

Colore e immagini

Fondamenti Elaborazione dei Segnali e Immagini
(FESI)

Francesca Odone francesca.odone@unige.it

L'esperienza del colore

I colori non sono proprietà intrinseche dei corpi ma sensazioni attivate nel sistema nervoso dell'osservatore

L'esperienza del colore è causata dal fatto che il sistema visivo umano risponde in modo diverso ad una varietà di lunghezze d'onda.



L'esperienza del colore

Inoltre la *percezione* del colore da parte dell'uomo e' una funzione complessa del contesto.

Elementi fondamentali:

- Illuminazione
- Proprieta' dell'oggetto osservato

Ma anche

- memoria
- identita' dell'oggetto
- emozione

Nel sistema visivo umano...

L'anatomia della retina ci insegna che esistono due tipi di cellule sensibili alla luce, differenziate dalla forma:

- coni
- bastoncelli

I bastoncelli hanno lo scopo di adattarsi ai cambiamenti di intensita' di luce e adattarsi alla luce crepuscolare e notturna

Nel sistema visivo umano...

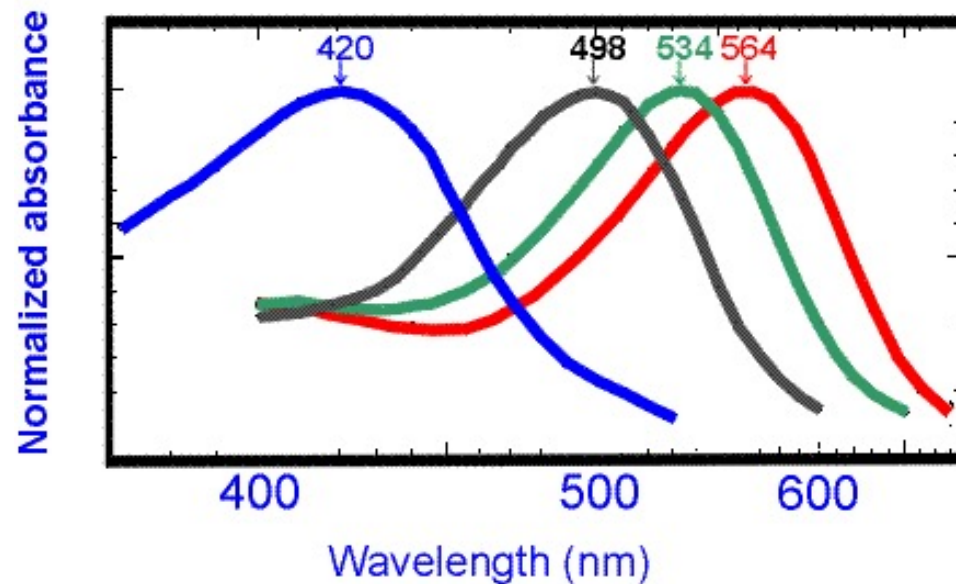
I coni sono responsabili della visione dei dettagli e dei colori.

Studi di genetica della visione supportano l'idea che esistano 3 tipi di coni, differenziati dalla loro sensibilità a diverse lunghezze d'onda:

- S corte
- M medie
- L lunghe

Nel sistema visivo umano...

Da Bowmaker & Darnall, 1980



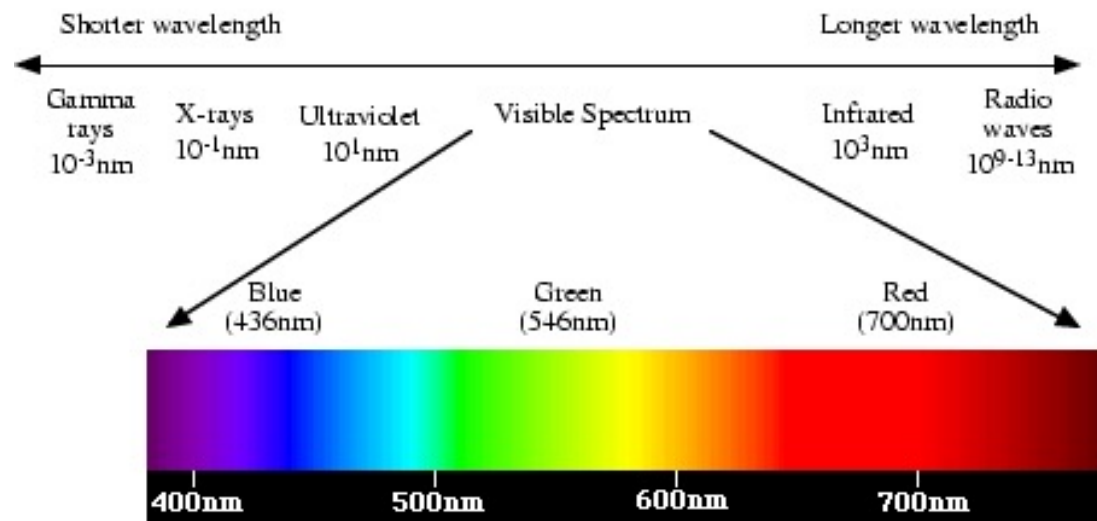
After Bowmaker & Dartnall, 1980

Fotorecettori umani. Questo tipo di grafici e' ottenuto proiettando una quantita' nota di luce e misurando la quantita' di luce assorbita dai fotorecettori

Nel sistema visivo umano...

I nostri occhi percepiscono una parte molto limitata delle radiazioni elettromagnetiche

- quelle con lunghezze d'onda (λ) compresa tra i 400 nanometri (ultravioletti) e i 700 nm (infrarossi)



Cosa influenza il colore: le superfici

Il colore percepito a livello della retina e' condizionato da due fattori fondamentali:

- la superficie su cui la luce e' riflessa
- il tipo di luce e il colore della luce

Il colore delle superfici colorate e' il risultato di una grande varieta'di meccanismi

Questi dipendono dal materiale che costituisce la superficie e come interagisce con la luce che lo colpisce

- Quanto assorbe le lunghezze d'onda
- E inoltre rifrazione, diffrazione...

Cosa influenza il colore: le sorgenti di luce

Sorgenti naturali: Il sole e il cielo nuvoloso

Sorgenti artificiali: luci incandescenti, luci fluorescenti, luci ai vapori di mercurio. luci alogene, ...

Modellare il colore

E' possibile creare un modello di colore?

E' possibile creare delle rappresentazioni che permettano di associare in modo univoco una codifica ad ogni colore (o percezione di colore)?

Per fare questo un primo passo e' quello di cercare di capire se esiste una **base di colori**.

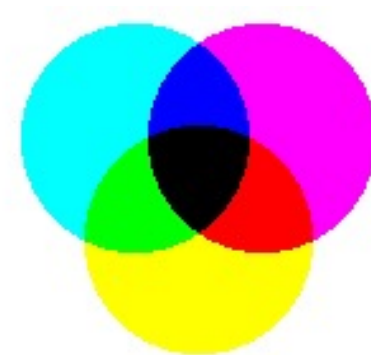
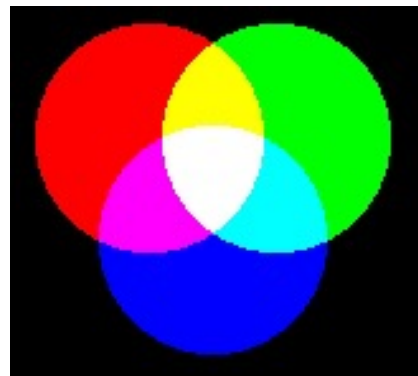
Questo ci pone una domanda: cosa significa **combinare i colori**?

Combinare colori

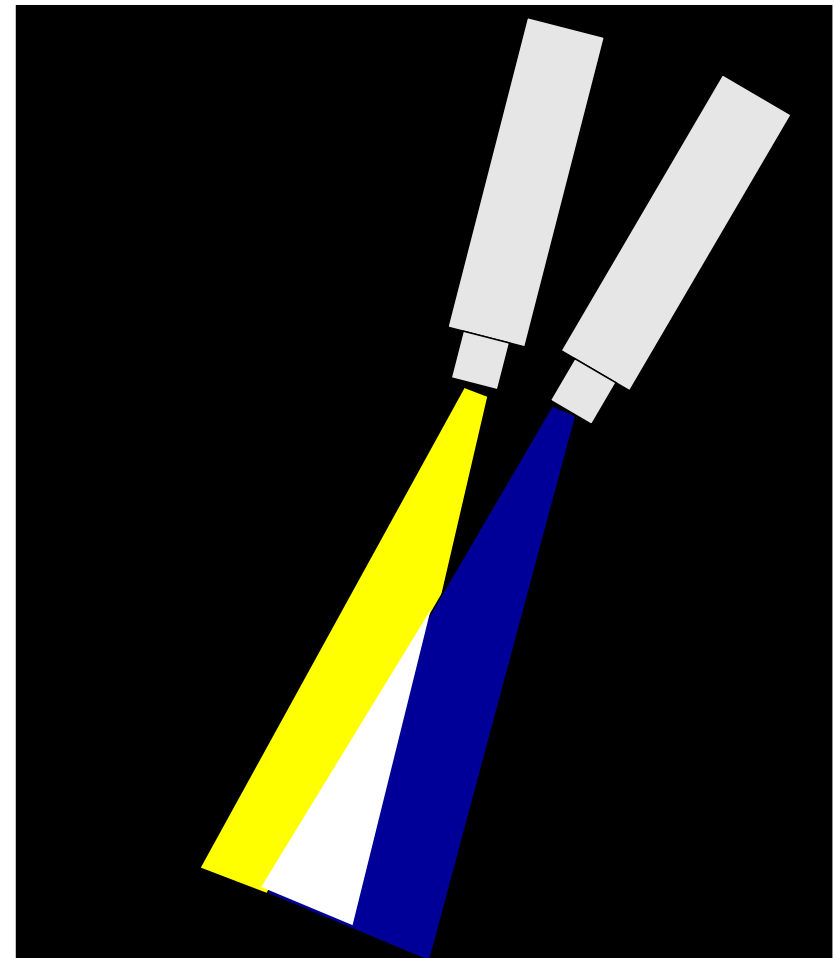
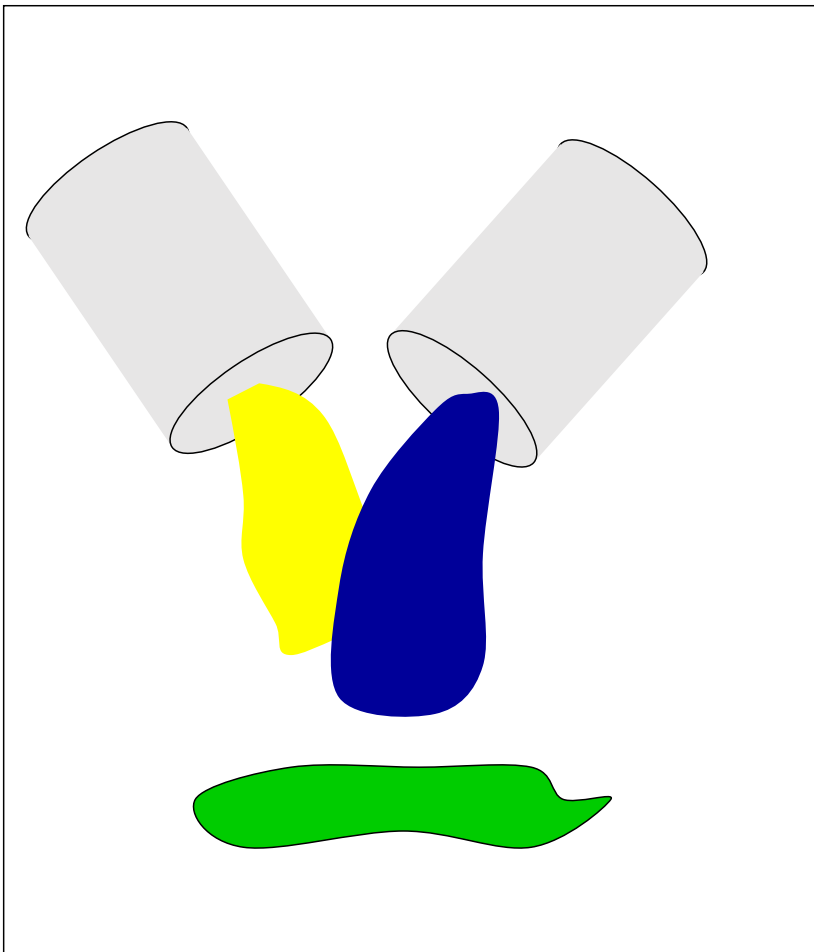
La misura del colore è oggetto di studio della **colorimetria**.

Metodi usati per formare il colore:

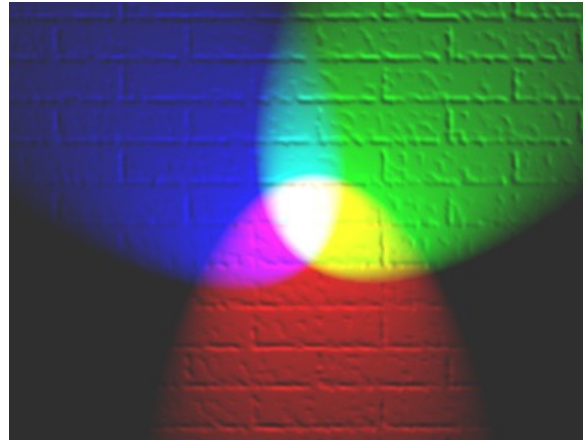
- sintesi del colore additiva
- sintesi del colore sottrattiva



Creazione del colore: un semplice esperimento



Creazione del colore: sintesi additiva



ADDITIVA: si parte dall'assenza di luce (nero) e si aggiungono colori

Un nuovo colore viene ottenuto attraverso la miscelazione (somma) di emissioni di luce relative ad altri colori

Creazione del colore: sintesi sottrattiva

SOTTRATTIVA: si parte dal bianco e si “eliminano” dei colori per ottenere altri colori

Si fa passare luce bianca attraverso dei filtri che lasciano passare solo delle radiazioni di una determinata lunghezza d'onda (cioè un dato colore).

- La vernice blu riflette quasi tutta la luce a lunghezze d'onda corte e assorbe la luce a lunghezze lunghe
- La vernice gialla riflette quasi tutta la luce a lunghezze lunghe e assorbe quella a lunghezze corte.
- Entrambe riflettono le lunghezze d'onda medie, che appaiono circa verdi

Percezione del colore: ricerca di colori rappresentanti

un soggetto deve descrivere una luce test utilizzando un misto di luci base (i primari).

$$T = w_1 P_1 + \dots + w_i P_i + \dots$$

un grande numero di primari puo' essere necessario per approssimare alcuni colori.

inoltre la soluzione non è unica.

il problema viene semplificato se si permette la sottrazione dei colori

Percezione del colore: Teoria del tristimolo

La tricromia (che risale sin dal XVIII sec) e' basata sull'assunzione che ci siano solo 3 classi di fotorecettori sensibili al colore.

Sperimentalmente si e' verificato che per la maggior parte degli osservatori tre colori primari sono sufficienti ad approssimare quasi tutte le luci test, a patto che:

- si possa combinare i colori tramite addizione e sottrazione
- i tre primari siano indipendenti

si e' anche visto che dati gli stessi primari e lo stesso test, la maggior parte della gente selezionera' la stessa mistura..

Percezione del colore: teoria dei colori opposti (E. Hering)

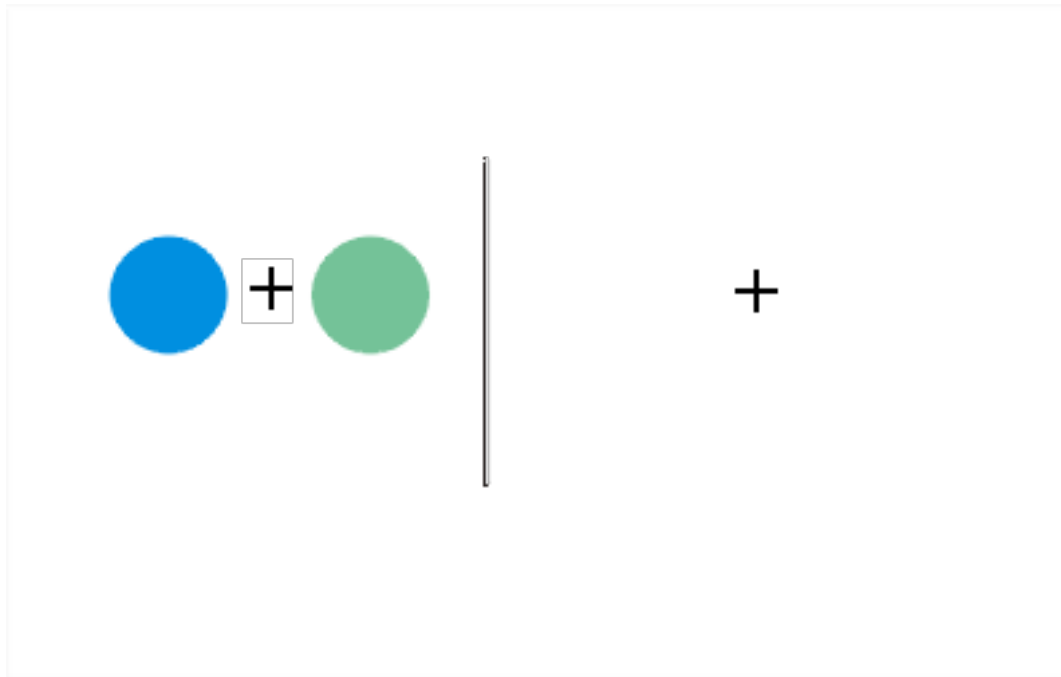
Alcuni fenomeni della percezione del colore non sembrano essere modellabili con la tricromia

La teoria dei colori opposti, popolare all'inizio del XX sec, parte da assunzioni legate al livello neurale (mentre la tricromia si ispira al livello della retina)

Hering ha notato che alcuni colori non si percepiscono mai insieme (ad esempio non riusciamo ad immaginare blu giallognoli)

After images

- Uno strumento molto utilizzato nel contesto della teoria dei colori opposti



Percezione del colore: teorie a confronto

Non sembrano esserci evidenze che una teoria sia più fondata dell'altra.

Entrambe hanno aiutato a capire come funziona il sistema visivo umano.

Verso una standardizzazione...

Una volta assodato che tutte le persone che non hanno difetti di visione colorata percepiscono gli stessi colori

serve uno standard che permetta di rappresentare e identificare univocamente un colore

Osservatore standard CIE 1931

Commission Internationale de l'Éclairage CIÉ: 1931

tre funzioni primarie standard:

- X, Y, Z
- definisce tutti i colori visibili

solo coefficienti positivi

- Y = percezione della luminanza sulla retina
- x, y = chromaticity

Osservatore standard CIE 1931

Colori visibili dall'occhio
umano

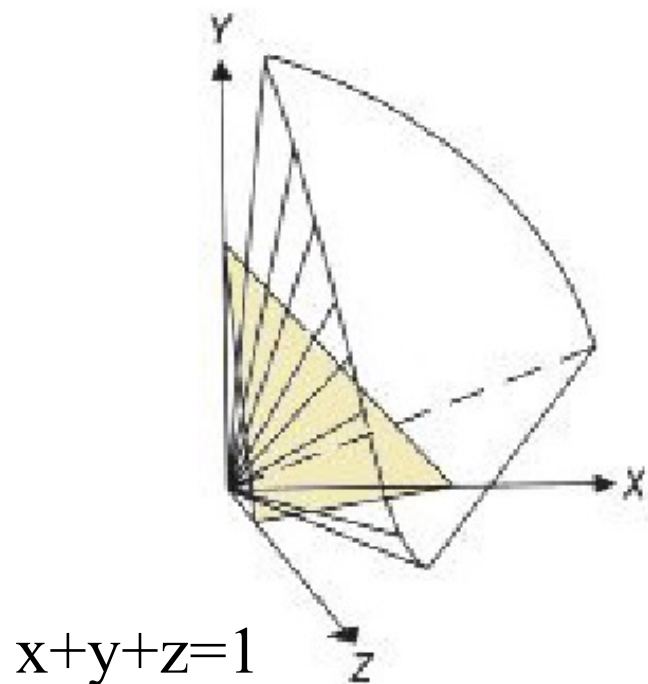
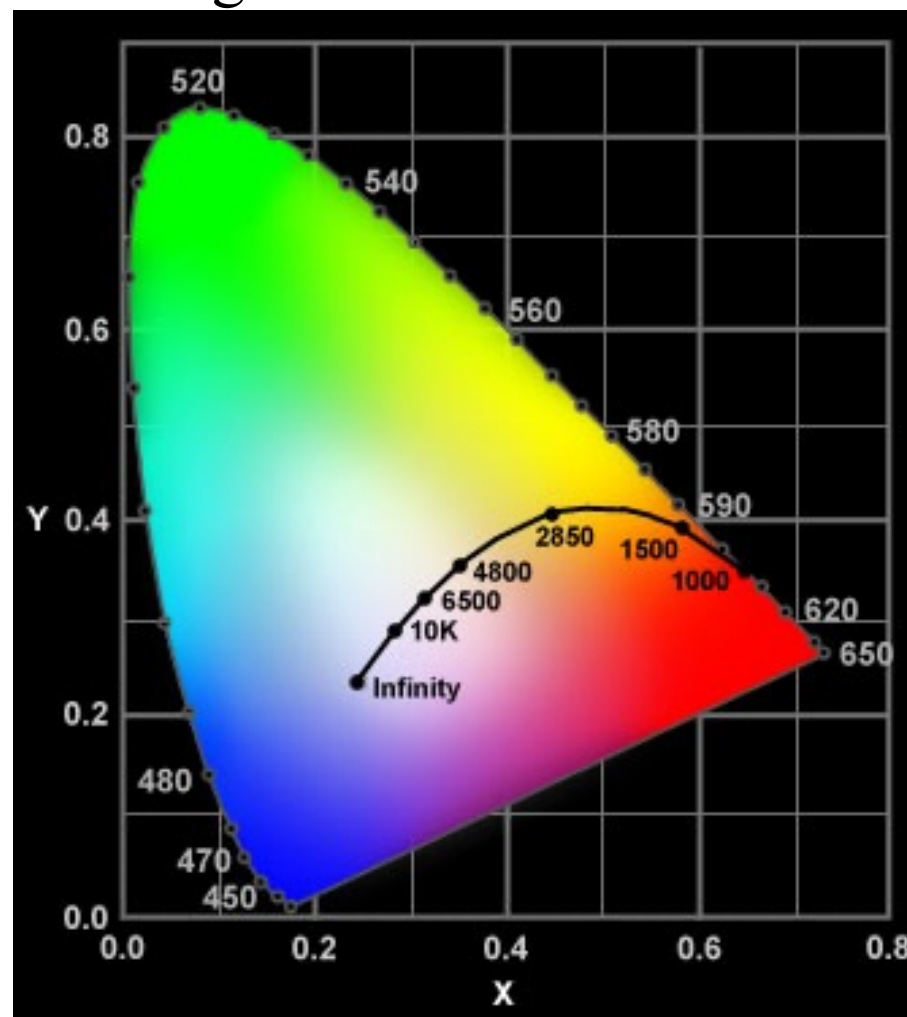


Diagramma CIE



Gli spazi di colore

Gli spazi di colore sono normalmente inventati per motivi pratici, quindi ne esistono molti

Noi introdurremo:

- due spazi di colore derivati da dispositivi:
 - RGB
 - CMYK
- uno derivato dallo studio della percezione:
 - HSV

Modello RGB

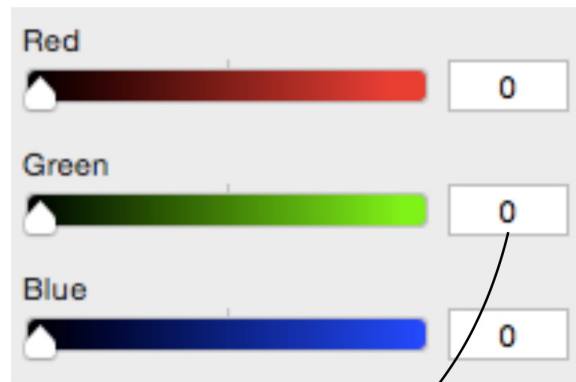
E' basato su 3 colori primari monocromatici:

- R rosso (lunghezza d'onda $\lambda=700\text{nm}$)
- G verde ($\lambda=546.1\text{nm}$)
- B blu ($\lambda=435.8\text{nm}$)

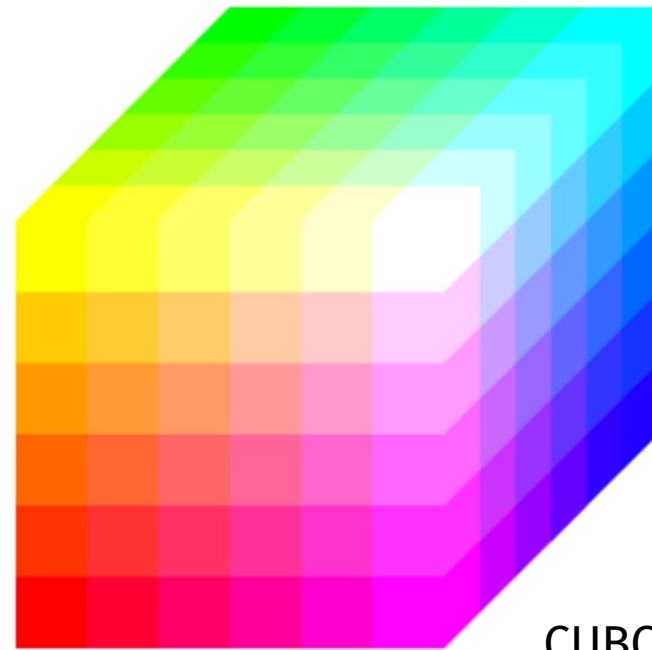
Tipico dei dispositivi di acquisizione e visualizzazione

Viene solitamente usato per lo storage ed è quindi il modello di riferimento delle immagini digitali

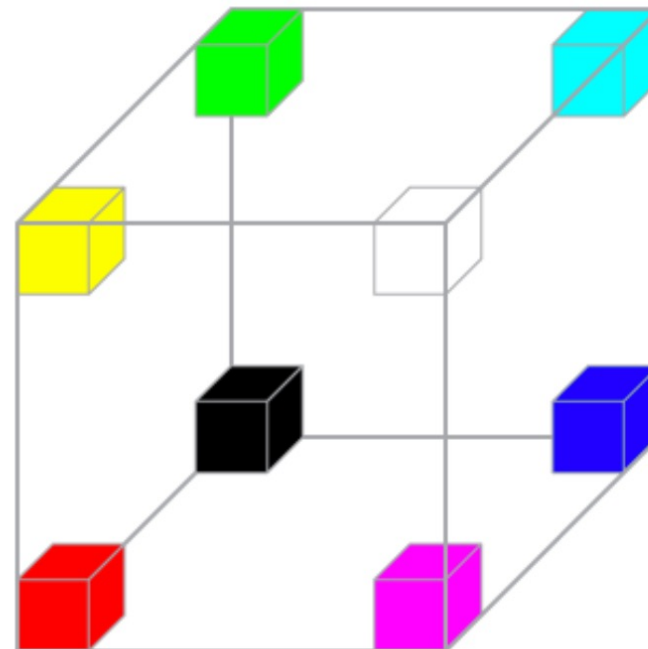
Modello RGB



[0,255]



CUBO RGB



Modello RGB

Una vasta percentuale dello spettro visibile puo' essere rappresentata miscelando luce rossa, verde e blu in diverse proporzioni e intensita'.

Se i colori primari sono sommati producono il bianco

- per questo motivo il modello RGB e' di tipo additivo
- per produrre il bianco tutte le lunghezze d'onda visibili sono trasmesse all'occhio

Modello CMY

A partire dal cubo RGB ritroviamo immediatamente i colori

- *ciano (Cyan),*
- *Magenta,*
- *giallo (Yellow)*

(posizionati sui 3 vertici rimanenti)

Il modello CMY rappresenta lo stesso spazio di colore del RGB ma utilizza una base alternativa

Modello CMY

Il modello CMY si basa sul modello sottrattivo

E' tipico dei dispositivi di stampa, e' basato sulla capacita' propria dell'inchiostro su carta di assorbire luce

Quando la luce bianca colpisce gli inchiostri, alcune lunghezze d'onda visibili vengono assorbite, mentre altre vengono riflesse e quindi viste.

Modello CMYK

K rappresenta il nero (black)

il nero puo' essere derivato direttamente dalla combinazione di C M e Y (ossia assorbendo tutti e tre i colori base).

Purtroppo pero' gli inchiostri di stampa contengono molte impurita', quindi questo modello di combinazione del colore invece di produrre il nero produce un marrone scuro

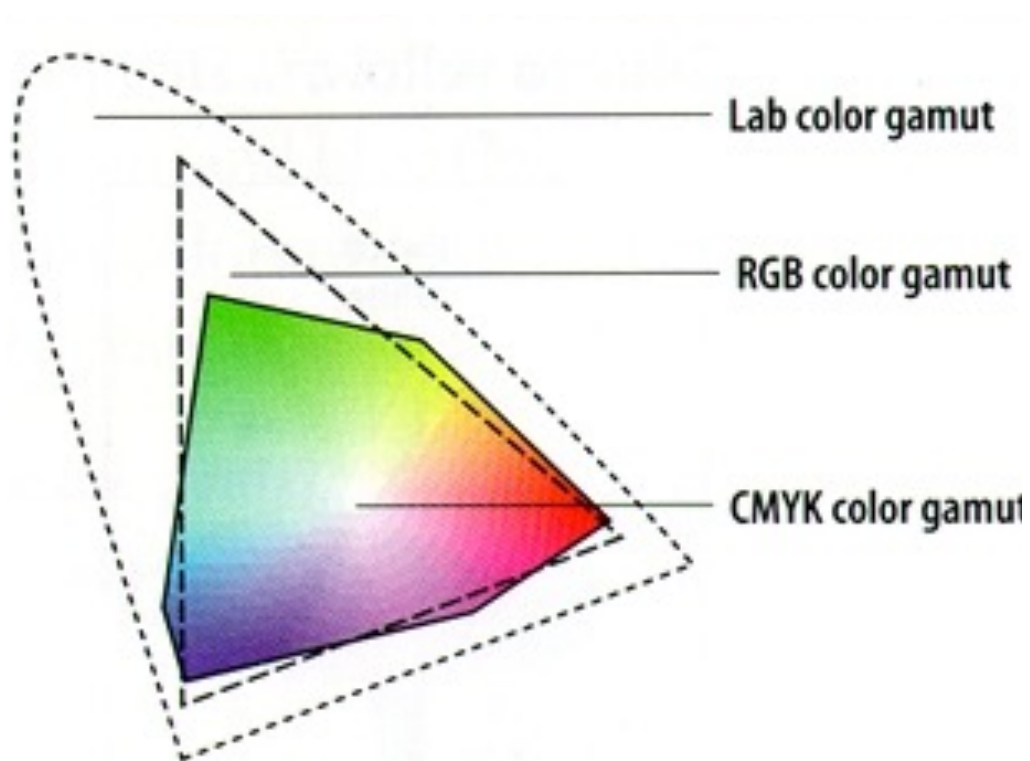
CMYK e' lo standard delle stampanti

Trasformazione da RGB a CMY

Assumendo che R, G, B appartengano all'intervallo [0,1]

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

RGB e CMY rispetto al Diagramma CIE



Spazi di colore

Gli spazi RGB e CMYK sono stati concepiti in funzione dei dispositivi di visualizzazione (monitor e stampanti), ma non rispecchiano affatto la nostra percezione.

Un modello alternativo molto più vicino al nostro modo di “vedere” i colori e valutare la similarità tra colori è il modello HSV.

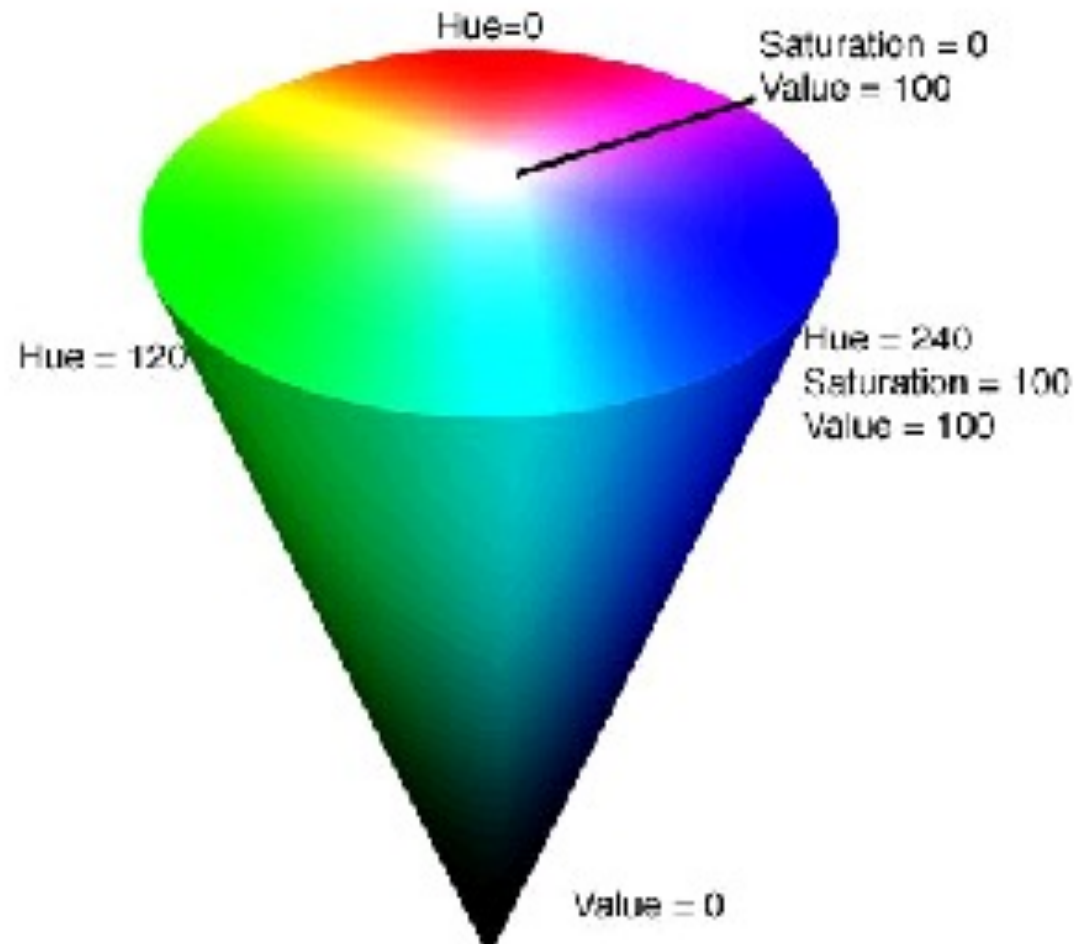
Il modello HSV viene usato molto spesso nell’ambito dell’analisi di immagini

Spazio HSV

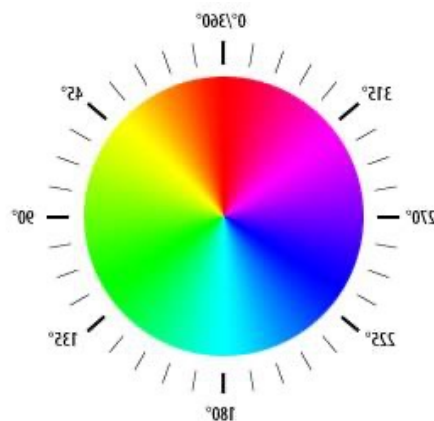
H = hue, tinta

S = saturation,
saturazione

V = value,
valore



Spazio HSV



Hue: e' la tinta vera e propria.



Saturazione: la distanza del colore dal grigio piu' vicino



Valore o illuminazione: si parla di quantita' di luce o quantita' di bianco di un colore

Trasformazione da RGB a HSV

$$V = (R+G+B)/3$$

$$S = 1 - \min(R, G, B)$$

$$H = \dots \quad H = \begin{cases} \theta & \text{se } g \geq b \\ 2\pi - \theta & \text{se } g < b \end{cases} \quad \text{con } \theta = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}(r-g) + (r-b)}{\sqrt{(r-g)^2 + (r-b)(g-b)}} \right)$$

Elaborare immagini a colori

Proprio perché è il risultato di un fenomeno di percezione il colore è spesso ignorato nelle applicazioni di elaborazione di immagini

La maggior parte degli algoritmi utilizzano solo informazione di brightness, codificabile attraverso livelli di grigio

Elaborazione di immagini a colori

Il colore diventa più importante in applicazioni di medio/alto livello

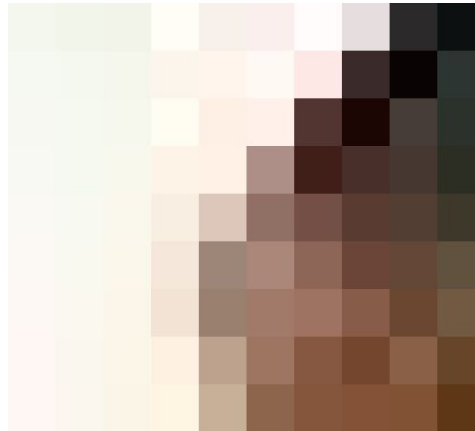
- Identificazione/classificazione di oggetti

Una tipica operazione di elaborazione di immagini a colori è la segmentazione, ossia l'identificazione di aree uniformi all'interno di un'immagine

Segmentazione di colore

Consiste nell'identificare all'interno di un'immagine aree caratterizzate da colore uniforme

Occorre definire cosa si intende per *colori simili*

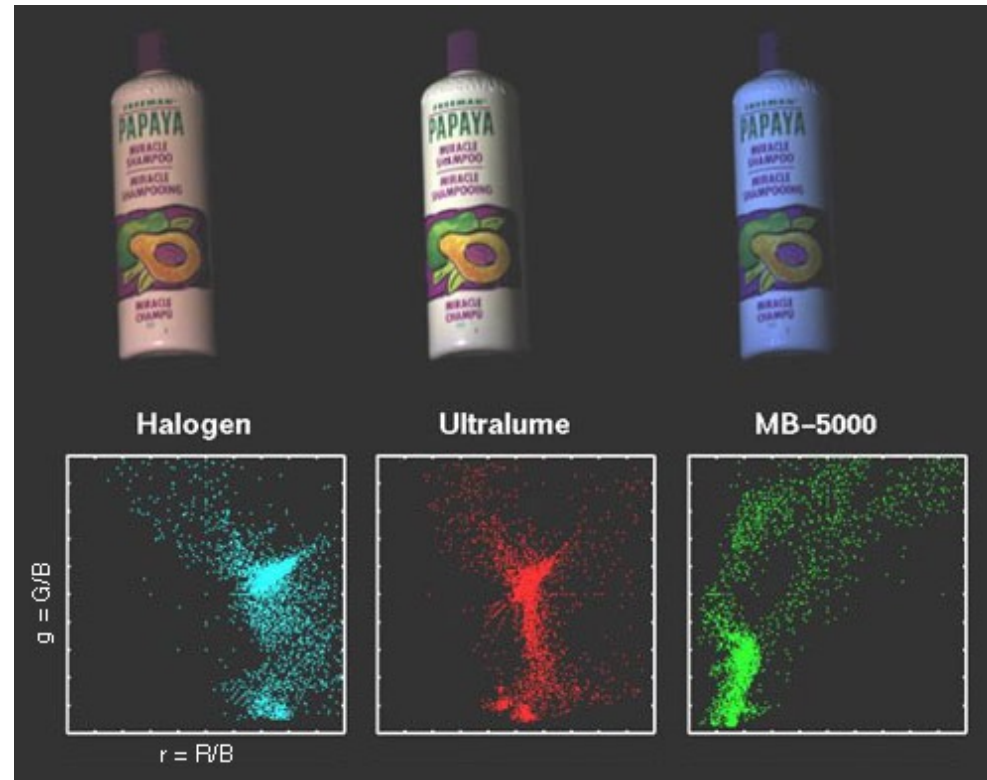


Colori uniformi nel mondo reale

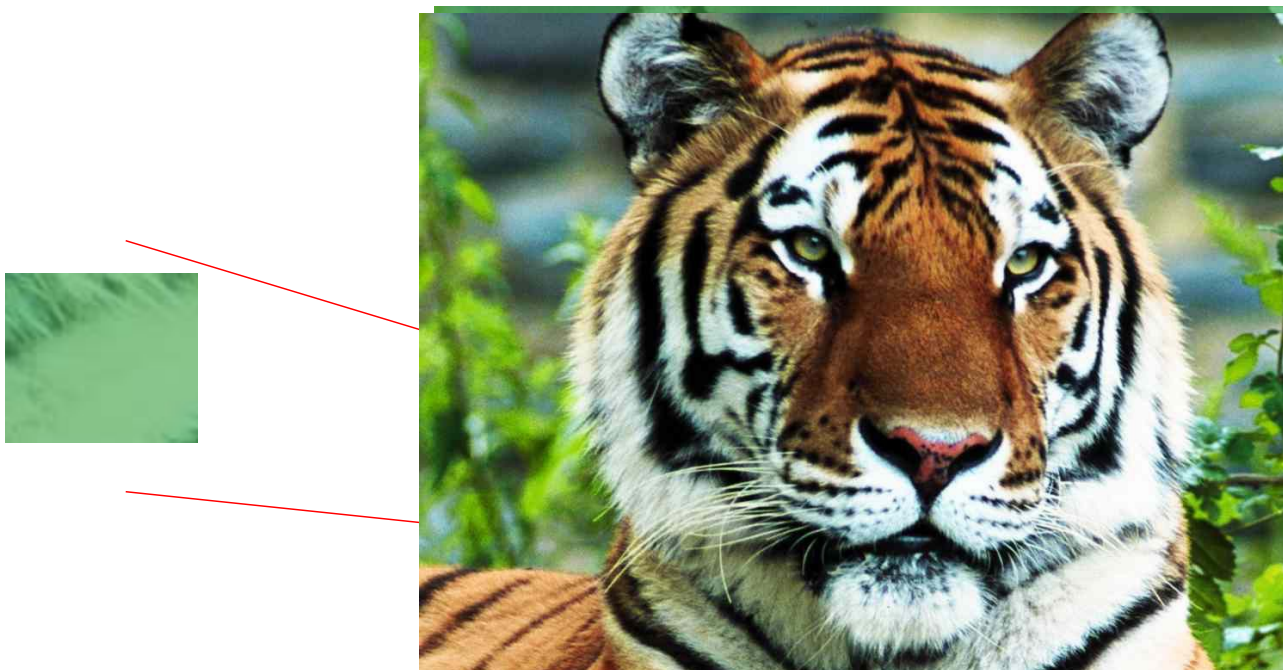


Color constancy

Cosa succede ad un oggetto se viene illuminato in modi diversi?



Color constancy in visione biologica



UniGe

