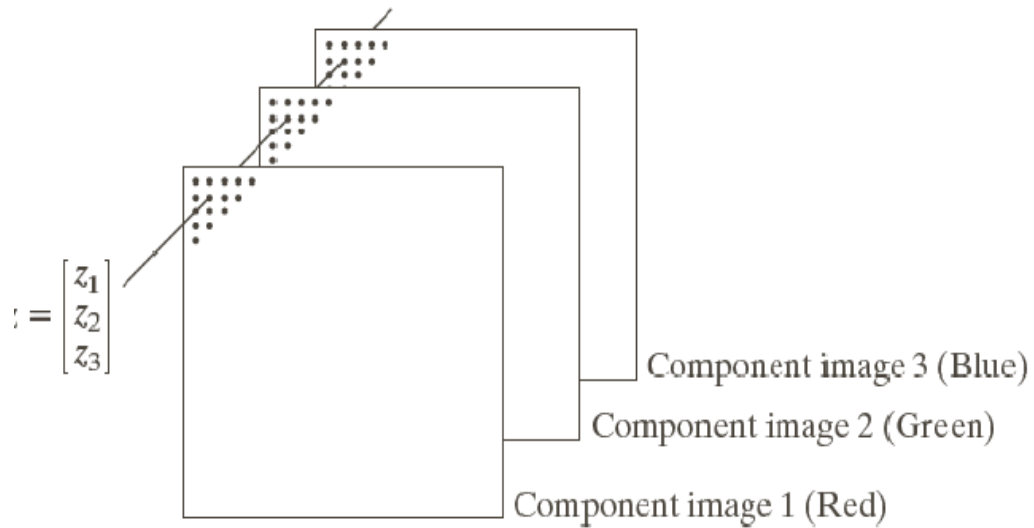
Bianco/nero 1 bit per pixel. Nella posizione  $(i,j)$  ci sarà o il valore 0 o il valore 1.

Toni di grigio 8 bit per pixel. Nella posizione  $(i,j)$  ci sarà un valore compreso tra  $[0, 255]$ .

A colori 8 bit per canale. Poiché i canali sono 3 avrà 24 bit. Nella posizione  $(i,j)$  ci sarà una terna del tipo  $(x, y, z)$  con  $x,y,z$  che assumono valori compresi tra  $[0, 255]$ .



## Immagini RGB



Componendoli si ottiene:



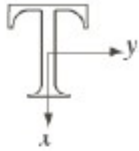


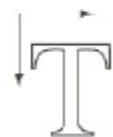


In cui per ogni riferimento puntuale si ha una terna delle intensità dei colori RGB

Una immagine è una matrice. Ogni singolo elemento della matrice è un PIXEL (picture element). Su una immagine possono essere fatte tutte le operazioni che si possono fare sulle matrici con

l'unica accortezza che si utilizza il prodotto puntuale. Per le matrici vale la regola del prodotto riga per colonna, mentre nell'immagine processing si usa fare il prodotto puntuale tra due matrici, cioè il prodotto punto a punto degli elementi corrispondenti.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -3 & 0 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & 0 \\ 3 & -4 \end{bmatrix}$$

### Operazioni comuni

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v \cos \theta - w \sin \theta$ $y = v \sin \theta + w \cos \theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

## 2.2 Campionamento e quantizzazione

L'insieme dei sensori CCD fornisce dei valori di tensione elettrica di tipo continuo in funzione della luce incidente sul sensore e del tempo. Dato un segnale continuo occorre allora scegliere un numero finito di "campioni" che possano rappresentare il segnale. Il valore in ogni singolo punto del segnale è un numero reale e nel tempo si ottiene una sequenza continua di tali valori per cui occorre scegliere dei valori discreti per rappresentare correttamente il segnale.

Un campionamento troppo basso fa perdere dettagli ed informazioni; sebbene grave una tale perdita è spesso una necessità: non possiamo conservare milioni di campioni e ci accontentiamo di perdere informazioni pur di tenere il data base delle misure ottenute in dimensioni maneggevoli.

Inoltre un campionamento troppo basso può far apparire nella immagine dettagli NON PRESENTI nell'originale. Il segnale viene "alterato" e cambiato in qualcosa di "altro". Si creano degli artefatti non presenti nella realtà. Si parla di "**aliasing**".

Per scegliere il giusto valore di campionamento si ricorre ad un teorema fondamentale: il teorema di Shannon. Tale teorema si basa sulla misura della frequenza di Nyquist.

### **Nyquist rate (Harry Nyquist, 1928)**

Si definisce Nyquist rate il doppio della più alta frequenza in un segnale continuo e limitato.

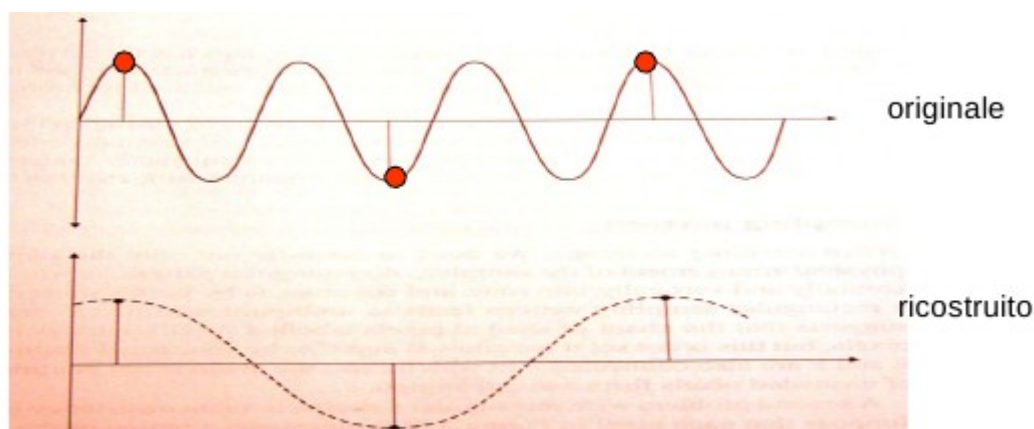
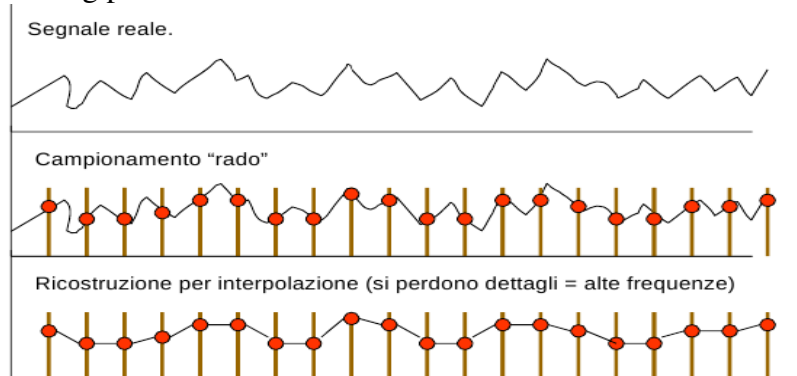
### **Teorema del campionamento di Shannon (Claude E. Shannon, 1949)**

Se si raccolgono campioni con frequenza almeno doppia della frequenza di Nyquist ( $2N$  nel nostro caso) il segnale può essere ricostruito FEDELMENTE in ogni suo punto.

Ma cosa succede se si campiona ad una frequenza inferiore a quella di Nyquist? Si perdono dei dettagli significativi e spesso si introducono nuovi dettagli che non sono presenti nella realtà.

### **Aliasing**

Questo fenomeno è detto frequency aliasing o semplicemente aliasing. Con l'aliasing le alte frequenze sono "mascherate" da basse basse frequenze e trattate come tali nella fase di campionamento. Aliasing proviene da Alias cioè falsa identità!



Come si vede delle alte frequenze vengono camuffate da basse frequenze.

Nella realtà l'aliasing è sempre presente anche se in condizioni minime. Esso viene introdotto quando si impone che il segnale sia limitato per essere campionato. L'aliasing può essere ridotto applicando una funzione di smussamento sul segnale originario prima del campionamento (anti-aliasing).

### 2.3 La quantizzazione

Come abbiamo già detto in precedenza i sensori forniscono dei livelli di segnale rappresentabili da numeri reali. Tuttavia non è né pratico né utile registrare i valori esatti misurati dal sensore ma è utile arrotondarli. Tale processo si chiama QUANTIZZAZIONE.

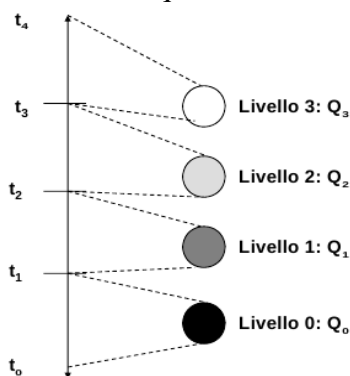
In più le misure sono sempre soggette a ERRORE a causa di difetti nel sensore o di perturbazioni termiche ("rumore"). Nei CCD anche a obiettivo chiuso ci sono correnti parassite che inducono rumore dentro il dispositivo elettronico dette "**dark current**" (ben visibile soprattutto in condizioni di scarsa luminosità dove la corrente inversa è più alta della corrente generata dai sensori).

Se i valori da quantizzare sono numeri reali nel range  $[a, b]$  e si vuole quantizzare su  $n$  livelli:

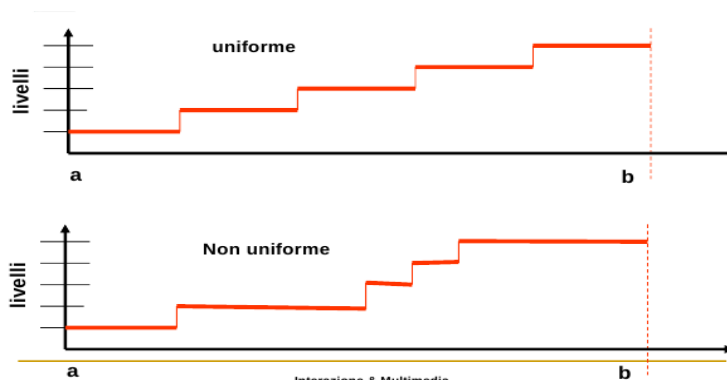
Si fissano  $n+1$  numeri in  $[a, b]$ :

$$t_0=a < t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_{n+1}=b$$

Il numero  $x$  in  $[a,b]$  verrà assegnato al livello di quantizzazione  $k$  se risulta:



### Quantizzazione Uniforme e non uniforme



La quantizzazione effettuata dagli scanner commerciali e dalla fotocamere digitali è non **uniforme** ma **logaritmica** in accordo con quanto visto con l'andamento di percezione della luce tipico dell'occhio umano. Ciò permette di assegnare più livelli nella area dei toni scuri e meno livelli nella area dei toni chiari.



Quantizzazione  
uniforme



Quantizzazione  
logaritmica

Nella quantizzazione logaritmica non riusciamo a distinguere facilmente la fiamma caratterizzata da toni molto chiari. Al contrario riusciamo ad identificare con maggiore facilità dettagli con toni scuri.

### Quantizzazione uniforme:

- range in ingresso  $0 \dots N-1$ ,
- range in uscita  $0 \dots K-1$  con  $K \leq N$ .

Se  $L$  è il livello di ingresso rappresentato da un intero il livello  $L'$  corrispondente dopo la riquantizzazione è:

$$L' = (L * K) / N$$

Esempio: portare  $0 \dots 255$  in  $0 \dots 8$  con ri-quantizzazione uniforme.

Il livello 10 diviene  $(10 * 8) / 256 = 0$

Il livello 20 diviene  $(20 * 8) / 256 = 0$

il livello 30 diviene  $(30 * 8) / 256 = 0$

Il livello 32 diviene  $(32 * 8) / 256 = 1$  eccetera...

**Quantizzazione logaritmica:**  $f(L, N, K)$  del logaritmo in base 2

$$f(L, N, K) = (\log(L) * K) / \log(N)$$

si intende per log la parte intera.

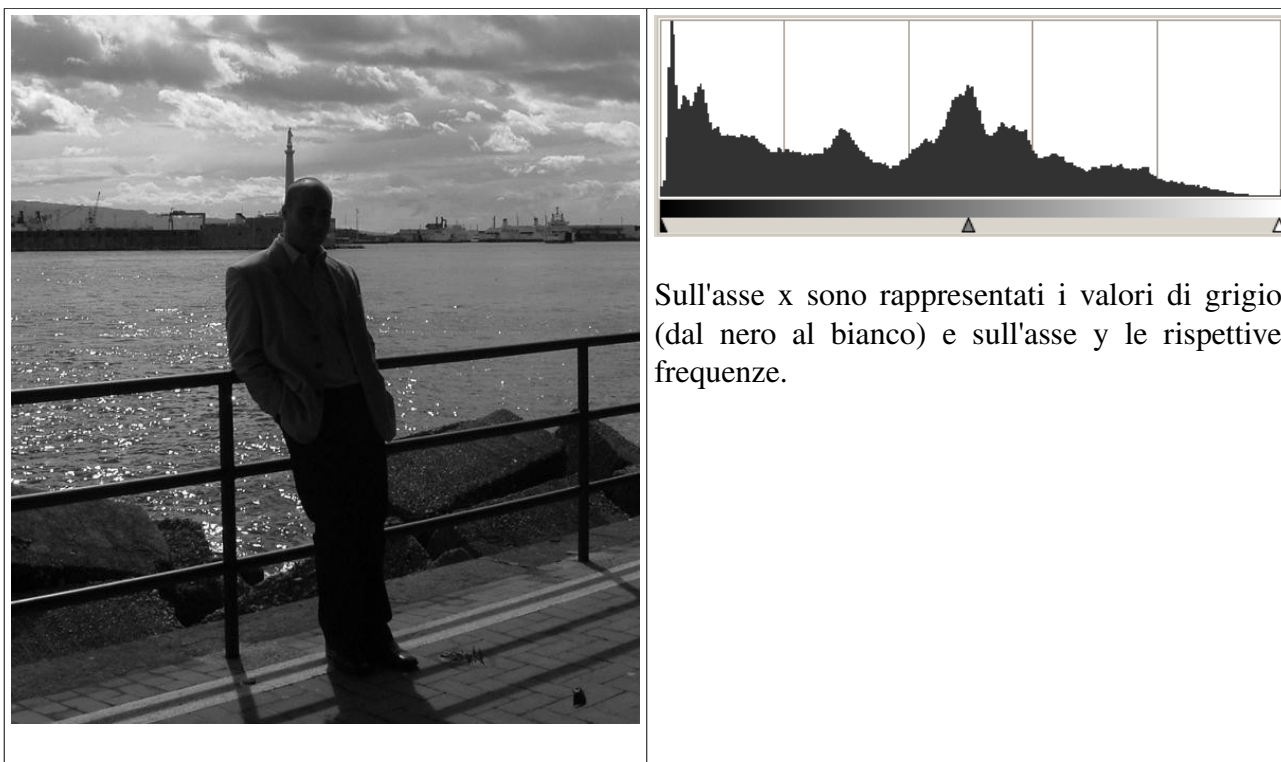
## Capitolo 3: Elaborazioni delle immagini

### 3.1 I dati di una immagine : L'istogramma

I pixel di una immagine sono una “popolazione” sulla quale possiamo calcolare tutte le quantità statistiche descrittive che si usano normalmente: Media, mediana, varianza, deviazione standard, quartili, percentili ... La distribuzione delle frequenze dei toni di grigio è detta **istogramma**.

Per ogni valore di grigio, si riporta il numero di occorrenze di tale valore su tutta l'immagine. (si rappresenta ad esempio per il punto di origine il numero totale di puntini neri dell'immagine corrispondenti al valore 0 di grigio). Per una immagine  $I[m, n]$  si ha  $H(k)$  = numero di pixel di valore  $k$ . La somma di tutti gli  $H$  è esattamente  $m \times n$ .

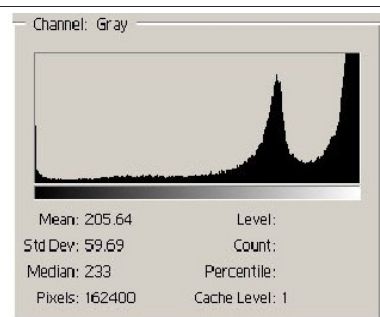
L'istogramma è utile a comprendere in maniera immediata le caratteristiche dell'immagine.



Vediamo adesso di caratterizzare alcune caratteristiche percettibili di una immagine tramite le caratteristiche dell'istogramma.

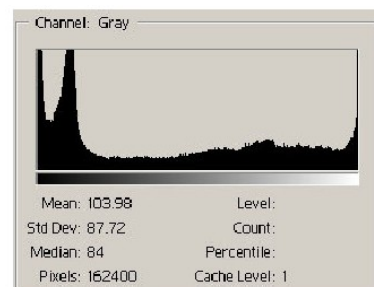
### **Immagine chiara**

Caratterizzata da un maggior numero di pixel chiari. I dettagli risultano non molto visibili in quanto l'occhio umano non è in grado di distinguere varie tonalità di luce chiara. La percezione della luce chiara è dovuta ai coni tramite la vista fototica.


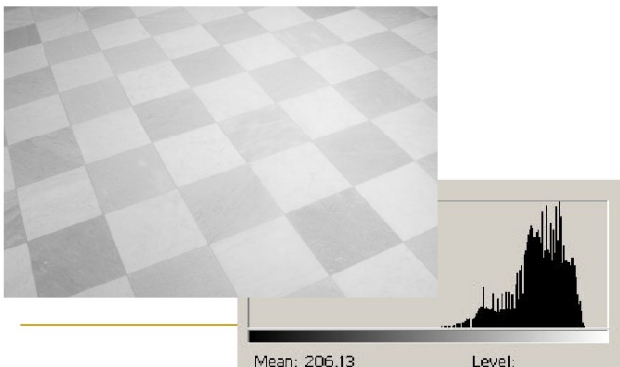


### **Immagine scura**

La percezione dei dettagli di una immagine scura o in genere non troppo chiara risulta maggiore all'occhio umano a causa del più elevato numero di bastoncelli, recettori di luce scura che forniscono la visione scotopica.





<p><b>Immagine sottoesposta</b></p> <p>Illuminazione insufficiente dovuta al non corretto bilanciamento della coppia otturatore/diaframma oppure alla non corretta impostazione della fotocamera. Quando una foto è sottoesposta il sensore (o la pellicola) registra una parte dell'immagine come completamente nera. L'istogramma è allora caratterizzato da una scarsa o nulla presenza di valori alti di luce chiara.</p>	
<p><b>Immagine sovraesposta</b></p> <p>Viceversa l'Illuminazione eccessiva dovuta al non corretto bilanciamento della coppia otturatore/diaframma oppure non corretta impostazione della fotocamera. Quando una foto è sovraesposta il sensore (o la pellicola) registra una parte dell'immagine come completamente bianca. L'istogramma è caratterizzato da una scarsa o nulla presenza di valori bassi di grigio, ovvero di luce scura.</p>	

### 3.2 Operazioni spaziali sulle immagini

Sono operazioni che alterano i valori dei pixel di una immagine. L'immagine finale apparirà differente da quella iniziale. Questi operatori lavorano sia su immagini a colori che su immagini a toni di grigio. Le elaborazioni nel dominio spaziale possono essere espresse come:

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

essendo  $f$  l'immagine di ingresso alla elaborazione,  $g$  quella di uscita e  $T$  un operatore su  $f$  definito in un intorno di  $(x, y)$ .

La dimensione dell'intorno di  $(x, y)$  definisce il carattere della elaborazione:

**puntuale** (l'intorno coincide con il pixel stesso); **locale** (per esempio una piccola regione quadrata centrata sul pixel); **globale** (l'intorno coincide con l'intera  $f$ ).



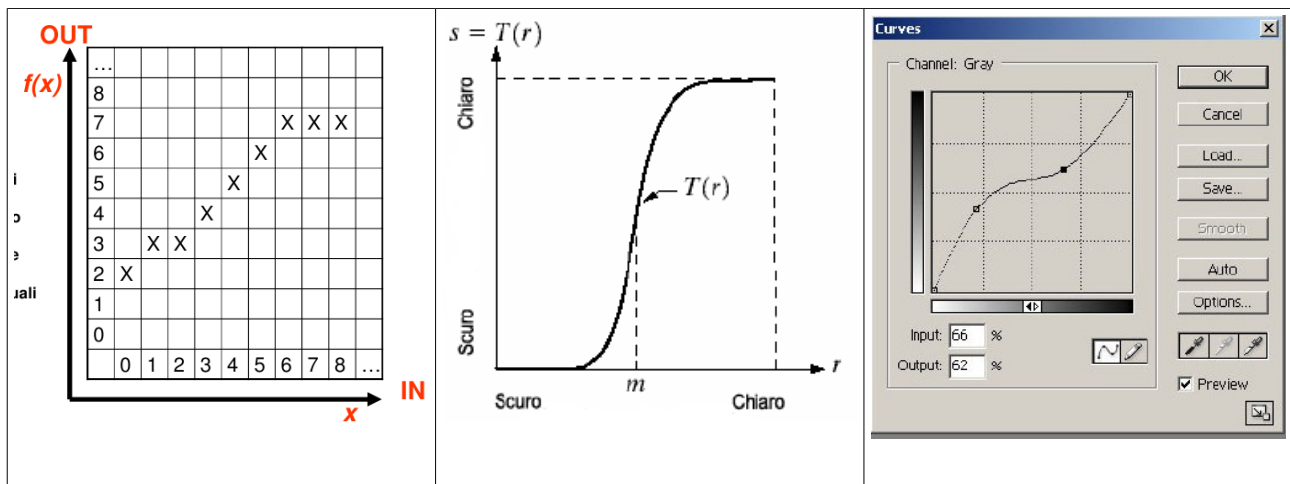
## Operatori Puntuali

Si dice operatore puntuale, un operatore che preso in input il valore di un pixel ne restituisce uno in output il cui valore dipende esclusivamente dal valore del pixel in ingresso. Come tipiche operazioni puntuali troviamo **aggiunta o sottrazione di una costante a tutti i pixel** (per compensare sotto o sovraesposizioni); **inversione della scala dei grigi** (negativo); **espansione del contrasto**; **modifica dell'istogramma** (equalizzazione o specifica); **presentazione in falsi colori**.

Un operatore puntuale può essere rappresentato da una funzione che preso in input un valore  $x$  lo modifica in un valore  $y=f(x)$  con  $x,y$  appartenenti allo stesso campo di definizione (es. entrambi tra 0 e 255). Poiché un operatore puntuale dipende solo dal valore del pixel esso è completamente descritto da una tabella come quella che segue:

<b>IN</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	...
<b>OUT</b>	$f(0)$	$f(1)$	$f(2)$	$f(3)$	$f(4)$	$f(5)$	$f(6)$	$f(7)$	...



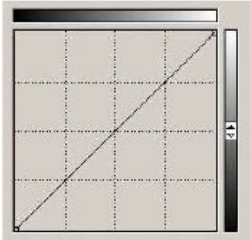
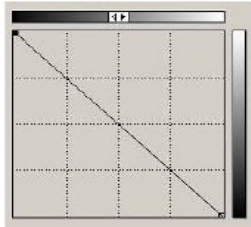
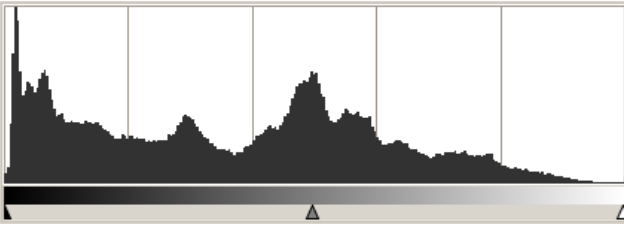
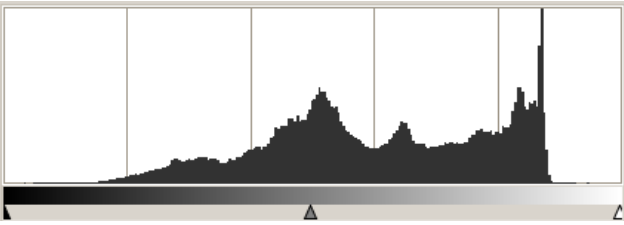
Che si può rappresentare graficamente tramite un grafico a corrispondenze, detto **LUT (Look Up Table)**



Vediamo adesso alcune importanti operazioni sulle immagini e in che modo alla loro applicazione cambia l'immagine, l'istogramma e la LUT.

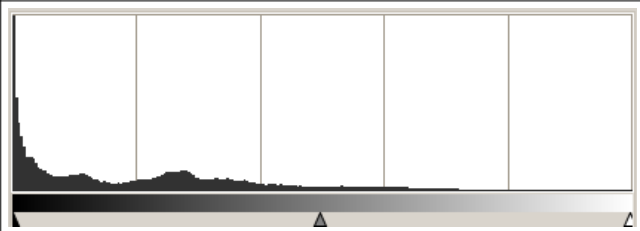
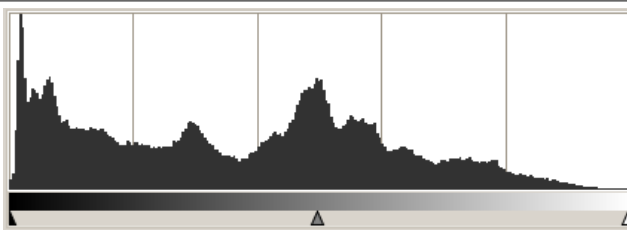
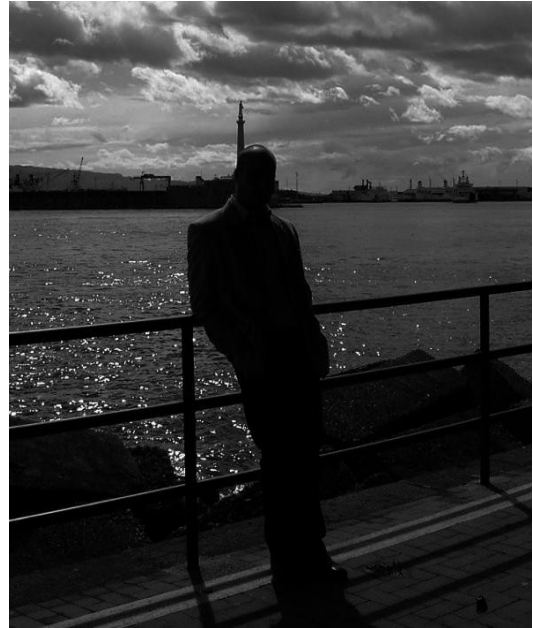
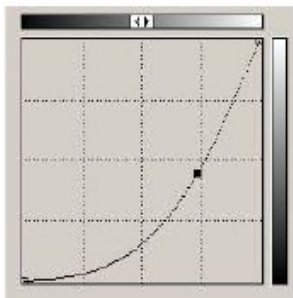
## Inversione di Grigi (NEGATIVO)

E' la più semplice operazione puntuale. Consiste nell'associare al valore  $x$  del pixel il valore  $255-x$ .  
È spesso utilizzata per risaltare e identificare con maggior successo i contorni di un oggetto all'interno della foto.

Prima	dopo
	
	
	
	<p>La curva viene “riflessa” in modo verticale. Come si vede a valori scuri di ascissa corrispondono valori chiari di ordinata.</p>
	<p>Anche l'istogramma viene riflesso.</p>

## Incupimento di una immagine

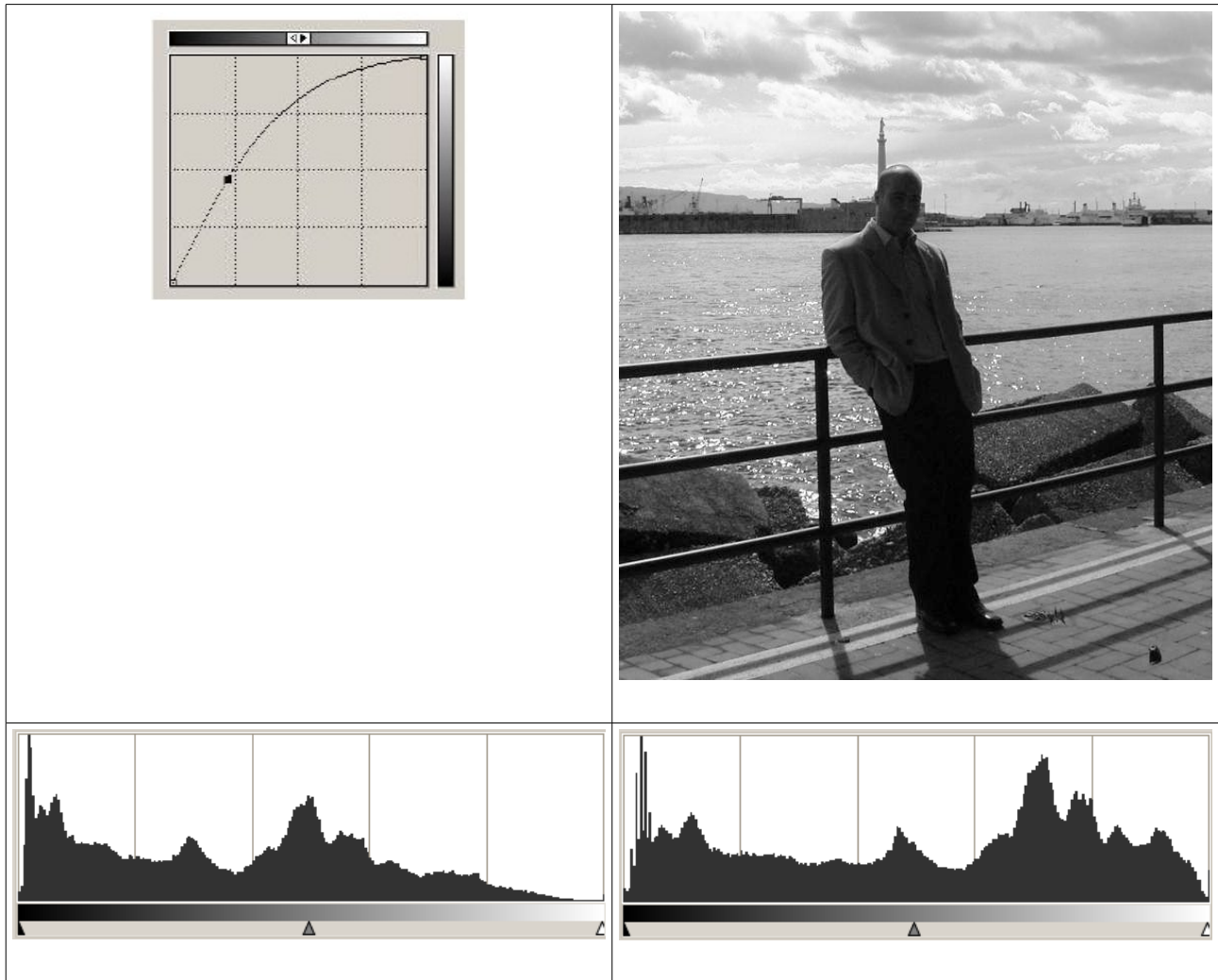
Nell'incupimento di una immagine si cerca di associare un maggior numero di pixel chiari di ingresso a valori scuri di pixel in uscita. Per fare questo si deve creare nella LUT una curva a pancia in giù.



L'istogramma rispetto a quello originale risulta avere una maggiore concentrazione dei valori scuri di grigio.

## Schiarimento di una immagine

In modo inverso rispetto all'incupimento, la LUT di tale operazione è caratterizzata da una curva con andamento tipo logaritmico, ovvero caratterizzata da una curva a pancia in su.

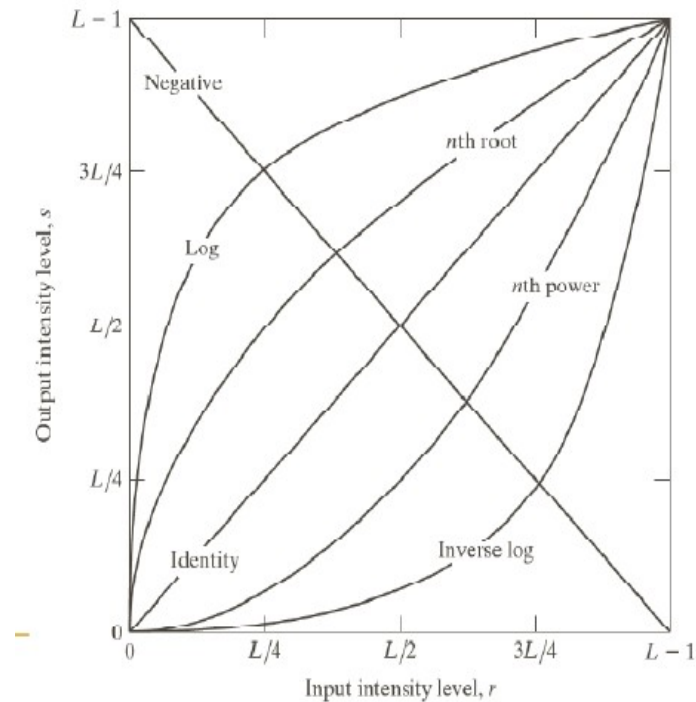


## Trasformazione logaritmica

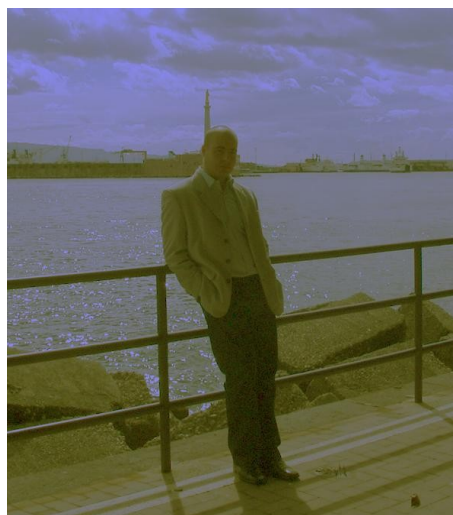
Si tratta di una trasformazione che consente di comprimere la gamma dinamica, permettendo la memorizzazione o la visualizzazione, con una scala dei grigi usuale, di immagini caratterizzate da escursioni di intensità molto ampie. Può essere espressa come:

$$s = c \log(1 + r)$$

Dove  $c$  è una costante positiva che serve a normalizzare il risultato tra 0 e 255.



Supponendo ad esempio che il valore massimo di intensità di un valore di grigio sia 32768 e ponendo  $L = 255$  si ottiene:



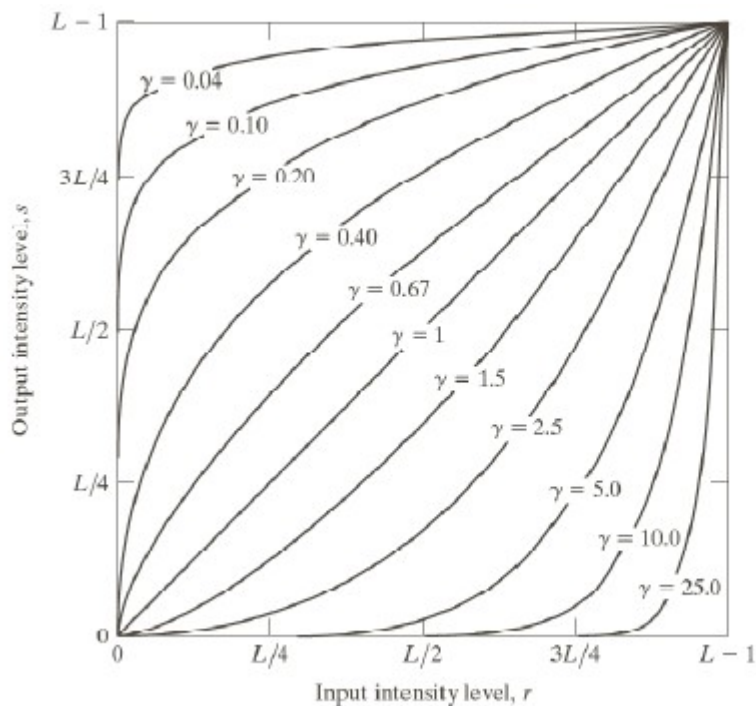
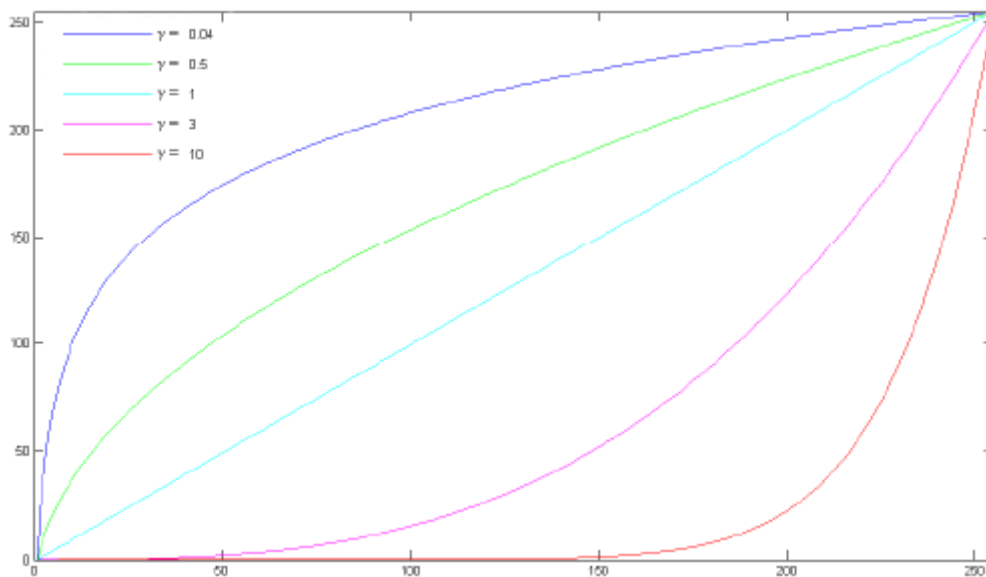
che in qualche modo schiarisce il soggetto dell'immagine comprimendo il range di rappresentazione dei valori di grigio.

## Trasformazione di potenza (Gamma)

La trasformazione di potenza può essere espressa come:

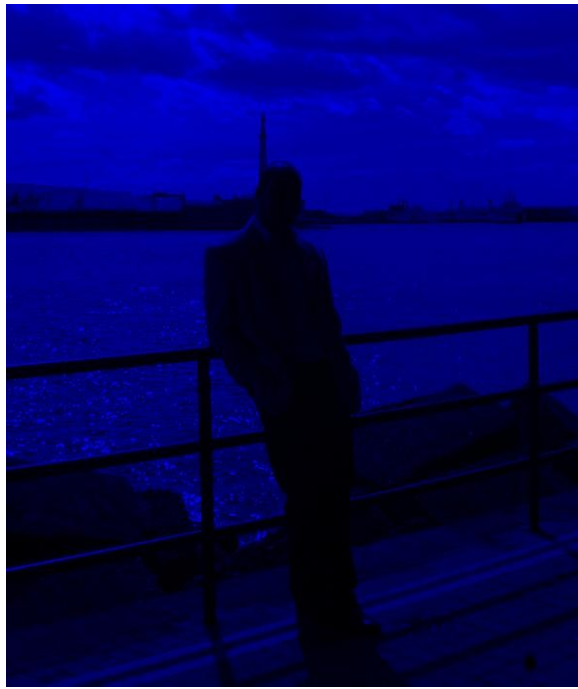
$$s = cr^\gamma$$

dove  $c$  e  $\gamma$  sono costanti positive. La costante  $c$  è scelta di volta in volta in modo da normalizzare i valori di  $s$  nell'intervallo  $[0, 255]$ . Come vedremo, *per valori di  $\gamma$  minori di 1 la trasformazione ha effetti analoghi alla trasformazione **logaritmica*** (espansione della dinamica per bassi valori di  $r$ , compressione della dinamica per alti valori di  $r$ ), mentre per valori di  $\gamma$  maggiori di 1 la trasformazione ha esattamente gli effetti opposti.



**FIGURE 3.6** Plots of the equation  $s = cr^\gamma$  for various values of  $\gamma$  ( $c = 1$  in all cases). All curves were scaled to fit in the range shown.

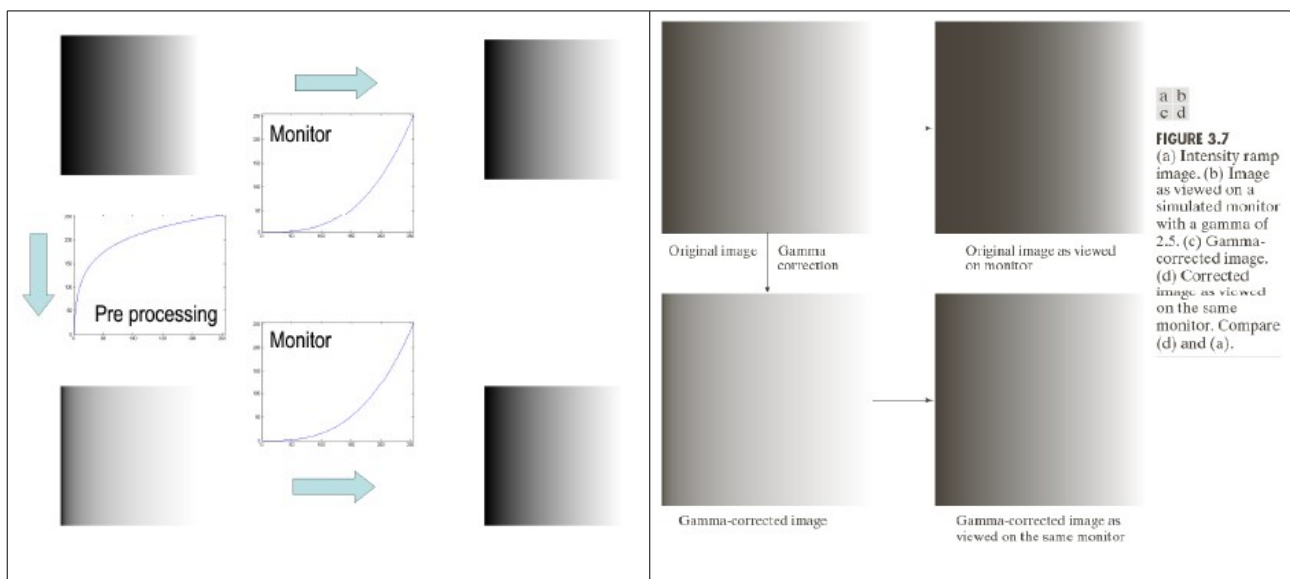




La correzione gamma può essere anche utilizzata per modificare il contrasto dell'immagine. L'immagine precedente è stata ottenuta con una trasformazione gamma con  $\gamma=2$  e imponendo una compressione di livelli da 32768 a 255.

### Applicazione di Gamma alla resa dei monitor

Una tipica applicazione della trasformazione di potenza, detta spesso più sinteticamente correzione Gamma, si ha nei dispositivi di acquisizione/visualizzazione digitali. I monitor CRT per esempio, esibiscono tipicamente una caratteristica intensità di emissione-tensione applicata non lineare, ma approssimativamente quadratica (in realtà l'esponente varia tra 1.8 e 2.5). Con riferimento alle curve mostrare, questo comportamento tende a rendere l'immagine più scura del dovuto. Per esempio su un monitor con  $\gamma = 2.5$  si può applicare una correzione, pre-processando l'input con la corrispondente funzione inversa:  $s = r^{(1/2.5)} = r^{0.4}$ .





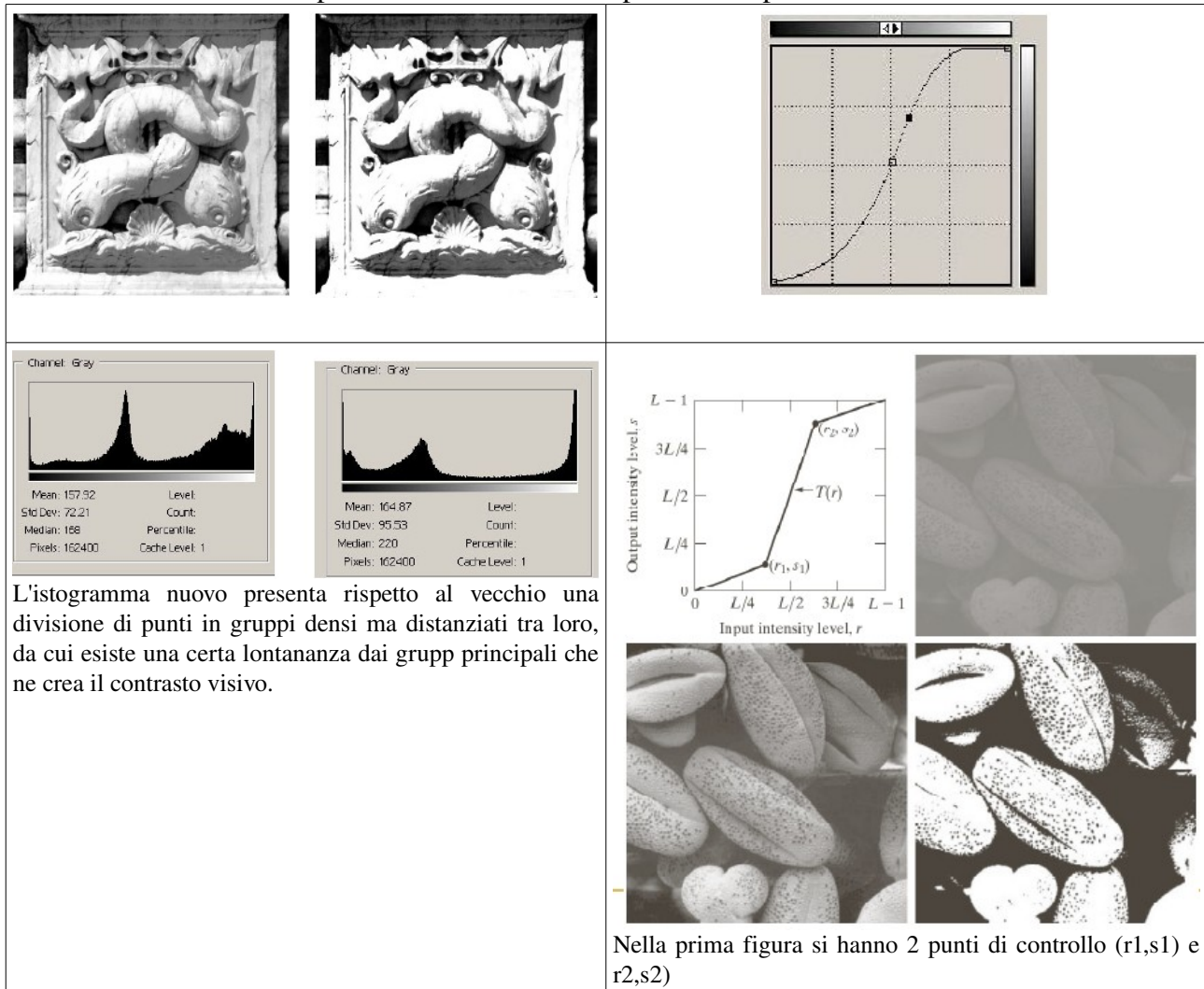
## Binarizzazione

Produce una immagine che ha solo due livelli: nero e bianco. Si ottiene scegliendo una soglia  $T$  e mettendo a nero tutti i pixel il cui valore è minore a  $T$  e a bianco tutti gli altri.

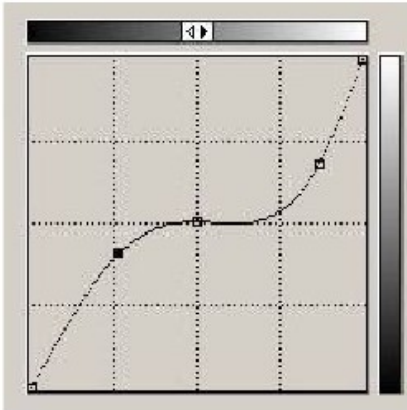


## Aumento di contrasto

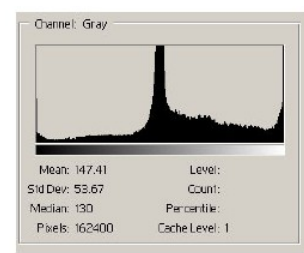
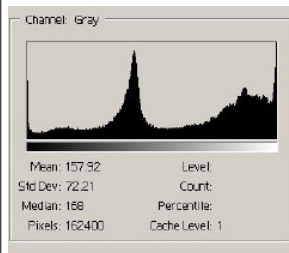
Aumentare il contrasto, significa rendere più evidenti le differenze di colore. Ciò si ottiene andando a cambiare il valore di un pixel con un altro che sia più scuro o più chiaro.



## Diminuzione di contrasto



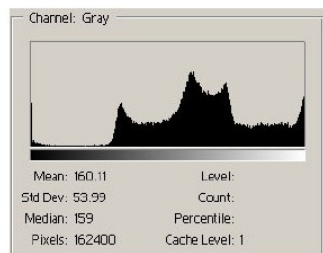
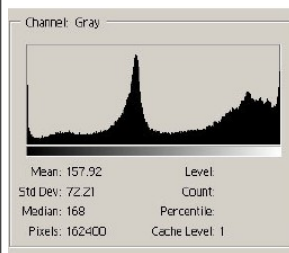
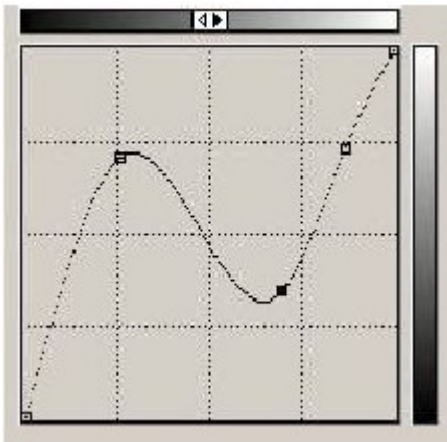
L'istogramma nuovo è caratterizzato da un addensamento che tende a raggruppare i valori attorno ad un picco principale.



## Curve non monotone

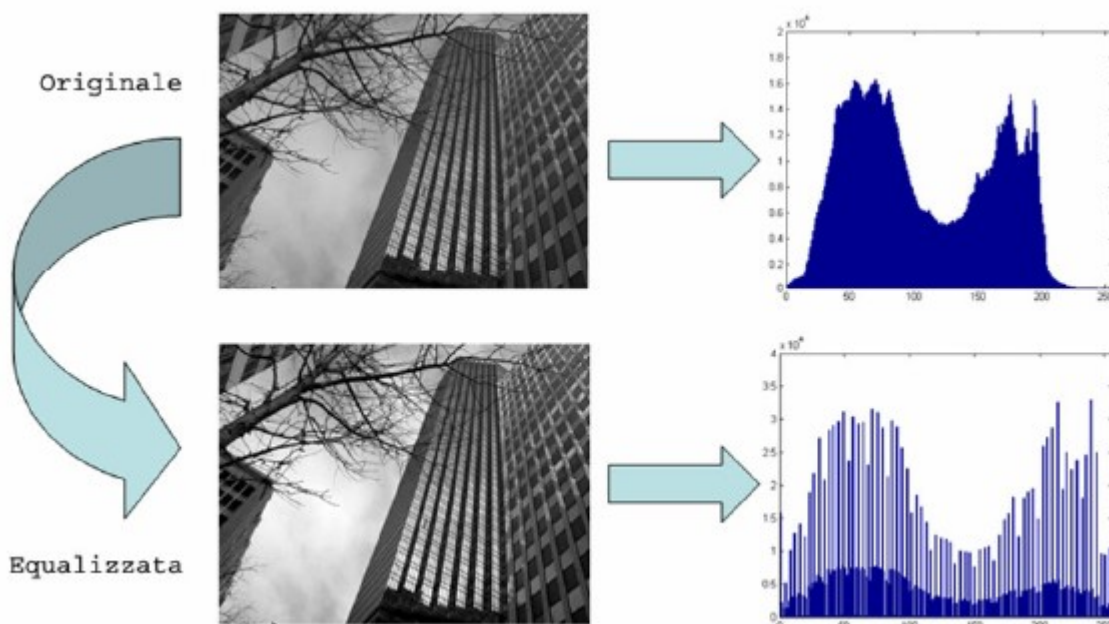
È possibile fare delle variazioni alle curve in modo che questa diventi non monotona.

## Solarizzazione



## Equalizzazione

Si parla di immagine equalizzata quando il contributo di ogni differente tonalità di grigio è pressappoco eguale. Si parla anche di “istogramma” *uniforme o appiattito*. L’equalizzazione si ottiene usando appositi algoritmi.



## Algoritmo di equalizzazione

Se  $r_k$  è un livello di grigio e  $n_k$  il numero di pixel nell’immagine  $M \times N$  di quel livello di grigio, si può definire

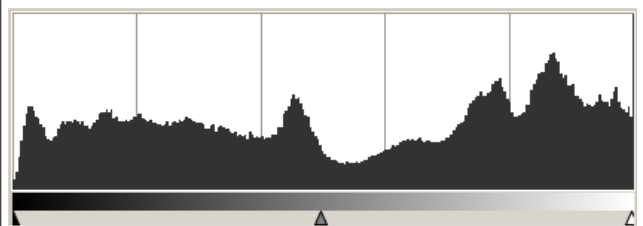
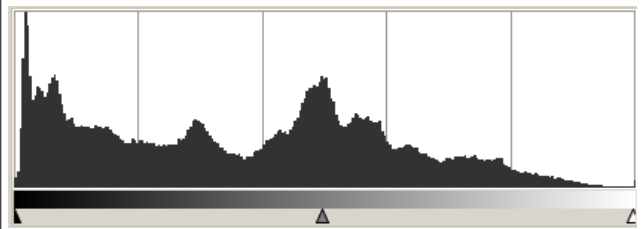
$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

dove  $L$  è il numero di livelli di grigio che si usano per la rappresentazione dell’immagine. Se facciamo il plot di  $r_k$  versus  $p_r(r_k)$  quello che si ottiene è l’istogramma dell’immagine. I nuovi valori di grigio dell’istogramma sono così definiti:

$$\begin{aligned} s_k &= T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \\ &= \frac{(L - 1)}{MN} \sum_{j=0}^k n_j \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \end{aligned}$$

Nella costruzione dei nuovi valori di grigio si tiene conto del valore medio dei valori precedenti.

### Un esempio di equalizzazione:



I picchi più alti vengono livellati tra i più bassi di modo da ridurre la distanza dal valore medio.

## Capitolo 4 : Operazioni matriciali sulle immagini

Poiché le immagini sono matrici su di esse si possono eseguire delle operazioni matriciali. Ripassiamo brevemente alcuni concetti matematici dei vettori e delle matrici.

### 4.1 Aritmetica delle immagini

Dato un vettore di lunghezza  $N$ , questo può essere pensato come un elemento di uno spazio  $N$  dimensionale.

**234 204 34 16 44 134 12 11 56**


Quindi possiamo scomporlo usando la base canonica di tale spazio. Qual è la base canonica?

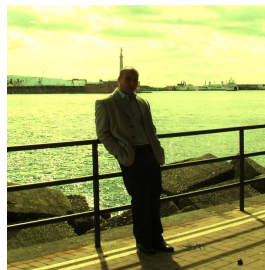




	234	204	34	16	44	134	12	11	56	=
234 *	1	0	0	0	0	0	0	0	0	+
204 *	0	1	0	0	0	0	0	0	0	+
34 *	0	0	1	0	0	0	0	0	0	+
16 *	0	0	0	1	0	0	0	0	0	+
44 *	0	0	0	0	1	0	0	0	0	+
134 *	0	0	0	0	0	1	0	0	0	+
12 *	0	0	0	0	0	0	1	0	0	+
11 *	0	0	0	0	0	0	0	1	0	+
56 *	0	0	0	0	0	0	0	0	1	+

Lo stesso ragionamento vale per le immagini, da cui se una immagine è un elemento di uno spazio vettoriale si può pensare di ottenere “**combinazioni vettoriali di immagini**”. Ecco ad esempio la somma e la moltiplicazione per uno scalare





Tale immagine è ottenuta dall'originale moltiplicando ogni valore di grigio dei 3 piani RGB per il valore 2.

### Problemi di range

Operando aritmeticamente può accadere che un pixel abbia:

- a) Un valore negativo;
- b) Un valore maggiore del massimo (tipicamente 255);
- c) Un valore non intero (facilmente risolubile con una approssimazione o un troncamento);

Per i problemi a) e b) sono due le soluzioni più comuni:

- Settare a 0 (nero) i valori negativi e a 255 (bianco) i valori maggiori di 255.
- Ri-normalizzare il range trasformando ciascun valore secondo la equazione:

$$V_{\text{nuovo}} = 255 * \frac{(v_{\text{vecchio}} - \min_{\text{osservato}})}{(\max_{\text{osservato}} - \min_{\text{osservato}})}$$

## 4.2 Operatori locali

Il valore d'uscita di ogni pixel dipende da un limitato intorno del corrispondente punto in input. Sono usati per migliorare la qualità delle immagini o per estrarre delle informazioni dall'immagine. Si possono pensare come *filtraggi dell'immagine*. Un filtraggio è ottenuto facendo la *convoluzione* tra l'immagine ed una matrice.

### Operatori lineari

Un operatore  $F: V \rightarrow W$  si dice **LINEARE** se per ogni coppia di vettori  $v_1$  e  $v_2$  in  $V$  e per ogni coppia di scalari  $a, b$  si ha che:

$$F(a v_1 + b v_2) = a F(v_1) + b F(v_2)$$

Conseguenza: se conosco una base di  $V$  ed il comportamento dell'operatore  $F$  su ogni elemento di tale base, posso calcolare il comportamento di  $F$  su ogni elemento di  $V$ .

### Operatori Invarianti per traslazioni (shift invariant)

Un operatore si dice invariante per traslazione (shift invariant) quando il suo comportamento sulle immagini impulsive è sempre il medesimo indipendentemente dalla posizione in cui si trova il pixel. Tutti gli operatori puntuali sono invarianti per traslazione (anche se non sono lineari).

Risulta quindi riassumendo:

**Se  $F$  è lineare** per descriverlo basta conoscere il comportamento su tutte le immagini impulsive (cioè su ogni elemento di base canonica).

**Se  $F$  è shift invariant** si comporta allo stesso modo su tutti gli impulsi, indipendentemente dalla loro posizione.

**Se  $F$  è sia lineare che shift invariant** per descriverlo basta conoscere come si comporta su un solo impulso.

La "risposta all'impulso" o "point spread function" di  $F$  è la carta di identità di tale operatore.

Ad un operatore lineare e shift invariante corrisponde una *maschera* ma vale anche il viceversa: ad una maschera corrisponde un simile operatore.

**Si consideri l'operazione che preso un impulso:**



Tale "*risposta all'impulso*" o **PSF** definisce completamente un operatore lineare e invariante per traslazioni  $F$ . Spesso un operatore su una immagine prende il nome di "**filtro**".

La matrice che descrive la risposta all'impulso si chiama anche **kernel** o **maschera** dell'operatore.

Essa è detta anche **maschera di convoluzione** di  $F$  per ragioni che vedremo tra breve.

## Kernel finiti ed infiniti con complessità

La grandezza del kernel può variare fino ad essere infinita. Per ragioni pratiche, però, si usano solo kernel con dimensioni finite. Le dimensioni del kernel influenzano la complessità della operazione di filtraggio. Tale complessità dipende ovviamente anche dal numero dei pixel di una immagine.

## Filtri Convolutivi

I filtri lineari e invarianti per traslazione vengono chiamati anche filtri convolutivi. Dobbiamo studiare la operazione di convoluzione per capire meglio come un filtro può essere calcolato.

Inoltre la convoluzione è un fenomeno estremamente importante per ogni tipo di signal processing e per la descrizione di numerosi eventi fisici.

## La convoluzione 1D

Siano date due sequenze infinite di numeri:

$$\begin{aligned} & \dots f_{-3}, f_{-2}, f_{-1}, f_0, f_1, f_2, f_3, \dots \\ & \dots g_{-3}, g_{-2}, g_{-1}, g_0, g_1, g_2, g_3, \dots \end{aligned}$$

Diremo convoluzione di f e g la sequenza h così definita:

$$h_k = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} f_k * g_{m+k}$$

Per indicare l'operazione di convoluzione si usa la notazione

$$h = f \otimes g$$

La convoluzione è *commutativa*

$$f \otimes g = g \otimes f$$

La convoluzione è *associativa*

$$(f \otimes g) \otimes h = f \otimes (g \otimes h)$$

Le sequenze f e g non sono infinite, o meglio si può assumere che gli elementi non nulli presenti in esse non siano infiniti. Se gli elementi di f sono N e quelli di g sono M, la convoluzione h avrà fino a (N + M - 1) elementi non nulli.

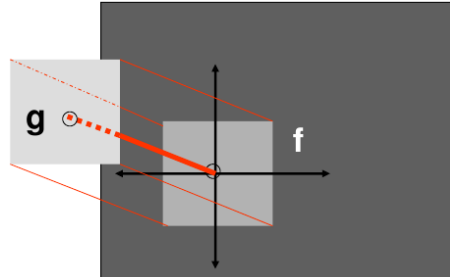
Il calcolo di ciascuno di essi richiede min(N,M) prodotti e max(N,M)-1 somme.



**La complessità** (se somme e prodotti richiedono tempo costante) è quindi:

$$O(\max(N,M) * \min(N,M))$$

**La convoluzione 2D**



$$h_{m,n} = \sum_{\substack{i=-\infty \\ j=-\infty}}^{+\infty} f_{i,j} * g_{i+m,j+n}$$

Se G ha dimensioni M x M ed F ha dimensioni N x N la complessità dell'operazione è:

$$O(\max(M,N)^2 * \min(M,N)^2)$$

Se il kernel f ha dimensioni k x h la formula va riscritta nella seguente maniera:

<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td></td><td style="text-align: center;">-1</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">-1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">a</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">b</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">c</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">d</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">e</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">f</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">g</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">h</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">i</td></tr> </table>		-1	0	1	-1	a	b	c	0	d	e	f	1	g	h	i	$h_{m,n} = \sum_{i=-\lceil k/2 \rceil}^{\lceil k/2 \rceil-1} \sum_{j=-\lceil h/2 \rceil}^{\lceil h/2 \rceil-1} (f_{i,j} * g_{m+i,n+j})$
	-1	0	1														
-1	a	b	c														
0	d	e	f														
1	g	h	i														



Esempio

	-1	0	1
-1	2	1	2
0	1	2	1
1	2	1	2

	1	2	3	4	5
1	1	2	2	3	1
2	3	2	2	1	4
3	2	5	2	7	1
4	9	0	1	1	2
5	3	1	2	4	1

	1	2	3	4	5
1					
2		30	45	30	
3		46	27	37	
4		34	41	28	
5					

### 4.3 Convoluzione e filtraggio

Applicare un filtro lineare e shift invariante ad una immagine è equivalente a calcolare la convoluzione del kernel del filtro con l'immagine.

#### Implementazione

Un problema è quello dei bordi: come fare la convoluzione e il filtraggio ai bordi?

POSSIBILI SOLUZIONI:

#### a) Filtrare solo le zone centrali dell'immagine

Le aree in grigio non verranno calcolate

input

1	2	2	3	1
3	2	2	1	4
2	5	2	7	1
9	0	1	1	2
3	1	2	4	1

output

	30	45	30	
	46	27	37	
	34	41	28	

#### b) Supporre che tutto intorno all'immagine ci sia 0

input

0	0	0	0	0	0	0
0	1	2	2	3	1	0
0	3	2	2	1	4	0
0	2	5	2	7	1	0
0	9	0	1	1	2	0
0	3	1	2	4	1	0
0	0	0	0	0	0	0

output

11	19	17	22	11
25	30	45	30	31
25	46	27	37	19
35	34	41	28	29
16	27	12	18	10

c) Riempire le righe e le colonne aggiunte in maniera “toroidale”

input							output				
1	3	1	2	4	1	3	27	30	29	32	33
1	1	2	2	3	1	1	33	30	45	30	40
4	3	2	2	1	4	3	38	46	27	37	45
1	2	5	2	7	1	2	41	34	41	28	48
2	9	0	1	1	2	9	28	35	24	27	40
1	3	1	2	4	1	3					
1	1	2	2	3	1	1					

d) Riempire le righe e le colonne aggiunte con i valori più vicini

input							output				
1	1	2	2	3	1	1	25	27	29	31	33
1	1	2	2	3	1	1	34	30	45	30	39
3	3	2	2	1	4	4	51	46	27	37	32
2	2	5	2	7	1	1	54	34	41	28	35
9	9	0	1	1	2	2	48	32	24	34	26
3	3	1	2	4	1	1					
3	3	1	2	4	1	1					

#### 4.4 Operatoli locali: alcuni filtri comuni

##### Mediano

È un filtro non lineare che fornisce in uscita il valore mediano dell'intorno del pixel.



7	10	12	
6	38	11	
9	11	6	

6	6	7	9	10	11	11	12	38
				↑				
				valore mediano				

### Minimo

Oltre al filtro mediano esistono altri filtri statistici detti “**order statistics**”. Il filtro di minimo preso un intorno  $m \times m$  di un pixel (con  $m$  generalmente dispari), sostituiscono il valore del pixel con il valore minimo di tutti i valori osservati in tale intorno. Se si sostituisce con il minimo *si ottiene un incupimento dell'immagine* (si eliminano per esempio macchioline chiare);



### Massimo

valore minimo di tutti i valori osservati in tale intorno. Il filtro di massimo preso un intorno  $m \times m$  di un pixel (con  $m$  generalmente dispari), sostituiscono il valore del pixel con il valore massimo di tutti i valori osservati in tale intorno. Se si sostituisce con il massimo *si ottiene uno schiarimento dell'immagine* (si eliminano per esempio punti neri).

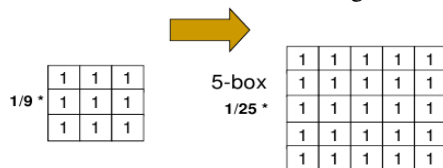


### N-box (o di media)

Sono definiti da kernel  $N \times N$  con ogni elemento pari a  $1/N^2$ . Si sceglie generalmente un valore  $N$  dispari. Hanno l'effetto di sfocare le immagini. La sfocatura è molto forte in orizzontale e verticale ma meno in diagonale.



Un filtro 3-box



### N-Binomiale (o filtri guassiani)

Sono filtri di smussamento con kernel derivati dalla distribuzione binomiale. Poiché tale distribuzione è una approssimazione discreta della distribuzione gaussiana sono anche detti filtri gaussiani. Hanno il pregio di smussare egualmente in tutte le direzioni. Smussano meno vigorosamente degli  $n$ -box.



#### 3-binomiale

1/16 \* 

1	2	1
2	4	2
1	2	1

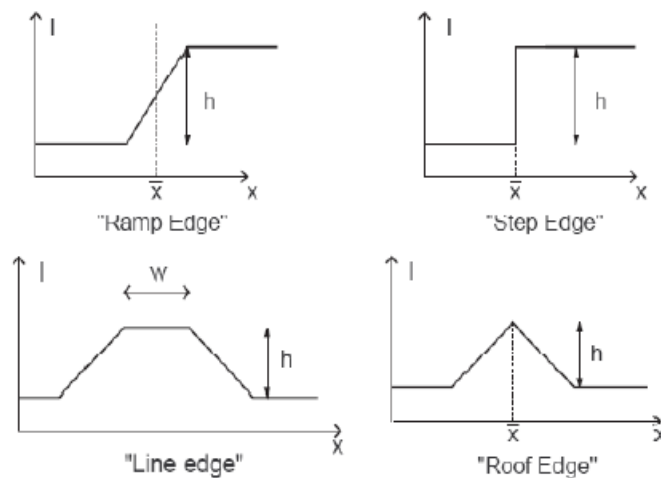
#### 5-binomiale

1/256 \* 

1	4	6	4	1
4	16	24	16	4
6	24	36	24	6
4	16	24	16	4
1	4	6	4	1

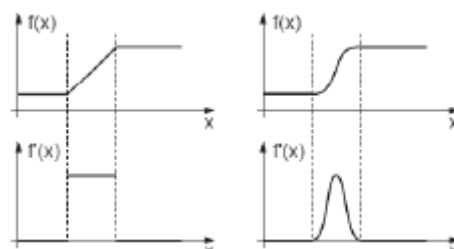
#### 4.5 Estrazione di contorni (edge detector)

Gli operatori locali ci aiutano ad estrarre i contorni da una immagine. *I contorni sono definiti come delle discontinuità locali della luminanza*. Gli edge detector forniscono immagini in cui sono preservate le variazioni di luminanza ed eliminate tutte le altre informazioni.



#### Edge detector basati sulla derivata prima

Se abbiamo un segnale immagine monodimensionale e calcoliamo la derivata prima, si ottiene che i lati sono in corrispondenza dei massimi della derivata. In pratica dai fondamenti dell'analisi matematica sappiamo che la derivata di un segnale monodimensionale calcolata in un punto è il coefficiente angolare della retta tangente al grafico in quel punto. Se il segnale rappresenta la luminanza di una immagine monodimensionale, in prossimità di una discontinuità locale della luminanza significa che la derivata in locale, e quindi il coefficiente angolare della retta tangente nel punto di discontinuità, passa da un lato all'altro dell'intorno, da un segno al suo segno opposto, ovvero si identifica un punto di massimo del segnale per cui si ha una inversione del coefficiente angolare ed un punto centrale dell'intorno in cui la derivata prima vale 0 (tangente orizzontale).



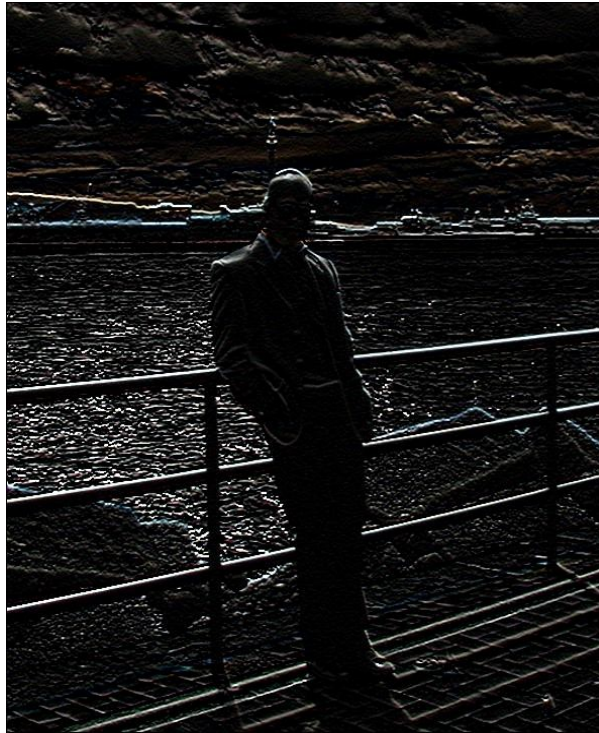
Si realizzano allora filtri che lavorano per una immagine digitale prima in funzione dell'ascissa e poi per l'ordinata e si combinano di modo da usarli insieme.

### Kernel notevoli: lati orizzontali

Ne esistono molti, ne presentiamo due:

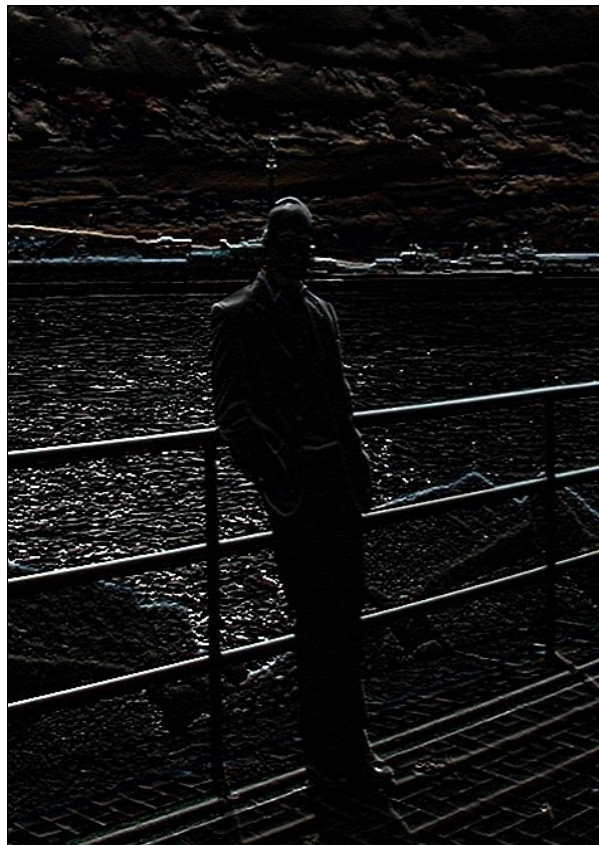
#### Sobel x

$$Sobel_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



#### Prewitt x

$$Prewitt_x = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$





**Kernel notevoli: lati verticali**

La situazione è identica al caso dei lati orizzontali, i filtri sono solo ruotati di 90 gradi.

**Sobel y** = Trasposto di Sobel x  
(si invertono le righe con le colonne)



**Prewitt y** =  
Trasposto di sobel y  
(si invertono le righe con le colonne)



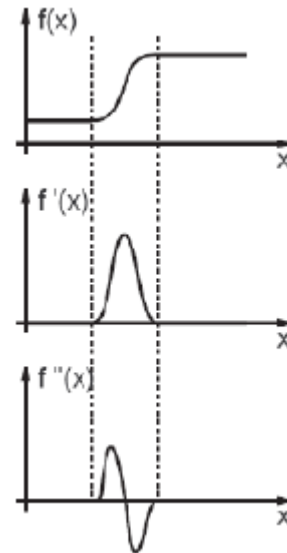


## Migliori Risultati

Si ottengono con algoritmi più sofisticati (non lineari) per il calcolo della grandezza del gradiente (somma del quadrato della risposta di un edge finder orizzontale e del quadrato della risposta di un edge finder verticale) Si ottengono con strategie più “intelligenti” (algoritmo di Canny, algoritmi fuzzy, tecniche di backtracking eccetera)

## Edge detector basati sulla derivata seconda

Se ho un segnale monodimensionale e calcolo la derivata seconda, scopro che in corrispondenza del lato essa passa per lo zero.

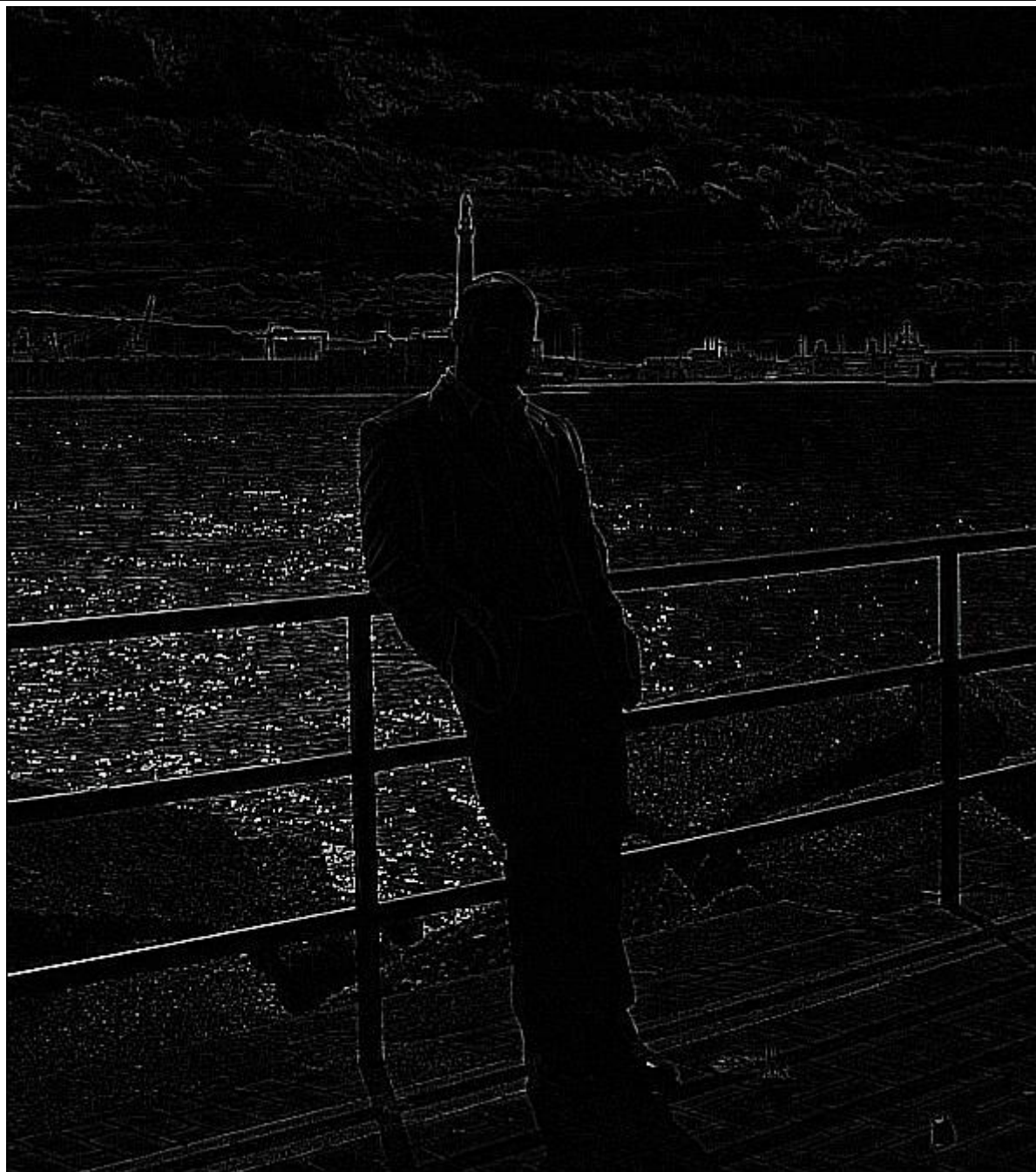


## Kernel da derivata di secondo grado: Laplaciano

Il filtro più diffuso per calcolare la derivata seconda è detto Laplaciano, ed è definito dalla maschera:

$$\text{Laplaciano} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 4 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Si vede la maggiore capacità di rilevamento contorni, ad esempio con un singolo kernel si riescono ad individuare sia contorni orizzontali che verticali e anche contorni interni di dettaglio.



#### 4.6 Filtri di Sharpening

Sono filtri il cui scopo è quello di *incrementare la nitidezza* di una immagine aumentando il contrasto locale. Questa è una operazione opposta allo sfocamento e aumenta le variazioni di luminanza dell'immagine con conseguente risalto dei contorni che corrispondono ai punti di massima variazione del segnale.

Per ottenere tale effetto si può adottare una maschera che, derivata dal Laplaciano, “rinforza” i lati presenti nell’immagine. Purtroppo essa rinforza anche il rumore presente nella immagine, tuttavia tale filtro se accoppiato ad una modifica di contrasto è il modo più ottimale per risaltare i contorni.

-1	0	-1
0	5	0
-1	0	-1



Foto originale

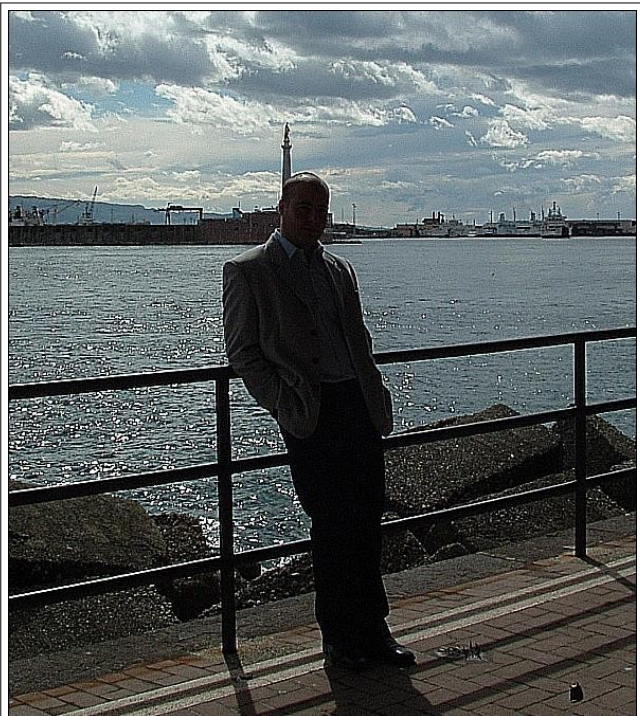


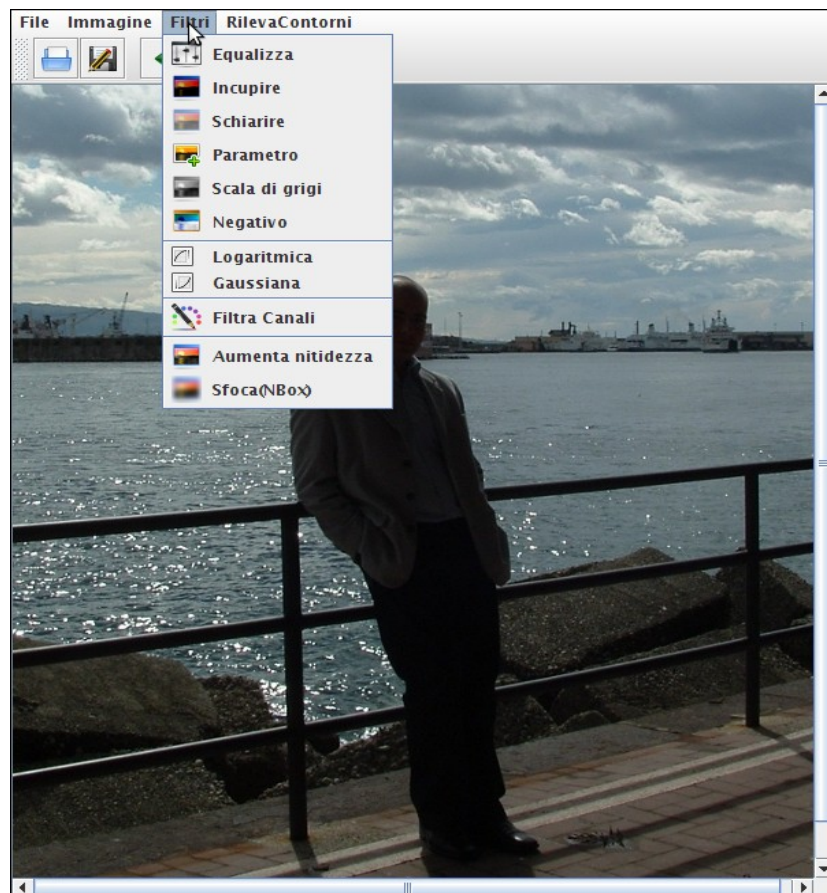
Foto con filtro di sharpening



## Capitolo 5 : Un elaboratore di immagini ad hoc!

Nonostante quasi tutti gli i programmi di image processing più diffusi, quali ad esempio Adobe photoshop, Corel PhotoPaint, e prodotti open source potenti e di levigata bellezza quali l'imbattibile GIMP e moltri altri, offrono una adeguata e fedele implementazione di tutte le operazioni di filtraggio immagine presentati un questo testo, (e molti altri filtri ben più complessi e potenti) presentiamo un approccio un po' più originale, ovvero forniamo un elaboratore grafico open source completamente scritto in java per la sola verifica dei filtri applicati alle immagini. Tale filtro è completamente modificabile, personalizzabile ed estendibile, da chi a le capacità tecniche per farlo. Poiché questo non è un corso di ingegneria del software ma diamo solo delle semplici indicazioni a chi vuole comprendere il codice. Il nostro elaboratore grafico è composto essenzialmente dai seguenti file:

- 1) GraphicEditor.java - è il file principale che contiene l'interfaccia grafica ed il main del programma.
- 2) Istogramma.java - implementa le strutture dati e i metodi per elaborare l'istogramma di una immagine.
- 3) MyFilter.java - implementa le strutture dati per il filtraggio dell'apertura dei file con compressione jpeg.
- 4) Panel.java - implementa una versione particolare di pannello estendibile che racchiude l'immagine di lavoro.
- 5) Puntuali.java – implementa le operazioni puntuali sulle immagini.
- 6) Kernels.java – Contiene le strutture dati ed i metodi per implementare i filtri basati su kernels.
- 7) Locali.java - implementa le operazioni locali (o globali) sulle immagini.



Si necessita l'installazione di un compilatore java 2 SE scaricabile gratuitamente dal sito [www.sun.com](http://www.sun.com). Per compilare il programma, una volta installato il compilatore, posizionarsi nella cartella che contiene il codice sorgente e digitare il comando:

**javac GraphicEditor.java**

ed in seguito

java GraphicEditor

**che provoca il lancio del programma.**

## **Capitolo 6: Come analizzare le immagini digitali**

Non esistono in realtà delle regole ben precise da seguire per analizzare al meglio le immagini digitali, tuttavia esiste un percorso logico dettato da una ricerca di informazioni all'interno di una immagine. Cosa significa per noi analizzare una immagine? Significa semplicemente identificare ed interpretare il suo contenuto informativo, ovvero identificare ed interpretare il soggetto di una foto, identificare e mettere a fuoco cosa, o chi, abbiamo immortalato nelle nostre foto.

Per identificare un oggetto principalmente bisogna:

- a) lavorare su delle operazioni di contrasto e sfocatura per esaltare i contorni di un soggetto o eliminare disturbi di immagine;
- b) realizzare una rappresentazione dell'immagine in falsi colori, ad esempio realizzare una compressione dinamica o modificare il contributo dei singoli canali RGB dell'immagine, come ad esempio equalizzare una immagine o esaltare singolarmente i canali, come ad esempio dare maggior peso al canale G, (verde) per facilitare la percezione visiva di alcuni elementi all'occhio umano (che è più sensibile alle sfumature del colore verde);
- c) applicare algoritmi di edge detector (rivelatori di contorni).

### **6.1 Immagini sospette!**

Cominciamo ad esempio a elaborare alcune immagini sospette relative al fenomeno abductor tanto snobbato dal popolo della scienza e degli scettici NON CREDULONI.

Le foto in successivo esame sono state scattate da me medesimo in circostanze emozionali particolari usando (purtroppo) un semplice telefonino con fotocamera integrata a sensore CMOS da 1.3 Megapixel. Nonostante il sensore CMOS in questione è caratterizzato da un certo rumore e non alta qualità di cattura, le immagini sono venute non proprio malissimo e con qualche passaggio dei filtri qui esposti si riesce a vedere l'ipotetico soggetto della foto, soggetto sul quale il lettore può farsi una idea personale. Tutte le foto sono state elaborate con il nostro editore grafico realizzato ad hoc.

## 6.2 Prima immagine: UFO?

Primavera 2008, Messina, riviera di Paradiso, tratto di spiaggia direzione Palermo a partire dal centro cittadino, foto scattata approssimativamente attorno alle 17.



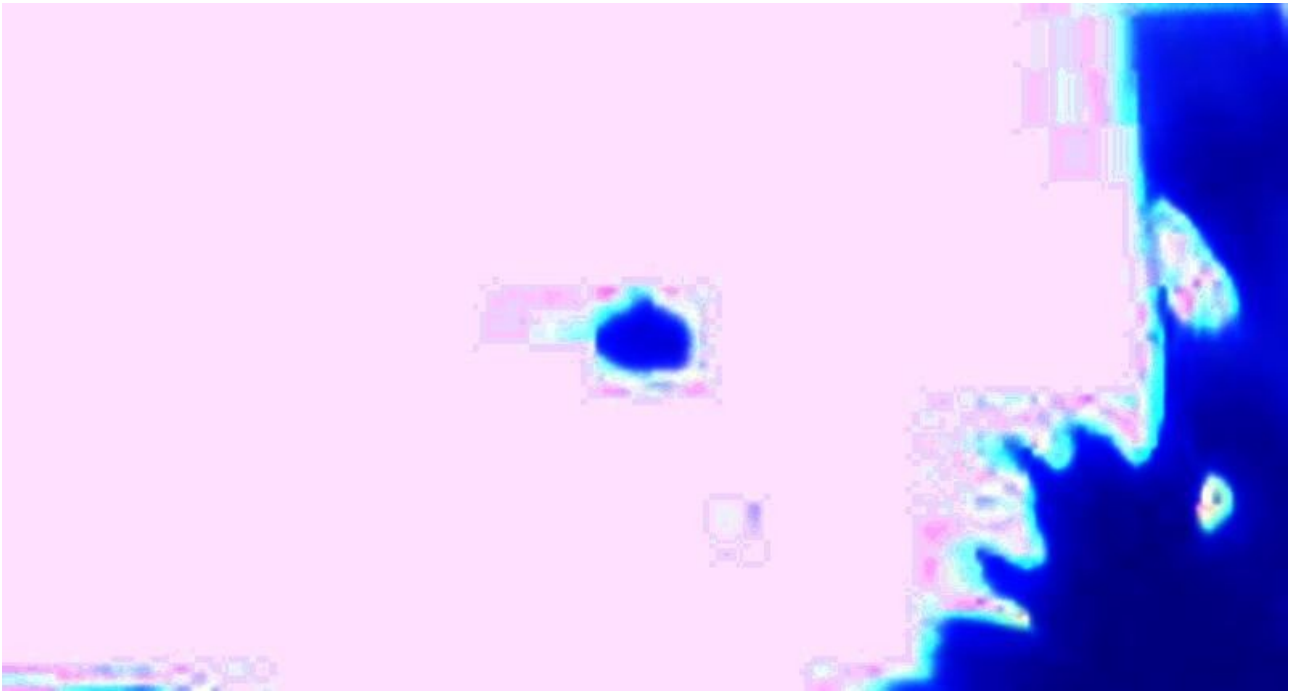
da uno zoom



L'immagine è stata scattata da fermo e a grande distanza e quindi non presenta a prima vista particolari effetti di sfocamento dovuto a movimento. La forma sembra essere quella di un classico ufo. I contorni sembrano abbastanza netti e non sembra essere presente nulla attorno al soggetto.

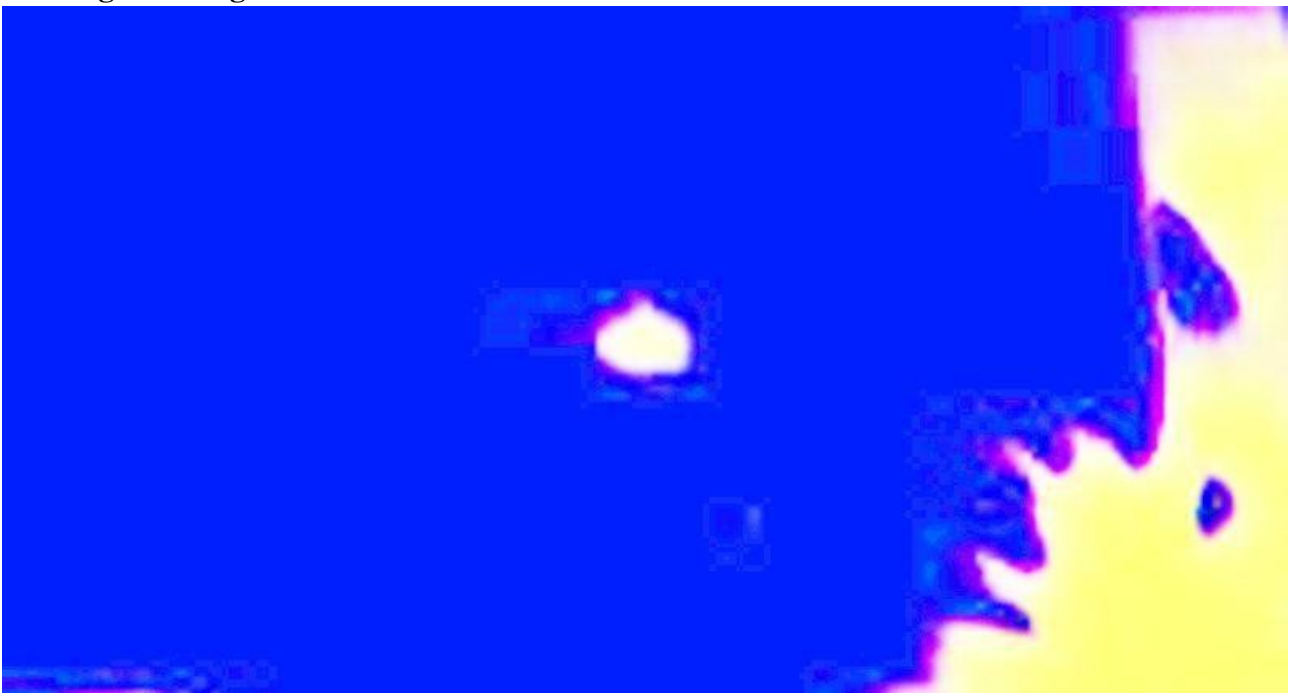


Con il nostro elaboratore grafico effettuiamo **4 operazioni consecutive di incupimento** di modo da esaltare il contrasto.



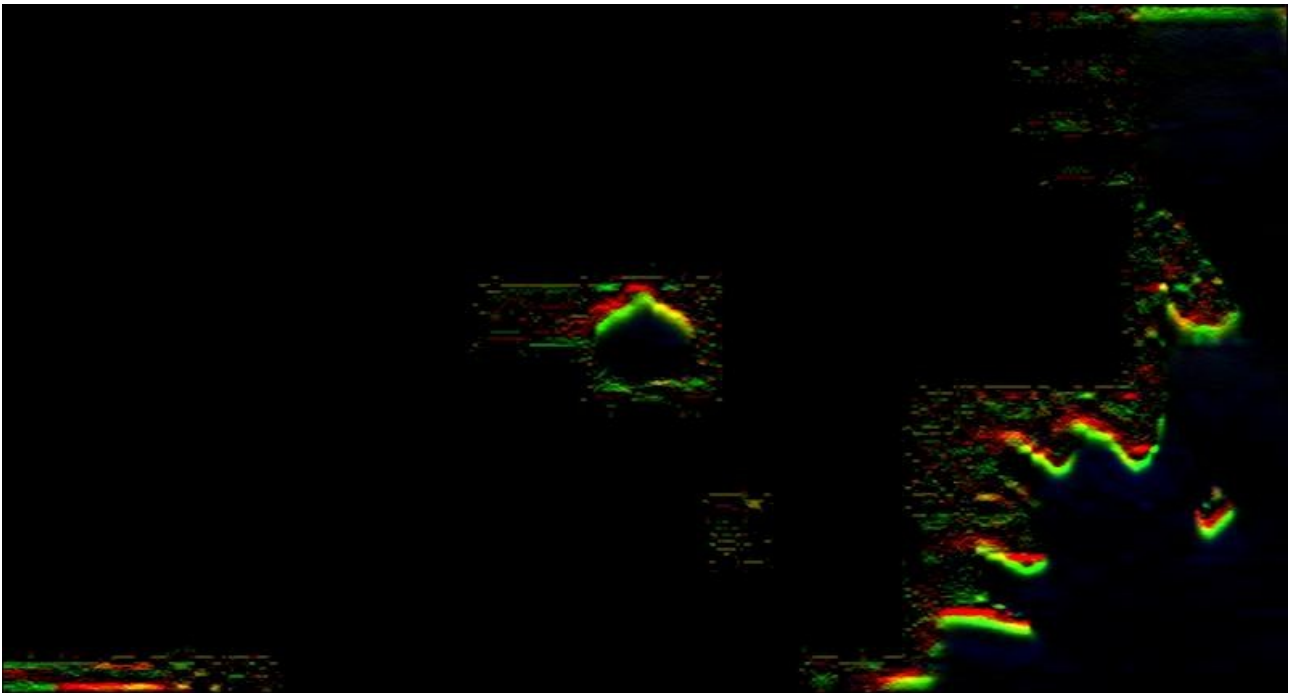
Per la scarsa risoluzione delle immagini tale operazione ha introdotto degli artefatti non visibili nell'originale, ma ha anche messo a fuoco maggiormente i contorni del soggetto e ha risaltato la presenza di un alone attorno al soggetto non visibile nella foto originale semplicemente perché la quantizzazione logaritmica dello schermo e dei nostri occhi non ci permette di distinguere con efficienza molte tonalità di colori chiari. Con tale operazione le differenze di tonalità di colori chiari, ovvero il cielo ed il cielo in prossimità del soggetto, sono ben visibili.

Per accentuare maggiormente i contorni possiamo, dall'immagine precedente, visualizzarne **l'immagine in negativo**.



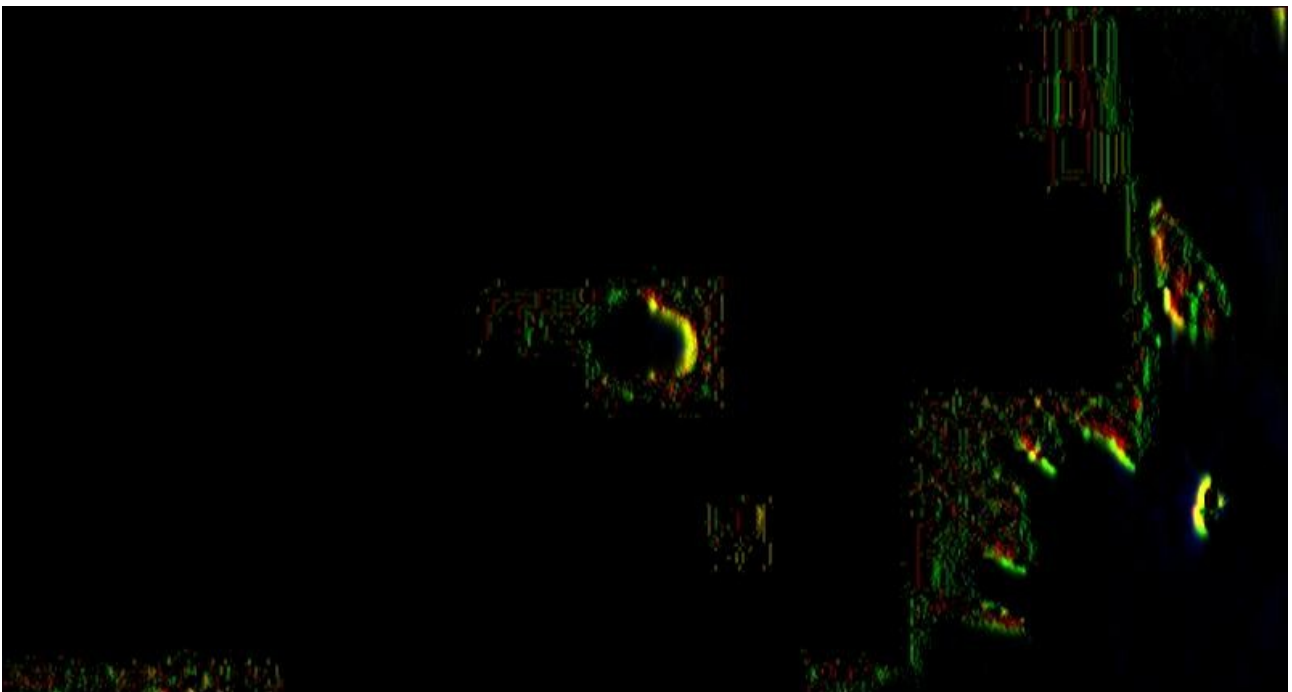
Che inverte semplicemente la rappresentazione del soggetto da colori scuri a colori chiari.

Volendo invece applicare un filtro di rilevamento contorni **Sobel x** all'immagine originale dopo l'incupimento, si ottiene:



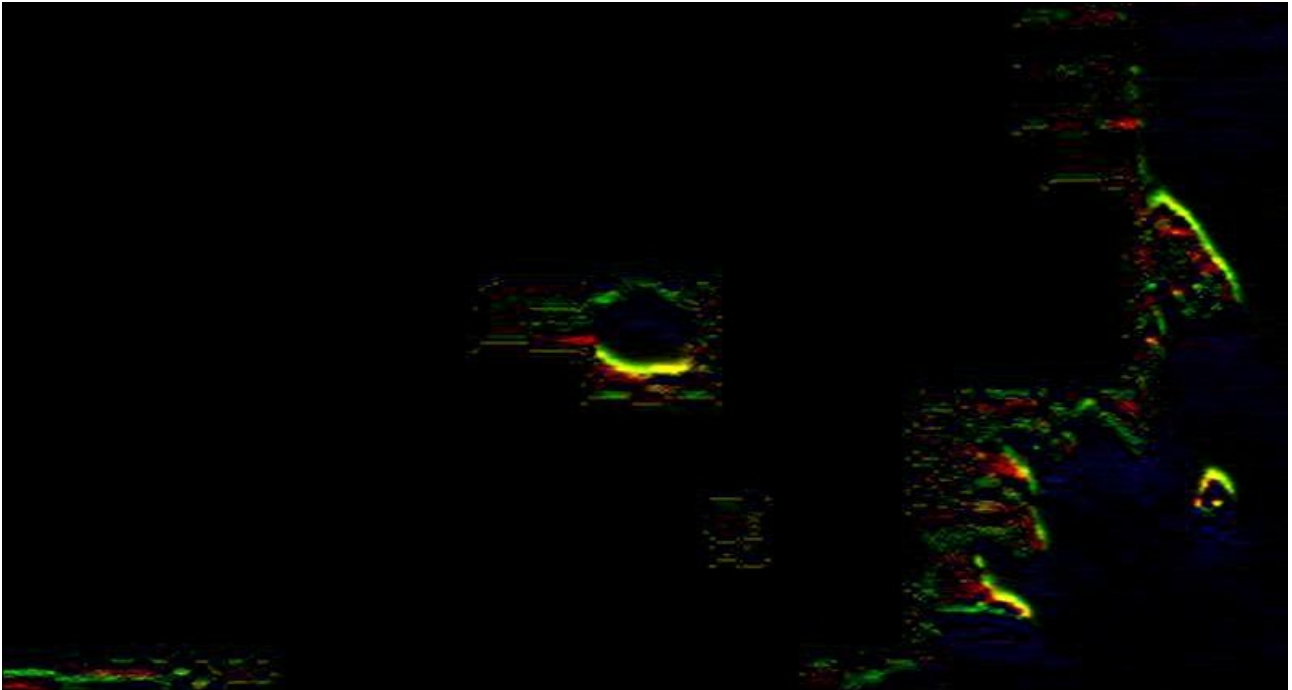
Che ci fornisce la natura curva del lato superiore del soggetto.

Applicando invece un filtro **Sobel y** di ottiene:



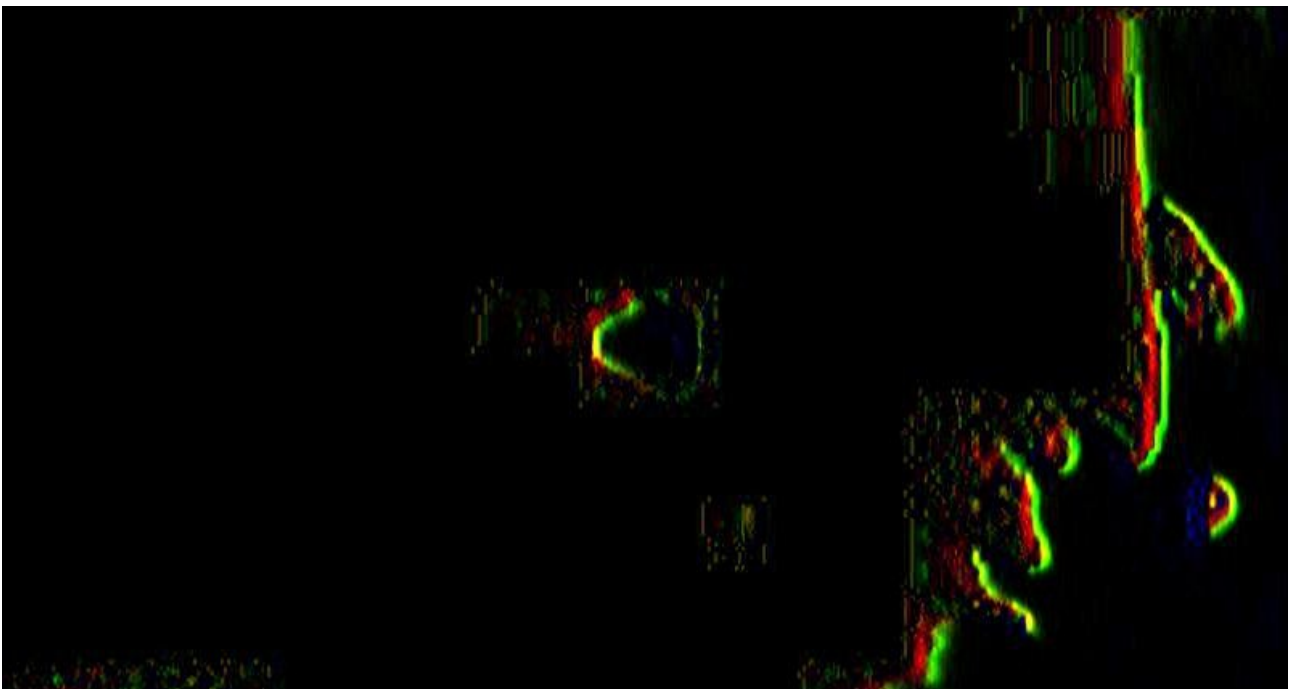
che evidenzia la natura curva del lato destro del soggetto.

Applicando invece il **Sobel x** alla foto passata prima da **4 operazioni di incupimento + il negativo**:



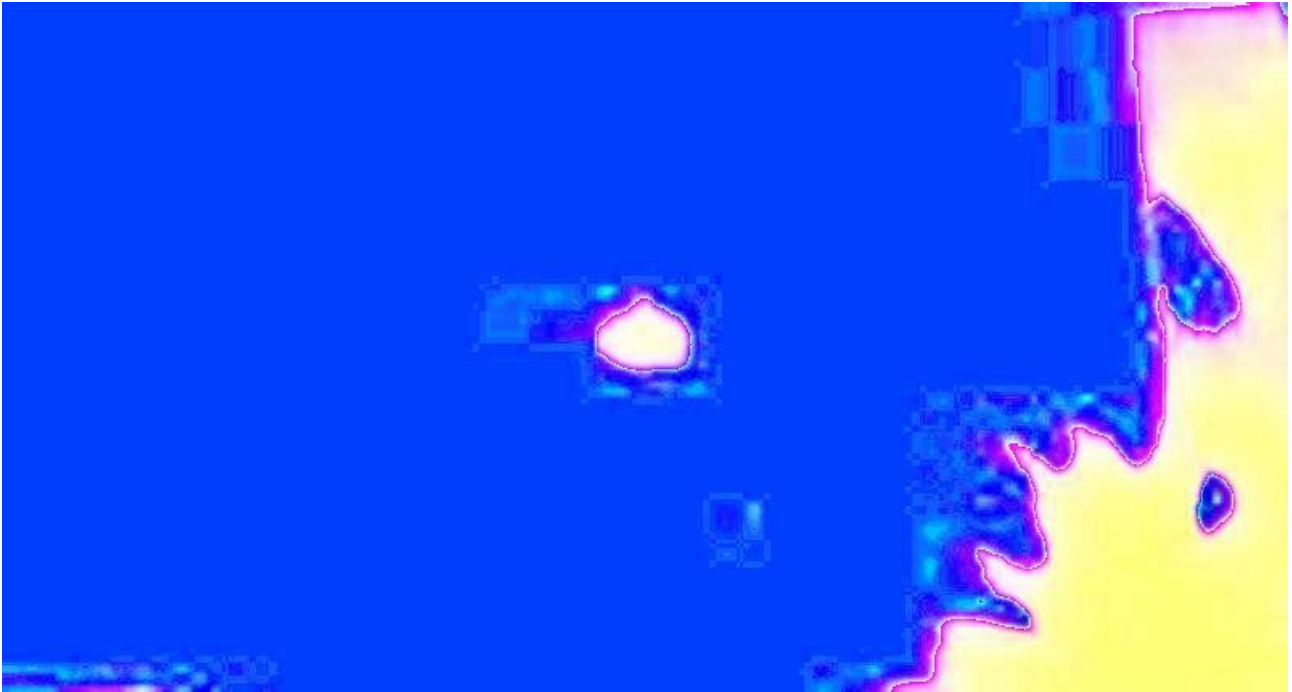
riusciamo a risaltare il contorno inferiore del soggetto.

A sua volta, applicando invece il **Sobel y** allo stesso modo:



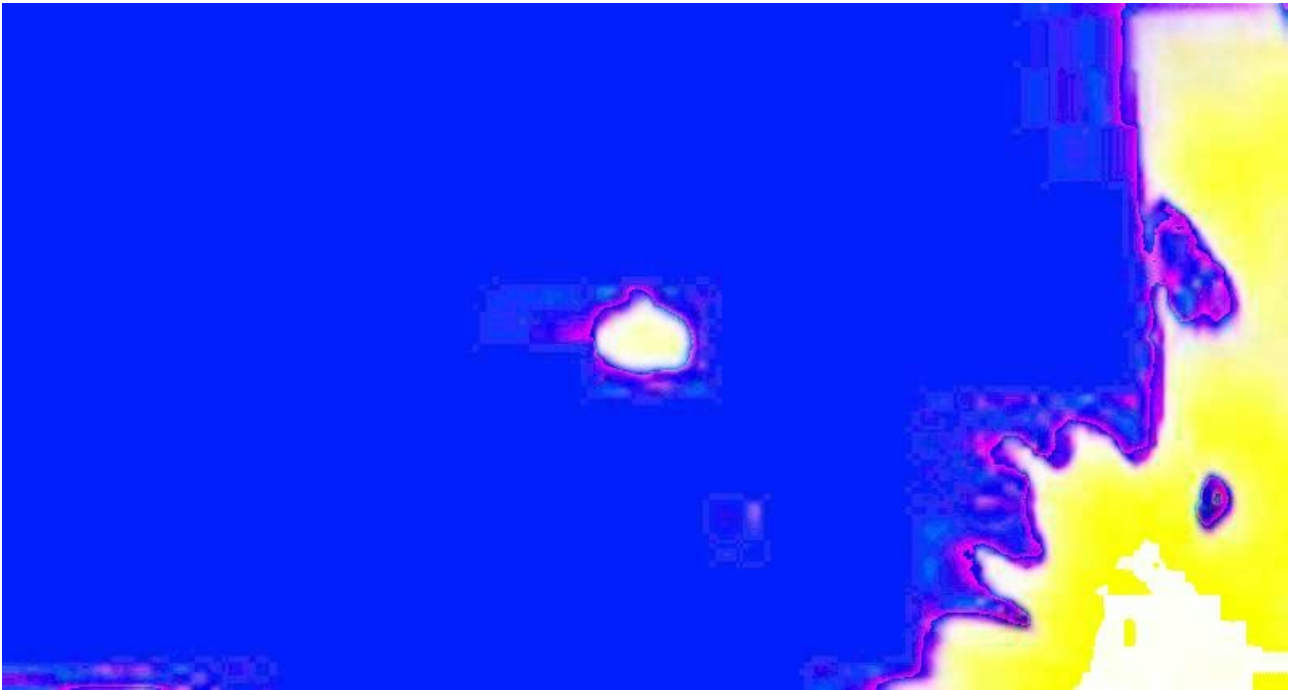
che evidenzia invece i contorni del lato sinistro del soggetto, che in particolare sembra avere un taglio netto che esclude ulteriori elementi sporgenti di estensioni paragonabili all'alone del lato sinistro dell'oggetto. In pratica, dentro l'alone evidenziato non sembra ci sia nessuna struttura solida.

Rimane da analizzare cosa succede alla foto se ad esempio modifichiamo i canali RGB di modo da aumentare i dettagli che possiedono una particolare componente di colore predominante rispetto alle altre 2. Applicando prima **4 incupimento + negativo** e **dopo modificando i canali RGB con coefficienti rispettivi: 1, 2, 1** (quindi raddoppiamo il contributo delle tonalità di verde dell'immagine), si ottiene:



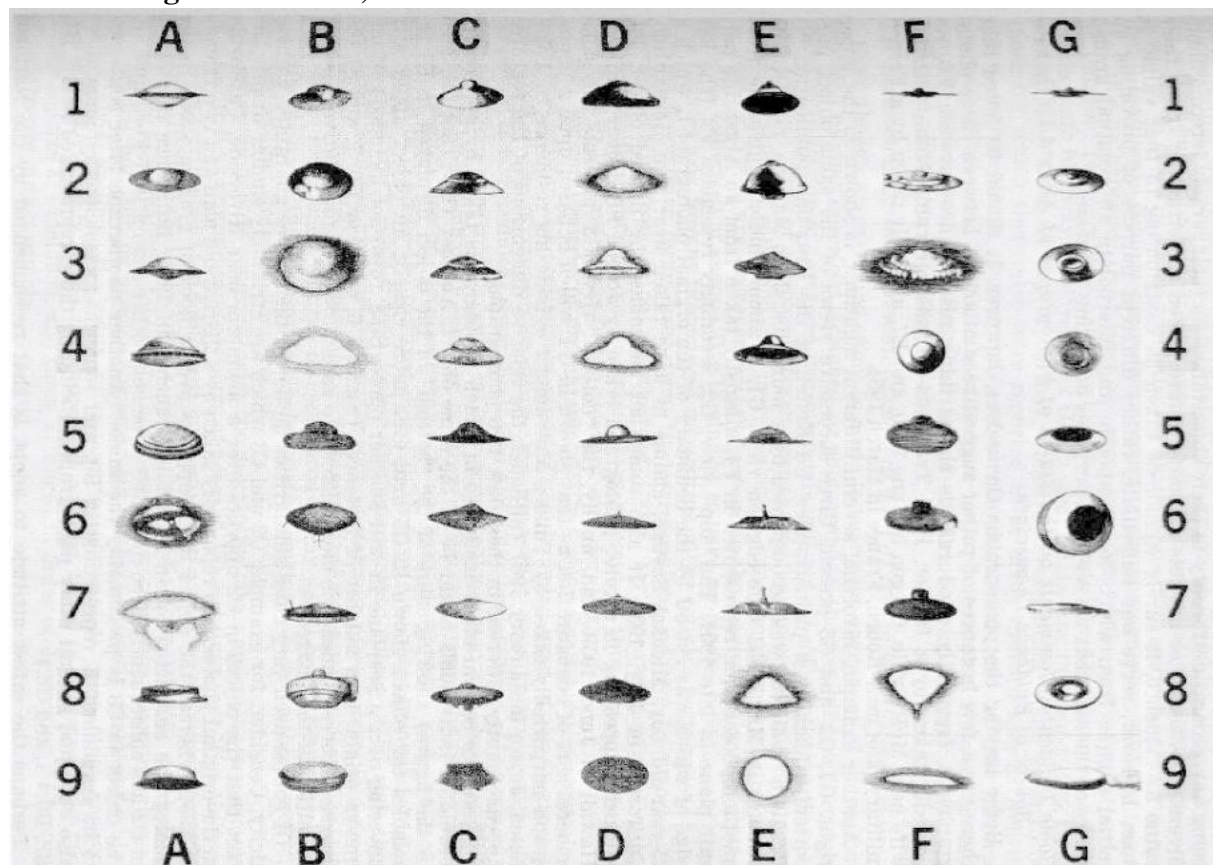
che mette maggiormente bene in evidenza i contorni del soggetto.

Analogamente, con **4 incupimento + negativo** e **dopo modificando i canali RGB con coefficienti rispettivi: 2, 1, 2**

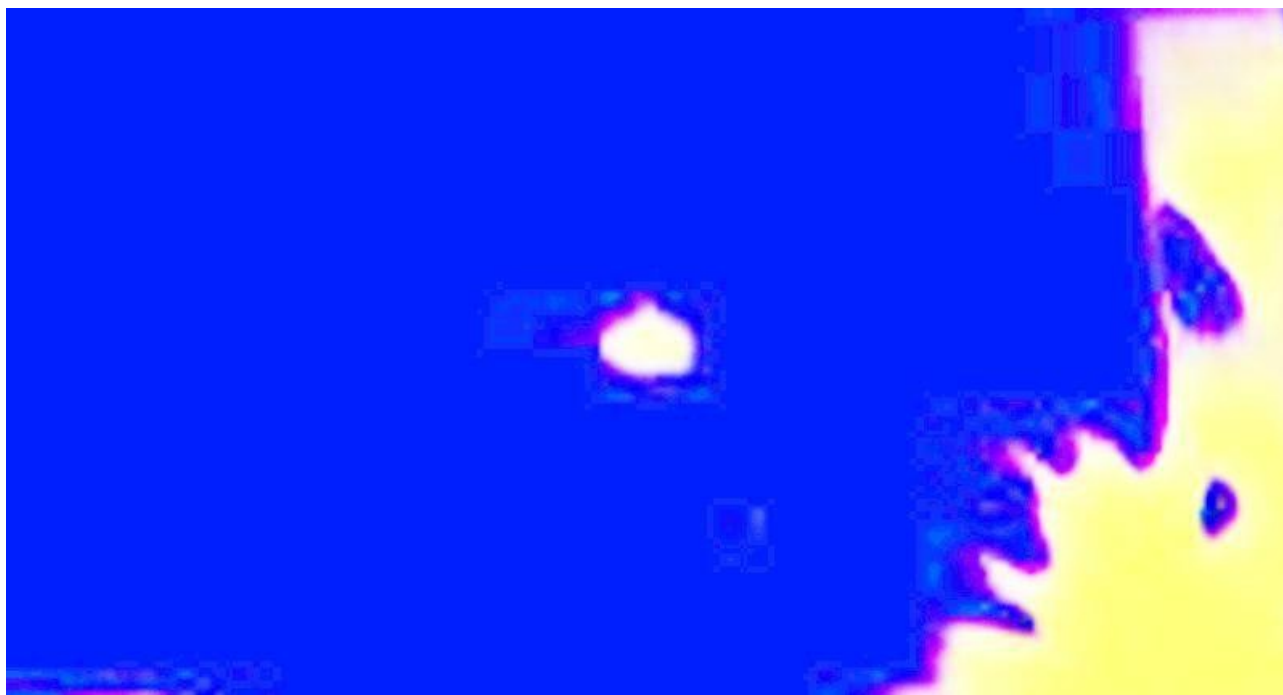


Si evidenziano ulteriori contorni che esprimono un senso di 3-dimensionalità del soggetto in esame.

Sospettando che il soggetto sia un ufo riportiamo la tabella identificativa rilasciata dal CUN (Centro Ufologico Nazionale) :



da cui, con un confronto con l'immagine precedente in negativo o con le precedenti elaborate:



sembra ci sia una discreta corrispondenza con l'ufo **F-5** oppure **B-8** della tabella del CUN.



### 6.3 Seconda Immagine UFO 2?

Sempre località Messina, zona Castel San Iachiddu, situato sulle colline sopra il centro abitativo cittadino. Primavera del 2009, orario approssimativo 18.00.





Effettuando uno zoom sull'angolo superiore sinistro:



Anche questa è una foto scattata da fermo. Si sospetta magari che il soggetto sia un uccello in volo che cade in picchiata e che risulta tale a causa di un effetto di sfocamento dovuto al moto stesso del volatile.

Applicando un filtro di **equalizzazione** otteniamo:



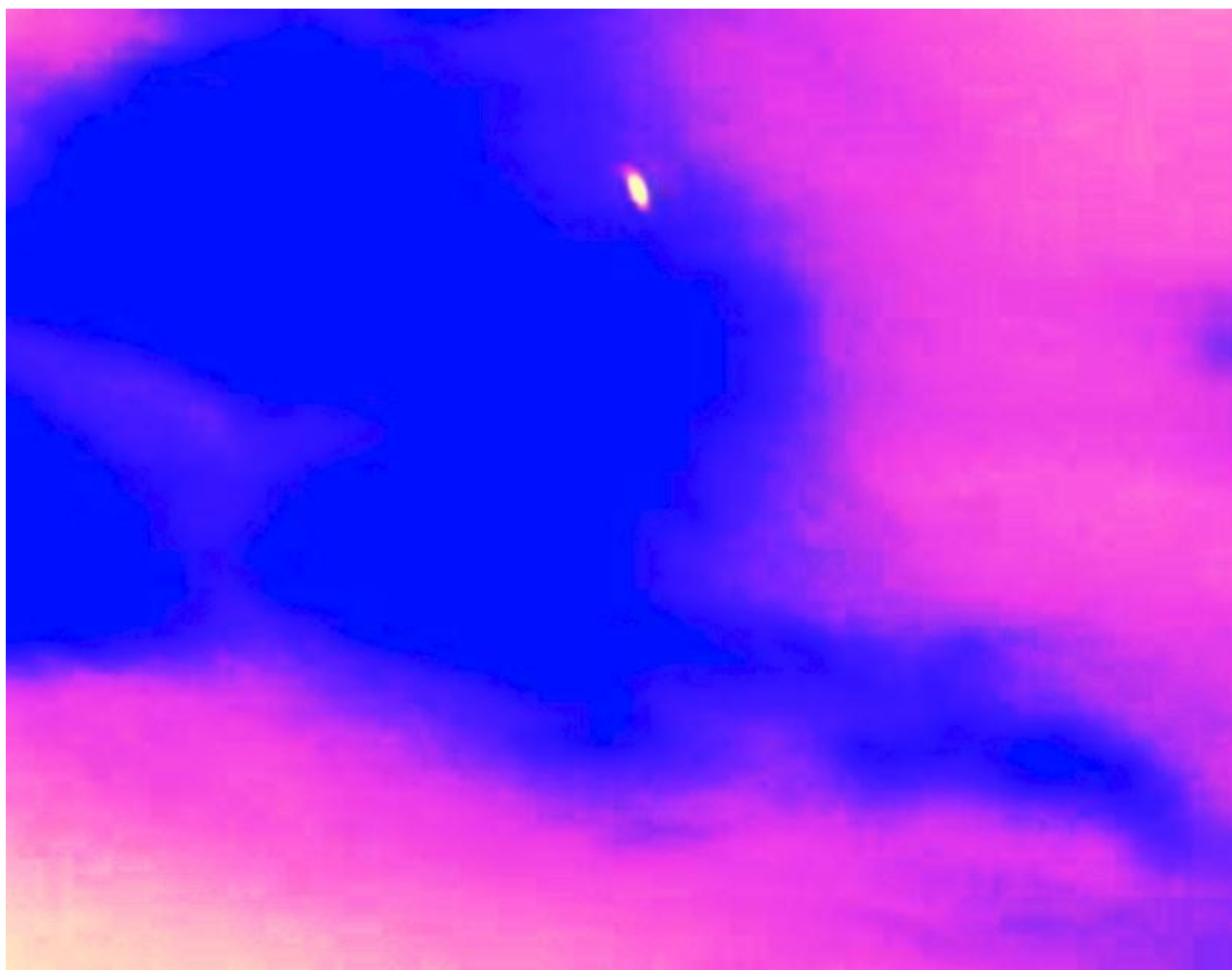
da cui si vede una sospetta forma ellittica non molto affusolata. È molto probabile che un volatile in movimento produca una immagine ellittica caratterizzata però da un certo allungamento sostenuto dell'ellissi nel verso di direzione del volo. In questo caso l'allungamento dell'ellissi è relativamente scarso.

Poiché dal negativo dell'immagine abbiamo discrete tonalità di colori scuri possiamo applicare un **filtro di schiarimento** immagine in modo da livellare il contrasto.

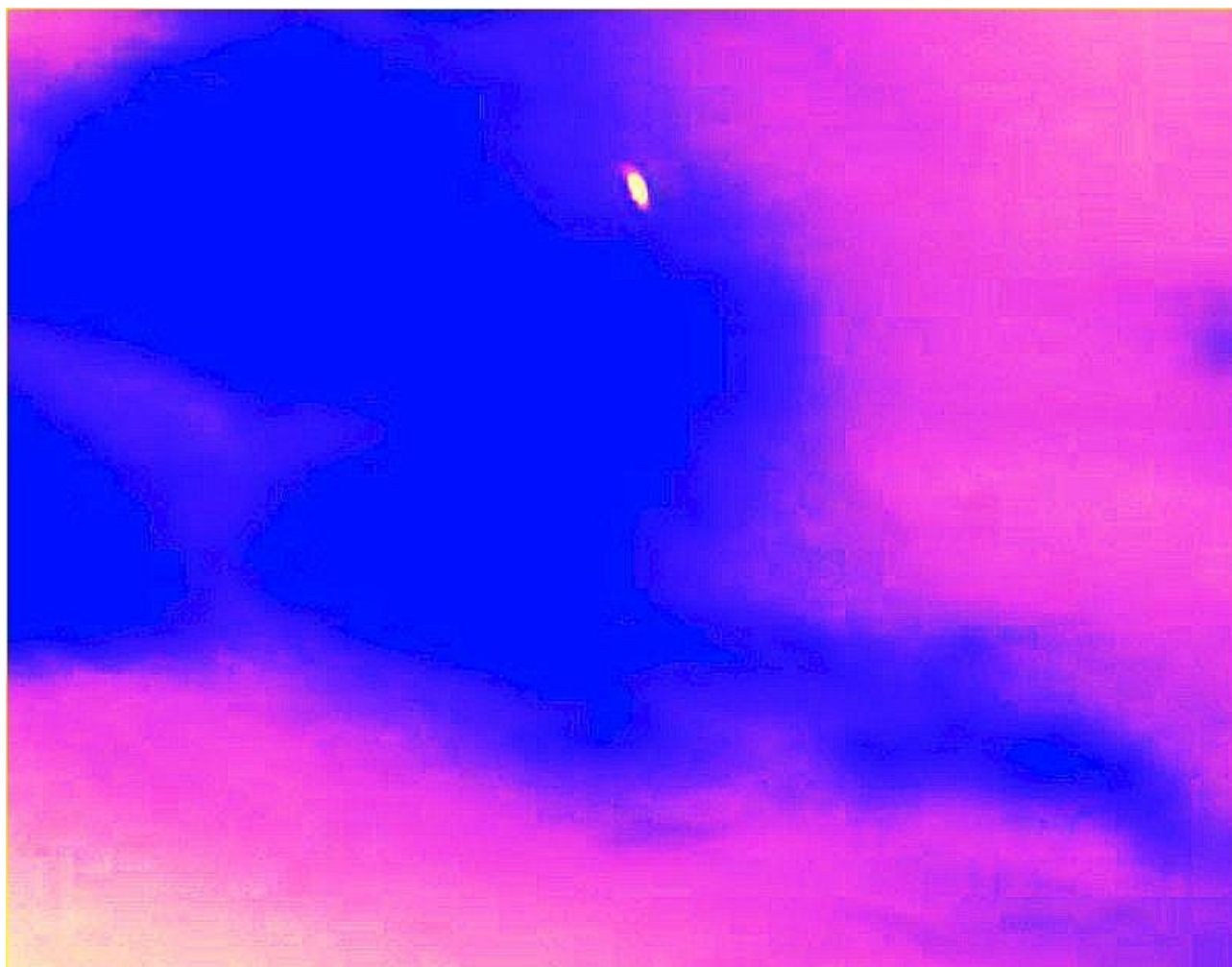


Da tale operazione evidenziano dei contorni netti e la presenza di un alone caratterizzato da degli effetti di sfocatura in alto (maggiore) e in basso (minore) del soggetto. Se il soggetto della foto è un volatile in moto diagonale dall'alto al basso in direzione dell'allungamento dell'ellissi lo sfocamento inferiore della regione attorno al soggetto è poco plausibile.

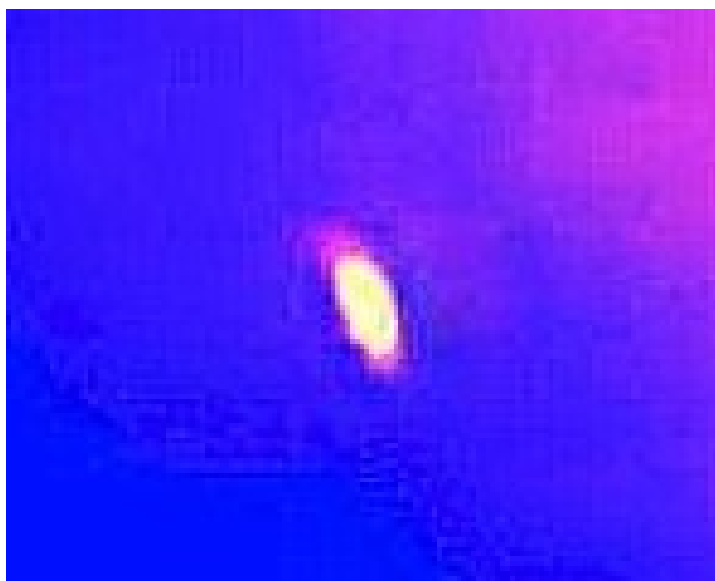
Applicando nuovamente il **negativo alla precedente immagine** si evidenzia ulteriormente la regione attorno al soggetto che possiede una determinata forma. Il soggetto inoltre sembra possedere dei contorni troppo netti (colore giallo oro) rispetto alla regione sfocata attorno al soggetto stesso (di colore violaceo).



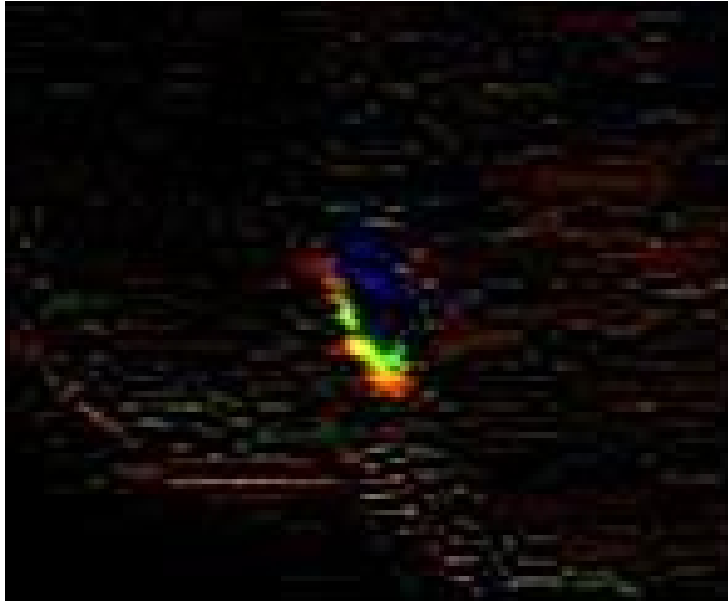
Applicando un **filtro di nitidezza** alla **precedente immagine** si evidenziano ancora maggiormente i contorni ellittici del soggetto (sempre di colore giallo oro).



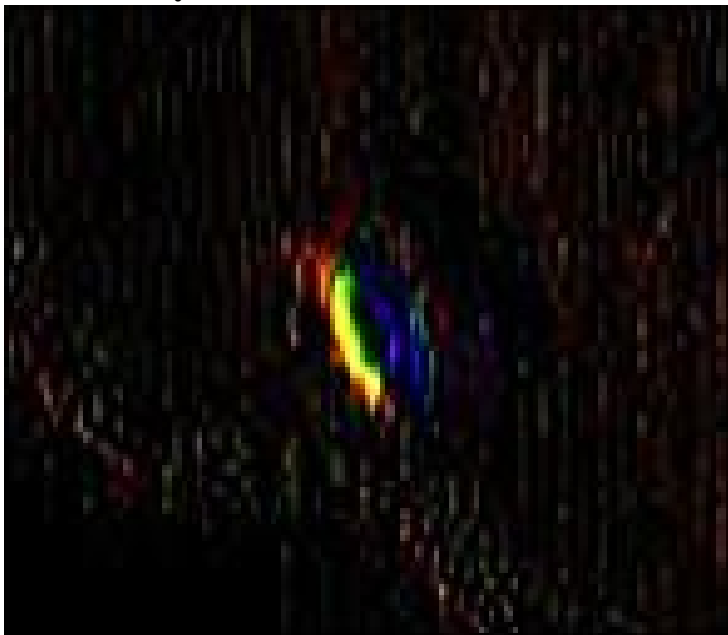
Da uno zoom:



Applicando un **filtro di Sobel x** al riquadro precedente otteniamo:



Applicando invece un **filtro Sobel y**:



I due filtri Sobel mettono in evidenza la forme curve del soggetto.



Applicando infine invece il filtro di **Laplace**:



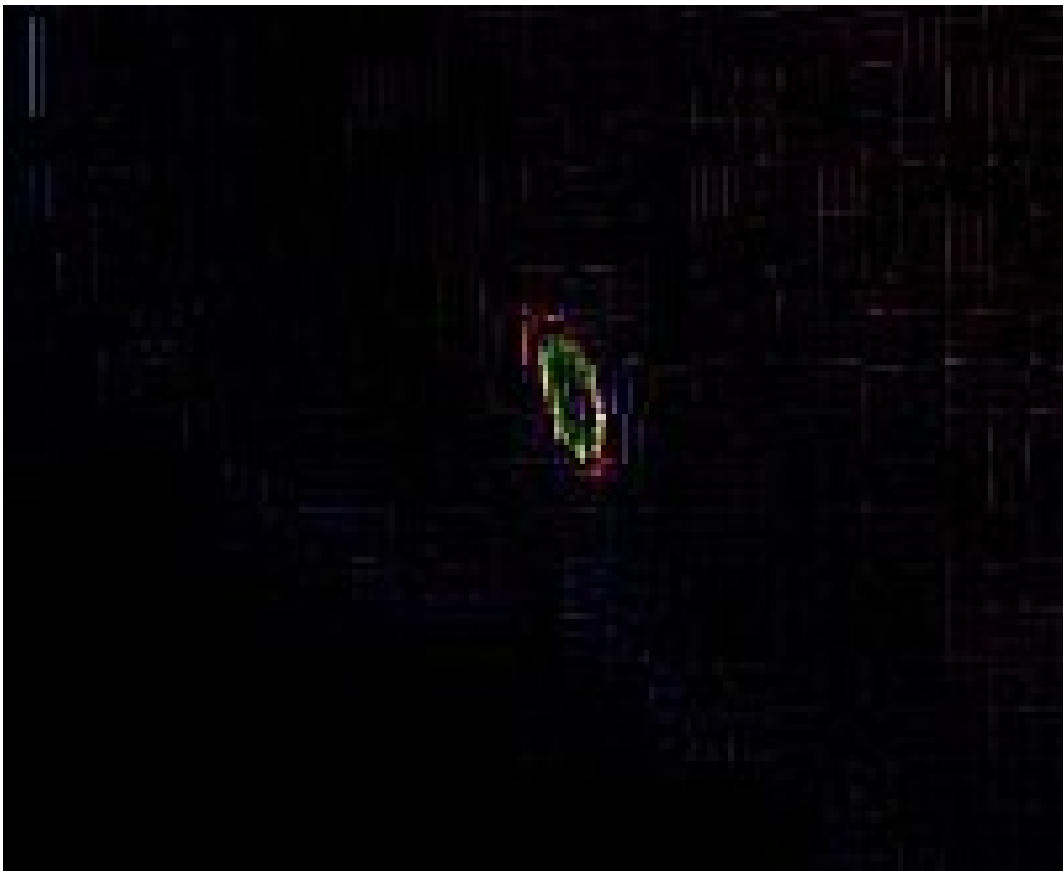
Che mette in evidenza i contorni netti ellissoidali del soggetto e la presenza di un certo alone attorno al soggetto, tipico di un ufo in movimento.

Non essendo ancora convinti possiamo applicare la catena dei filtri:

**negativo + schiarire + nitidezza + negativo + incupimento + laplace** dall'immagine originale ed ottenere:



Da cui da uno zoom:



Che maggiormente mette in evidenza quanto sopra osservato.

## 6.4 Un falso UFO

Elaboriamo una immagine già analizzata dal portare [www.terninrete.it](http://www.terninrete.it) e dal sito [www.ufologia.net](http://www.ufologia.net) il cui articolo potete trovare al link [http://www.terninrete.it/headlines/articolo\\_view.asp?ARTICOLO\\_ID=185262](http://www.terninrete.it/headlines/articolo_view.asp?ARTICOLO_ID=185262)



Secondo quanto è stato detto da chi ha scattato la foto **l'intruso** in questione è un esemplare di passeraceo italico. Da uno zoom sul soggetto otteniamo:



Da cui a prima vista ci sembra di vedere un ufo da un classico aspetto ellissoidale. Applicando però dei semplici filtri possiamo svelare l'inganno. Se è presente nella foto (come dall'altronde è stato già appurato) un forte effetto di sfocamento del volatile dovuto al moto stesso del volatile e alla non corretta messa a fuoco, allora da un semplice **filtro di equalizzazione** dovremmo evidenziare qualcosa di interessante:



Come si vede la dimensione del soggetto si è notevolmente “ridotta” lasciando solo una regione centrale relativamente piccola con contorni ben definiti la cui forma come si vede è molto allungata, condizione tipica di un effetto di illusione ottica per movimento. La regione attorno ai contorni netti, ovvero l'alone che si presenta attorno, di colore verdastro e poco visibile, copre in realtà la dimensione originale percepita nella prima foto.

Applicando allora un semplice **filtro di Laplace** alla foto precedente :



Da cui si è evidenziato sempre il contorno netto interno, ben visibile dal semplice filtro di equalizzazione. Ricaviamo che il soggetto della foto è frutto di una evidente illusione ottica.



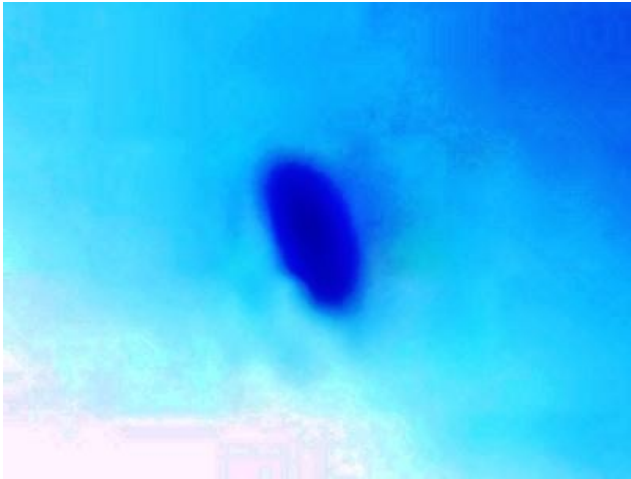
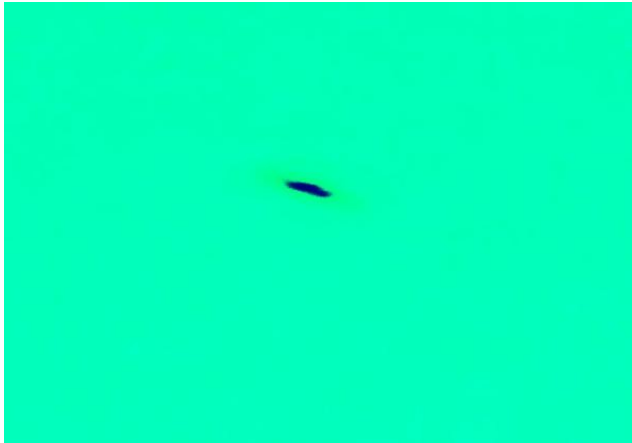
Cosa cambia tra questa foto di un falso ufo e le 2 foto precedenti dei punti 6.2 e 6.3?

Nelle foto dei punti 6.2 e 6.3 le operazioni effettuate non modificano in modo sostanziale la dimensione del soggetto.

La forma dei presunti ufo osservabili dalle foto originali non viene alterata in modo spropositato durante l'applicazione dei vari filtri, il ch  indica in sostanza che i soggetti di tali foto non sono illusioni ottiche del tipo presentato in quest'ultimo caso.

FACCIAMO UN ESEMPIO PRATICO??

**Al confronto:**

Soggetto foto del punto 6.3. UFO vero!?	Soggetto del punto 6.4. UFO falso!!
	
	
I dettagli aumentano e si delineano i contorni con un semplice filtro di equalizzazione.	Un semplice filtro di equalizzazione mostra una riduzione notevole delle dimensioni del soggetto e dei suoi contorni netti.



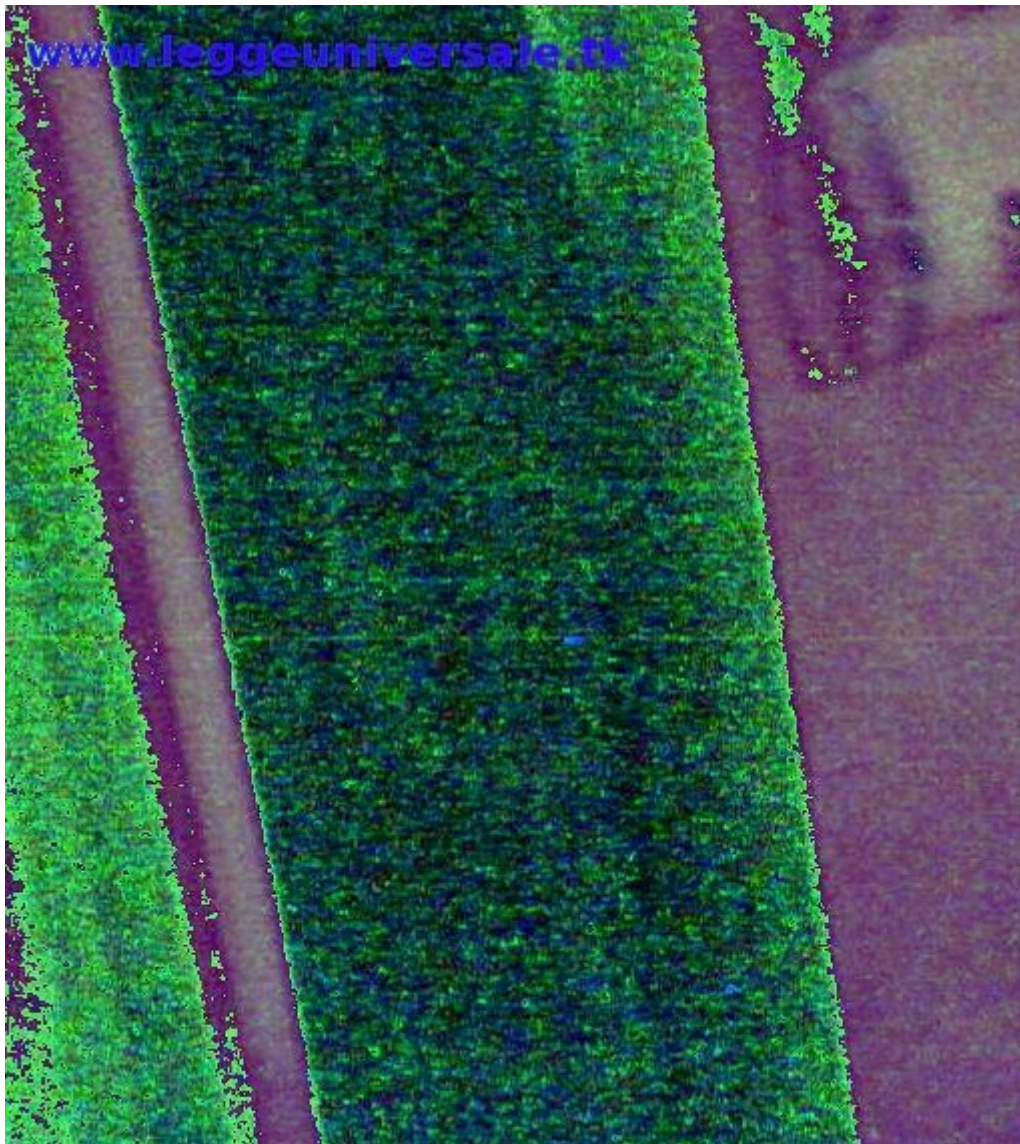
## 6.5 L'ospite Indesiderato!

Passiamo adesso dai cieli alla terra, e più precisamente arriviamo dentro le nostre case.



A prima vista sembra ci sia qualcosa, anzi qualcuno, di fronte all'obiettivo della fotocamera. I colori del soggetto sono tenui, il soggetto è “trasparente” come se fosse di fumo ma si riesce a distinguere qualche contorno, Per chi non vede nulla applichiamo qualche filtro per aiutarvi nella percezione.

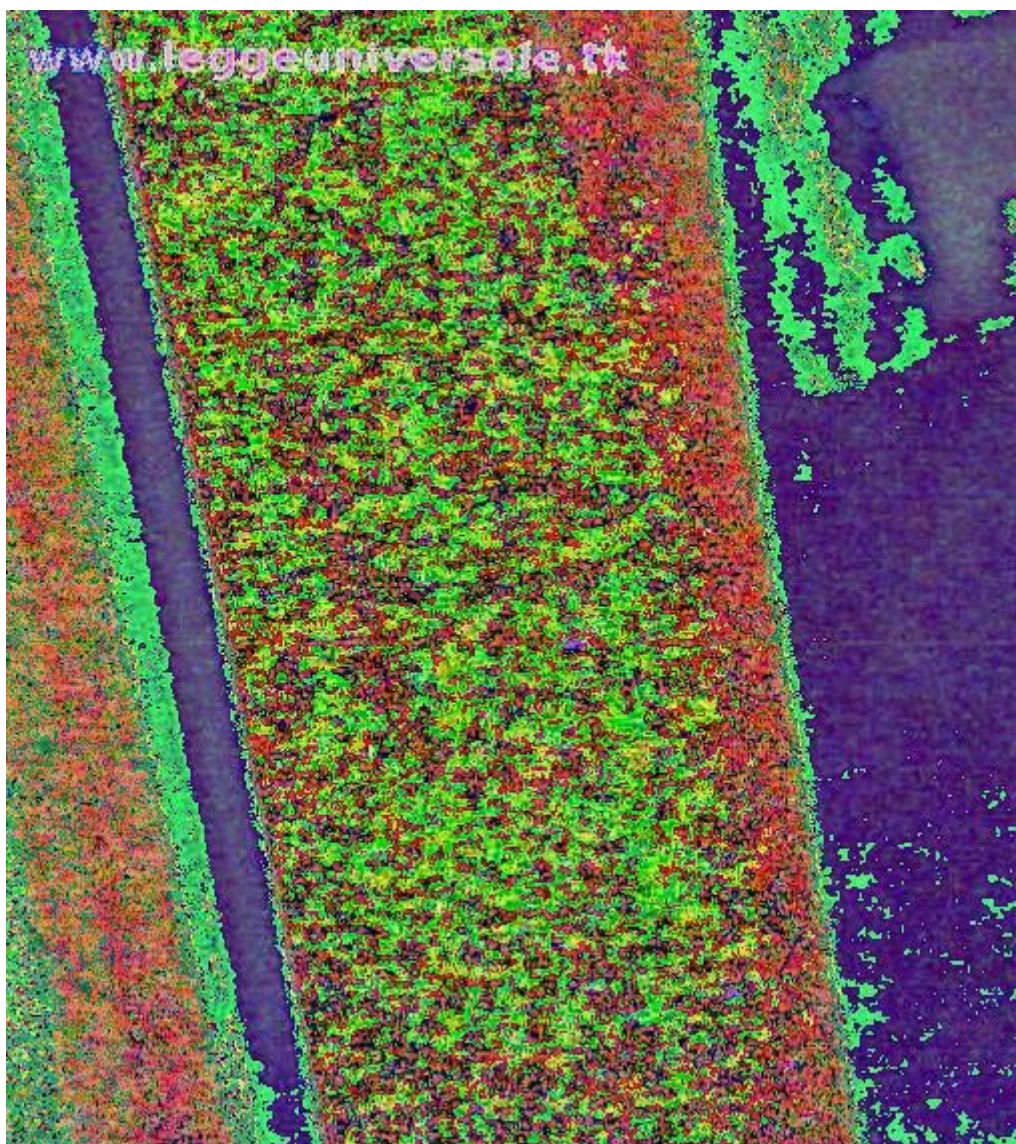
Applicando un **filtro a parametri RGB** con coefficienti: 1, 3, 1 (e quindi esaltando il canale verde).



Che permette una più distinta visione del soggetto. Sembrano apparire 2 occhi e la forma di una testa.



Applicando una **traformazione gamma** con  $R=256$ ,  $L=60$  (compressione a 60 livelli di grigio) e **gamma = 4** si ottiene:



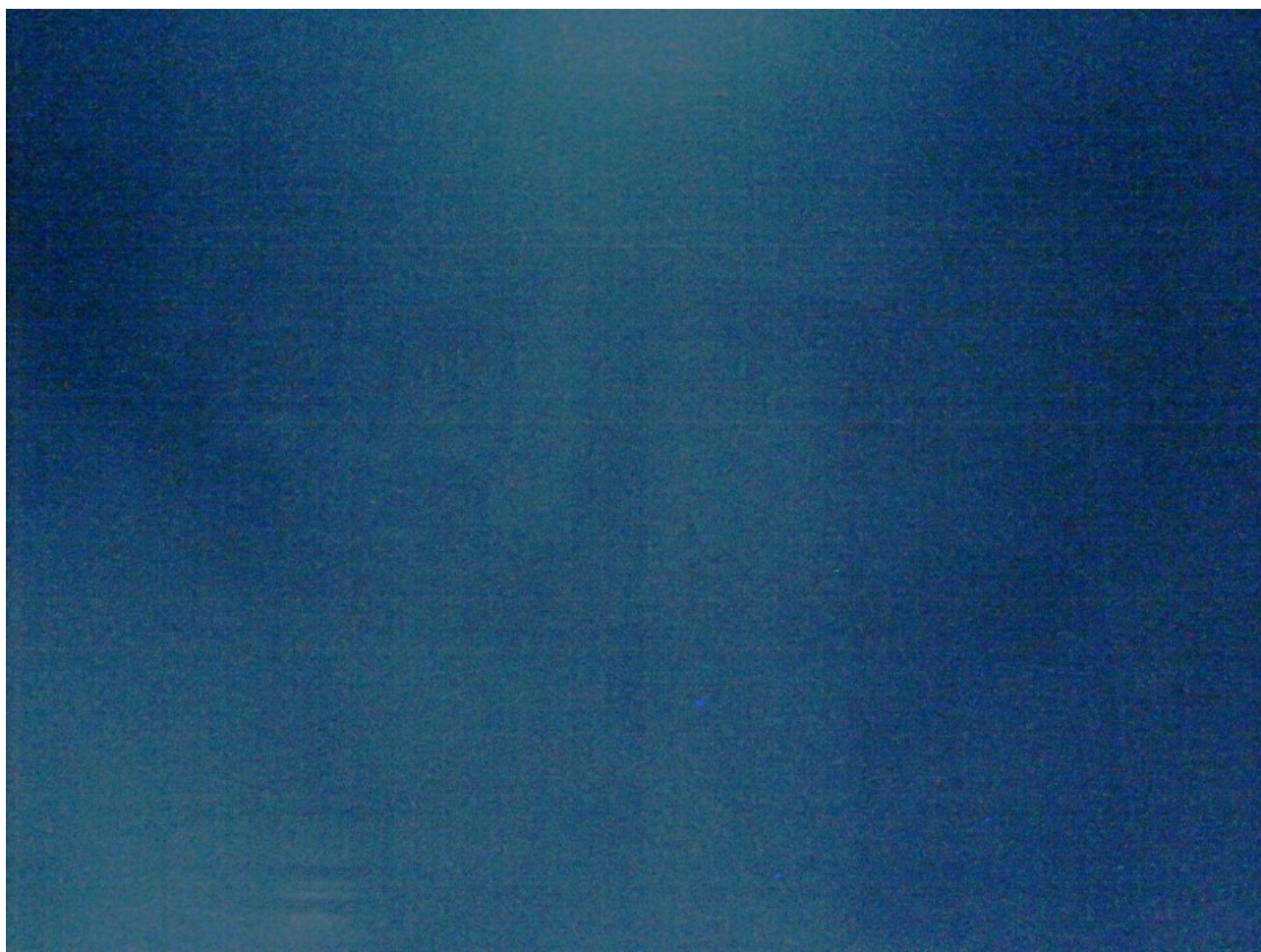
Che, a parte evidenziare nel lato sinistro della foto la sagoma di una testa, e nel lato destro un occhio, non permette di esprimere un giudizio a causa dei numerosi artefatti introdotti durante l'elaborazione.

Vediamo invece un caso più fortunato:



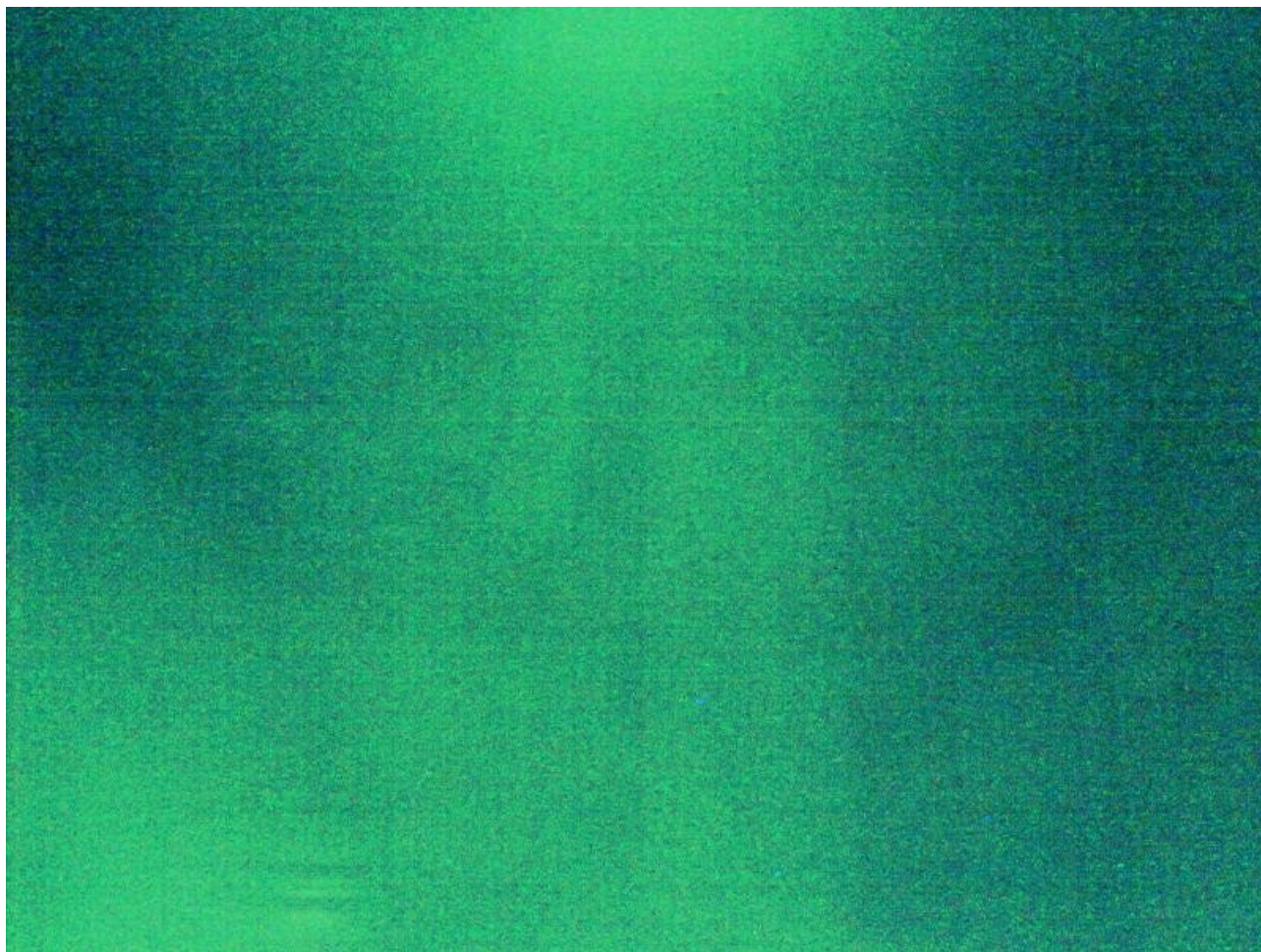
## 6.6 Un bel sorriso..

Chi di voi non ha mai avuto la sensazione di sentirsi osservati? Siamo seduti al bar, rilassati, stiamo sorseggiando magari un caffè.. ad un tratto ci sentiamo osservati, ci voltiamo istintivamente ed ecco che vediamo giungere nella nostra direzione un caro amico. È una sensazione comune, non spiegabile scientificamente, un sesto senso, che ci permette di individuare quando ad esempio qualcuno ci guarda alle nostre spalle. Ma cosa succede quando voltandosi non si vede nulla? La sensazione non svanisce ma continua ad essere avvertita e magari riusciamo inconsciamente e senza nessuna regola scientificamente dimostrabile ad identificare una direzione che ci congiunge al presunto osservatore. E se mentre ci voltiamo e non vediamo nessuno scattiamo una fotografia? Io l'ho fatto ed ecco il risultato.



Cosa si vede in questa foto? Bhè, nulla di chiaro ma comunque c'è un alone che ricorda vagamente un volto... c'è una forma non tangibile che la fotocamera ha catturato ma il mio occhio invece no.

Applicando un **filtro sui canali RGB con parametri 1,2,1** (di modo da esaltare le tonalità di verde e rendere la foto più facilmente percepibile dall'occhio):



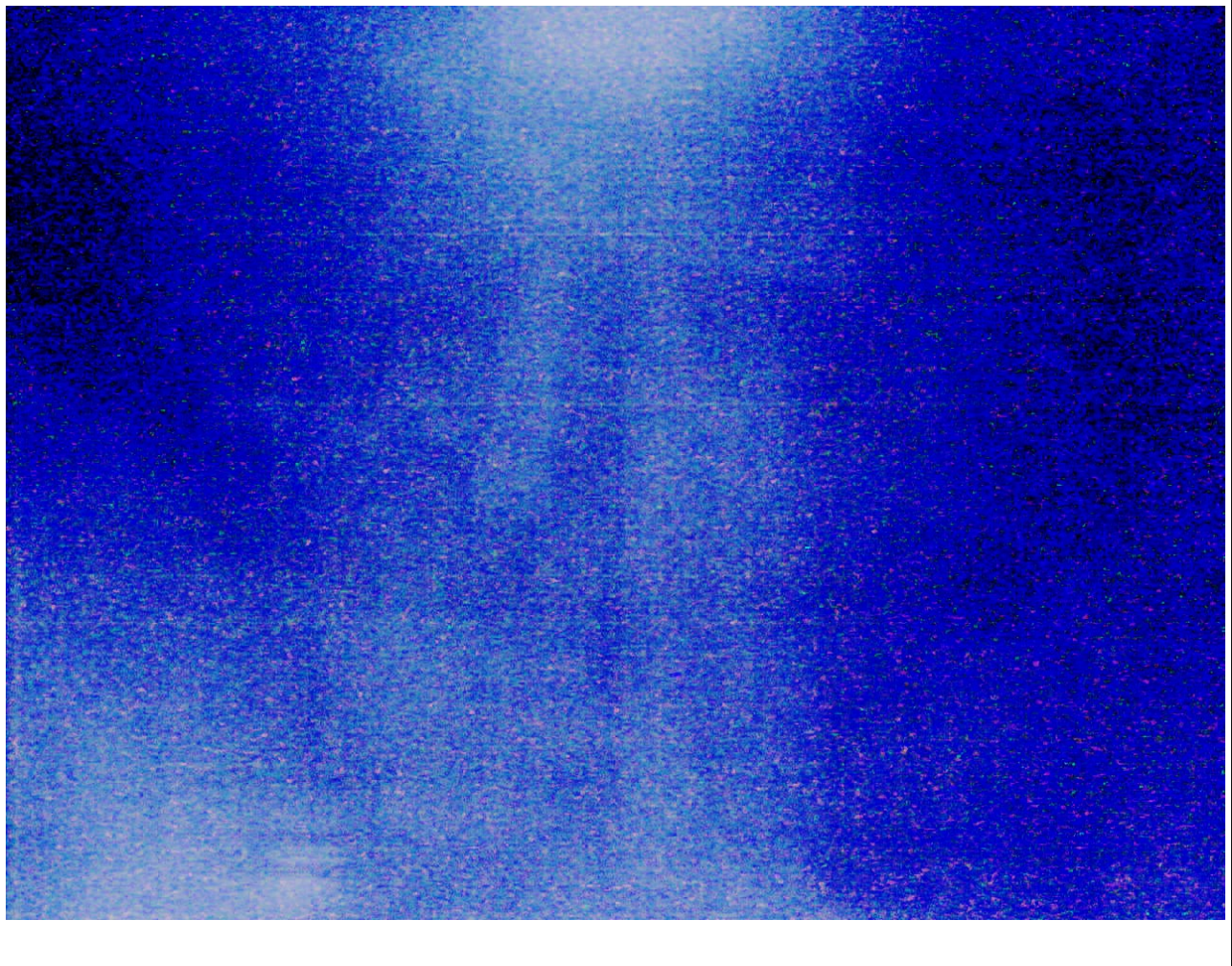
L'immagine parla da se.. è pure vero che ogniuno vede ciò che vuole vedere... o non vedere quello che non si vuole vedere... fa lo stesso...



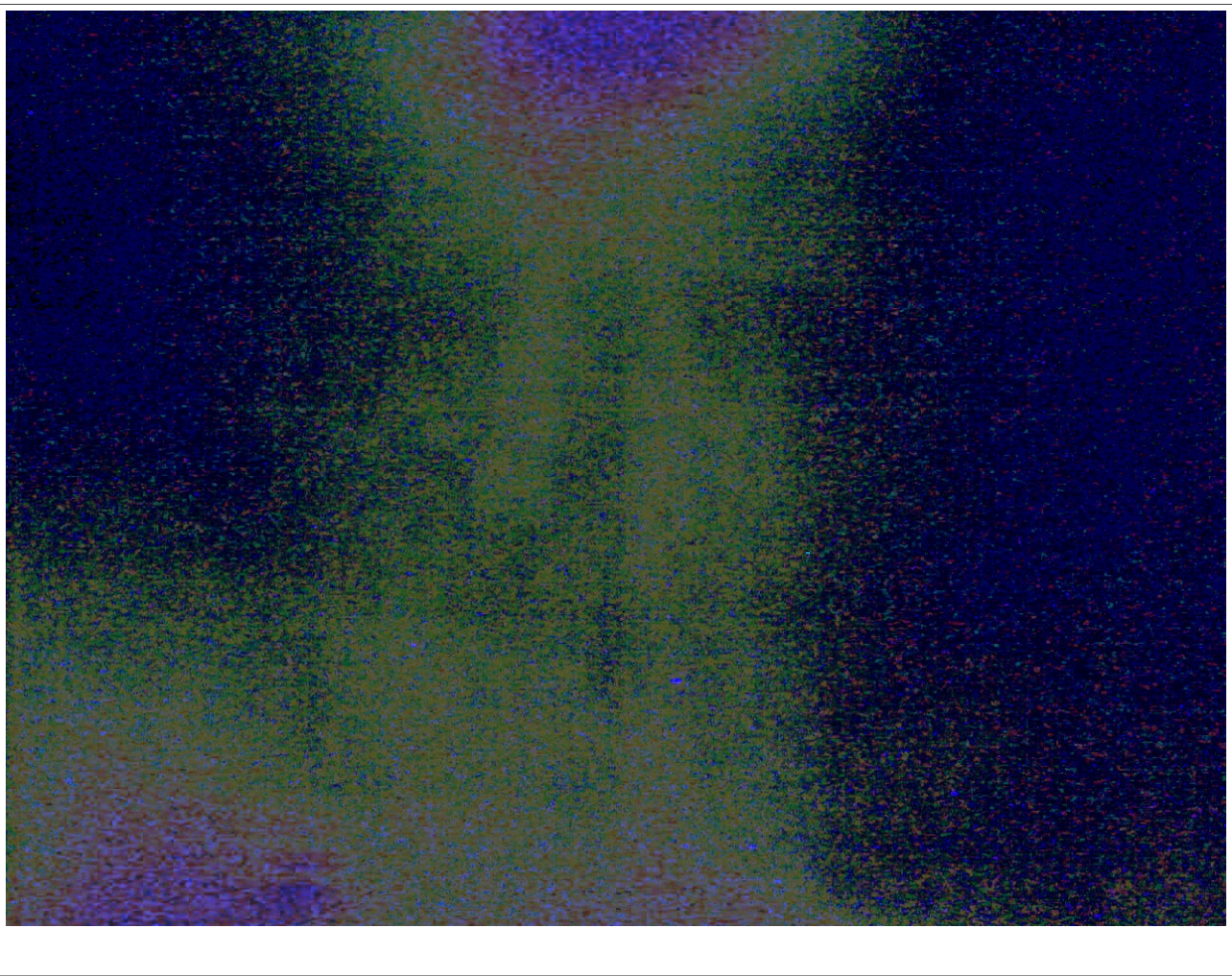
## Conclusioni: Filtraggio e fantasia!

A conclusione di questo lungo discorso sull'elaborazione di immagini digitali, salutiamo il lettore con delle immagini elaborate da **Alessio Zara** - [www.alessiozara.it](http://www.alessiozara.it) (un mio caro amico che saluto). Indovinate quali filtri sono stati applicati..

Le immagini valgono più di mille parole...











## ***Bibliografia***

- Digital Image Processing – Gonzalez Prentice Hall 2<sup>nd</sup> Edition 2002
- Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. William K. Pratt John Wiley & Sons, Inc.
- Fondamenti di Image Processing, Guida teorico/pratica per l'elaborazione e la codifica di immagini digitali - S. Battiato e F. Stanco
- Appunti di Interazione e Multimedia (Prof. Filippo Stanco )  
<http://www.dmi.unict.it/~fstanco> Università degli studi di Catania ( – *teoria* –) .
- Wikipedia.org – l'occhio umano