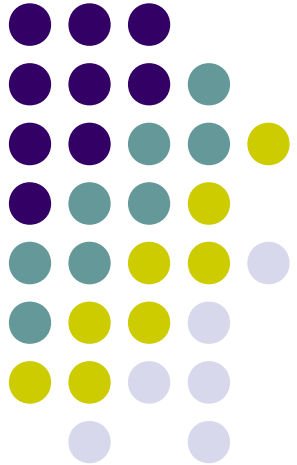
Elaborazione di immagini a colori

Aspetti fondamentali del colore

Rappresentazione del colore

Modelli di colore



L’uso del colore nell’elaborazione di immagini

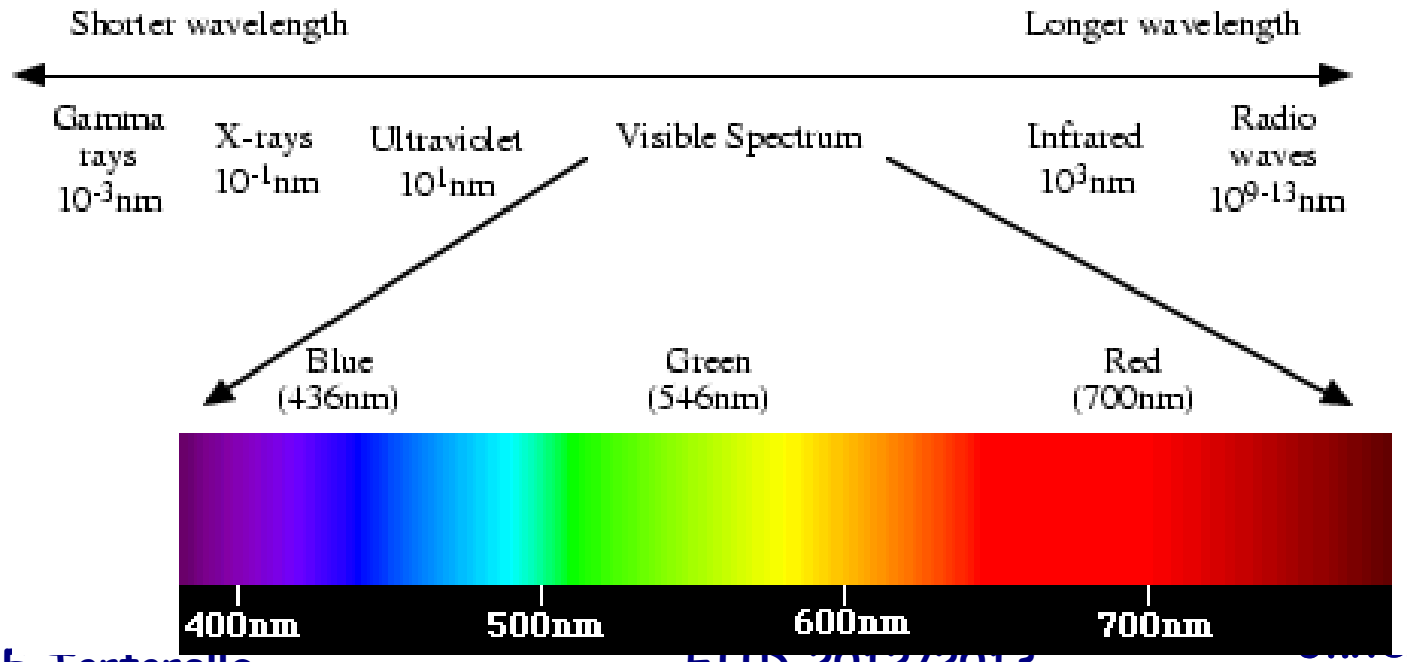
- L’uso del colore nell’elaborazione di immagini è motivato da due fattori principali:
  - Il colore è un potente descrittore che spesso semplifica l’identificazione e l’estrazione dalla scena di un oggetto
  - Un osservatore umano è capace di distinguere tra numerose tonalità di colore, mentre si limita a poche decine di tonalità di grigi

Aspetti fondamentali del colore

- Sebbene il processo di percezione e riconoscimento del colore operato dal cervello umano sia un fenomeno fisio-psicologico non ancora perfettamente spiegato, la natura fisica del colore può essere descritta in maniera formale.

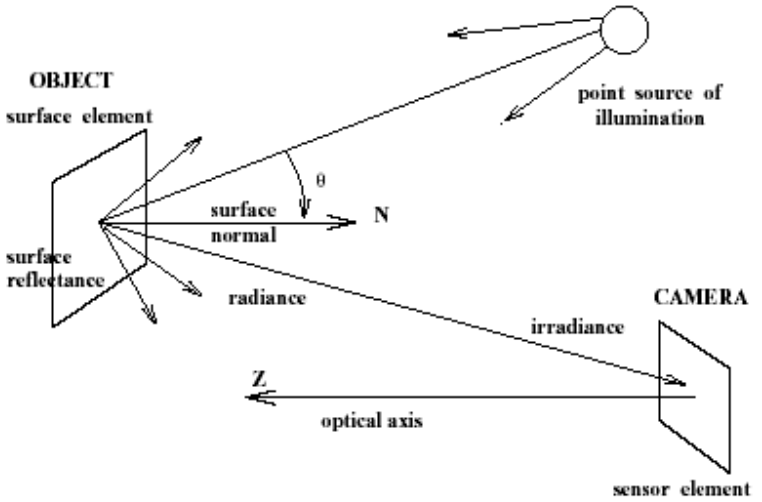
Aspetti fondamentali del colore

- La luce visibile è composta da un insieme di frequenze in una banda piuttosto limitata nello spettro della radiazione elettromagnetica.



Aspetti fondamentali del colore

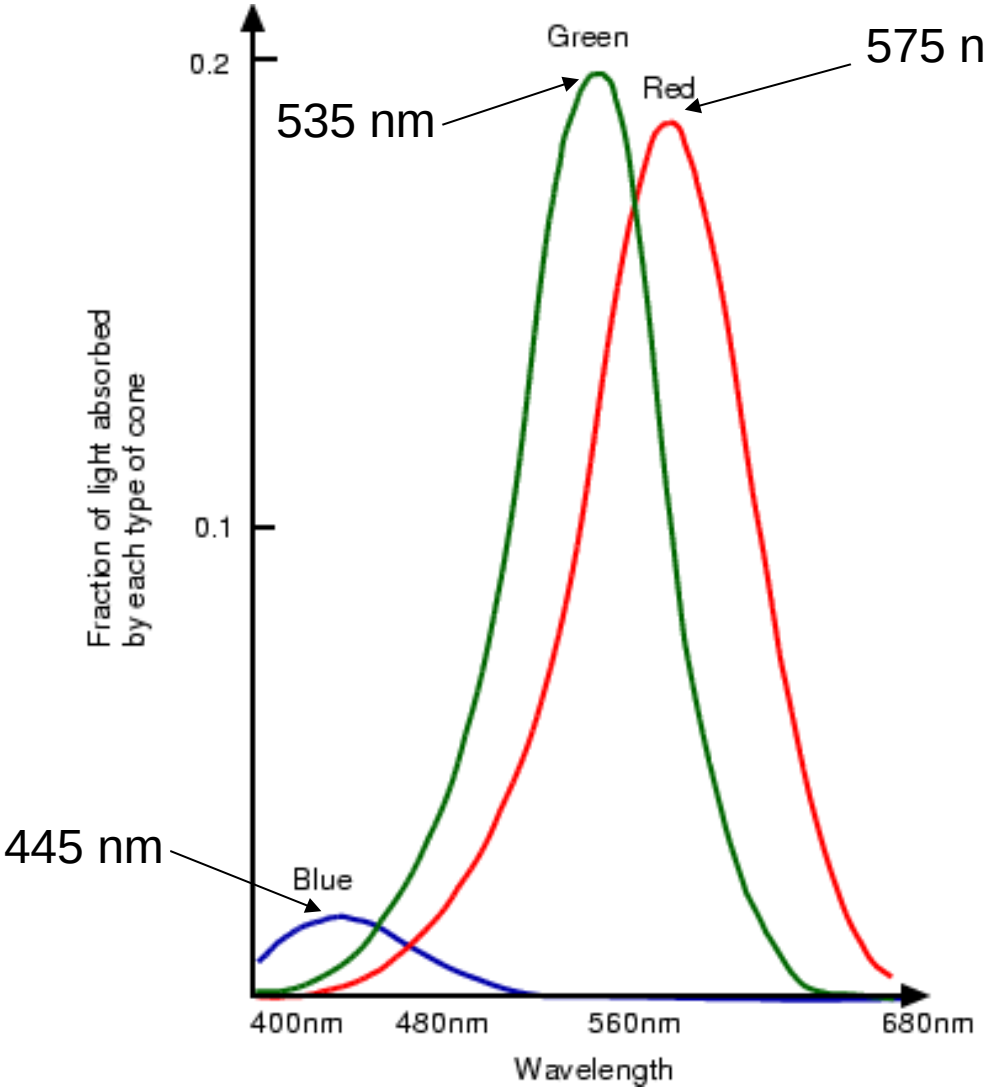
- I colori degli oggetti percepiti da un osservatore sono legati alla natura della sorgente luminosa e delle caratteristiche di riflettanza degli oggetti.
- Un oggetto illuminato da una luce bianca (contenente tutte le frequenze dello spettro visibile) apparirà colorato se riflette in maniera significativa solo una parte delle frequenze dello spettro.



Rappresentazione del colore

- Nel sistema visivo umano, i coni sono responsabili della visione cromatica.
- Sulla retina sono presenti 6-7 milioni di coni divisi in tre categorie:
  - 65 % sensibili alla “luce rossa”
  - 33 % sensibili alla “luce verde”
  - 2% sensibili alla “luce blu”
- In effetti, ogni classe di coni presenta una particolare curva di assorbimento in funzione della lunghezza d’onda della radiazione incidente.

Risposta spettrale dei coni



Rappresentazione del colore

- Sulla base delle caratteristiche della visione umana, ogni colore può essere visto come una combinazione variabile di tre colori *primari*: rosso (R), verde (G) e blu (B)
- Il problema è: come definire questi tre colori ?
  - Di fatto non esistono un rosso, un verde ed un blu univocamente determinati
- Nel 1931 la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ha provveduto ad una standardizzazione, assumendo tre lunghezze d'onda associate ai colori primari:

blu = 435.8 nm verde = 546.1 nm rosso = 700 nm

Rappresentazione del colore

- E’ importante tenere presente che il termine “primario” non significa che è possibile generare tutti i colori dello spettro con una combinazione pesata dei tre colori primari definiti.
- In effetti, è possibile produrre tutti i colori visibili combinando in proporzione diversa tre colori di base, *purché si possano variare le loro lunghezze d’onda*
- In questo modo, non si avranno tre colori primari fissati

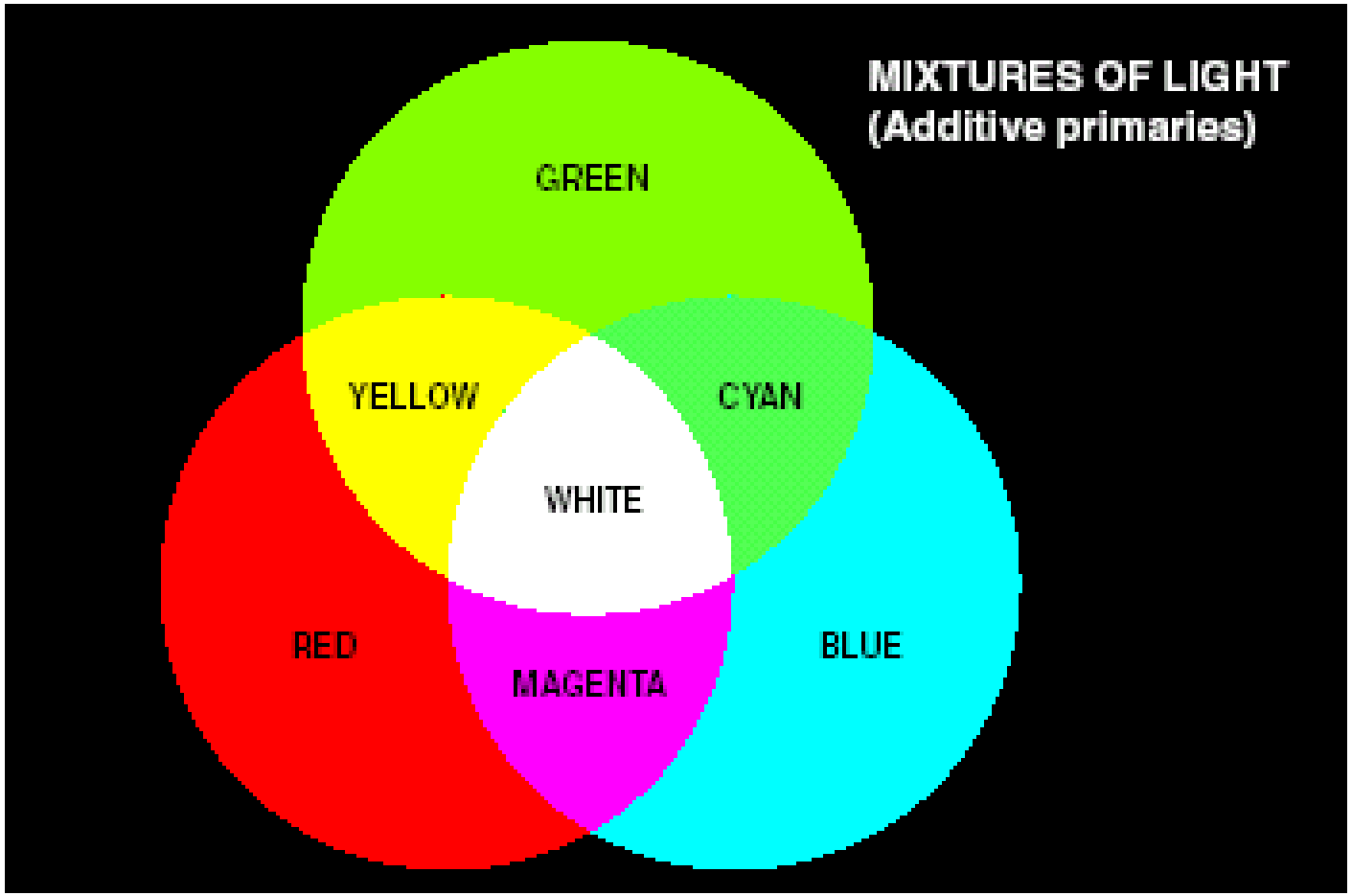
Rappresentazione del colore

- I colori primari possono essere sommati per ottenere i colori *secondari*:
  - Magenta (rosso + blu)
  - Ciano (verde + blu)
  - Giallo (rosso + verde)
- Sommando i tre primari, oppure un secondario ed il primario complementare si ottiene la luce bianca

Sintesi additiva

- Quanto detto finora vale se consideriamo i colori come *colori di luce*, per cui le combinazioni descritte si producono sovrapponendo radiazioni luminose di diverso colore.
- Questo tipo di combinazione si definisce **sintesi additiva** ed è la tecnica che si impiega per riprodurre i colori sui monitor.

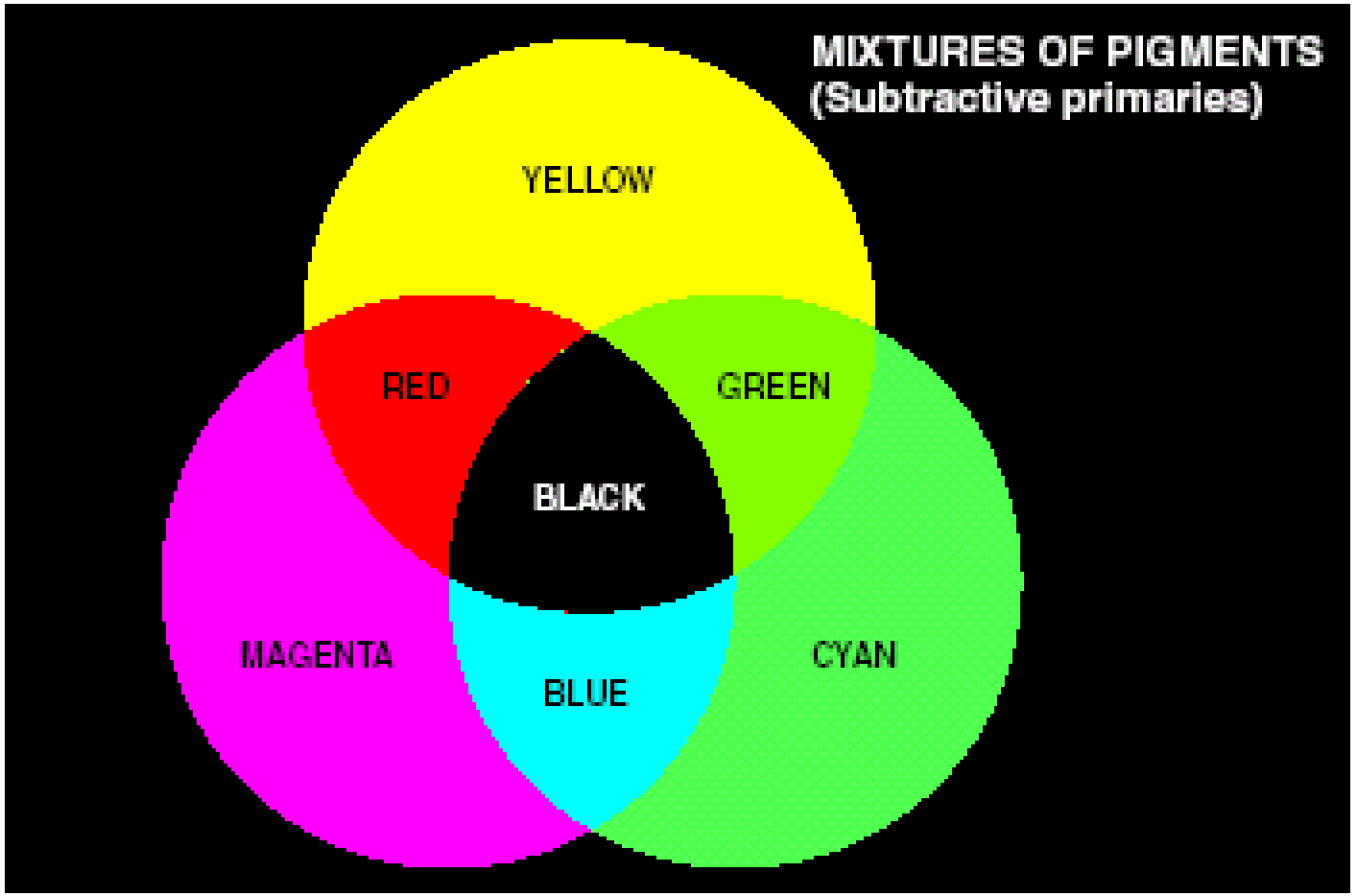
Sintesi additiva



Sintesi additiva e sottrattiva

- Si ha invece **sintesi sottrattiva** quando si combinano pigmenti di diverso colore
- In questo caso, non si intende produrre una radiazione luminosa di un particolare colore, ma un colorante che assorba alcune lunghezze d'onda e ne rifletta altre.
- Nella sintesi sottrattiva, si definiscono primari i pigmenti che assorbono la radiazione luminosa di un colore primario, riflettendo le altre due
  - Magenta (assorbe il verde)
  - Ciano (assorbe il rosso)
  - Giallo (assorbe il blu)

Sintesi sottrattiva



Rappresentazione del colore

- Alcune caratteristiche descrittive del colore frequentemente utilizzate sono:
  - Luminosità (brightness): attributo che si riferisce alla quantità di luce presente
  - Tinta (hue): attributo legato alla lunghezza d'onda dominante. Rappresenta ciò che un osservatore definisce "il colore dominante"
  - Saturazione (saturation): attributo che si riferisce alla purezza della tinta; si ha una bassa saturazione quando nel colore è presente un'elevata quantità di luce bianca mescolata alla tinta
- L'insieme della tinta e della saturazione definiscono la cromaticità, ovvero ciò che caratterizza il colore indipendentemente dalla intensità luminosa presente

Rappresentazione del colore

- Per definire univocamente un colore è necessario specificare tre valori.
- La CIE ha definito tre primari X, Y e Z rispetto ai quali si definiscono i valori che individuano il colore (*valori tristimolo*).
- I primari definiti sono immaginari; non sono, cioè, fisicamente generabili.
- Ogni colore può essere descritto in termini di X, Y e Z maggiori di zero.

Rappresentazione del colore

- Di solito si considera una versione normalizzata dei valori tristimolo (*coefficienti tricromatici*):

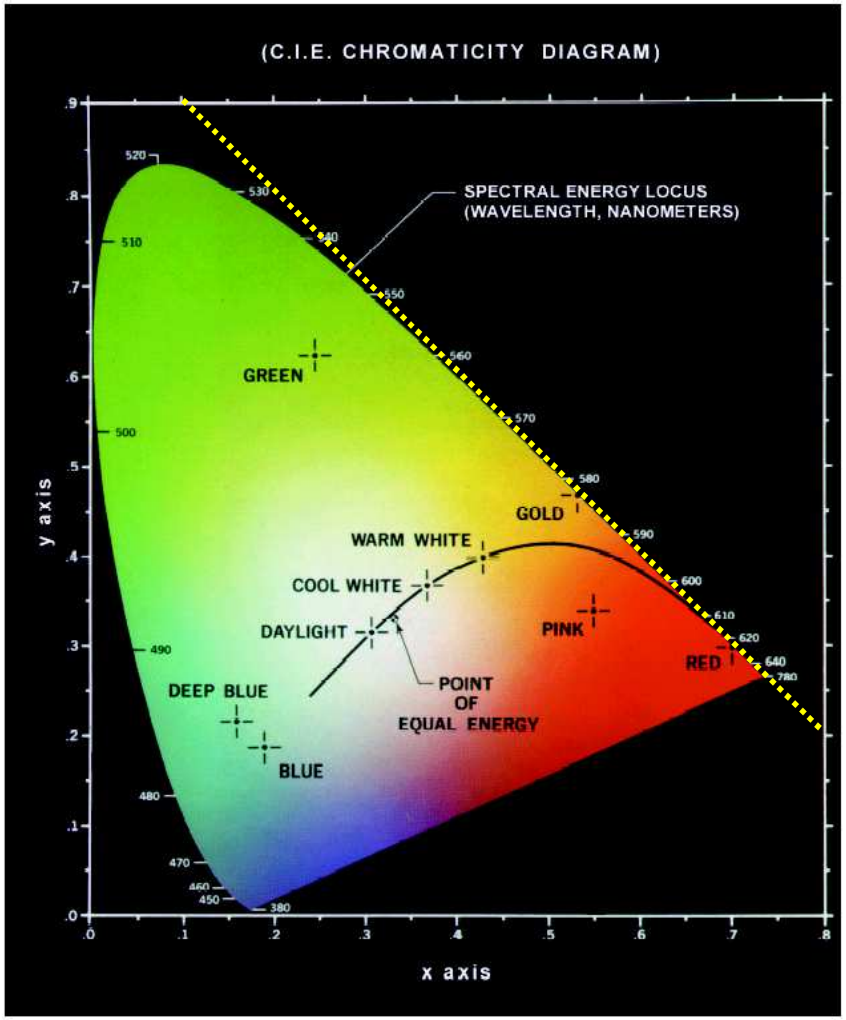
  x=X/(X+Y+Z)

  y=Y/(X+Y+Z)

  z=Z/(X+Y+Z)

- In questo modo è necessario specificare solo due coefficienti (es. x e y) in quanto il terzo si ricava in base alla relazione x+y+z=1.

Diagramma di cromaticità CIE



- Sul bordo sono disposti i colori spettrali.
- I punti sul bordo corrispondono a colori pienamente saturi; man mano che si procede verso il centro (1/3,1/3) al colore viene aggiunta sempre più luce bianca.
- Dato un colore qualunque sul diagramma
  - come si individua la tinta ?
  - come si valuta il grado di saturazione ?

Diagramma di cromaticità CIE

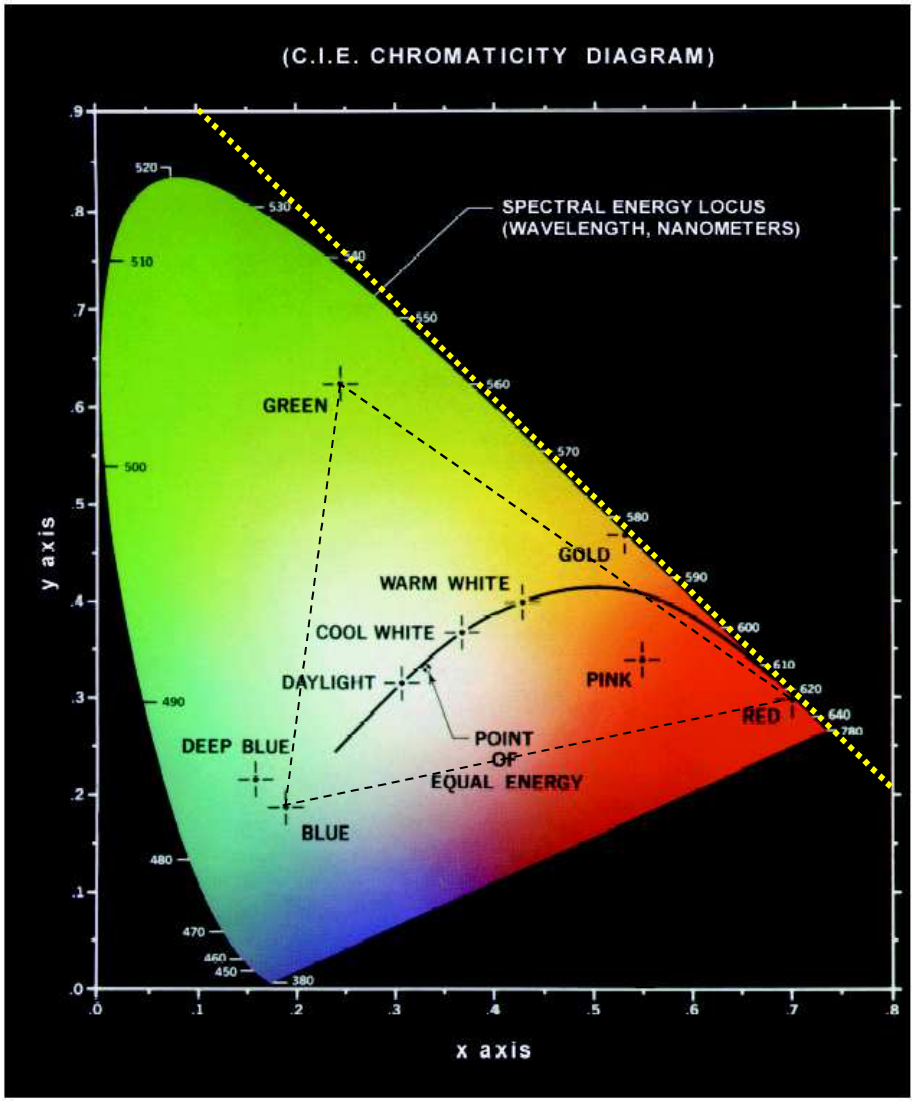
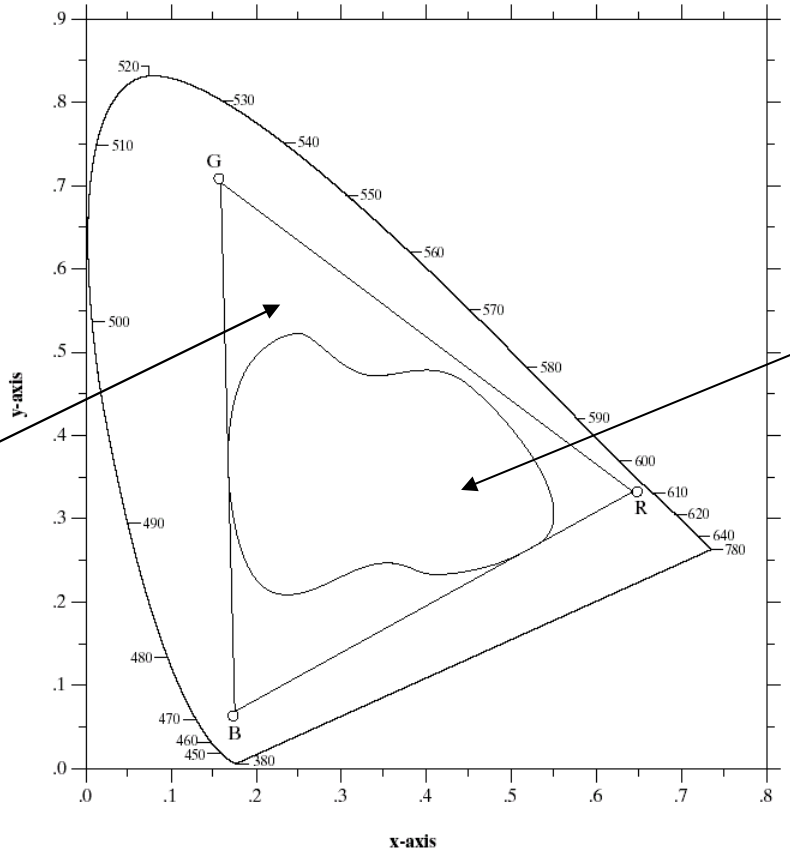


Diagramma di cromaticità CIE



Gamut di una stampante a colori

Gamut di un monitor RGB

Modelli di colore

- Un *modello di colore* (o spazio di colore o sistema di colore) è uno strumento con il quale si può specificare, creare e visualizzare un colore
- I modelli di colore sono quindi necessari per definire un colore senza ambiguità

Modelli di colore

Tiziano: Flora (1515) Firenze, Uffizi

- Esempio tratto dal dizionario Webster:
  Rosso Tiziano: “Un arancione tendente al bruno che appare un po’ più giallo e chiaro del marrone spezia, come pure del marrone prateria e del marrone di Windsor, ma un po’ più rosso e scuro del colore ambra o del fagiano dorato”
  (segnalato da A. Frova in “Luce colore visione”, Editori Riuniti)

- Descrizione accettabile ?

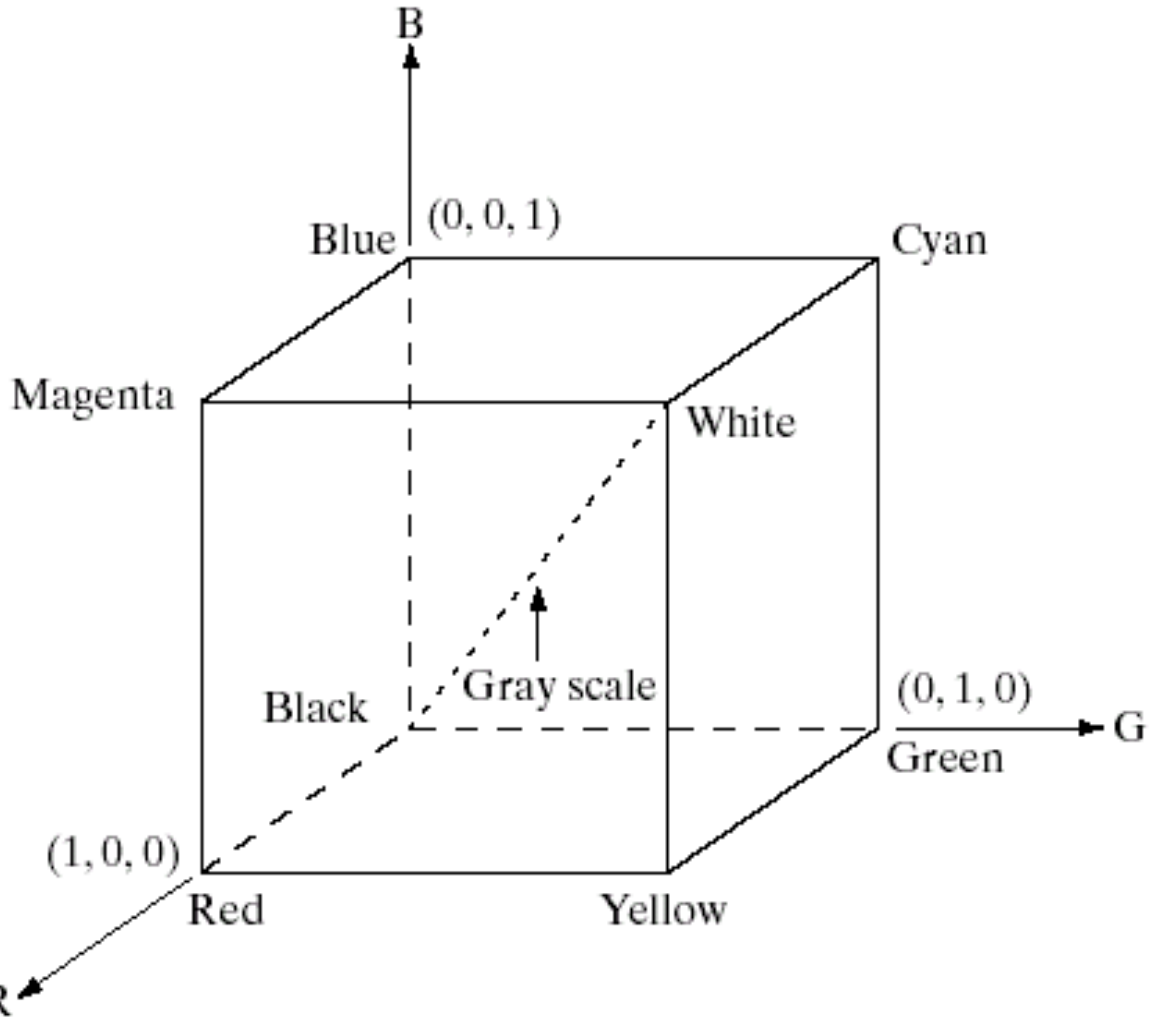
Modelli di colore

- In sostanza, un modello di colore è una specificazione di un sistema di coordinate e di un sottospazio al suo interno, dove ogni colore è rappresentato da un singolo punto
- I modelli di colore in uso oggi sono orientati verso
  - Hardware di acquisizione (RGB) e di restituzione (CMY, CMYK)
  - Elaborazione ed analisi di immagini (RGB, HSI, HSV)
  - Trasmissione (YUV,YIQ)

Il modello RGB

- Nel modello RGB ogni colore è rappresentato dalle sue componenti spettrali di rosso, verde e blu.
- Il modello è basato su un sistema di coordinate cartesiane, mentre il sottospazio di interesse è un cubo di spigolo unitario sui cui vertici sono disposti i colori primari, quelli secondari, il bianco (1,1,1) ed il nero (0,0,0). I livelli di grigio sono disposti sul segmento che congiunge (0,0,0) con (1,1,1).

Il modello RGB



Il modello RGB

- Le immagini rappresentate nel modello RGB consistono di tre immagini componenti, una per ogni colore primario.

RED

BLUE

GREEN

Il modello CMY (CMYK)

- Il modello CMY assume come colori primari il ciano, il magenta ed il giallo.
- Questi sono i colori primari impiegati in sintesi sottrattiva.
- Il modello CMY è quindi orientato ai dispositivi hardware di restituzione di colore che depositano su carta pigmenti colorati (stampanti ink-jet e laser)

Il modello CMY (CMYK)

- La conversione tra RGB e CMY è molto semplice:
  C = 1-R
  M = 1-G
  Y = 1-B
- In effetti, il modello CMY non è molto usato perché è difficile produrre un nero di qualità sufficiente come sovrapposizione dei tre pigmenti.

Il modello CMY (CMYK)

- Si considera quindi un modello quadricromatico CMYK che assume il nero (K) come quarto colore primario
- La conversione tra CMY e CMYK è data da:

CMY → CMYK

K = min(C,M,Y)

C = (C-K)/(1-K)

M = (M-K)/(1-K)

Y = (Y-K)/(1-K)

CMYK → CMY

C = min(1,C*(1-K)+K)

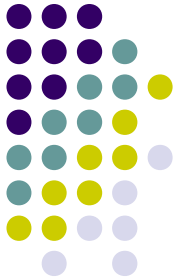
M = min(1,M*(1-K)+K)

Y = min(1,Y*(1-K)+K)

I modelli HS*

- I modelli RGB e CMY sono orientati alla descrizione di colori per dispositivi hardware
- Hanno però dei problemi:
  - Non corrispondono alla tipologia di descrizione dei colori propria degli esseri umani
  - Rispetto a caratteristiche di interesse (quali la luminosità) le singole componenti risultano essere correlate

I modelli HS*



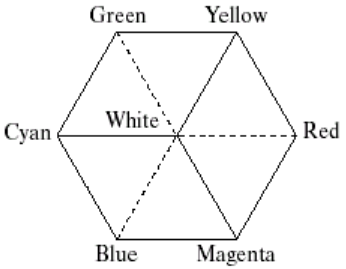
- Esistono perciò dei modelli di colore basati sulle caratteristiche con cui un essere umano usualmente definisce un colore:
  - Tinta
  - Saturazione
  - Luminosità
- Un vantaggio di tali modelli è che permettono all'utente di specificare i colori in modo intuitivo. Per questo motivo sono molto usati nell'interfacce di applicativi dedicati alla gestione del colore
- Esistono diversi modelli di questo tipo che si differenziano semplicemente per le regole di conversione da/verso il modello RGB

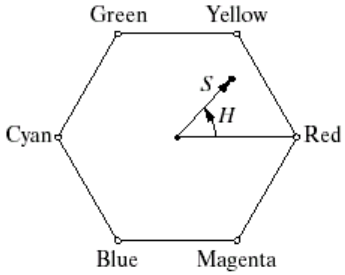
Il modello HSI

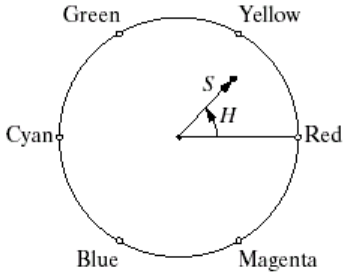
- Le tre coordinate del modello sono:
  - Hue
  - Saturation
  - Intensity
- Il modello può essere descritto da una piramide a base triangolare o da un cono

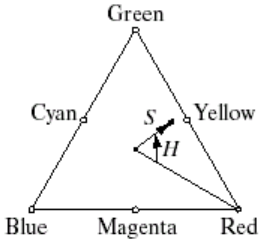
Il modello HSI

- Se consideriamo una proiezione del cubo RGB su un piano ortogonale all'asse dei livelli di grigio, otteniamo una forma triangolare o esagonale, i cui punti corrispondono a colori che hanno la stessa intensità.
- A volte si fa riferimento ad una sezione circolare

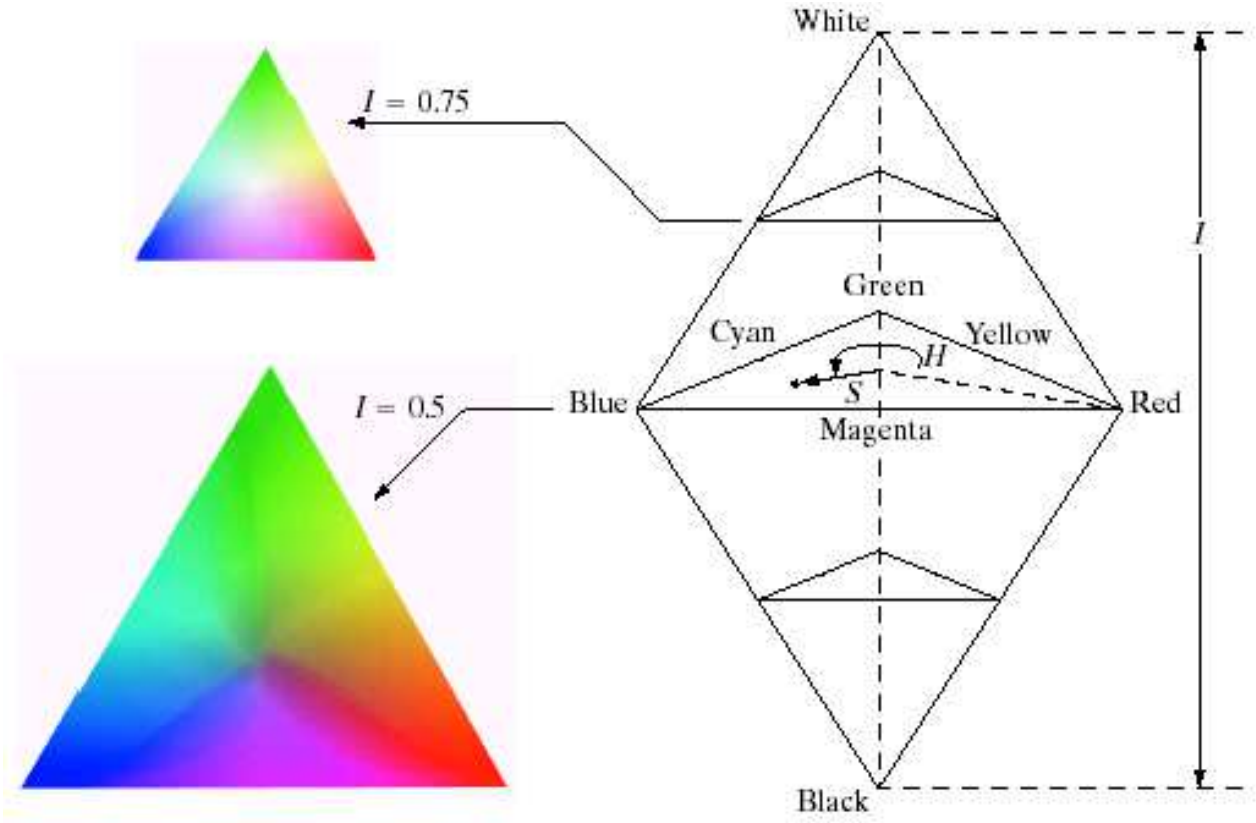




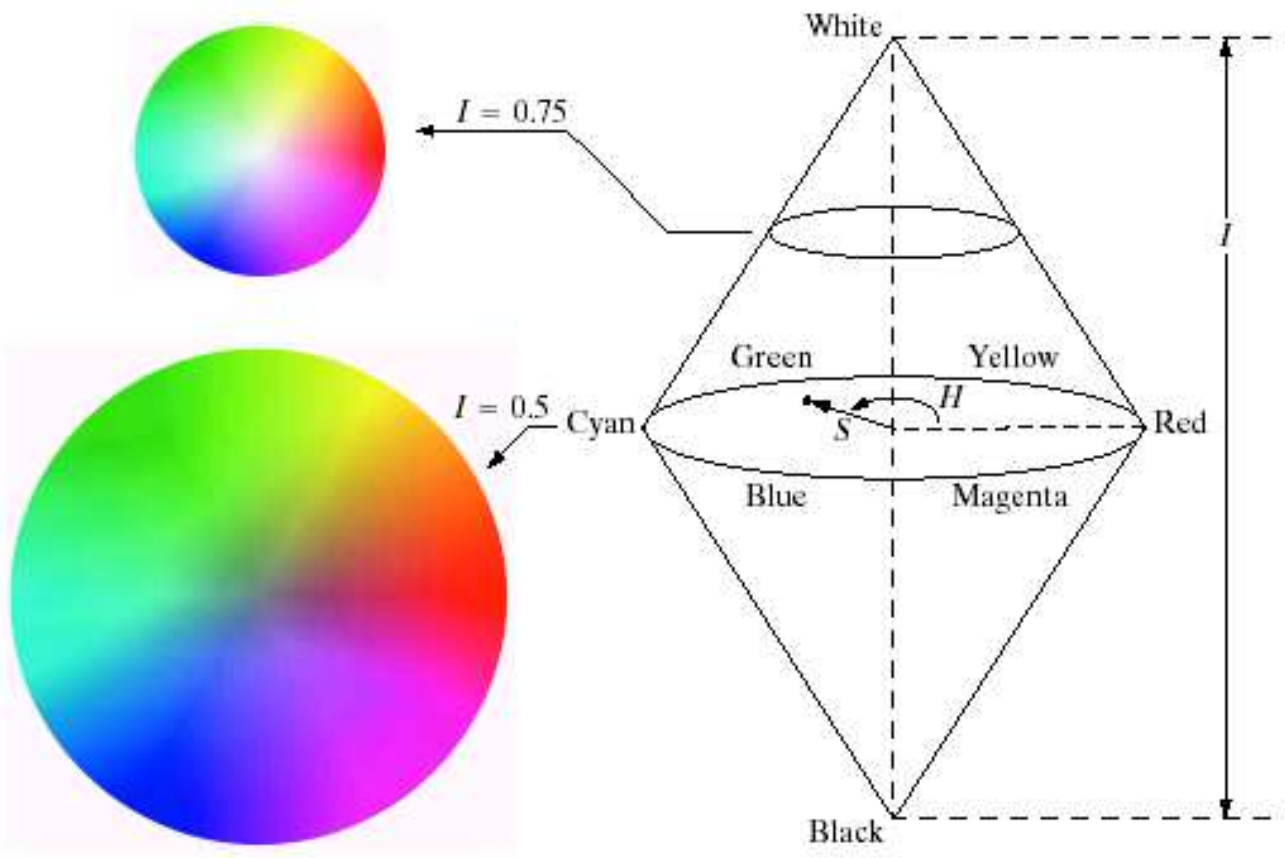




Il modello HSI



Il modello HSI



Conversione RGB → HSI

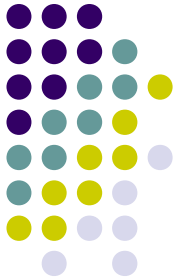
$$H = \begin{cases} \theta & if \ B \le G \\ 360 - \theta & if \ B > G \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left\{ \frac{0.5\left[(R-G)+(R-B)\right]}{\left[(R-G)^2+(R-B)(G-B)\right]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)}\left[\min(R,G,B)\right]$$

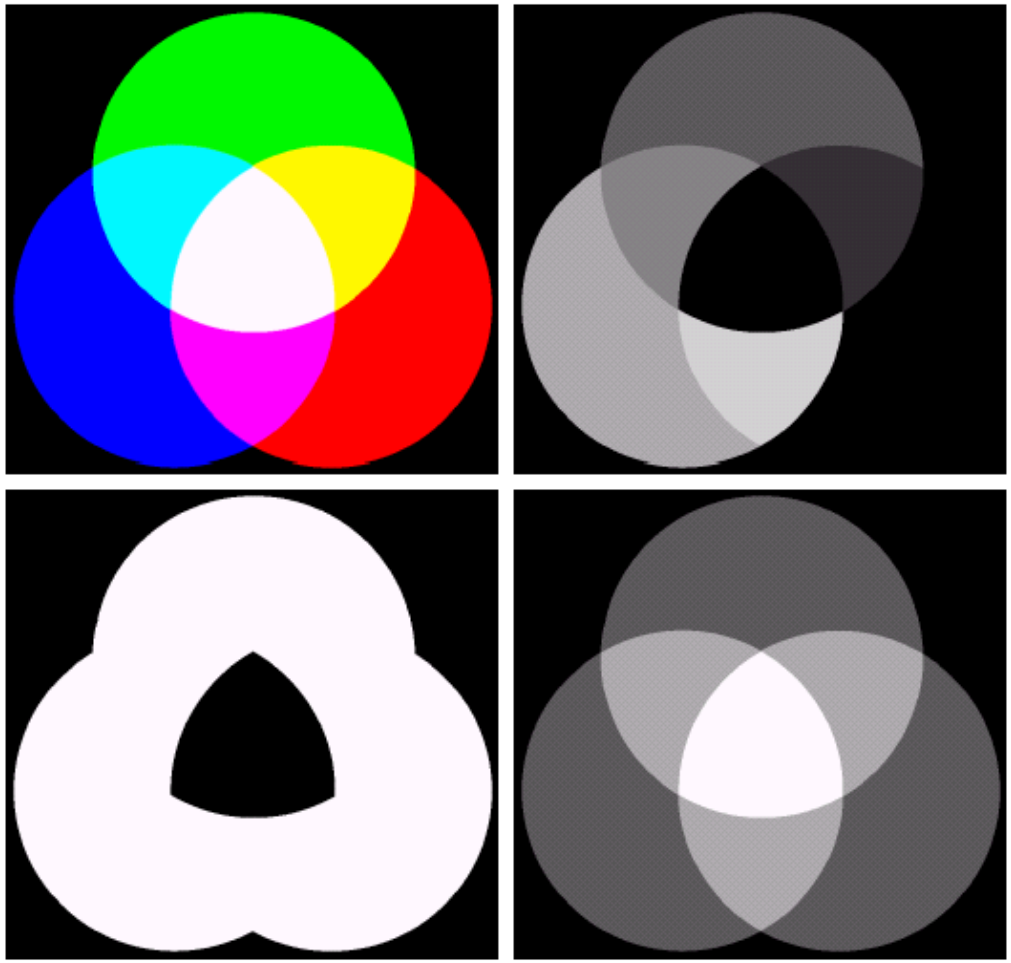
$$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

Conversione HSI → RGB



Settore RG ($0° \le H \le 120°$)	Settore GB ($120° \le H \le 240°$)	Settore GB ($240° \le H \le 360°$)
$B = I(1-S)$	$R = I(1-S)$	$G = I(1-S)$
$R = I\left[1+\frac{S\cos H}{\cos(60°-H)}\right]$	$H' = H - 120°$ $G = I\left[1+\frac{S\cos(H')}{\cos(60°-(H'))}\right]$	$H' = H - 240°$ $B = I\left[1+\frac{S\cos(H')}{\cos(60°-(H'))}\right]$
$G = 3I-(R+B)$	$B = 3I-(R+G)$	$R = 3I-(B+G)$

Il modello HSI



Hue

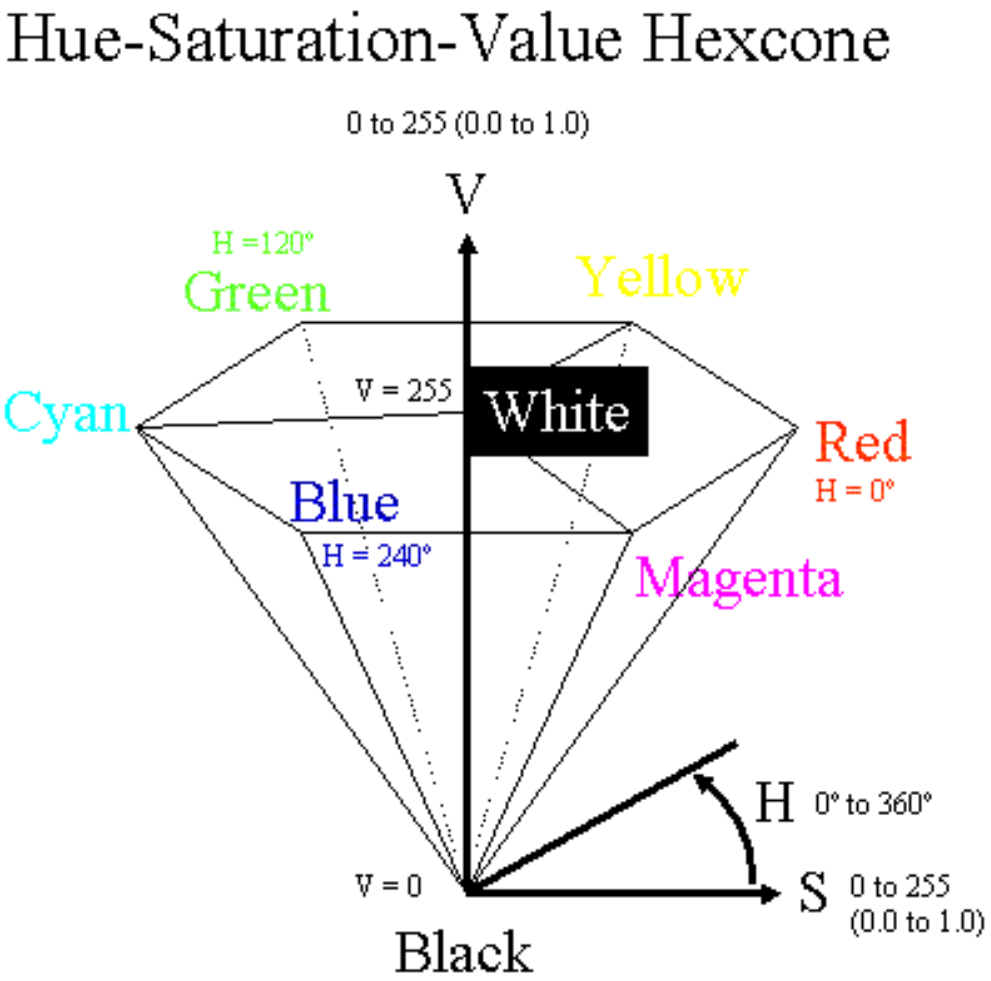
Saturation

Intensity

Il modello HSV

- E’ simile al modello HSI, solo che, invece della intensità, utilizza il *valore* V della luminosità (brightness)
- Il modello è descritto da una piramide a base esagonale
- Matlab mette a disposizione le funzioni per operare le trasformazioni RGB ←→ HSV:
  - rgb2hsv
  - hsv2rgb

Il modello HSV



demo HSV

Il modello HSV

- Le immagini rappresentate nel modello HSV consistono di tre immagini componenti, una per ogni caratteristica.

HUE

SATURATION

VALUE

Conversione RGB → HSV (Foley,van Dam)

- Si determinano prima i valori di S e V

$$M = \max(R,G,B) \qquad m = \min(R,G,B)$$

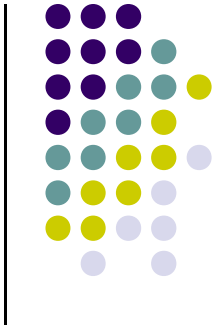
$$V = M \qquad S = \frac{M-m}{M} \quad (S = 0 \; se \; M = 0)$$

Conversione RGB → HSV (Foley,van Dam)

- Per definire la tinta, si considera:

if S==0, H è indefinita
    else if R==M
        H=(G-B)/(M-m)
    else if G==M
        H=2.0+(B-R)/(M-m)
    else
        H=4.0+(R-G)/(M-m)
endif
H=H*60
if H<0
    H=H+360
endif

Conversione HSV → RGB (Foley,van Dam)

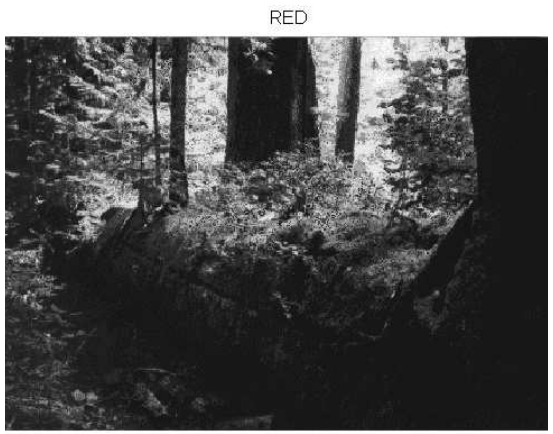


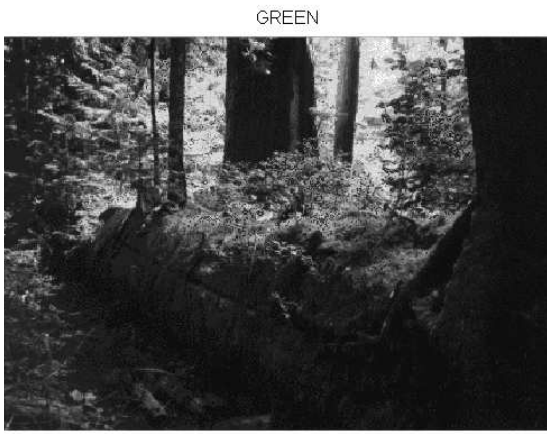
```
if S==0
        R=V G=V B=V
else
        if H==360
            H=0
        endif
        H=H/60
        K=floor(H)
        F=H-K
        P=V*(1.0-S)
        Q=V*(1.0-S*F)
        T=V*[1.0-S*(1.0-F)]
        switch(K)
            case 0: R=V G=T B=P
            case 1: R=Q G=V B=P
            case 2: R=P G=V B=T
            case 3: R=P G=Q B=V
            case 4: R=T G=P B=V
            case 5: R=V G=P B=Q
        endswitch
endif
```

Elaborazione di immagini a colori

- Abbiamo un esempio di immagine da migliorare
- Con quale modello lavoriamo ?
- Confrontiamo
  - RGB
  - HSV

Elaborazione in RGB equalizzazione

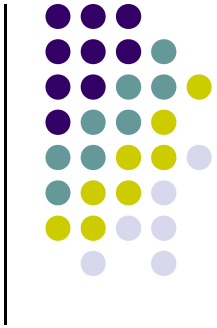




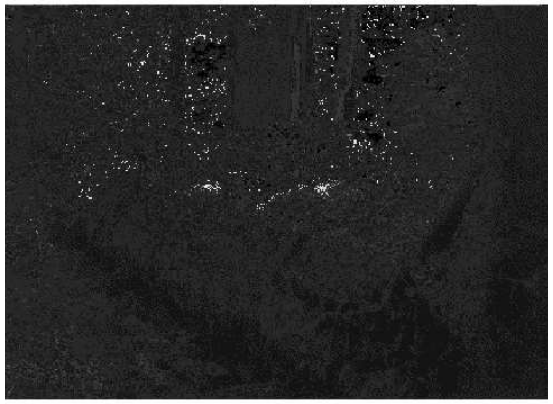
Elaborazione in RGB equalizzazione

- Il risultato è scadente perché si sono modificate le singole componenti indipendentemente, andando così ad alterare le proporzioni secondo le quali ogni primario era presente

Elaborazione in HSV equalizzazione



HUE



SATURATION

VALUE

In questo caso si equalizza solo la componente value, lasciando inalterate le componenti che riportano le caratteristiche cromatiche

Elaborazione in HSV equalizzazione