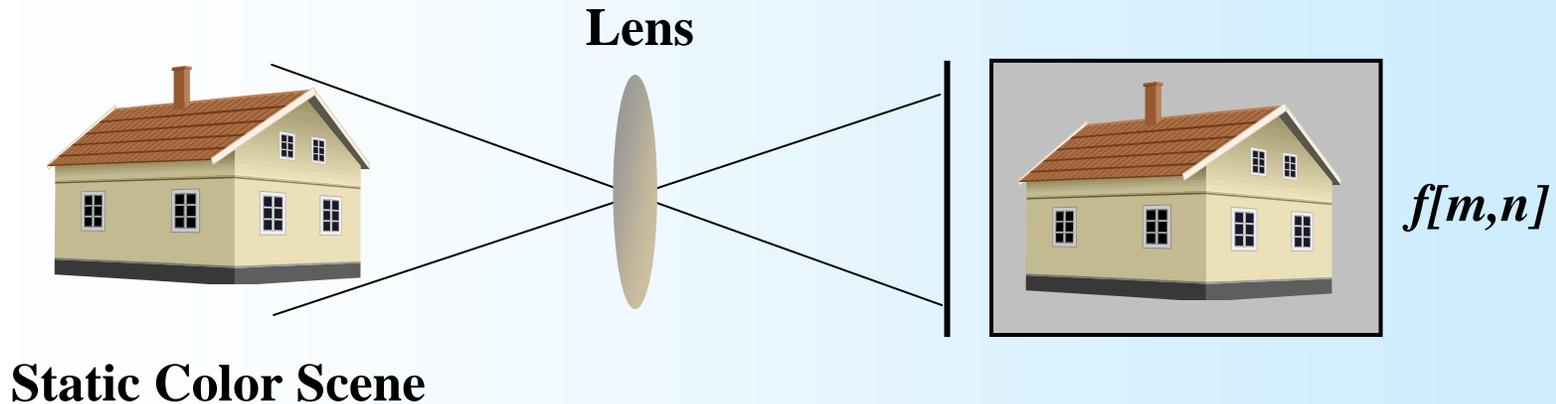


# ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI

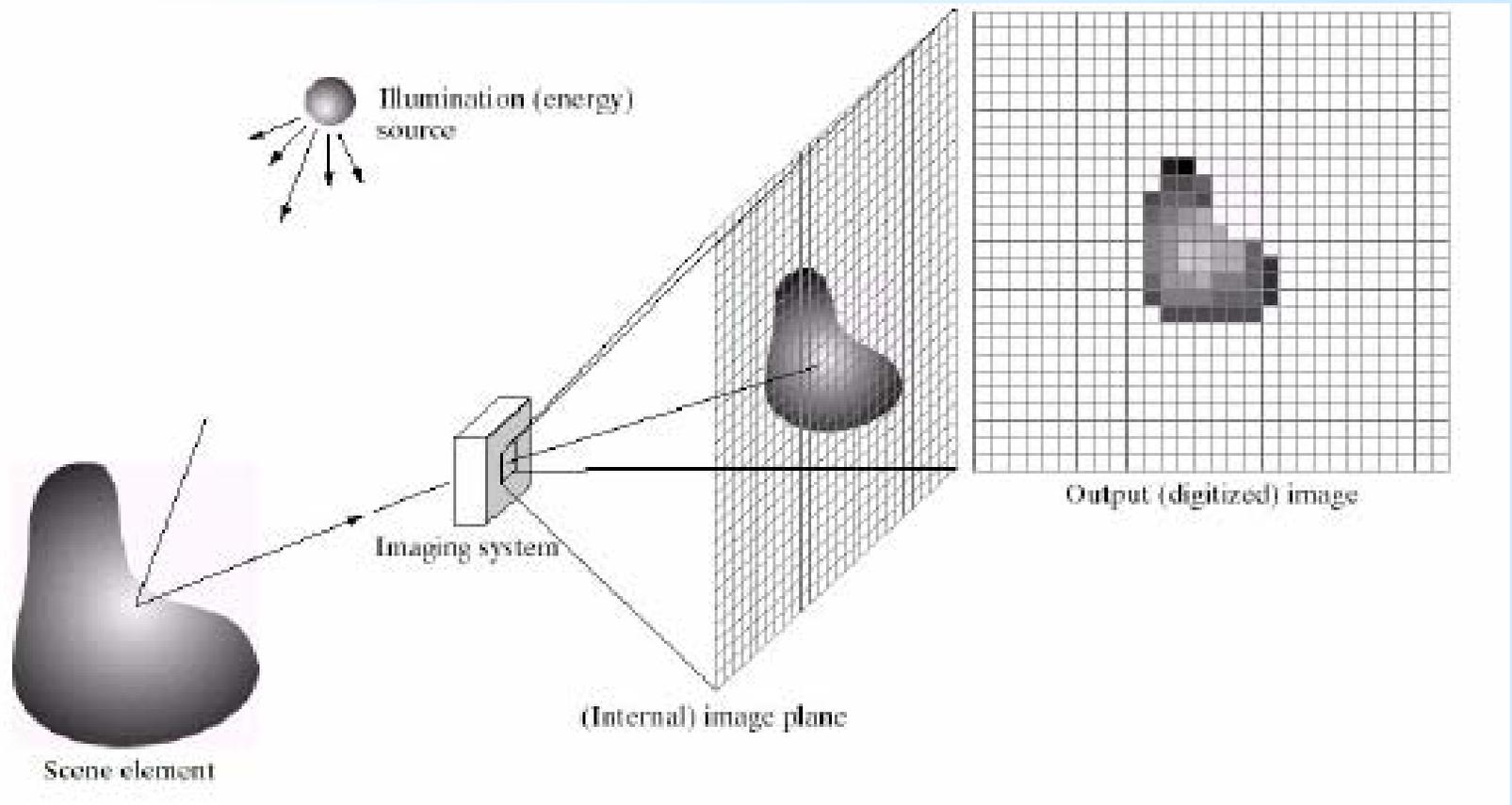
*Sebastiano Battiato*  
*battiato@dmi.unict.it*

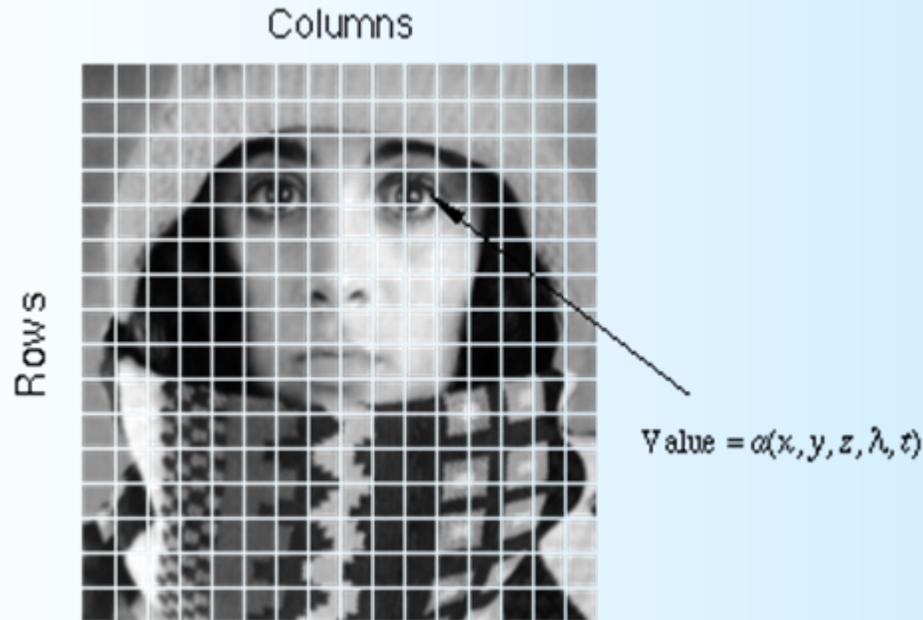
# Le immagini Digitali

Un'immagine è una funzione 2D  $f(x,y)$  che rappresenta una misura opportuna di una o più caratteristiche (luminosità, colore, ecc.) di una data scena.



# Acquisizione dell'immagine





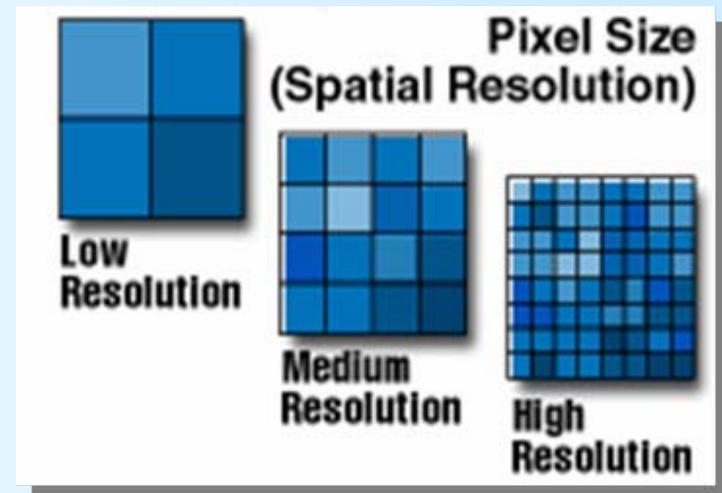
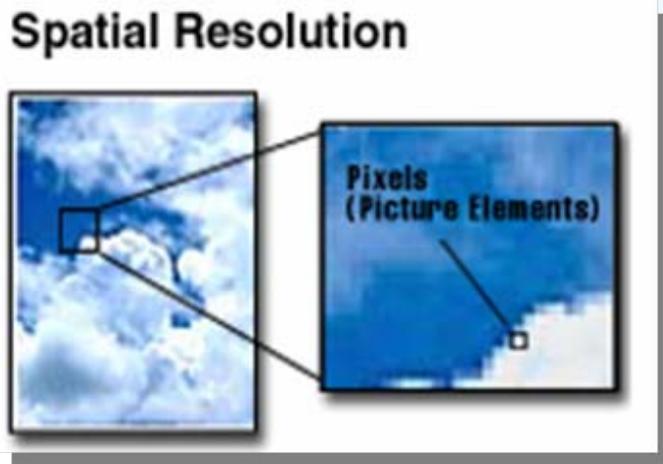
Un'immagine digitale monocromatica è una matrice  $I = f(x, y)$  di valori discreti di intensità luminosa (livelli di grigio), costituita da  $M \cdot N$  pixel (*picture elements*, detti talvolta *pel*), ciascuno dei quali ha un valore appartenente all'intervallo  $[0, L-1]$  essendo  $L$  i livelli possibili di intensità (o di grigio)

Tipicamente  $L = 2^k$ , dove  $k$  è il numero di bit usato per codificare ciascun pixel (profondità del pixel). Con 8 bit si ha la possibilità di rappresentare un numero di livelli (256) tale da consentire una discriminazione dei grigi accettabile nella maggior parte delle applicazioni, in quanto abbastanza prossima a quella dell'occhio umano.

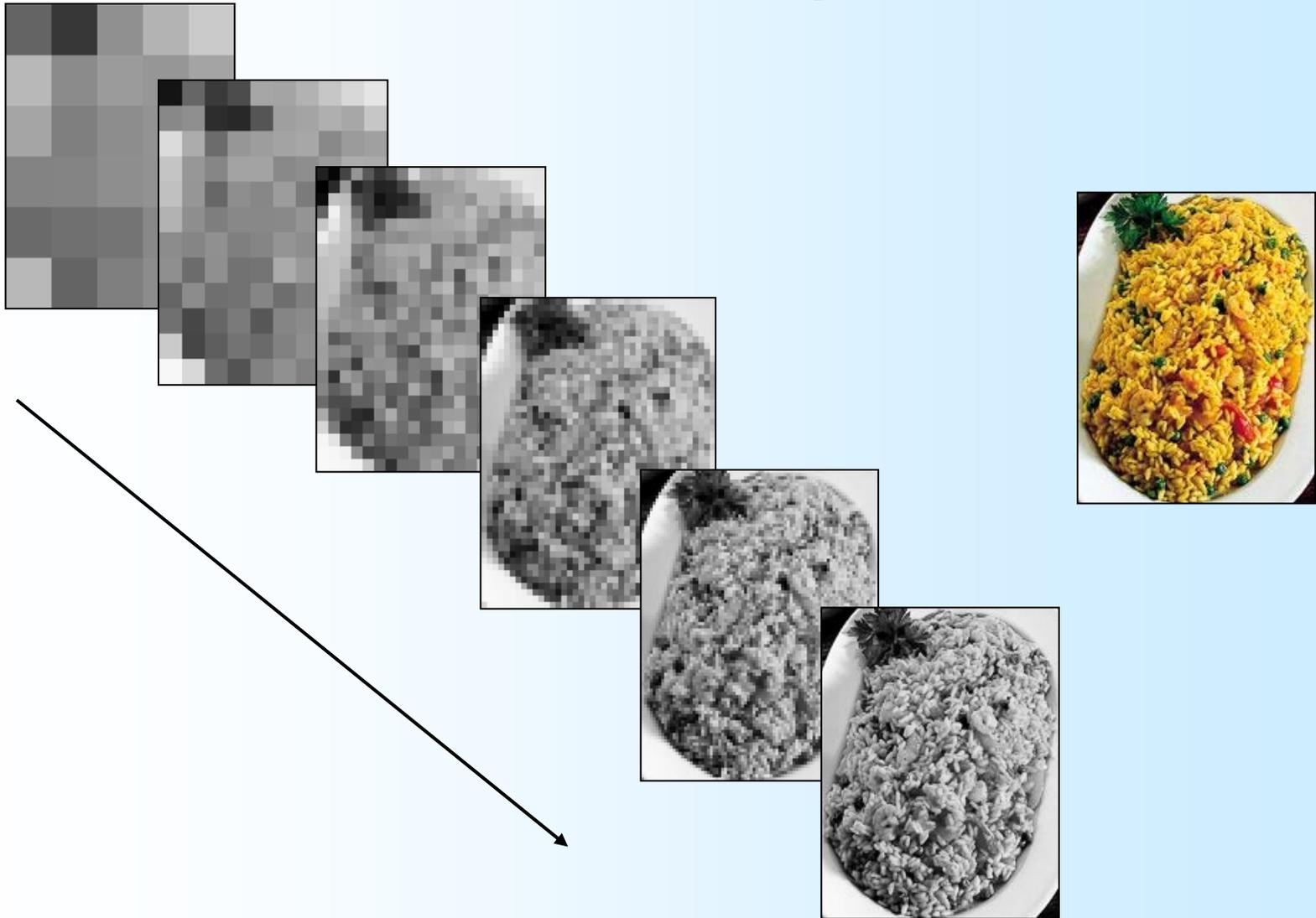
# Risoluzione Spaziale

La risoluzione spaziale si riferisce al numero specifico di punti di informazione (pixel – Picture Element) di un' immagine.

In un immagine ad alta risoluzione è necessario zoomare per “vedere” i pixel mentre quest isonogià evidenti in immagini a bassarisoluzione. Più alta è la risoluzione spaziale, maggiore sarà il numero di pixel nell'immagine e corrispondentemente più piccola sarà l'area resa da un singolo pixel. Ne segue che le immagini ad alta risoluzione hanno un maggiore livello di dettaglio e sono percepite con un maggiore livello di qualità.



# Risoluzione Spaziale



# Risoluzione

**Definizione:** si dice *risoluzione* il numero di pixel per unità di misura.

Si misura in pixel al centimetro, ma più spesso in *dots per inch* (dpi). Il concetto di risoluzione è relativo e va considerato con attenzione a seconda di differenti situazioni:

- Risoluzione dell'*apparecchiatura di ripresa*
- Risoluzione dell'*apparecchiatura di resa*
- Risoluzione di *ripresa di una scena*

# Risoluzione dell'apparecchiatura di ripresa

Si contano quanti sensori ci sono per unità lineare di misura.

**SCANNER:** fino a 6000 dpi e oltre

**FOTOCAMERE:** numero di sensori presenti sul circuito di ripresa. Si misura in *MEGAPIXEL*.

# Risoluzione dell'apparecchiatura di resa

Si contano quanti sensori ci sono per unità lineare di misura.

**Stampanti:** fino a 3000 dpi e oltre

**Schermi:** numero di elementi fluorescenti sullo schermo per unità di misura. Tipicamente 72 dpi, ma sono comuni anche altre risoluzioni.

# Risoluzione di ripresa della scena

Viene determinata dalla combinazione della risoluzione dell'apparecchiatura di ripresa, dalla distanza degli oggetti dai sensori, dal sistema ottico.

Nella prossima trasparenza alcuni esempi.

# Risoluzione



Il rosone ha nella realtà diametro di circa 2m.



L'immagine si compone di 200 pixel di larghezza. Si ha una risoluzione "reale" di 1 dot per 1 cm. Sono richiesti  $200 \times 200 \times 24$  bit = 960 000 bit per la memorizzazione.

L'immagine si compone di 100 pixel di larghezza. Si ha una risoluzione "reale" di 1 dot per 2 cm. Sono richiesti  $100 \times 100 \times 24$  bit = 240 000 bit per la memorizzazione.

L'immagine si compone di 10 pixel di larghezza. Si ha una risoluzione "reale" di 1 dot per 20 cm. Sono richiesti  $10 \times 10 \times 24$  bit = 2400 bit per la memorizzazione.

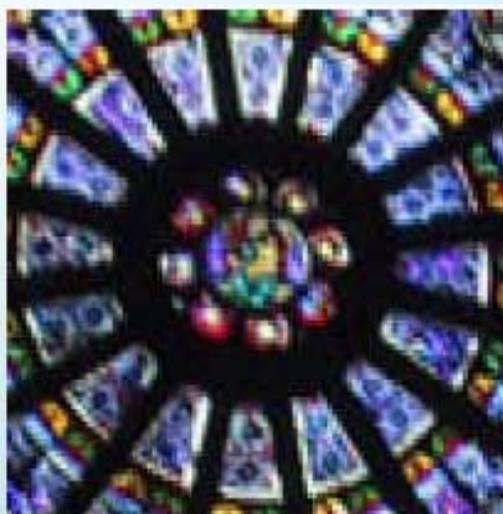
# Risoluzione

Per meglio comprendere il significato della risoluzione, simuliamo pixel di varie dimensioni:

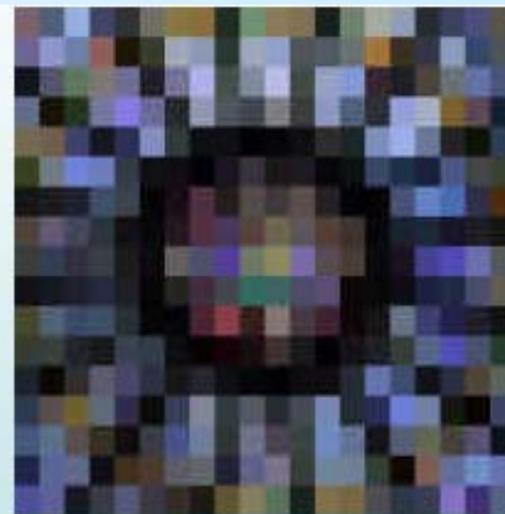
**1 pixel per cm**



**1/2 pixel per cm**

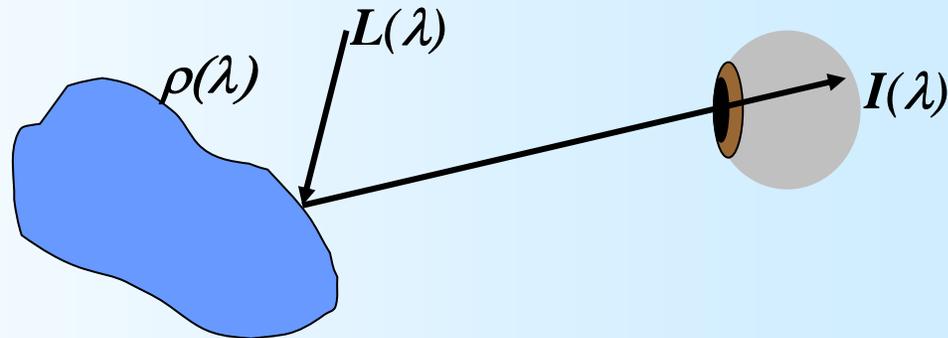
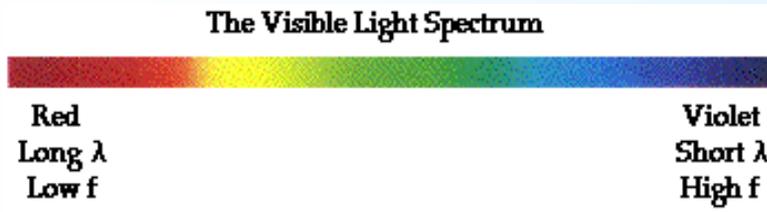


**1/20 pixel per cm**

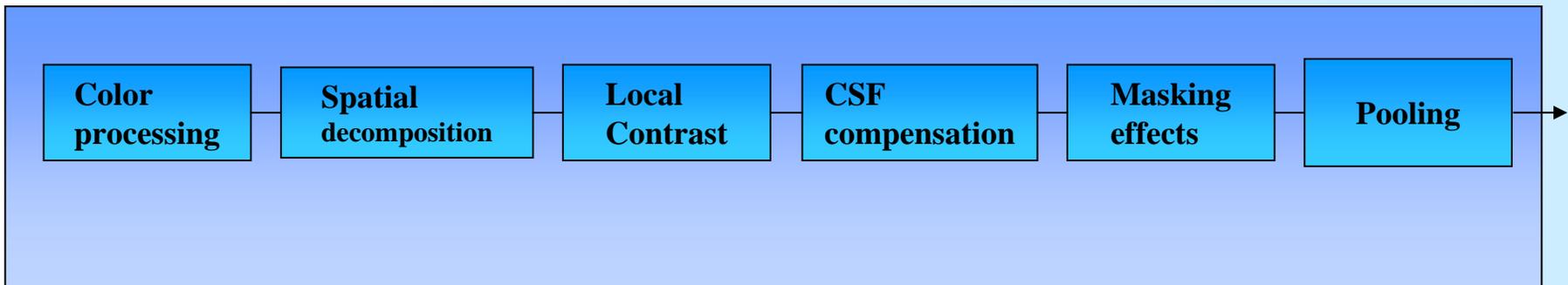
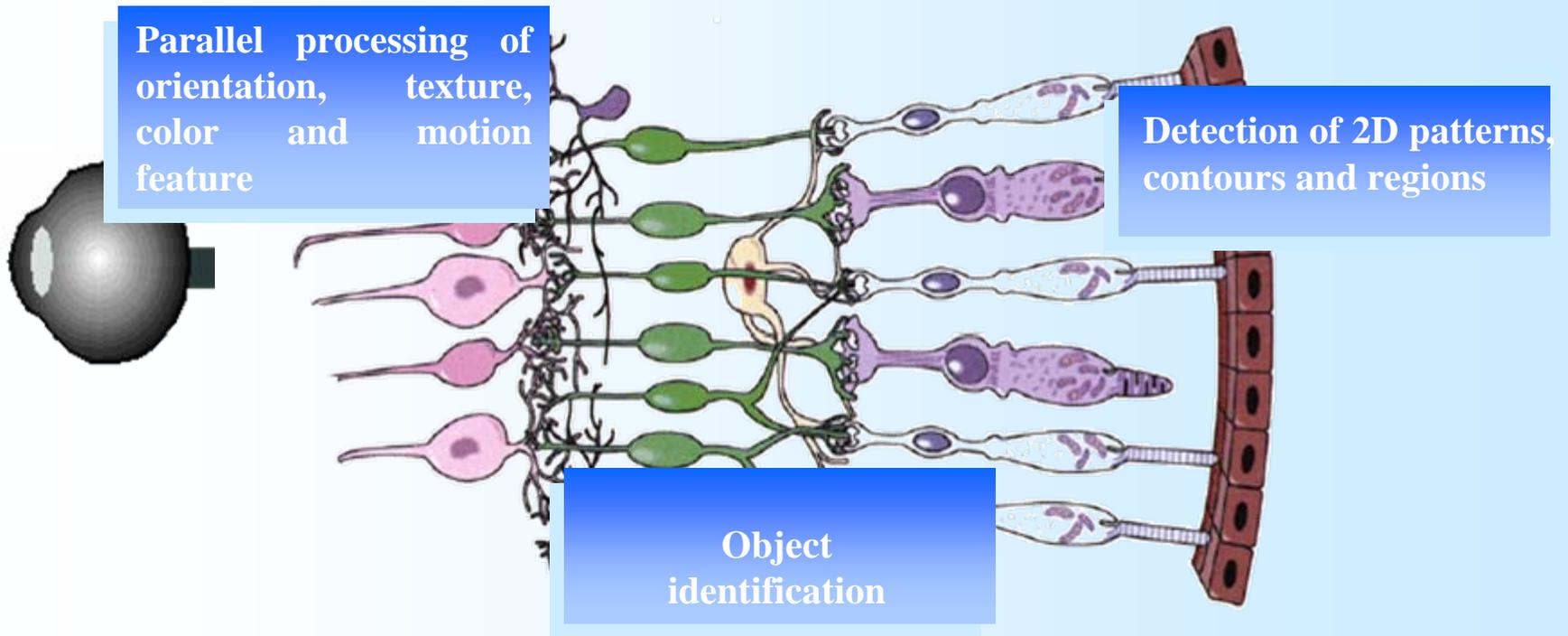


# Human Vision

La luce è una radiazione elettromagnetica alla quale il nostro sistema visivo è sensibile. Viene espresso in termini di distribuzione di energia  $L(\lambda)$  dove la lunghezza d'onda  $\lambda$  occupa un range di valori tra 350nm and 780nm.

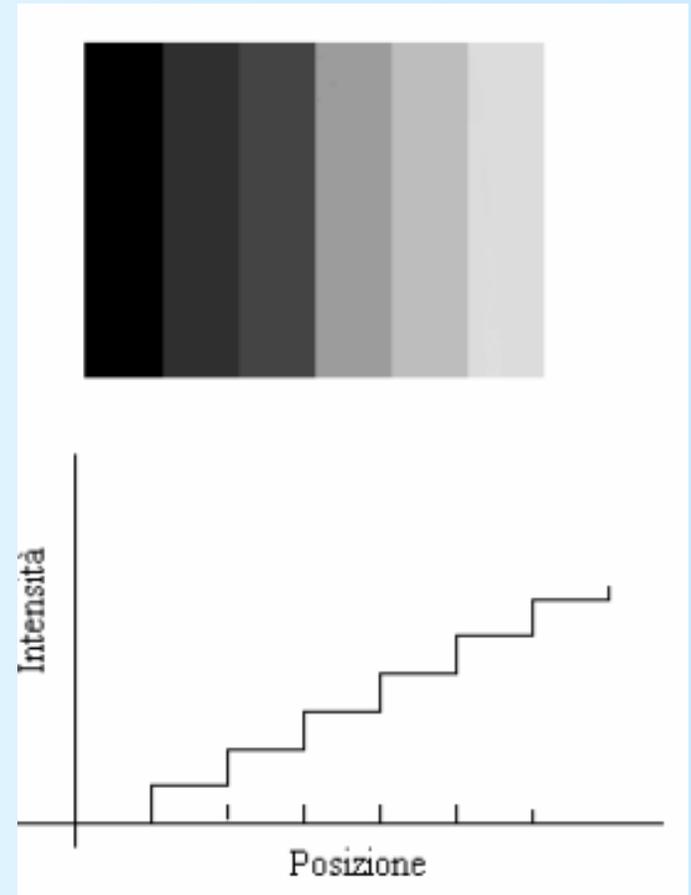


Considerando la riflettività  $\rho(\lambda)$ , la luce  $I(\lambda)$  che l'occhio riceve da un oggetto può essere espressa come  $I(\lambda) = \rho(\lambda) L(\lambda)$



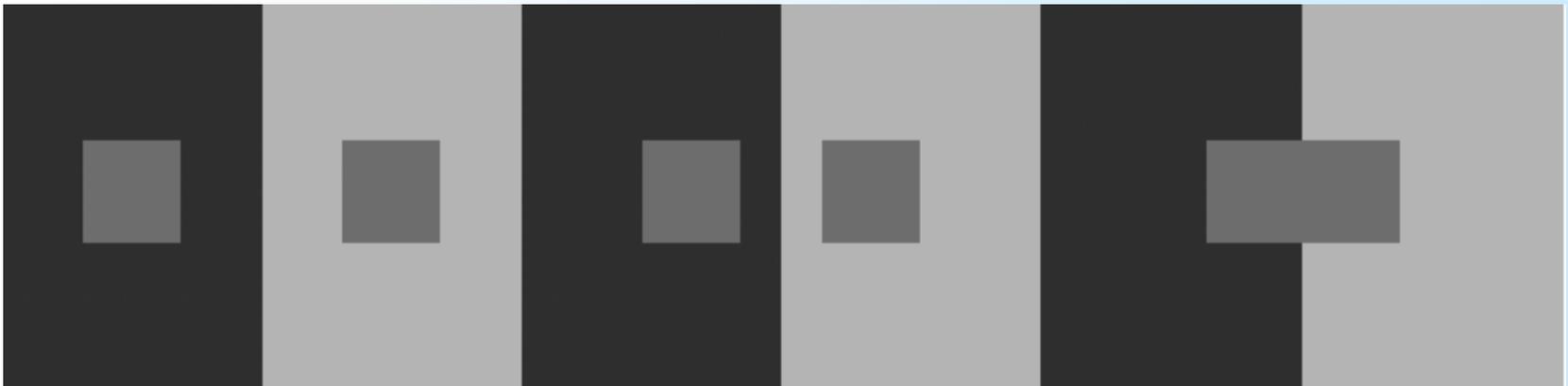
# Richiami sul sistema visivo umano

- La luminosità percepita non è soltanto funzione dell'intensità;
- Infatti, il sistema visivo umano tende a “confondersi” al confine fra zone di differente intensità;
- Benché l'intensità sia a strisce di valore costante, la sensazione è di un pattern di luminosità variabile, in particolare al confine fra le strisce.



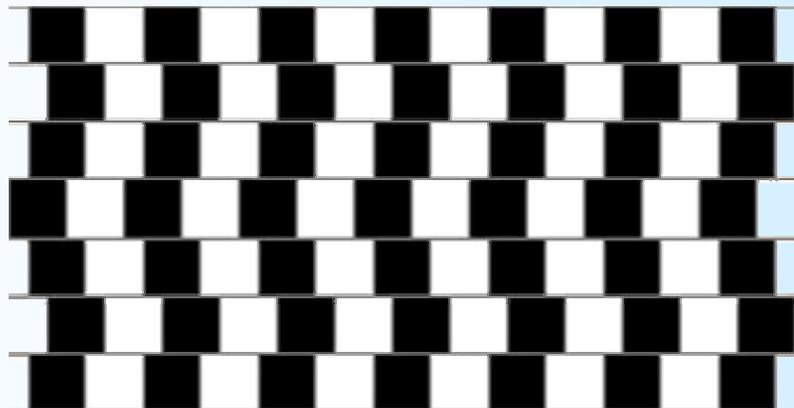
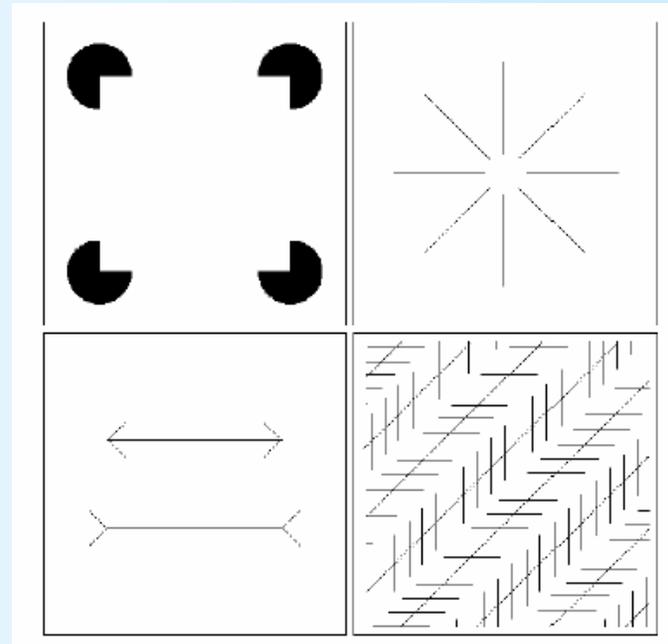
# Richiami sul sistema visivo umano

- Un altro fenomeno tipico è quello del contrasto simultaneo: il contesto contribuisce alla determinazione della luminosità di una regione.
- I quadrati hanno la stessa intensità, ma quello su sfondo scuro appare più chiaro di quello su sfondo chiaro. Appaiono uguali solo quando sono a contatto.



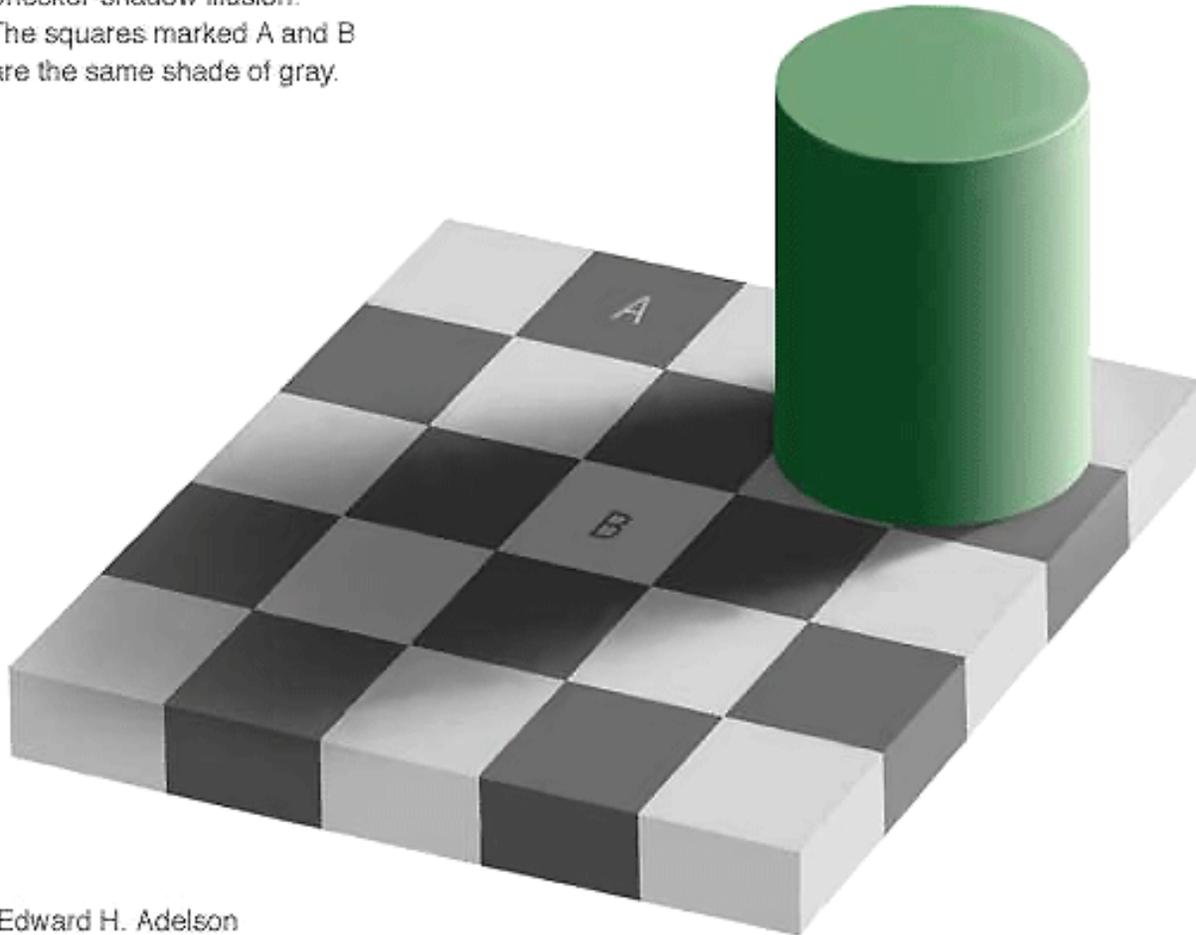
# Richiami sul sistema visivo umano

Altri fenomeni percettivi tipici sono le illusioni ottiche: l'occhio viene ingannato dalle caratteristiche, anche geometriche, della scena e ne desume informazioni errate o inesistenti



# Ancora illusioni...

Checker-shadow illusion:  
The squares marked A and B  
are the same shade of gray.



Edward H. Adelson

# Immagini Raster

- Le immagini digitali sono quindi rappresentate da matrice di pixel (chiamata bitmap) memorizzata in uno specifico formato (Jpeg, Gif, Window Bitmap, PNG, Tiff) in forma compressa.
- Un'immagine vale più di mille parole (ma richiede molto più spazio...)

# Immagini Raster

- La visualizzazione di un'immagine raster viene effettuato da un visualizzatore di immagini su un DISPLAY DEVICE (Monitor, Proiettore, TV).
- I DISPLAY DEVICE sono solitamente dispositivi RASTER (Un monitor tipicamente una risoluzione di 72dpi (dots per inch))

# Livelli di grigio



16 livelli

32 livelli

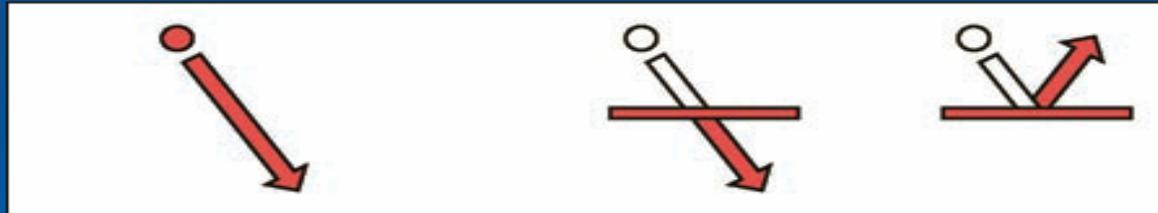
64 livelli

128 livelli

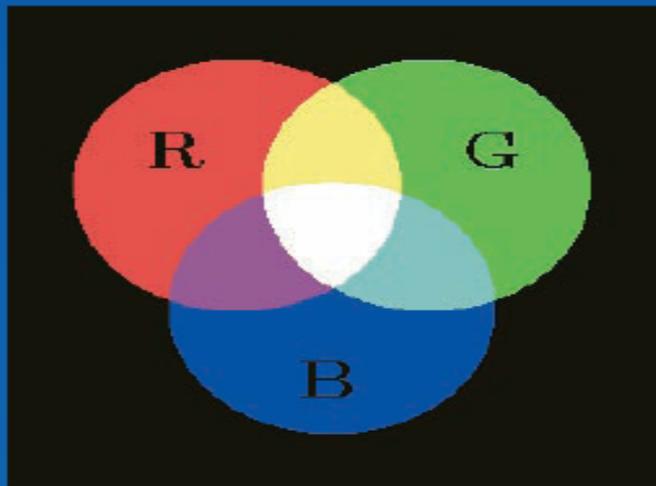
256 livelli



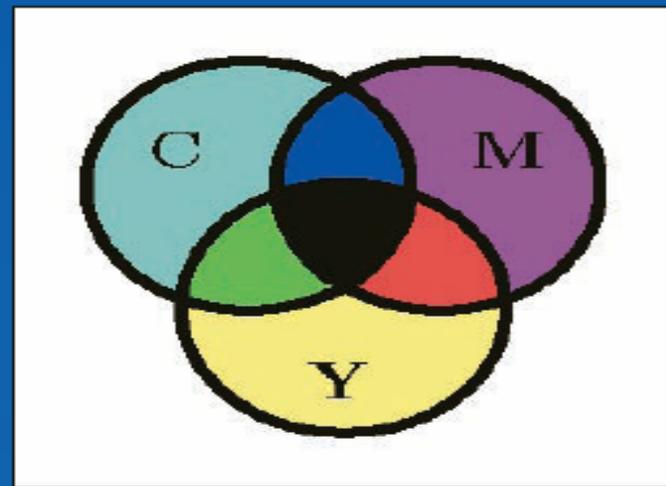
# Sintesi dei colori



Sintesi additiva



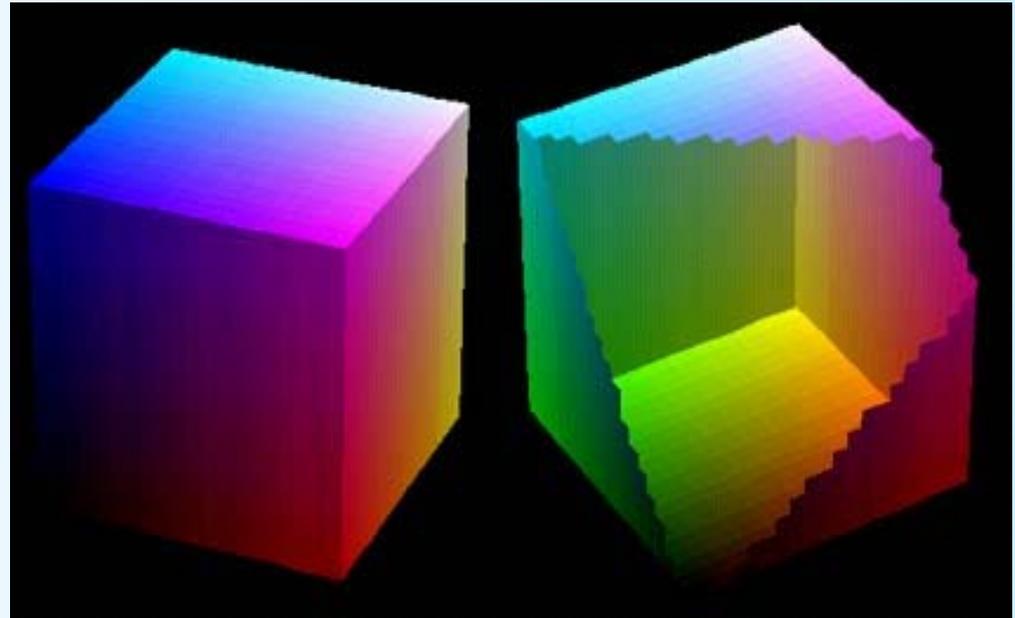
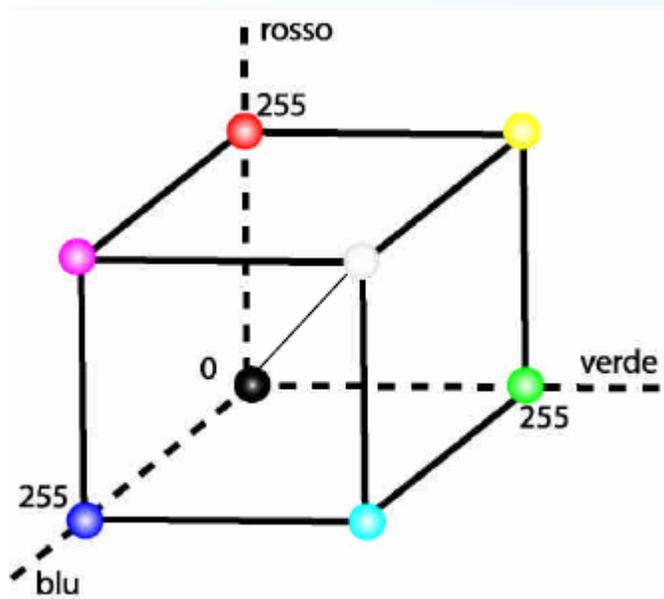
Sintesi sottrattiva



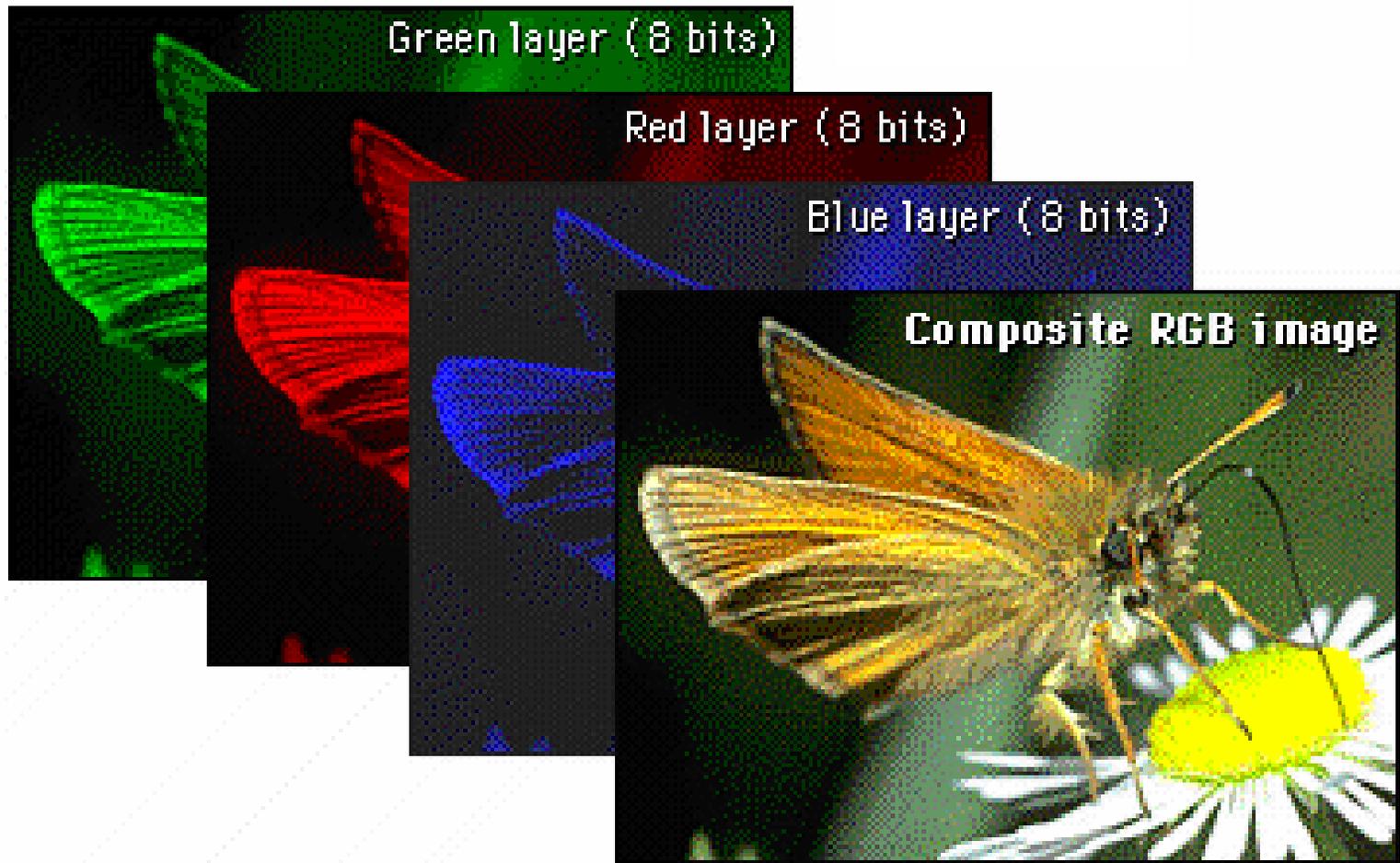
# RGB

E' molto comune descrivere i colori riferendosi allo spazio colore RGB (**red**, **green**, e **blue**). Lo spazio RGB è basato sul fatto che ogni colore possa essere rappresentato da una “miscela” dei tre colori primari **red**, **green**, e **blue**. I vari contributi sono assunti indipendenti l'uno dall'altro (e quindi rappresentanti da direzioni perpendicolari tra loro). La retta che congiunge nero e bianco è la retta dei grigi.

RGB è molto usato nelle videocamere e nei monitor dato che risulta essere lo spazio colore più semplice per registrare e visualizzare immagini digitali a colori.



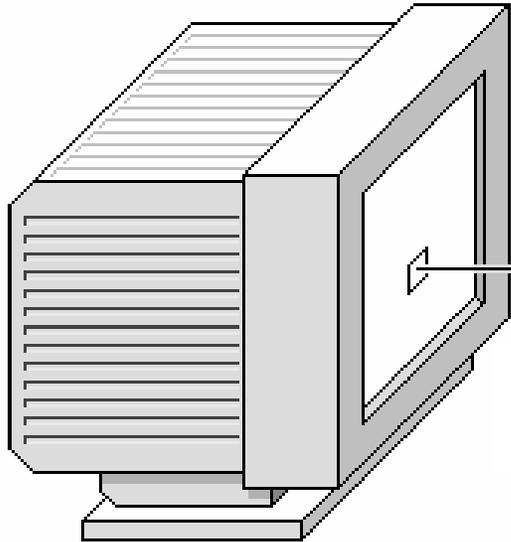
# TrueColor (24 bit)



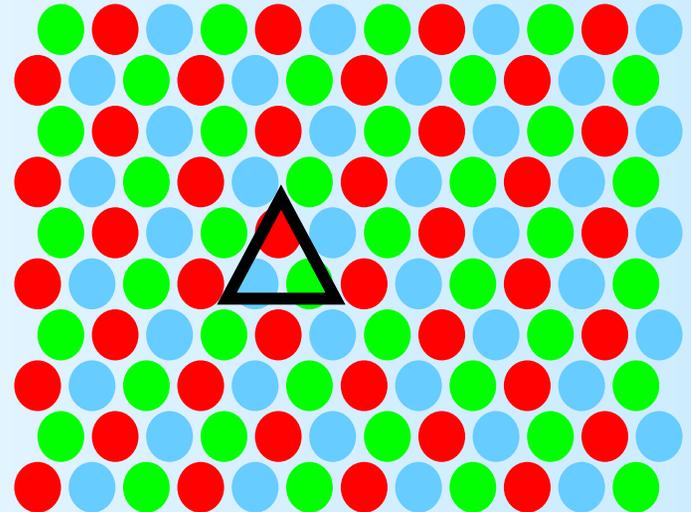
Esempi di codifica digitale di immagini a colori:  
(R->rosso, G->verde, B->Blu)

	colore bianco	(R=255, G=255, B=255)
	colore grigio	(R=200, G=200, B=200)
	colore grigio scuro	(R= <b>100</b> , G= <b>100</b> , B= <b>100</b> )
	colore nero	(R=0, G=0, B=0)
	colore rosso	(R=255, G=0, B=0)
	colore giallo	(R=255, G=255, B=0)
	colore azzurro	(R=0, G=255, B=255)
	colore verde scuro	(R=0, G=200, B=0)

# RGB Color Display

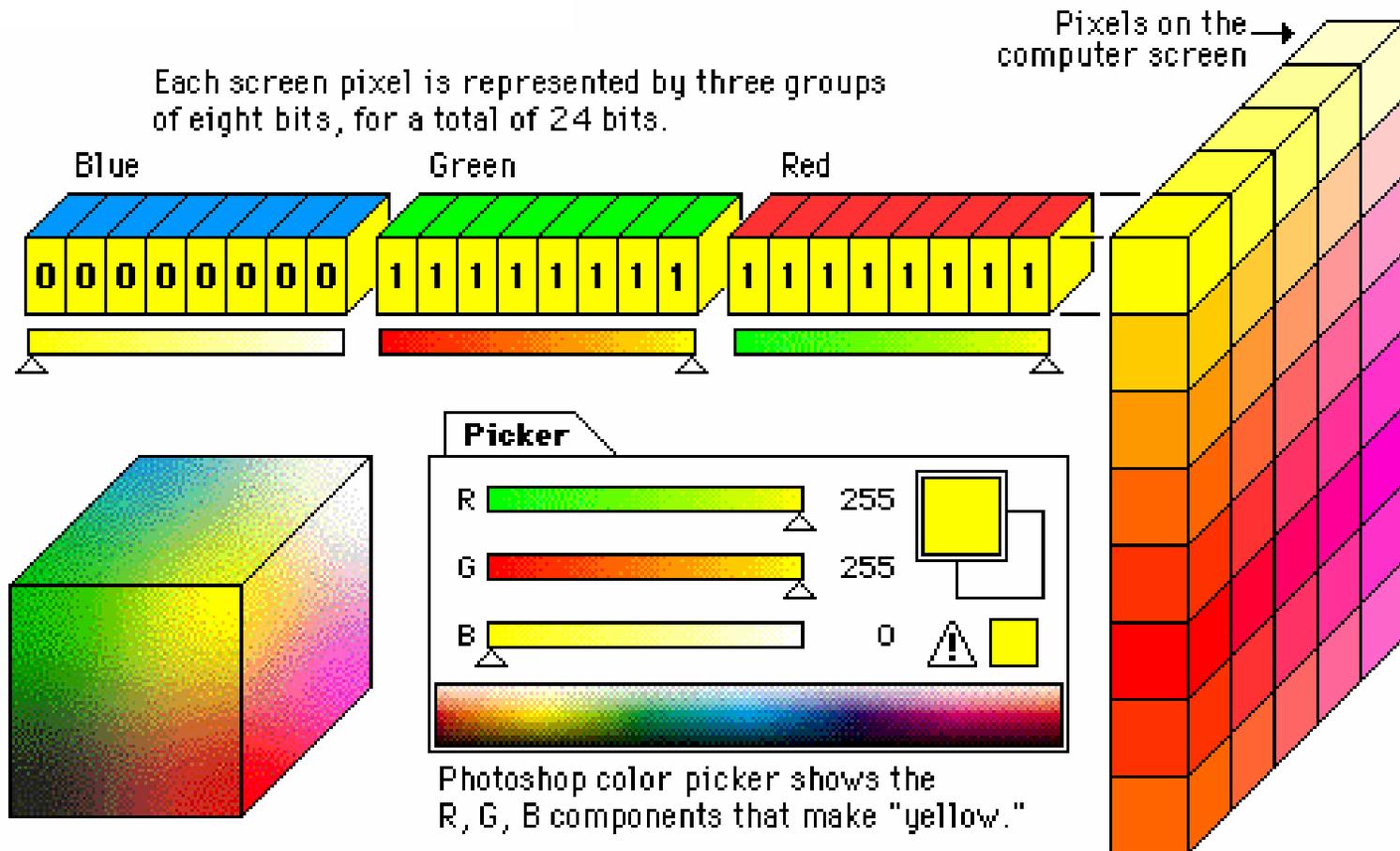


1 pixel = 3 R,G,B,  
phospors with different  
illumination



# RGB Color Display

“24 bit: “TrueColor”



# Depth Resolution



**8 bit – 256 Gray levels**

**4 bit – 16 colors**

...

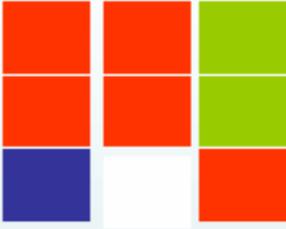
**24 bit True colors**

# How many colors?

---

Bit	# colors	
1	$2^1$	2
2	$2^2$	4
3	$2^3$	8
4	$2^4$	16
5	$2^5$	32
6	$2^6$	64
7	$2^7$	128
8	$2^8$	256
16	$2^{16}$	65.536 (16 bit True Color)
24	$2^{24}$	16.777.216 (True Color)
32	$2^{32}$	24 bit True-Color + 8 bit Alpha Channel

# Si può fare di meglio?



Dovrei ricordare:

255, 0, 0	255, 0, 0	0, 255, 0
255, 0, 0	255, 0, 0	0, 255, 0
0,0,255	255, 255, 255	255, 0, 0

Totale 27 byte = 216 bit

---

00	00	01
00	00	01
11	10	00

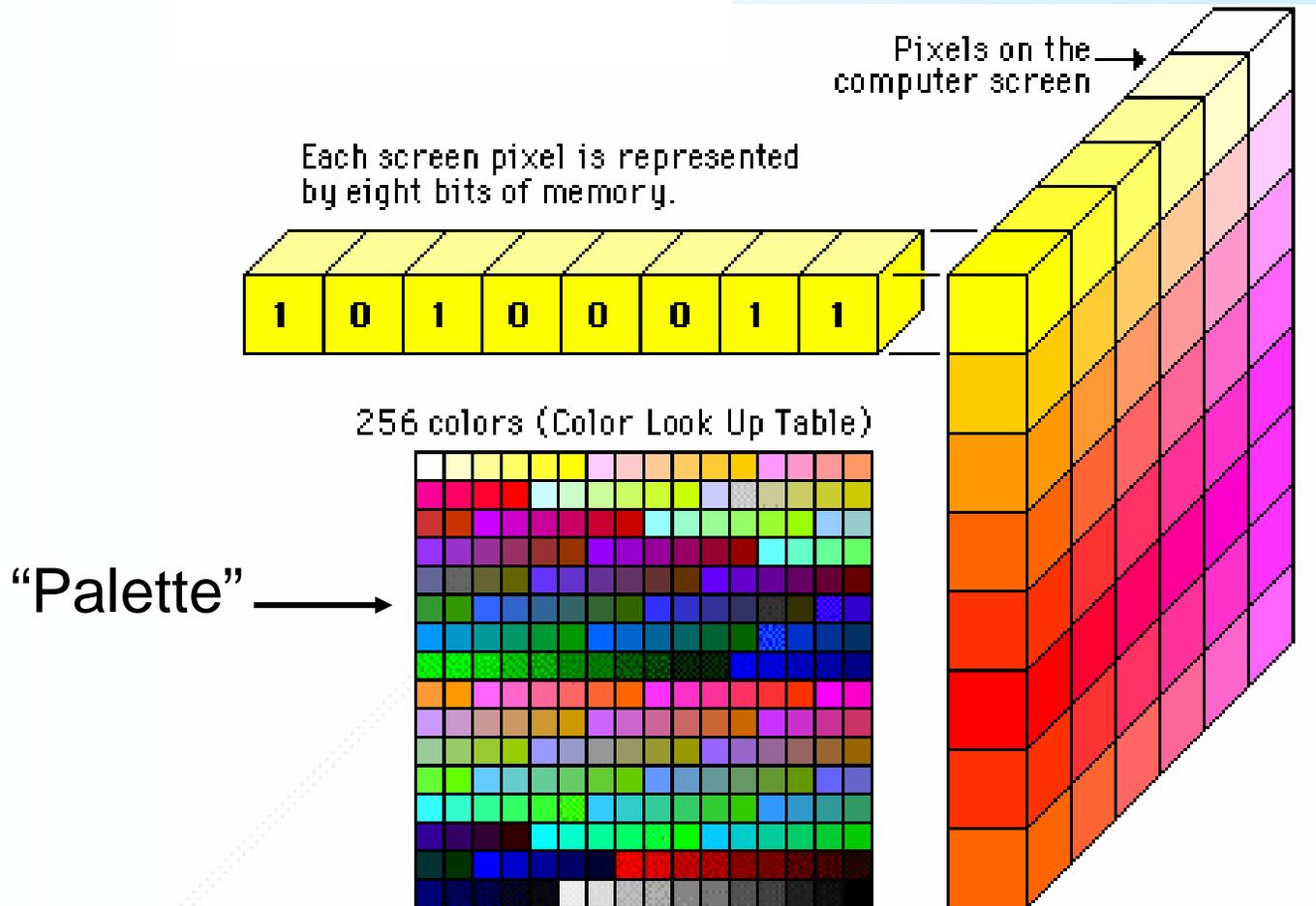
00 = (255, 0, 0)
01 = (0, 255, 0)
10 = (255, 255, 255)
11 = (0, 0, 255)

Totale  
12 byte + 18  
bit = 114 bit

Ricordo queste “etichette” e questa tabella

La tabella che lega “etichette” con le corrispondenti componenti RGB si chiama: “tavolozza”, “palette”, “tabella di indicizzazione dei colori”, “tabella di sbirciata”, “look up table”, “LUT”.

# 256 Color Display (8 bit)



# Indicizzazione di un'immagine True-color

I software commerciali e alcuni formati di compressione (GIF) adottano una palette di 256 colori.

**Se nell'immagine true color ci sono meno di 256 colori essi vengono replicati nella palette.**

**Se nell'immagine true color ci sono più di 256 colori essi vengono "ridotti" scegliendo 256 rappresentanti che garantiscano una buona qualità visiva (esistono numerosi algoritmi, anche proprietari per tale scopo). Esistono anche palette "standard": MAC, WINDOWS, WEB\_SAFE, OTTIMIZZATE eccetera**

# EXAMPLE 256 color



# Dithering



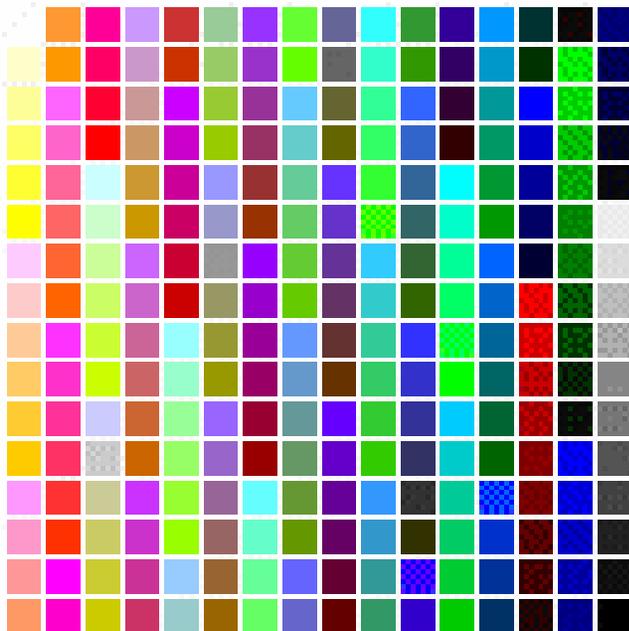
**Original (TrueColor)**



**Dithered (256 colori)**

# Palettes

**Macintosh system palette**



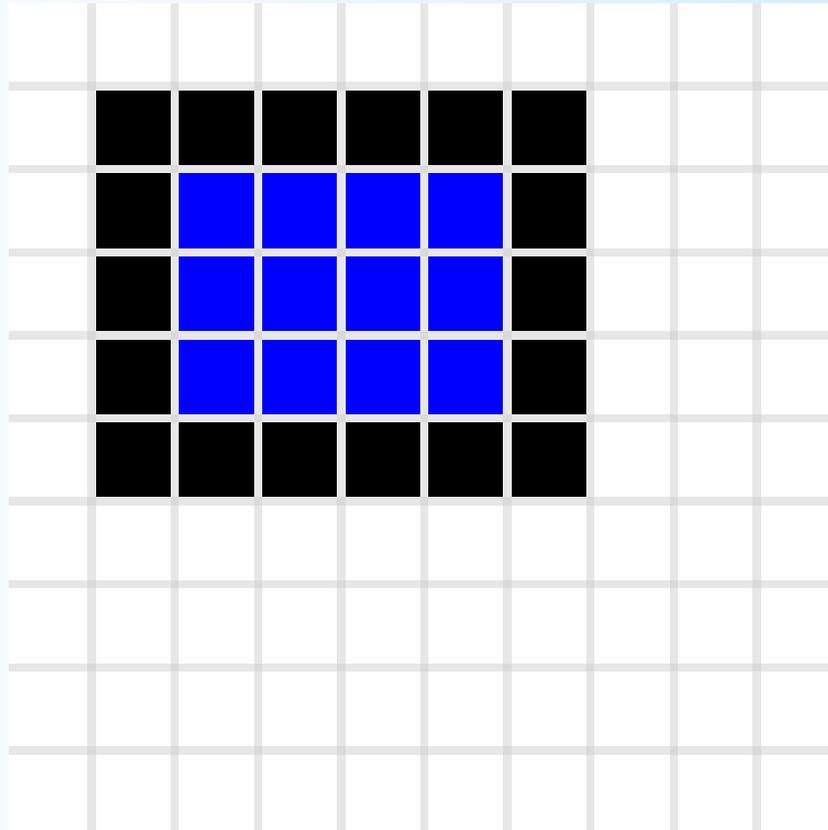
**Windows system palette**



# Colour Images



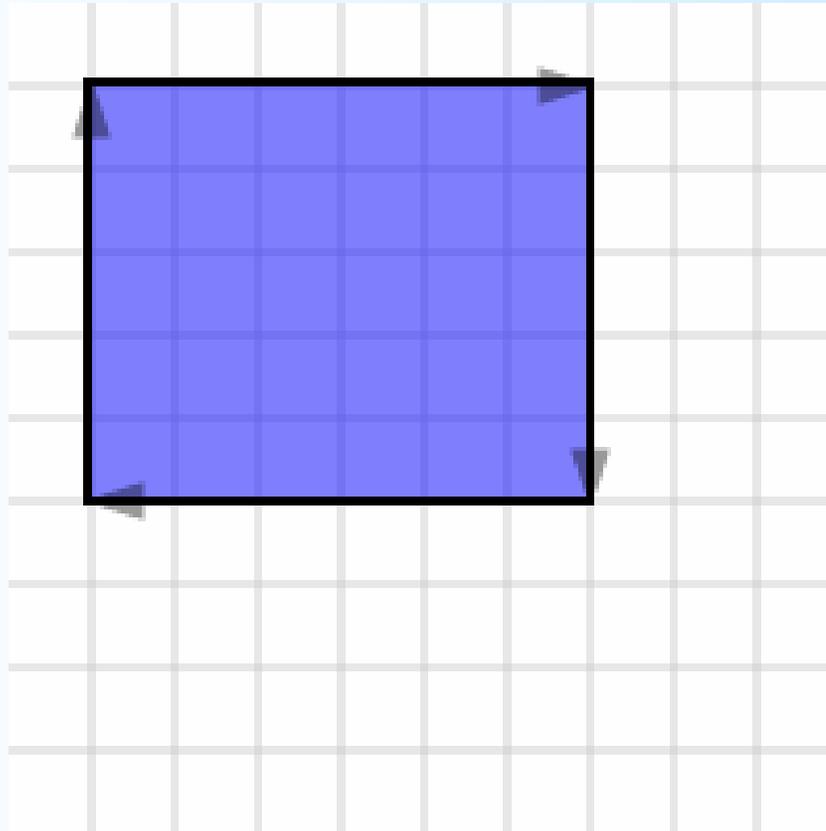
# Esempio: Rettangolo Raster



# Grafica Vettoriale

- Nella grafica vettoriale un'immagine è descritta come una serie di forme geometriche.
- Piuttosto che una serie “finita” di pixel, un visualizzatore di immagini vettoriali riceve informazioni su come disegnare l'immagine sul DISPLAY DEVICE in uno specifico sistema di riferimento.
- Le immagini vettoriali possono essere stampate con strumenti appositi (plotter)

# Esempio: Rettangolo Vettoriale



# Differenze

<b>Raster</b>	<b>Vector</b>
Quali puntini devo colorare ?	Quale linee devo tracciare ?
Disegno a mano libera	Disegno tecnico

# Confronto

## Raster

### *Pro*

- Fotorealismo
- Standard su Web

### *Contro:*

- Nessuna descrizione semantica.
- Grandi dimensioni

## Vector

### *Pro*

- Le trasformazioni sul piano sono semplici (Zooming, Scaling, Rotating)

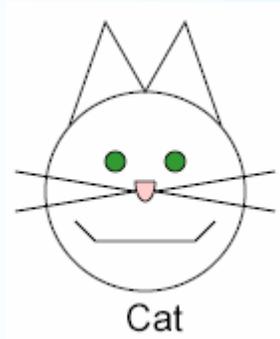
### *Contro:*

- Non fotorealistico
- Formati vettoriali proprietari

# Cui prodest vector ?

- **CAD** (Computer Assisted Drawing) usa grafica vettoriale per misure precise, capacità di zoomare dentro i particolari dei progetti, ecc. (AutoCad,...)
- **Desktop Publishing & Design** (Adobe Illustrator, Macromedia Freehand, Publisher)
- Linguaggio di stampa **Postscript**
- **Animazioni** su web (Macromedia Flash)
- **GIS** (Geographical Information Systems): Arcview, Envi,...

# Un esempio concreto di scalabilità

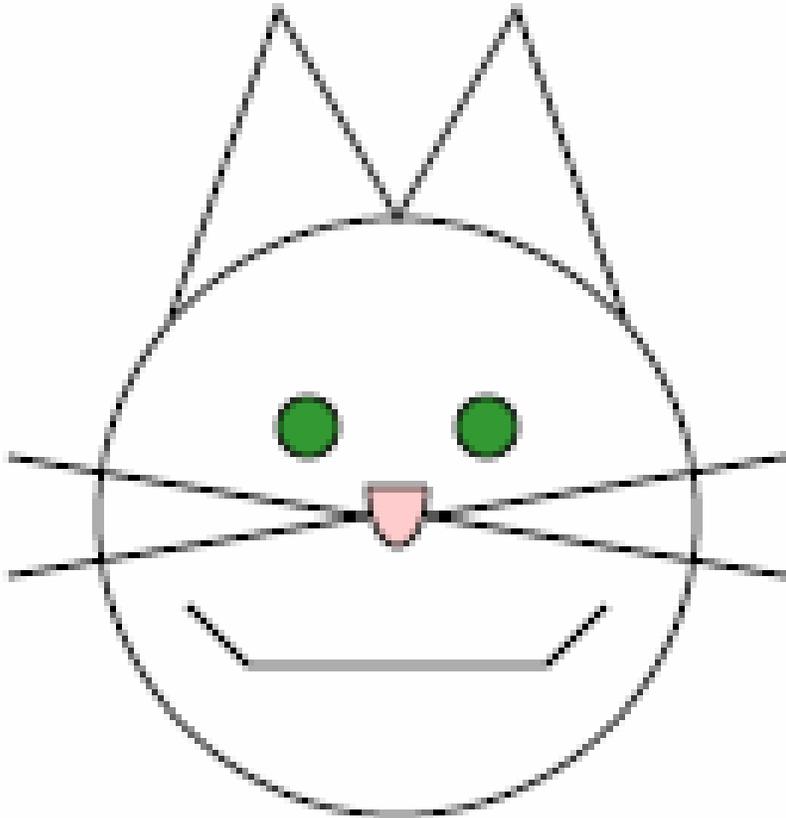


Raster  
(140x170)



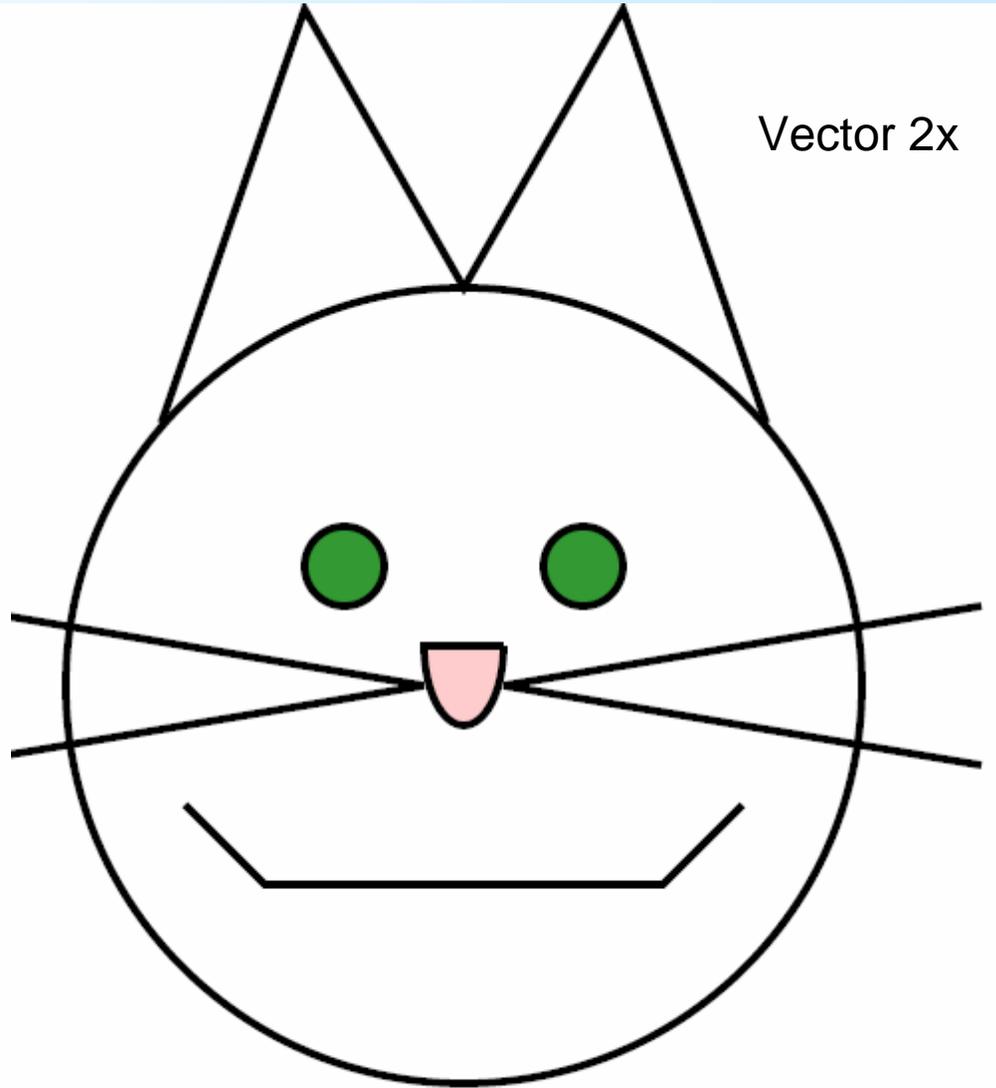
Vector  
(140x170)

Raster 2x



Cat

Vector 2x



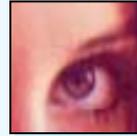
Cat

# Magnificazione e Contrazione

- Sono operazioni di sovra-campionamento (**zooming** o **magnificazione**) e sotto-campionamento (**shrinking** o **contrazione**), effettuate direttamente su immagini digitali
- Lo zooming richiede due fasi: 1) creazione di nuove locazioni di pixel; 2) assegnazione dei valori di grigio ai nuovi pixel
- Se per esempio si vuole effettuare uno zoom di 1.5 volte di una immagine 500 x 500, evidentemente la nuova griglia di campionamento sarà 750 x 750

# Zooming - Replication

La risoluzione di un'immagine può essere fittiziamente aumentata mediante un'operazione di *zooming*:

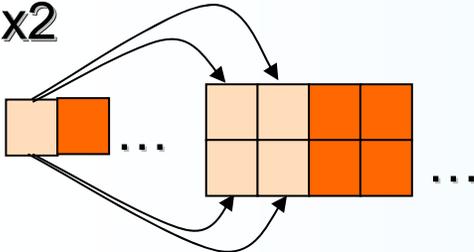


Il più semplice operatore di zooming "*Replicazione*":

- Per ogni pixel nell'immagine
  - Copia lo stesso valore in una griglia di  $N \times N$  pixels ( $N^2$  repliche).

Ex: Zooming

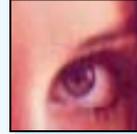
x2



Il principale problema di questo approccio (detto "*Pixelization*") consiste nella comparsa di artefatti a blocchi.

# Zooming - Bicubic

Per rimuovere la Pixelization, si possono utilizzare degli operatori cosiddetti “adattivi”



Il metodo più utilizzato è il “*Bicubico*”:

➤ I pixel mancanti vengono calcolati utilizzando una media locale, facendo uso di un'approssimazione con una o più funzioni cubiche.

Le immagini appaiono sfocate (*Blurred*)

# Zooming



**Originale**



**Bicubic**

# Operatori sulle immagini digitali

Sono operazioni che possono alterare i valori dei pixel di una immagine. Esistono migliaia di operatori usati a vario scopo: essi implementano algoritmi e tecniche di elaborazione molto diverse.

In questo corso ci occuperemo solo degli operatori **puntuali**;

# Semplificazione: toni di grigio

- Per semplificare la discussione lavoreremo solo su immagini a toni di grigio.
- Le medesime operazioni descritte per tali immagini si estendono nella massima parte dei casi alle immagini RGB operando separatamente sui tre canali (piani) R, G e B e trattando ciascuno di essi come una immagine a toni di grigio indipendente dagli altri canali.

# Operatori locali e operatori puntuali

- Un operatore che preso in input il valore di un pixel ne restituisce uno cambiato si dice “**locale**” se il valore che esso dà in output dipende esclusivamente dai valori del pixel in ingresso e dei pixel ad esso “vicini”. Tali pixel formano un “intorno” (*neighbor*) del pixel trasformato.
- Un operatore che preso in input il valore di un pixel ne restituisce uno cambiato si dice “**puntuale**” se il valore che esso dà in output dipende esclusivamente dal valore del pixel in ingresso.

*Ogni operatore puntuale è un operatore locale in cui il “vicinato” si riduce al singolo pixel in elaborazione.*

# Operatori puntuali: semplici tabelle!

- Un pixel di una immagine a toni di grigio ha tipicamente 256 possibili colori. 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)	...

Una tabella del genere si chiama **“Look Up Table (LUT)”**, tabella di appoggio o di “sbirciata”, perché è la tabella che va consultata se si vuole “applicare” l’operatore.

Numeri?  
No grazie  
preferisco  
i disegni

OUT



...										
8										
7							X	X	X	
6						X				
5					X					
4				X						
3		X	X							
2	X									
1										
0										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	...

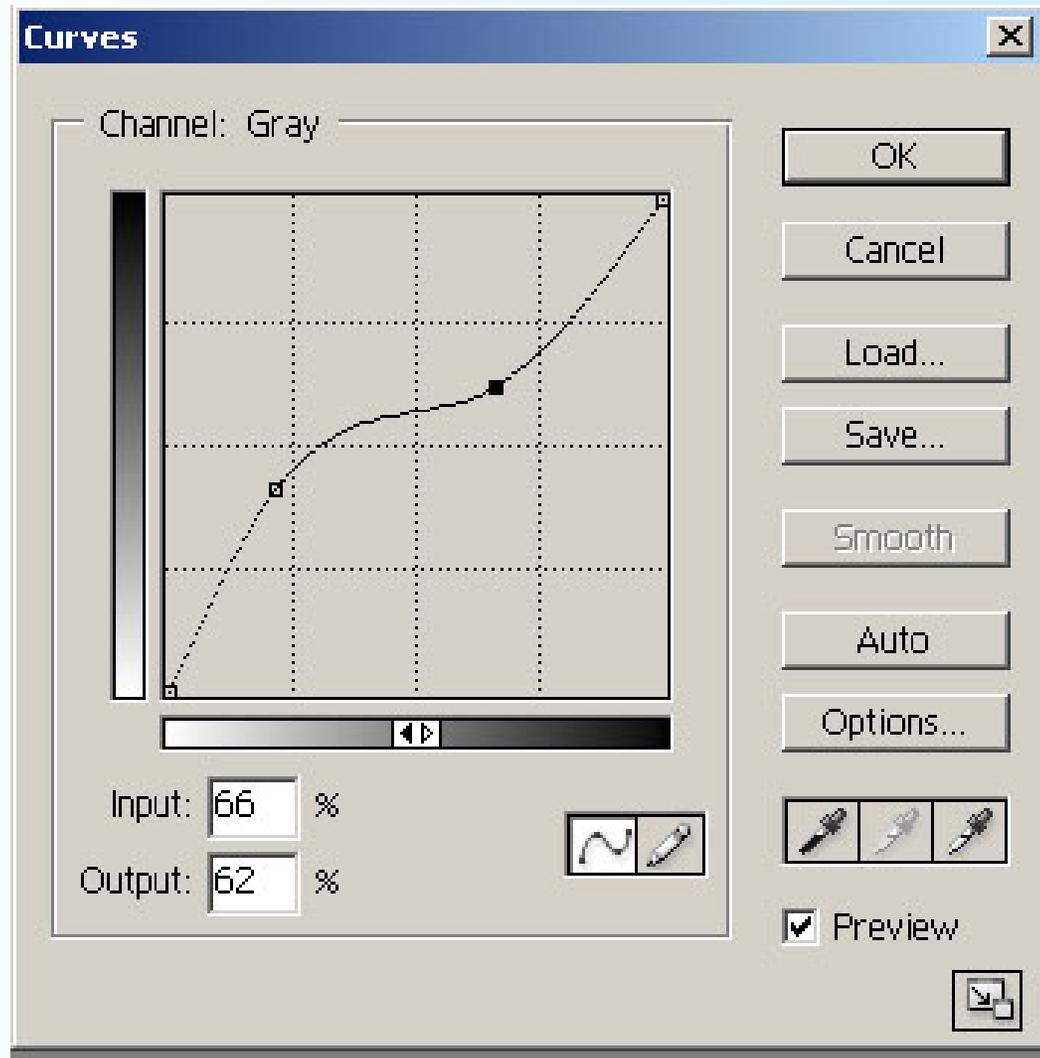
53



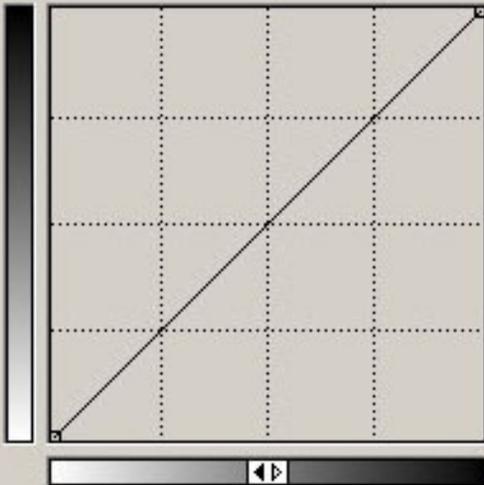
IN

Questa è universalmente  
l'interfaccia che tutti i  
programmi commerciali di  
immagini offrono per la  
visualizzazione e  
gestione delle operazioni  
puntuali

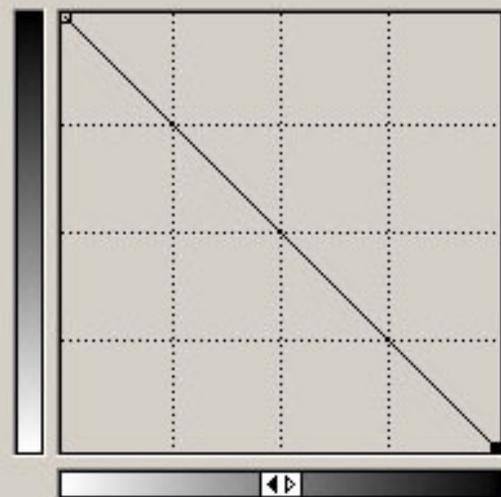
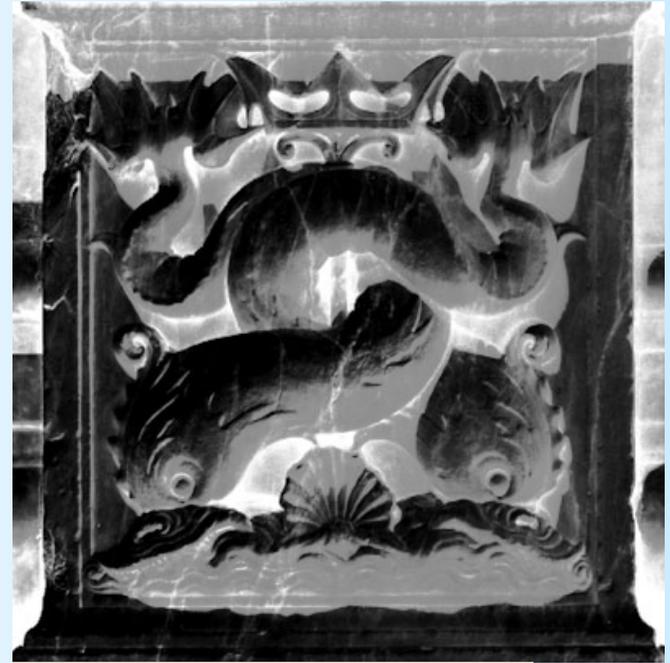
# In Photoshop: “aggiusta curve”



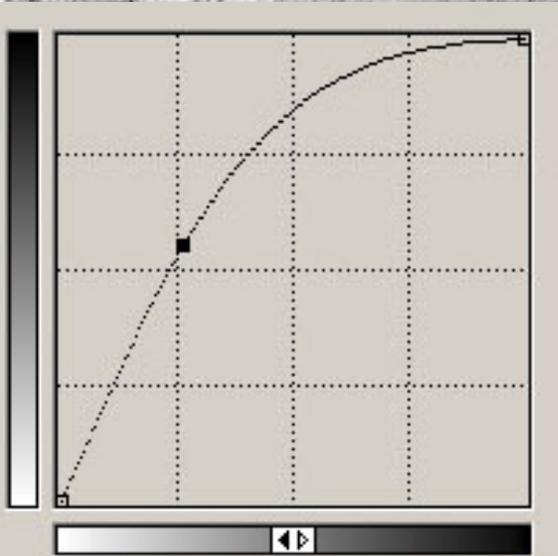
**Identità: i valori non cambiano**



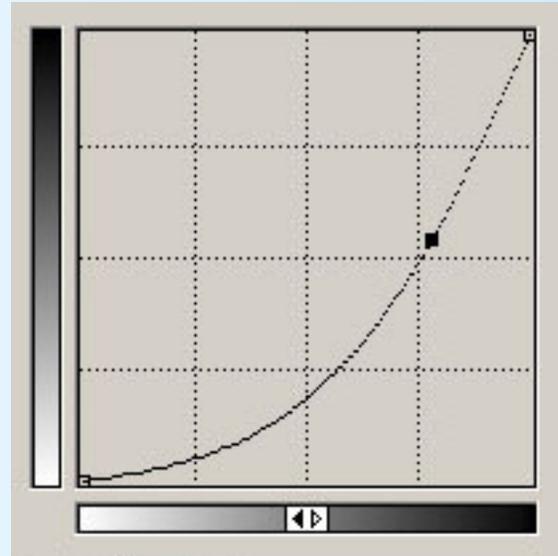
**Negativo: bianco e nero si scambiano**



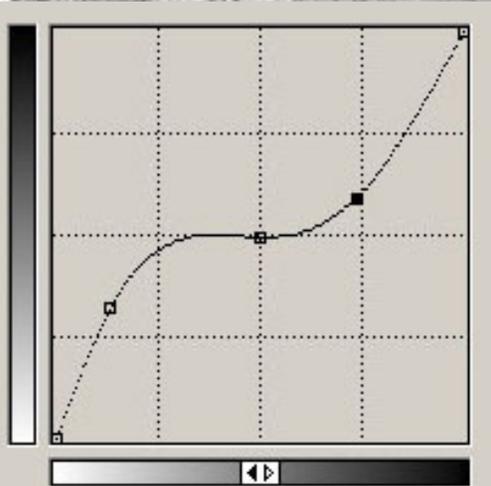
# INCUPIMENTO



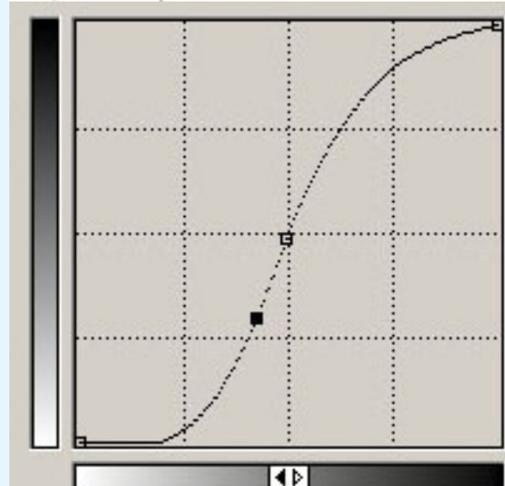
# SCHIARIMENTO



# DIMINUISCE IL CONTRASTO



# AUMENTA IL CONTRASTO

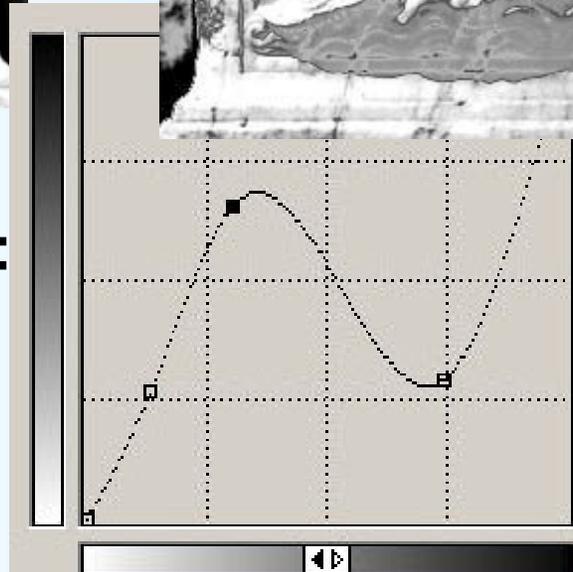


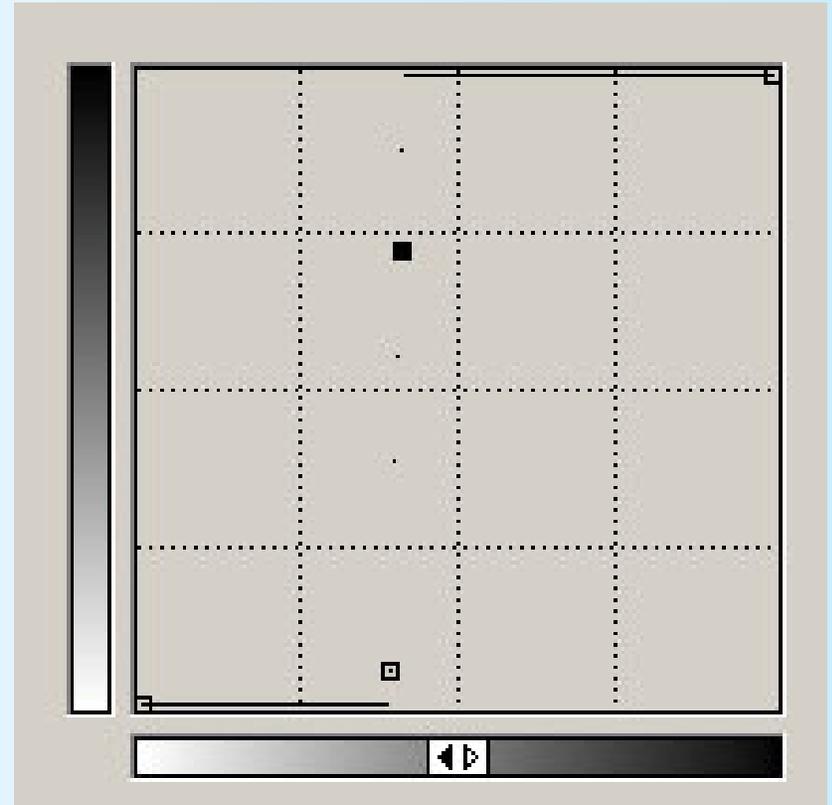
**ORIGINALE**

**SOLARIZZATA**



**LUT non MONOTONA:  
SOLARIZZAZIONE**





**Operazione di soglia: è una operazione di tipo puntuale.**

# Uno strumento di “diagnosi” per le immagini: la statistica

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 eccetera.**

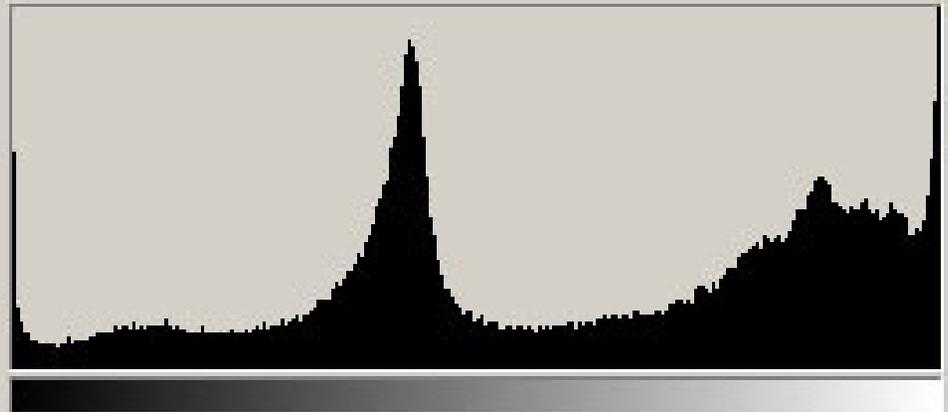
Particolarmente importante è la conoscenza della distribuzione delle frequenze dei toni di grigio:

**l’istogramma.**

# Istogramma

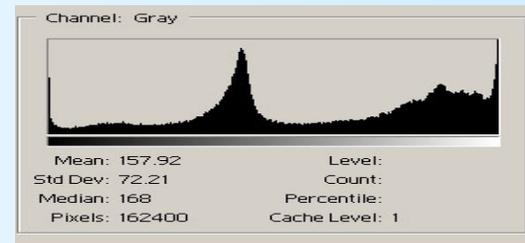
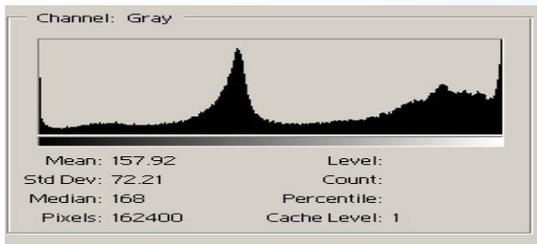
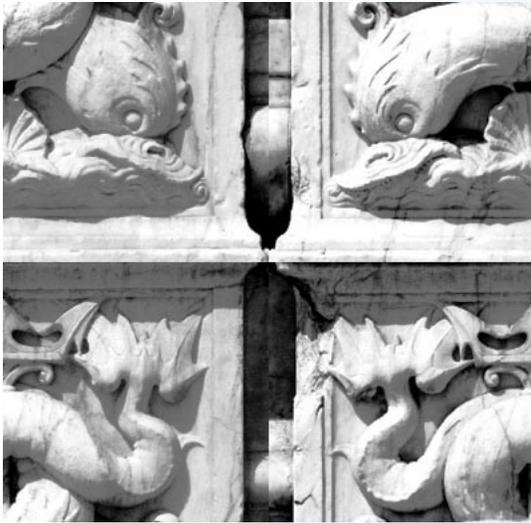


Channel: Gray



Mean: 157.92	Level:
Std Dev: 72.21	Count:
Median: 168	Percentile:
Pixels: 162400	Cache Level: 1

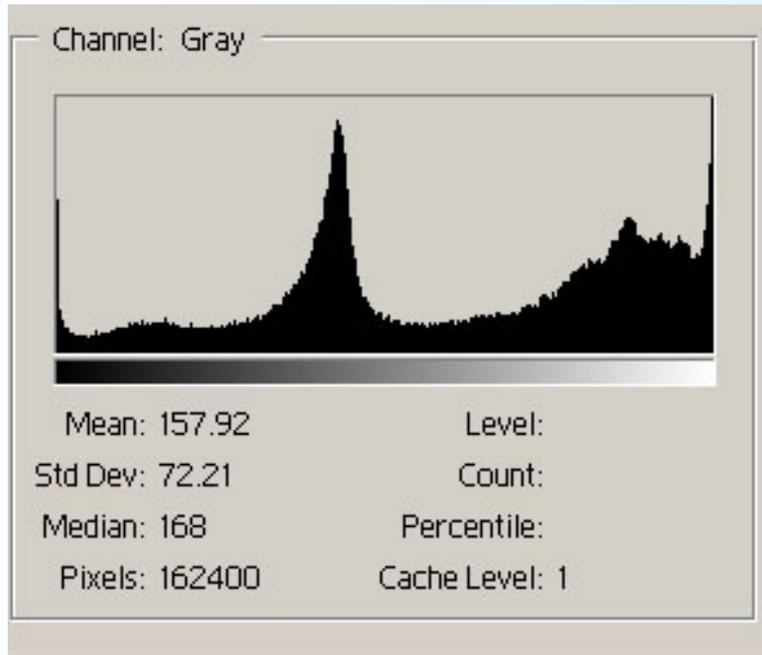
# Immagini diverse potrebbero avere istogrammi simili!



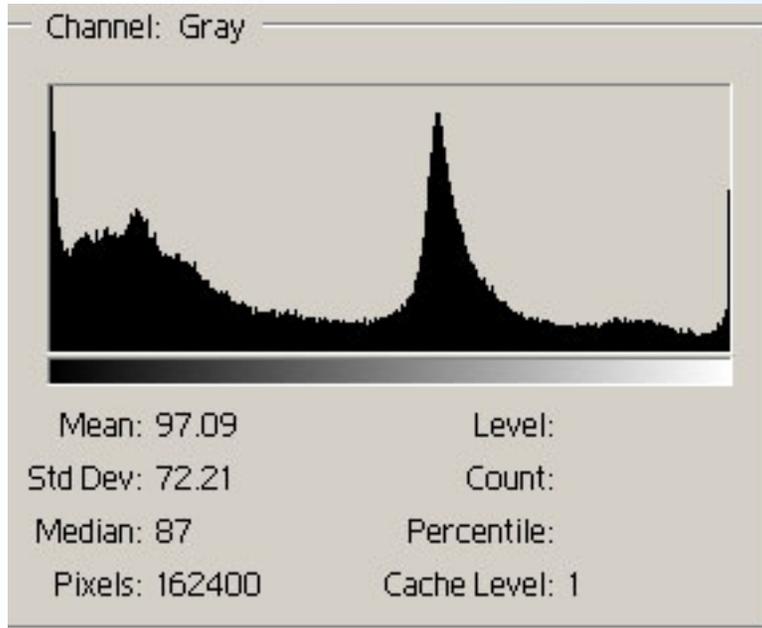
L'istogramma non tiene conto della **distribuzione spaziale** dei pixel!

**Le operazioni di LUT  
alterano l'istogramma**

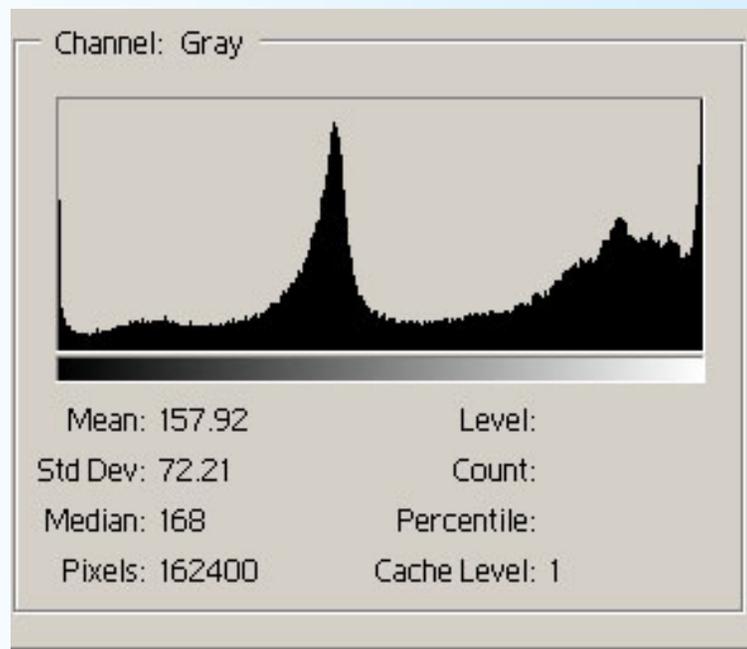
**Vedi successive slides**



Istogramma immagine originale



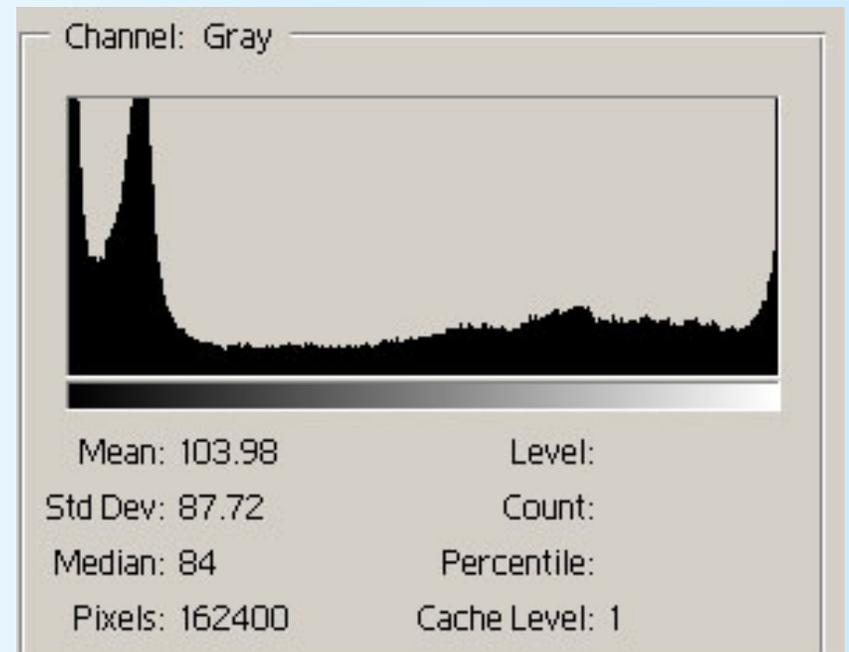
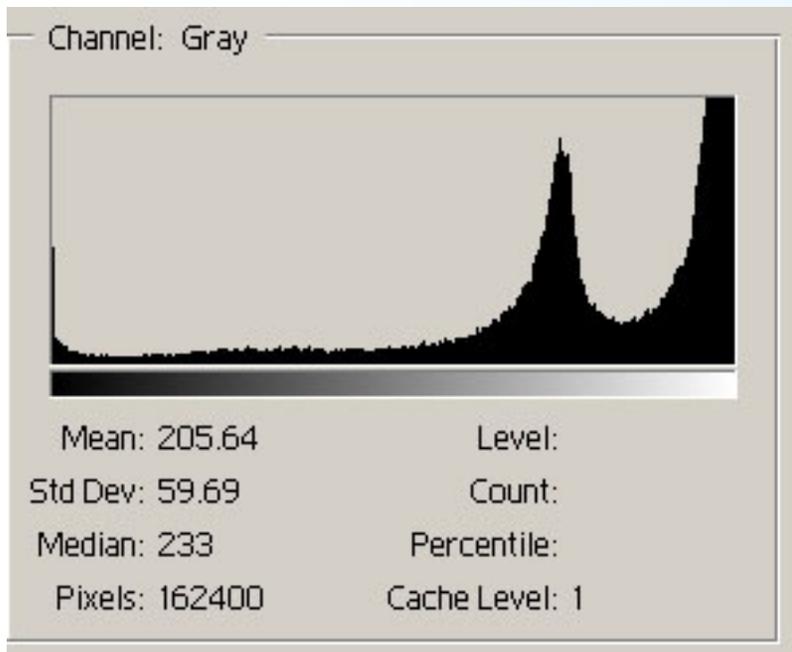
Istogramma immagine negativa



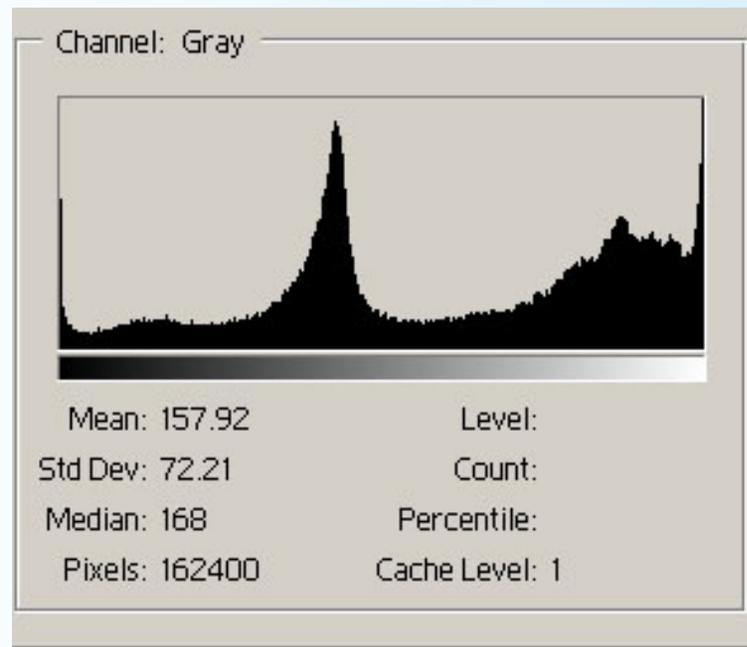
originale

schiarita

incupita

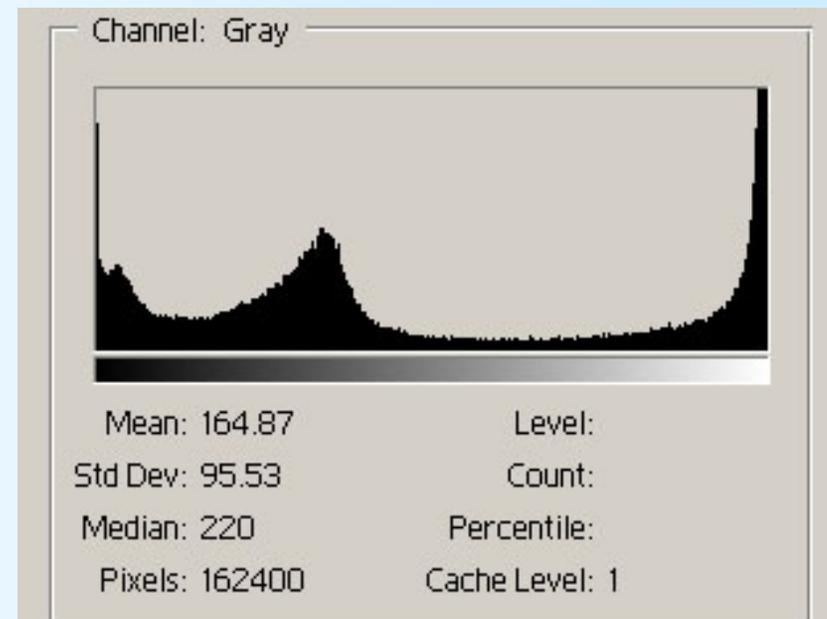
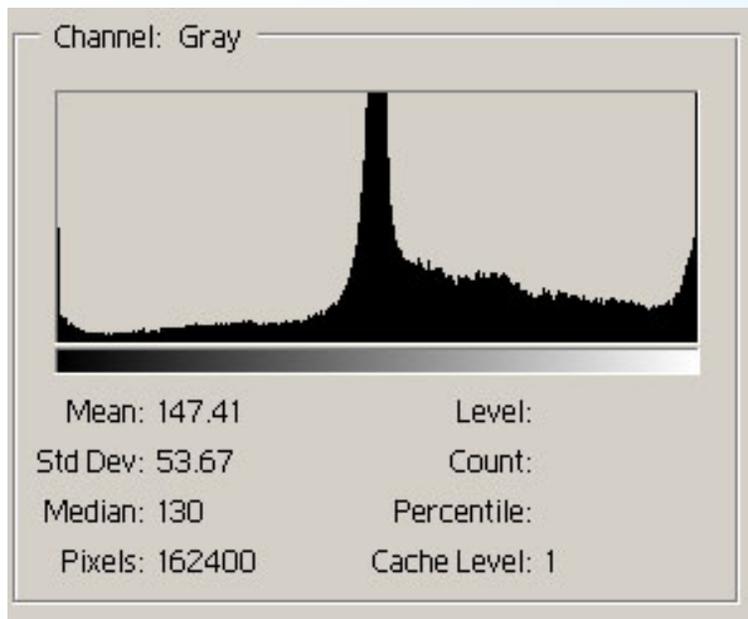


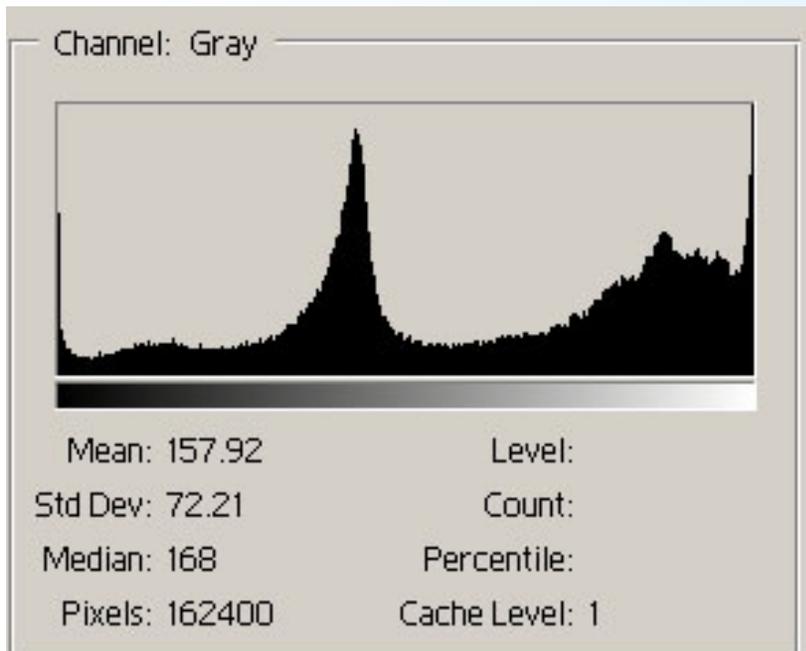
Minor  
contrasto



originale

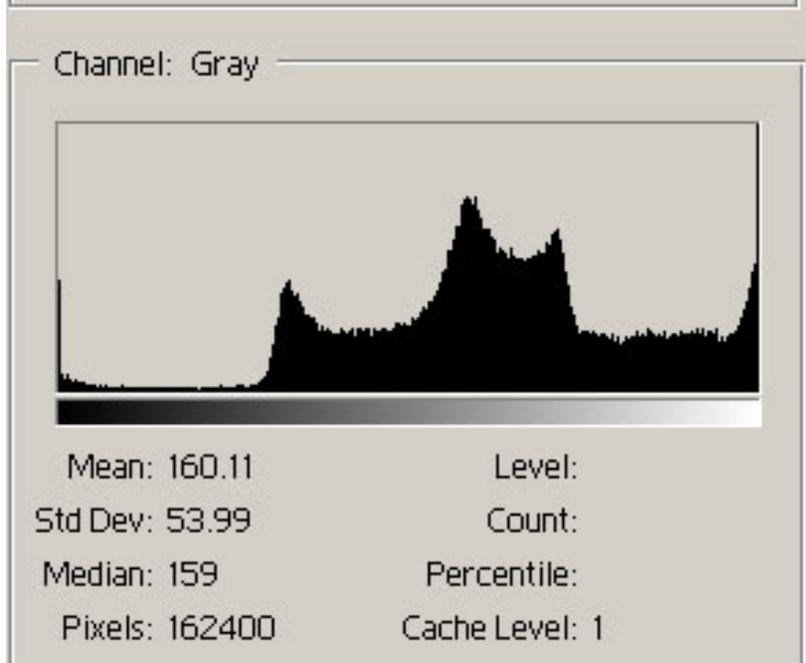
Maggior  
contrasto





originale

**Se considero LUT di tipo “strano” posso trasformare un istogramma dato in un qualunque altro istogramma!**



solarizzato

**Gli istogrammi  
consentono una diagnosi  
dei difetti di una  
immagine**

**Vedi successive slides**

# Immagine sottoesposta



# Immagine sovraesposta



Mean: 206.13

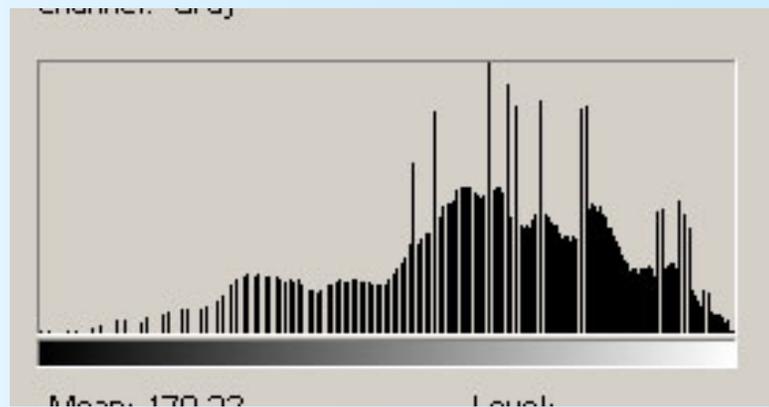
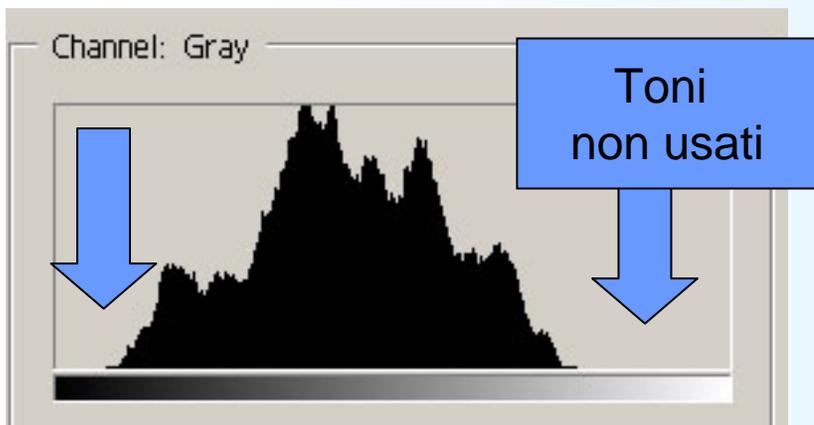
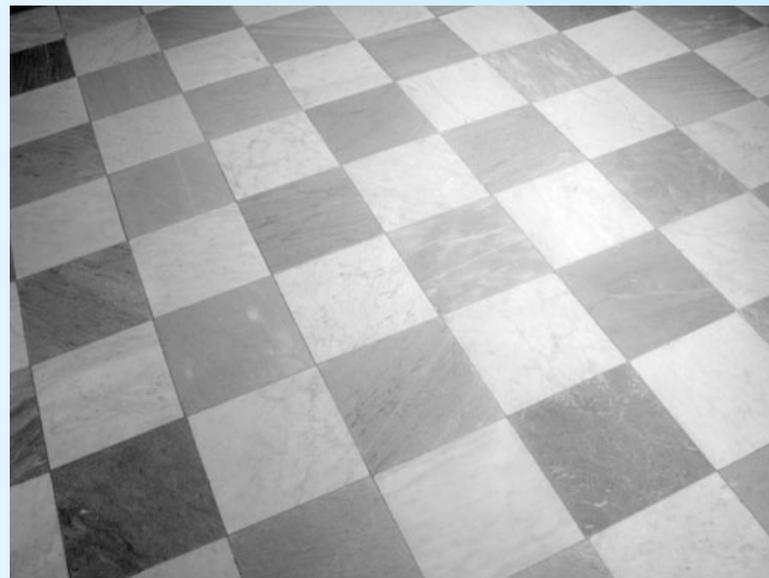
Level:

# Immagine con range dinamico compresso

Immagine originale



Immagine "corretta"



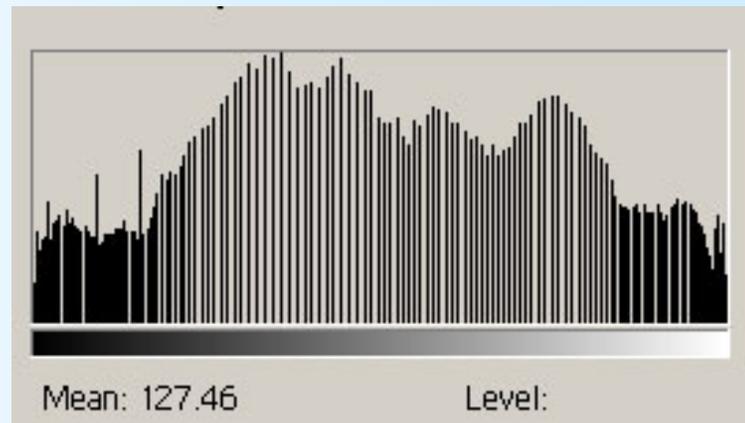
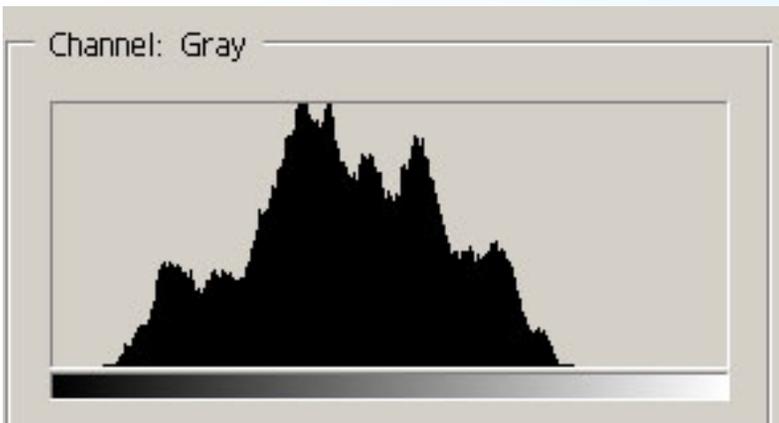
# Equalizzazione

- 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 può realizzare con un semplice algoritmo (non verrà trattato).

*Attenzione non sempre la equalizzazione migliora l'immagine!*

# Immagine equalizzata (1)



# Immagine equalizzata (2)

