



# Modelli di Colore

**Michele Nappi, Ph.D**

**Università degli Studi di Salerno**

**[mnappi@unisa.it](mailto:mnappi@unisa.it)**

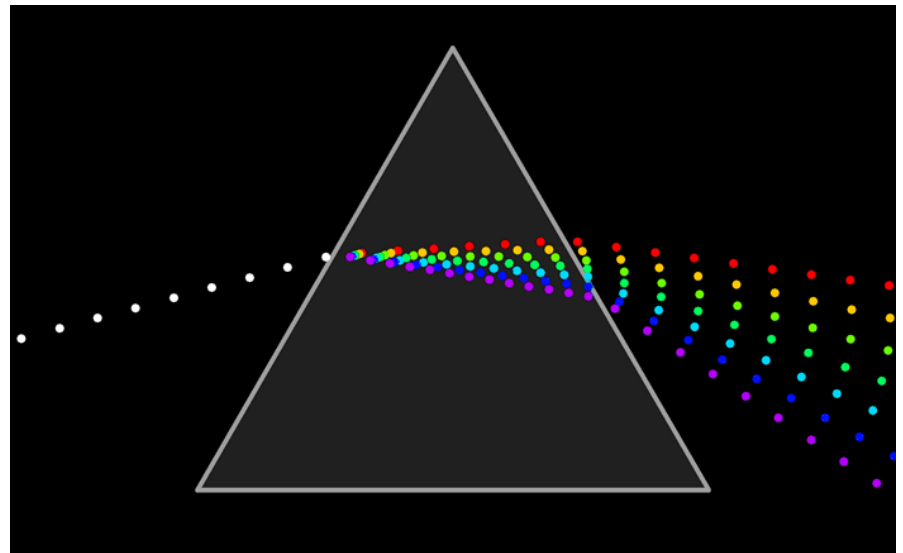
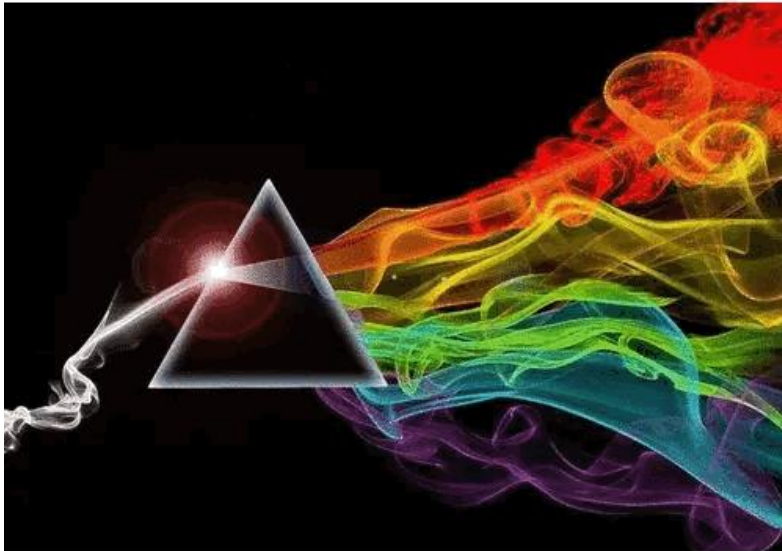
**[biplab.unisa.it](http://biplab.unisa.it)**

**089-963334**



# Spettro Visibile

- Spettro Visibile: Luce bianca attraverso un prisma ottico



# Spettro Visibile



- Luce Visibile: onde elettromagnetiche [380 nm, 780 nm]
- $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$
- Ultravioletto  $<380\text{ nm}$  ( $<10\text{nm}$  Raggi X, Raggi Gamma, Raggi Cosmici)
- Infrarosso  $>780\text{ nm}$  ( $>1500\text{nm}$  onde radio)
- La percezione del colore avviene attraverso la combinazione di tre stimoli primari (tricromia): a livello della retina viene filtrato il segnale e diviso in tre colori: blu, rosso e verde (verde-giallo)

# Spettro Visibile

- Il colore di un oggetto è percepito come luce riflessa dall'oggetto
- Un oggetto che riflette luce in modo omogeneo sull'intero spettro visibile è percepito di colore **bianco**
- Un oggetto che assorbe luce in modo omogeneo sull'intero spettro visibile è percepito di colore **nero**
- Un oggetto **verde** riflette luce la cui lunghezza d'onda ricade nell'intervallo  $[500 \text{ nm}, 570 \text{ nm}]$  e assorbe quasi totalmente le altre lunghezze d'onda  $[380 \text{ nm}, 499 \text{ nm}] \cup [571 \text{ nm}, 780]$

# Spettro Visibile



- Il nostro occhio, a differenza dell'orecchio, non è in grado di effettuare un'analisi spettrale, ma riporta una sensazione risultante dalla combinazione di tutte le lunghezze d'onda visibili
- E' inoltre impossibile comunicare la sensazione corrispondente ad un certo stimolo. Quello che possiamo comunicare è che due stimoli diversi producono la stessa sensazione.
- La teoria di Young-Helmholtz (1801) ipotizza che per riprodurre la sensazione di un colore si possano combinare opportunamente tre radiazioni primarie (sistemi *tricromatici*). La prima conferma sperimentale ottenuta da esperimenti sull'occhio si ebbe negli esperimenti di Wright & Guild (1928-1931).

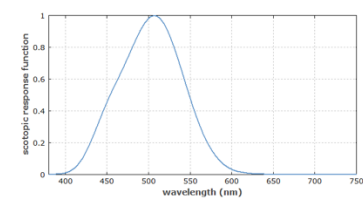
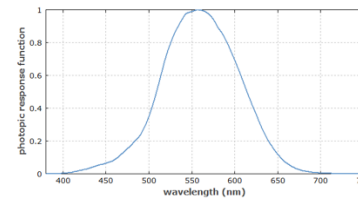
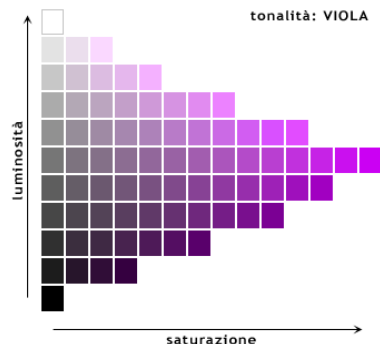
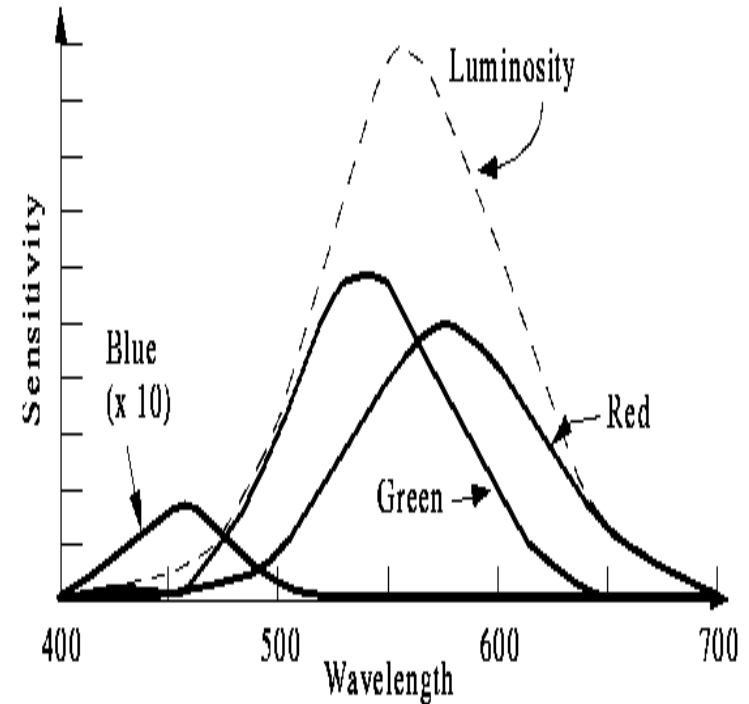


# Percezione e Colori del CIE

- CIE: Commission Internationale de l'Eclairage (1931)
- Colori Primari (osservatore standard):
  - Red (700 nm)
  - Green (546.1 nm)
  - Blue (435.8 nm)
- $Y = 0.299\text{Red} + 0.587\text{Green} + 0.114\text{Blue}$  (luminanza dello stimolo).

# Percezione e Colori del CIE

- I coni (visione fotopica) sono divisi in tre gruppi:
  - L (long) sensibili al rosso
  - M (middle) sensibili al verde
  - S (short) sensibili al blue
- I bastoncelli sono sensibili nello stesso modo (invarianti) alle varie frequenze dello spettro luminoso: producono una visione (scotopica) basata solo sulle differenze di luminosità





# Percezione e Colori del CIE

- E= Radiazione (luce)
- $S_R$   $S_G$   $S_B$  = Funzioni di Sensibilità spettrale dei Coni
- $\lambda$ = Lunghezza d'onda
- *Ogni gruppo di coni somma l'energia luminosa visibile in base alla sua sensibilità e trasmette al sistema visivo la somma dei contributi di ogni lunghezza d'onda pesati dalla sua funzione di sensibilità spettrale*

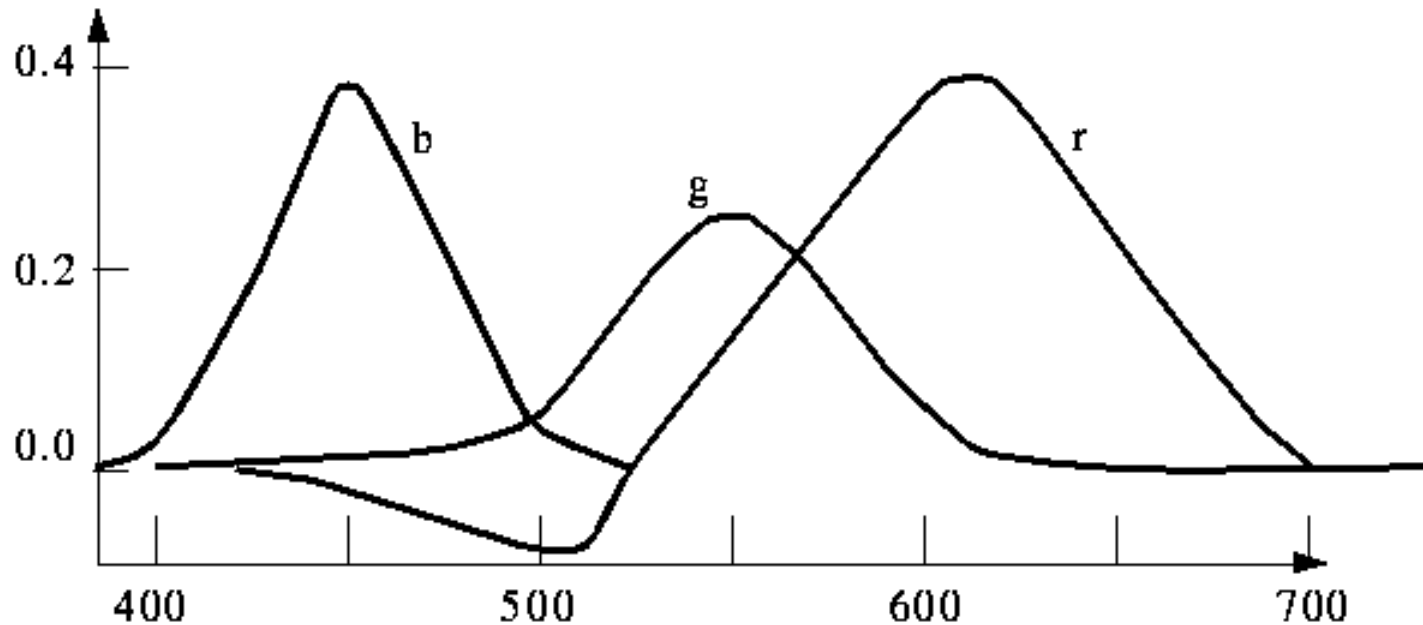
$$R = \int_{380}^{780} E(\lambda) S_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_{380}^{780} E(\lambda) S_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{380}^{780} E(\lambda) S_B(\lambda) d\lambda$$



# Percezione e Colori del CIE



- Percentuale (Y) di intensità dei tre primari (RGB) per comporre tutti i colori dello spettro visibile (X) [Wright & Guild (1928-1931)]
- I coefficienti negativi indicano che alcuni colori non possono essere rappresentati dalla somma dei tre primari



# Modelli di Colore

Classi di Immagini a Colori:

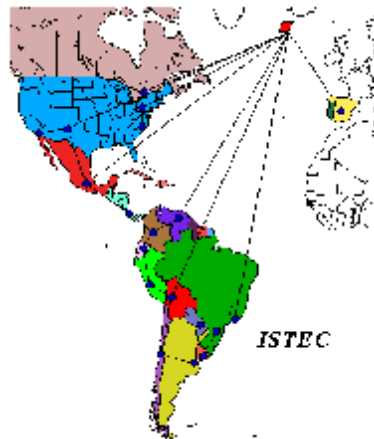
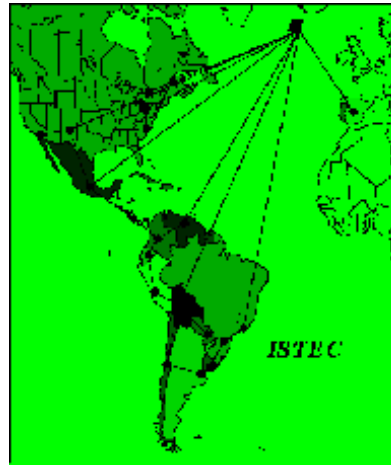
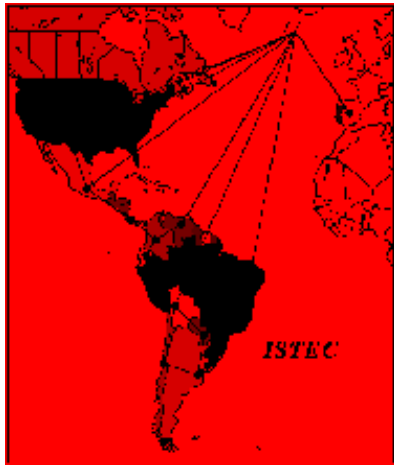
1. True colors (Colori Veri) è ottenuta mediante composizione (sottrattiva o additiva di tre componenti –HSB, RGB, CYM, YIQ–) Ogni componente è quantizzata con un numero definito di bit
2. Pseudo-Colors (Colori Falsi) è ottenuta assegnando ad ogni intervallo di colori veri un colore medio



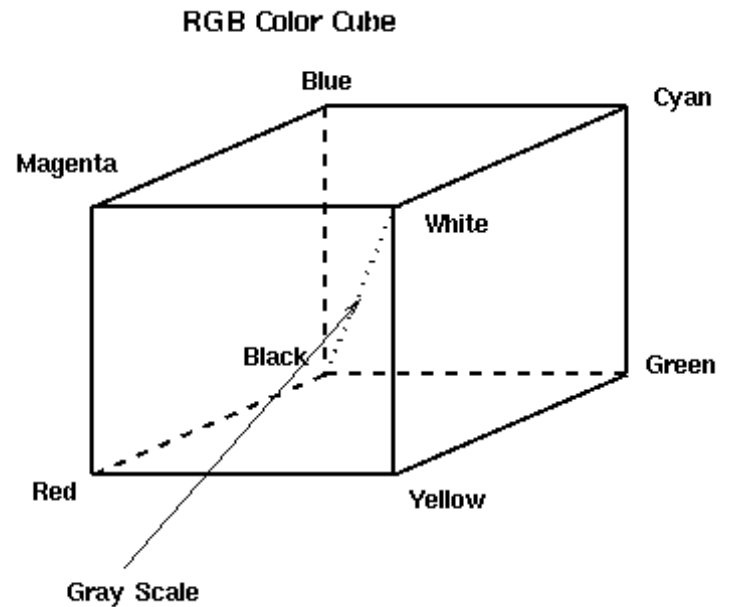
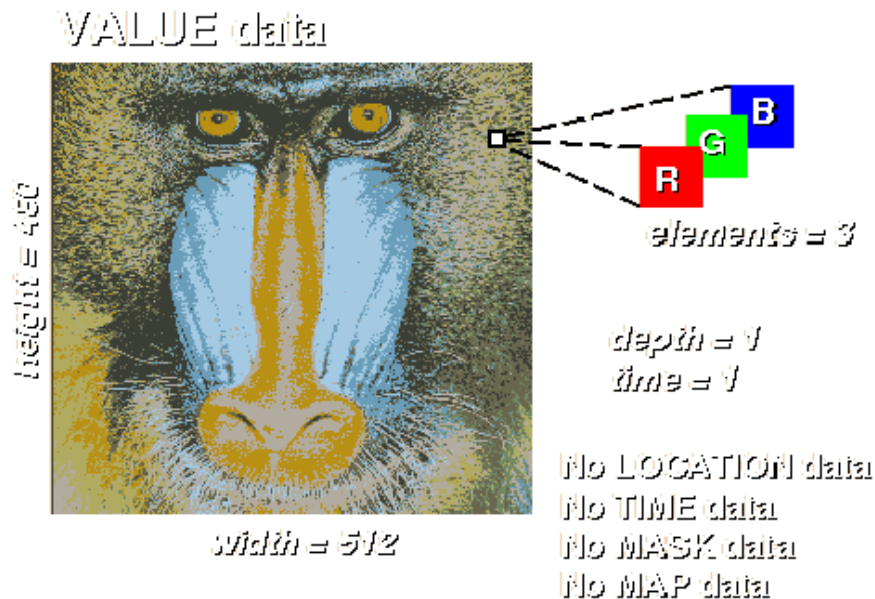
# Modelli di Colore

- Il modello di colore RGB è utilizzato per realizzare dispositivi di proiezione quali monitors, TV e nell'elaborazione di immagini. Viene utilizzato anche per immagini satellitari.
  - Additivo: Si addiziona luce (RGB) al nero
- Il modello di colore CYM è utilizzato per realizzare dispositivi di stampa
  - Sottrattivo: Si sottrae luce (CYM) al bianco
- Il modello di colore HSB (HSV) è utilizzato nell'Elaborazione di Immagini
  - Combinazione di Hue (Tonalità), Saturazione (Saturation), Luminosità (Brightness)
- Il modello di colore YIQ (YUV) è utilizzato nelle trasmissioni TV e nell'elaborazione di immagini
  - Sfrutta la maggiore sensibilità dell'occhio umano alla luminanza (immagini a livelli di grigio)

# Modelli di Colore: RGB



# Modelli di Colore: RGB





# Modelli di Colore: RGB

La tabella dei colori che utilizza il modello RGB è:

R	G	B	colore
<hr/>			
255	255	255	bianco
255	0	0	rosso
0	255	0	verde
0	0	255	blu
0	0	0	nero

# Modelli di Colore: CMY



C



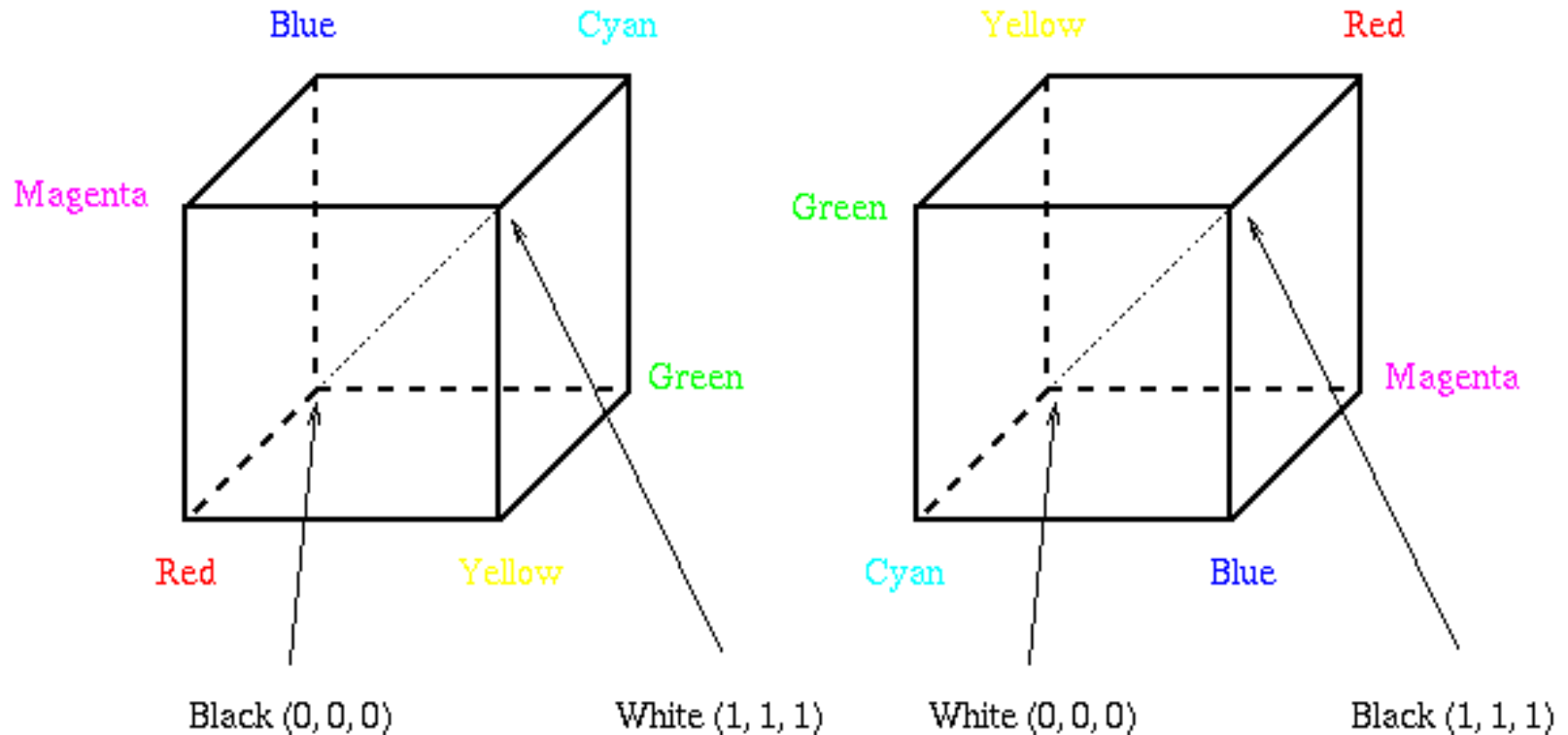
M



Y



# Relazioni tra i Cubi di Colore



The RGB Cube

The CMY Cube



# Modelli di Colore

magenta = rosso + blu

ciano = verde + blu

giallo = rosso + verde



Altre possibili combinazioni:

bianco = blu (primario) + giallo (secondario)

bianco = verde (primario) + magenta (secondario)

bianco = rosso (primario) + ciano (secondario)

# Modelli di Colore: YIQ



- Y= Luminanza (proporzionale alla quantità di luce percepita dall'occhio)
- I= Inphase
- Q= Quadrature
  - (I+Q = informazioni sul colore)
- L'occhio umano è più sensibile alla variazione di luminosità che alle variazioni di di tono e saturazione

# Modelli di Colore: YIQ



Y



I



Q



$I+Q=$



# Conversione tra i Modelli di Colore

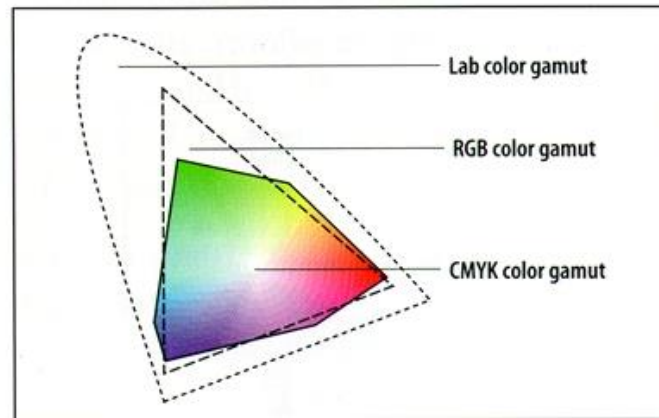


$$\begin{bmatrix} C \\ Y \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

# Relazione tra Modelli di Colori

- Il *gamut* è l'insieme dei colori che possono essere realizzati dalla combinazione di tre primari. Il modello Lab (L = Luminosità, a = asse verde-rosso, b = asse blu-giallo) copre tutti i colori nello spettro visibile
- Il *gamut RGB* è minore del LAB, quindi alcuni colori (giallo puro, ciano puro) non possono essere visualizzati sul monitor
- Il *gamut CMYK* è il più piccolo (ma non è un semplice sottoinsieme del gamut RGB)





# Modelli di Colore

## Quantizzazione:

- Immagini Binarie (1 bpp)
- Immagini in scala di grigio (**8 bpp**, 16 bpp)
- Immagini a colori (16 bpp, **24 bpp**, 32 bpp, **48 bpp**, 64 bpp)
- Immagini a pseudo colori o falsi colori (8 bpp)

# Modelli di Colore: Scala di Grigio

8 bpp



6 bpp

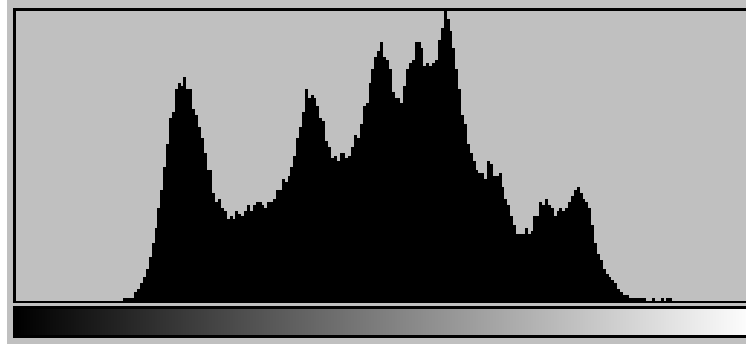


4 bpp

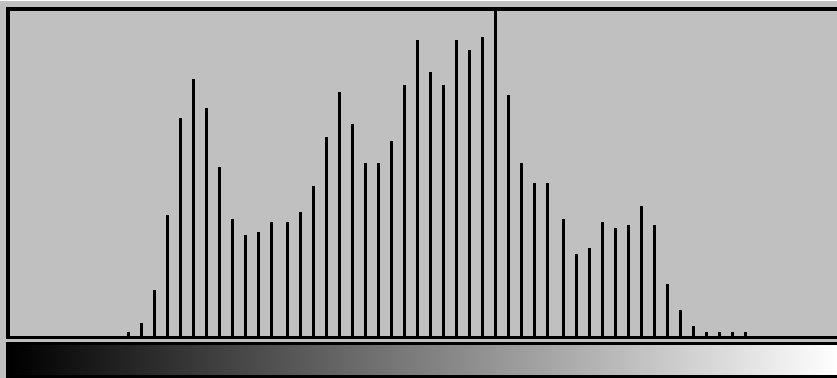


# Modelli di Colore: Scala di Grigio

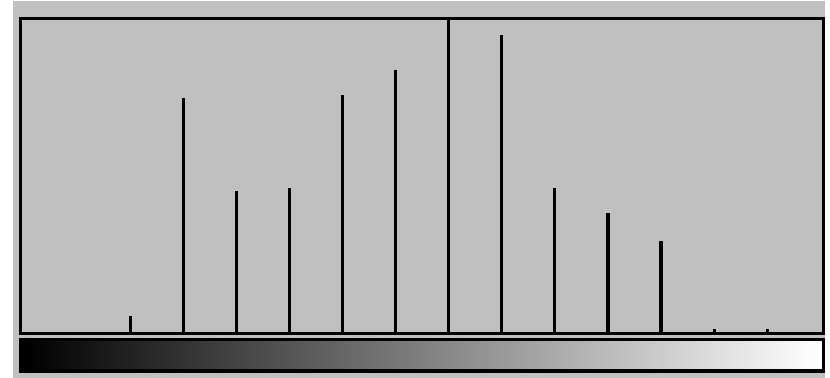
8 bpp



6 bpp



4 bpp





# Modelli di Colore: Scala di Grigio

8 bpp



6 bpp

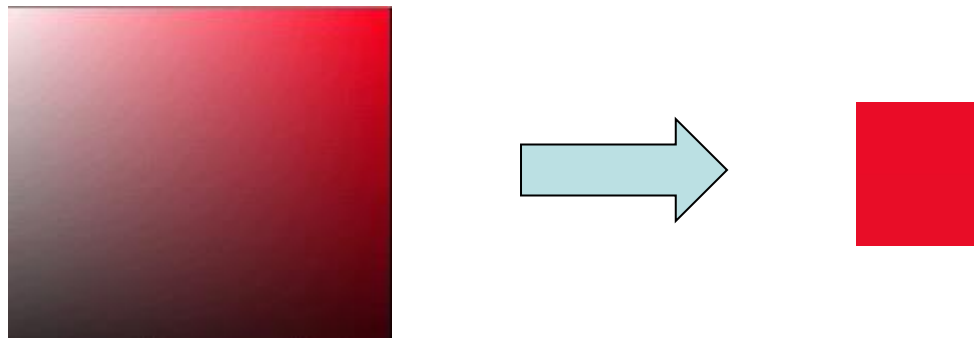


4 bpp



# Modelli di Colore: Pseudocolori

1. Pseudo-Colors (Colori Falsi) è ottenuta assegnando ad ogni intervallo di colori veri un colore medio



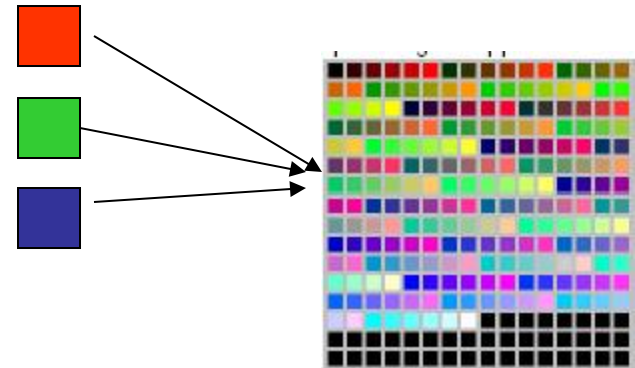


# QUANTIZZAZIONE CROMATICA

- Come la risoluzione spaziale anche la risoluzione cromatica è un compromesso costo prestazioni. Non sempre è necessario avere a disposizione tutti i colori delle immagini *truecolor* (24 bit per pixel, 8 per ogni canale), specie in applicazioni tipiche della grafica. E' quindi possibile **risparmiare spazio** di memorizzazione e **ridurre il carico computazionale**, riducendo il numero di colori. Per ridurre il numero di livelli di colore:
  - si usano **meno bit** per banda (es. 5-5-5 o 5-6-5 nel caso dell'*hicolor* a 15 e 16 bit rispettivamente)
  - si usa una **look-up table** (mappa di colori): si sceglie un numero finito di colori (es. 256) memorizzati su una tabella ed il valore del pixel e' un puntatore a tale tabella che contiene terne RGB

# SELEZIONE DELLA PALETTE

- L'elenco dei colori disponibili è chiamato *palette* (più comune dell'italiano paletta, comunque corretto). “Anticamente” la scheda CGA aveva una palette a 4 colori, l'EGA a 16 colori e la “rivoluzione” si ebbe con la scheda VGA che consentiva una palette a 256 colori!



**look-up table**

# PALETTE OTTIMIZZATA



E' possibile ottimizzare la riduzione dei colori scegliendo una palette che rappresenti al meglio lo spazio dei colori dell'immagine. Una possibile tecnica per ottenere una palette ottimizzata è quella proposta da Paul Heckbert nel 1980, nota come *Median Cut Algorithm*:

1. si calcola l'**istogramma tridimensionale** dei colori contenuti nell'immagine;
2. si trova il minimo parallelepipedo (box) orientato come gli assi che contenga tutti i colori
3. si sceglie la diagonale del *box* e si taglia nel punto che lascia lo stesso numero di elementi nelle due metà (taglio mediano)
4. si ripete il taglio del box con più elementi (maggior numero di colori) fino a quando non si sono ottenuti tanti box quanti i colori richiesti. I colori rappresentativi saranno dati dalla media dei colori inclusi nel box.

# Confronto tra Palette

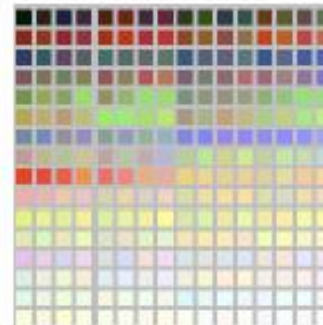


◆ Immagine originale a 24 bit

◆ Immagine a 8 bit con palette standard



◆ Immagine a 8 bit con palette ottimizzata



# Modelli di Colore: Pseudocolori

Ris=481x321, Depth=24 bpp, Spazio=463 K



Ris=481x321, Depth=8 bpp, Spazio=154 K

