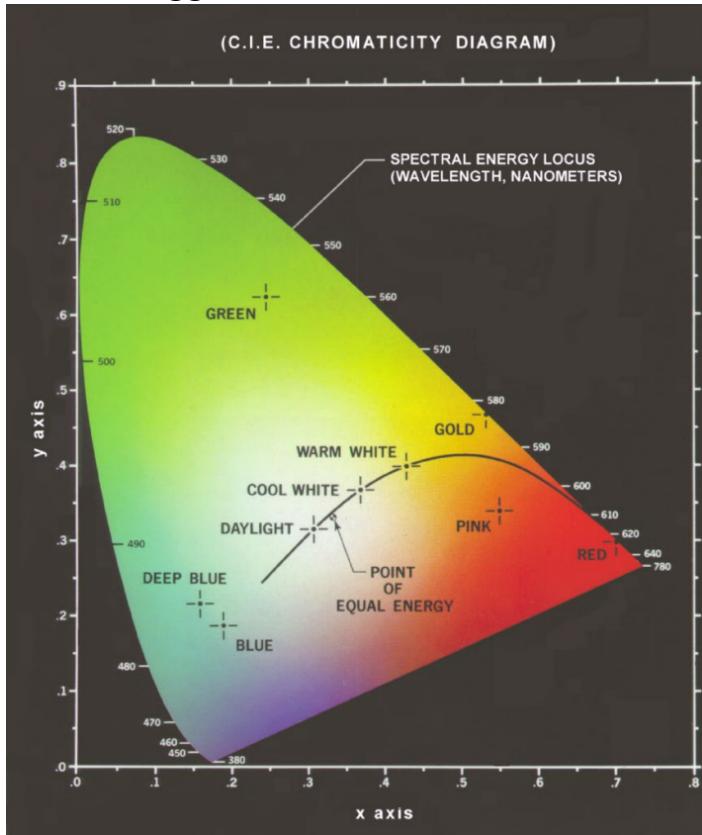


22-11-2022

Si suppone lo spazio XYZ con angolo di 2° con illuminante $D65$.

Di norma si usano gli spazi:

- a 2° con oggetti vicini;
- a 10° con oggetti lontani.



PROBLEMATICA DI XYZ

Problema 1

1. prendo c_1, c_2, c_3 e c_4 , cioè 4 colori (4 punti nel grafico)
2. scopro che la distanza in grafico $c_1 - c_3 = c_2 - c_4$
3. IN TEORIA se le distanze sono uguali percepisco la stessa differenza
4. IN PRATICA $c_2 - c_4$ sembrano molto simili e $c_1 - c_3$ sembrano molto differenti.
Calcolare la distanza fra 2 colori è inutile.

Problema 2

- E' difficile immaginare il colore effettivo avendo 3 numeri. (cioè se leggo [145, 0, 87] non riesco a immaginare di che colore si tratta, nemmeno lontanamente)
- Ci sono altri spazi di colore che permettono di capire il colore in base ai numeri.

MODELLI DI COLORE

Scopo di un modello del colore (*o spazio dei colori o sistema dei colori*) è di **consentirne la specificazione dei colori con modalità standardizzate**, che fanno normalmente riferimento ad un sistema di coordinate 3-D (dato che tre sono comunque le caratteristiche che definiscono un colore), o meglio ad un suo sotto-spazio, nel quale ogni colore è rappresentato da un punto.

Se 2 colori hanno la stessa distanza essi devono essere percepiti alla stessa distanza: per questo motivo nasce lo spazio di colore **CIE L*a*b*** che è **PERCETTIVAMENTE UNIFORME**, cioè si risolve il problema 1.

XYZ non è percettivamente uniforme

CIE L*a*b*

in CIELAB si ha:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

dove:

- X, Y e Z sono le coordinate nello spazio XYZ del grafico
- X_n, Y_n e Z_n sono le 3 coordinate del bianco dopo aver scelto il valore dell'illuminante.
- quindi ogni spazio di colore ha una scelta dell'illuminante.

Dalla formula si nota che in L^* ho solo il contributo di Y (cioè il verde). Quindi il verde ha un valore dedicato mentre a e b catturano le differenze con il verde e gli altri 2.

Quindi:

- L ho solo il contributo di luminanza, rappresenta l'**energia media di quel colore verde**.
 - a e b ho componenti che riguardano solo il colore (**la parte cromatica**).
 - c'è un canale che si occupa di rappresentare l'**energia (L)** e a , b dipendono da coppie di lunghezze d'onda sono canali di **crominanza**
- Se mi interessa solo la parte di un colore, trovo tutto su un determinato canale;
- in XYZ , invece, tutto viene spalmato su 3 canali.

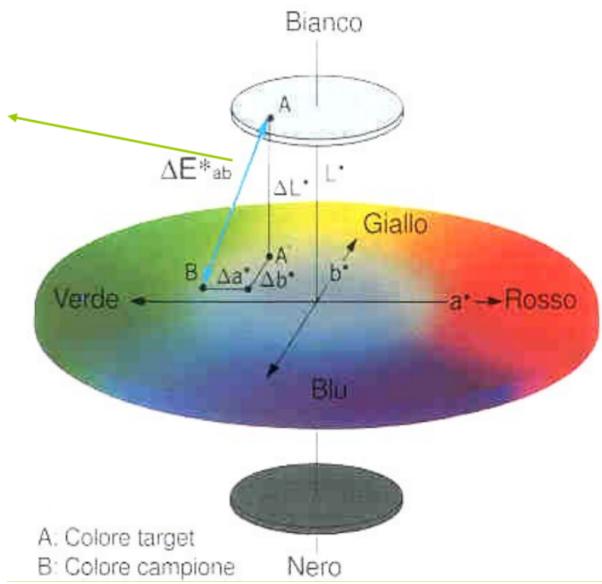
per CIELAB ha senso definire una metrica per calcolare le **distanze fra 2 colori** denominata come $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

Esempio:

Dati:

- $C_1 = (20, 10, 5)$
- $C_3 = (21, 11, 6)$
- $\Delta E = \sqrt{(20 - 21)^2 + (10 - 11)^2 + (5 - 6)^2} = \sqrt{3}$

Geometricamente CIELAB è fatto:



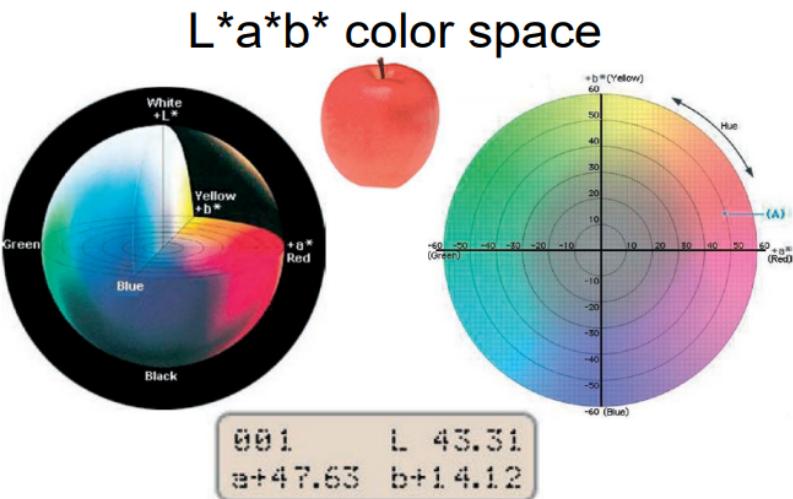
- Quando si sceglie L si "percorre" l'asse "verticale" fra Nero-Bianco.
- Per a ci si sposta sull'asse Verde-Rosso che, appunto rappresenta solo un'intensità
- Per b ci si sposta sull'asse Blu-Giallo.

nel disegno sono calcolate le distanze fra colori A e B

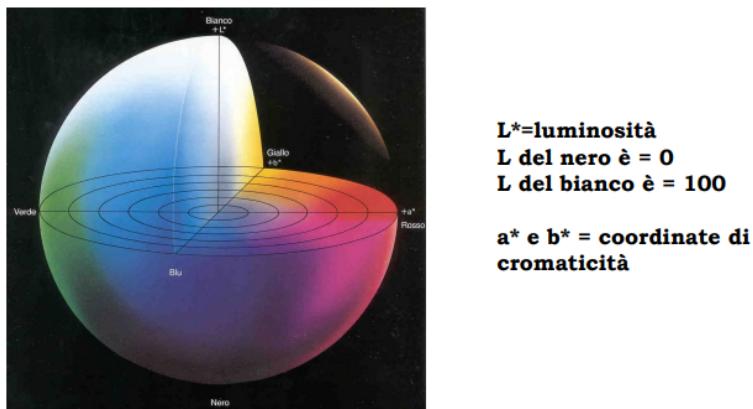
Applicazioni:

- Uguali differenze corrispondono a uguali differenze di percezione e questo è un **pregio di questo sistema**;
- $\Delta E = 1$ è accettato nell'industria dei cosmetici;
- $\Delta E = 0,01$ accettato nella Ferrari;
- $0 \leq \Delta E \leq 1$ è accettato per il **packaging** o negli indumenti *Benetton*.

Rappresentazione sferica del CIE LAB



Spazio CIELAB L*a*b* (1976)

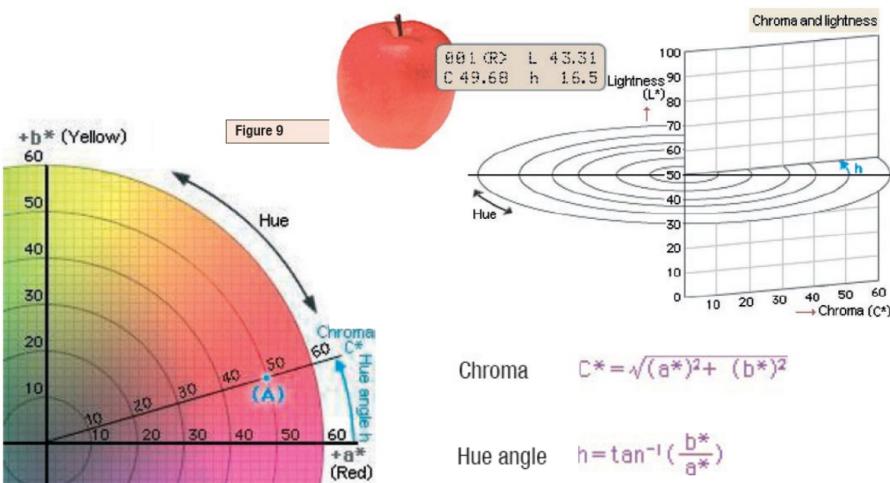


- a e b variano nel range [0, 100] e in base al valore del centro potrei avere anche -50 e +50 (anche per L) e questo dipende dai casi.

MODELLO L*C*h*

Questo modello di colore è $L^*a^*b^*$ espresso in coordinate polari.

Si usa un angolo ($Hue = h^*$) e una distanza ($Chroma = C^*$) per individuare un punto.



- In uno spazio 3D servono **2 angoli e 1 distanza.**
- In uno spazio 2D serve **2 angoli e 1 distanza..**

Le formule dell'angolo h^* e della distanza C^* sono:

Chroma $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Hue angle $h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$

dove:

- h = angolo la cui tangente è $\frac{b^*}{a^*}$
- C^* = *distanza*
- L^* corrisponde *all'altezza* scelta sulla sfera.

Scelta del nero standard

Quali sono le coordinate del nero? $X = Y = Z = 0$

In realtà nessun corpo reale possiede questa caratteristica del nero puro perchè esso dovrebbe essere un oggetto che assorbe tutta la luce e in natura non esiste.

- Il fattore di riflessione spettrale di un **corpo nero** è dell'ordine di [3% , 5%]
- La **tavoletta nera standard** dell'*NPL* ha un fattore di riflessione 0.15% - 4.00% nell'intervallo di luce visibile.
- Per questa tavoletta vengono specificate le coordinate XYZ. L'illuminante è *D65* con osservatore a 2° .
- **(x,y,Y%)=(0.2940, 0.3258, 0.47) e (L*,a*,b*)=(4.2,-0.9,-0.5)**
 - $(x, y, Y\%)$ è così perchè le componenti devono avere somma totale uguale a 1 sia per il bianco che per il nero quando vengono normalizzati XYZ.
 - $Y\%$ non è normalizzato appunto per far vedere che quel valore della terna non è normalizzato
- In genere se si cambia geometria, illuminante e osservatore, allora si ottengono risultati diversi.

Scelta del bianco standard

Analogamente per il bianco ci si pone la stessa domanda: "quale bianco?"

- Si sceglie un bianco *equienergetico*, per il quale la distribuzione spettrale di potenza è 1 ed a cui corrisponde ($X = 1, Y = 1, Z = 1$), cioè, se normalizzato si ha:
 $(x = \frac{1}{3}, y = \frac{1}{3}, Y = 1)$.
- La **tavoletta standard bianca NPL** ha il fattore di riflessione che varia tra 78.71% per lunghezze d'onda per 400nm e 86.11% per lunghezze d'onda di 700nm
- $(x, y, Y\%) = (0.3145, 0.3318, 85.56)$ e $(L^*, a^*, b^*) = (94.1, -0.4, +1.3)$

L'osservatore e l'illuminante devono essere scelti, perché diversamente non c'è misurazione del colore
Quale osservatore scegliere?

- Per **oggetti da vedere in modo analitico**, cioè quasi tutti gli oggetti che rientrano tra i **beni culturali**, l'osservatore è il **CIE 1931**, quindi 10° .
- Per **oggetti di grandi superfici**, quali oggetti **architettonici** e forse anche affreschi destinati ad essere visti da lontano, l'osservatore è il **CIE 1964**, cioè 2° .
- L'illuminante classico per tutti gli usi è il **D65**.
- Le **comparazioni visive** vanno fatte in situazione visiva controllata.

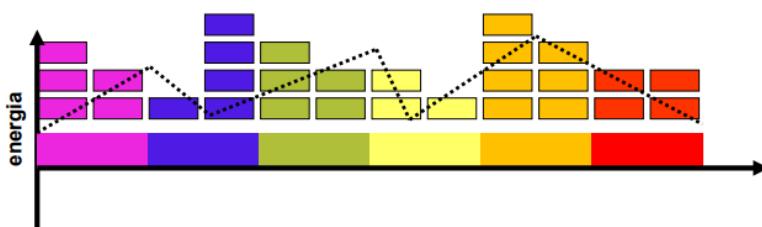
Si ha un **modo per descrivere un colore**?

Sì, anche in situazione in cui si sono digitalizzati i colori.

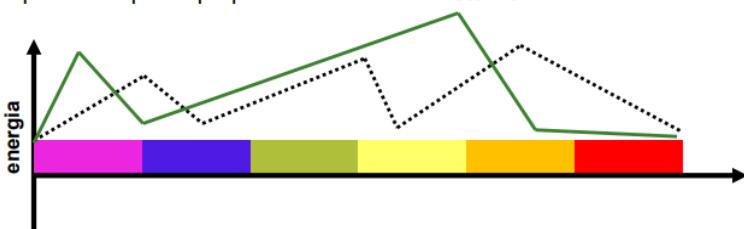
Allora si introducono gli spazi di colore usati nella pratica per descrivere i colori dei pixel nelle immagini raster.

GLI SPAZI DI COLORE

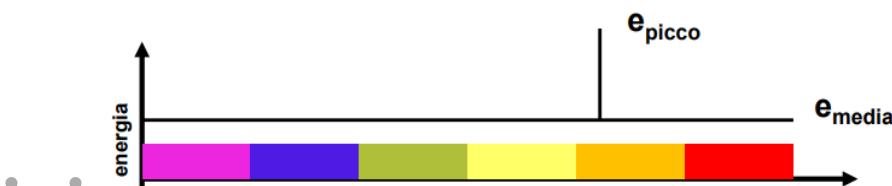
- Il cervello permette di avere la **sensazione di colore** di un oggetto, quindi non a livello fisico/accurato visto che l'occhio non è uno "spettrometro".
- Per tale motivo non è possibile costruire un grafico del tipo:



Spettri diversi possono produrre colori eguali: coppie di spettri con questa reciproca proprietà si chiamano **METAMERI**:



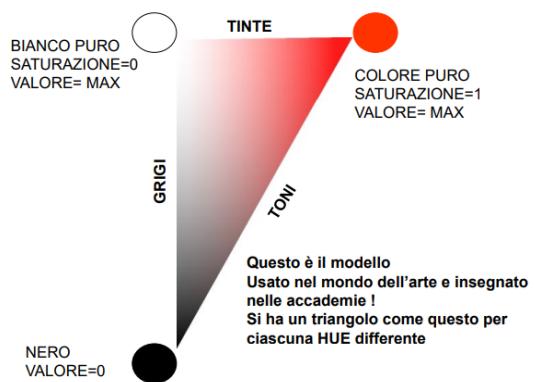
- Fra i vari metameri che esistono, ne esiste uno in particolare che ha una definizione molto semplice e chiara ed esso è fatto così:



Con questo metamero posso individuare i colori molto più semplicemente, infatti:

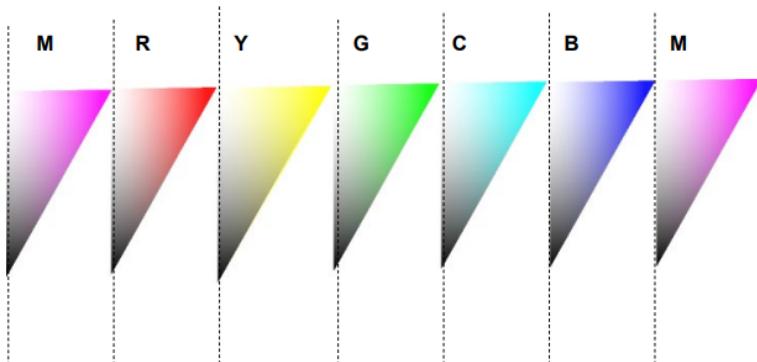
- e_{media} ci dice il **contributo luminoso**.
 - Se la media è alta allora si ha molta luminosità e viceversa.
- e_{picco} ci dice la lunghezza d'onda, indicata con **H (tinta)**
- **V** identifica la **luminosità** (più chiaro o scuro)
- per quanto riguarda la **distanza fra media e picco** si può dire che se:
 - la distanza è bassa allora si ha un grigio;
 - la distanza è elevata allora un colore acceso.
- Formula: $\frac{e_{picco} - e_{media}}{e_{picco} + e_{media}}$ è la **SATURAZIONE (S)**

Modello del pittore



Per ogni tinta (colore di riferimento) si ha un certo valore di h (=1 per esempio), cioè ogni "triangolo" è diverso da un altro se varia l'altezza scelta h .

- Si identifica saturazione e l'energia di colore:

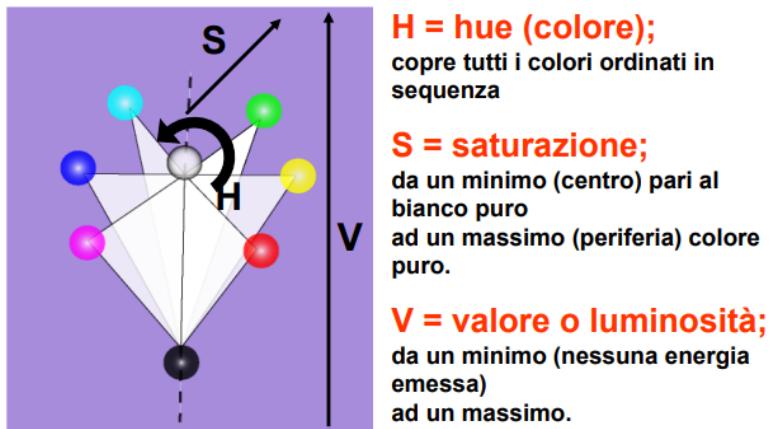


Tutte le linee verticali tratteggiate sono la rappresentazione della medesima
"linea dei grigi".
IDEA! Attacchiamo tutti i triangoli in una "girandola" facendo coincidere le -

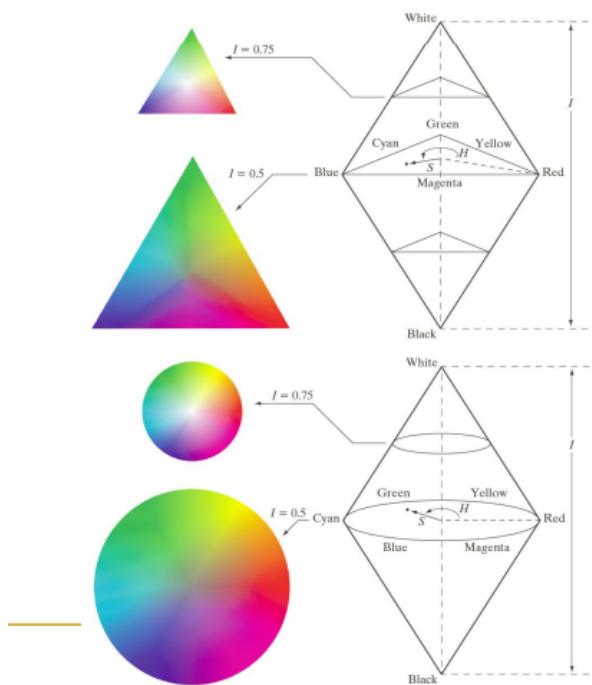
linee dei grigi.

SPAZIO HSV

Dal metamero e dall'unione dei modelli del pittore con asse la "linea di grigi" nasce lo spazio *HSV*.

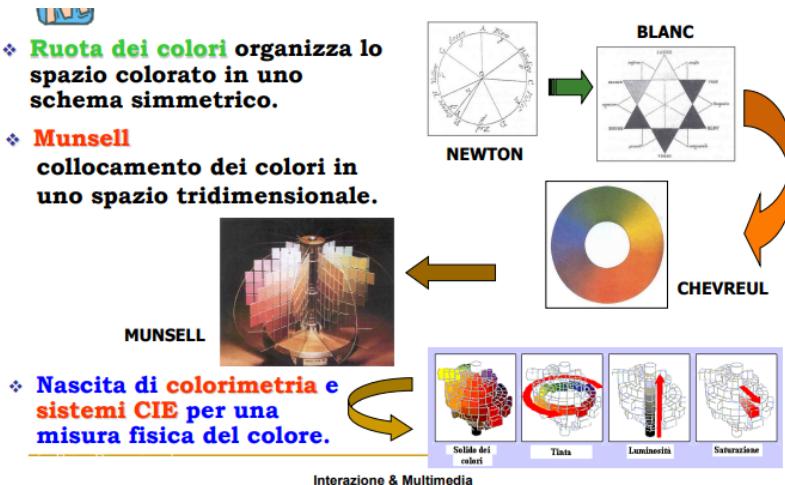


ESEMPIO:



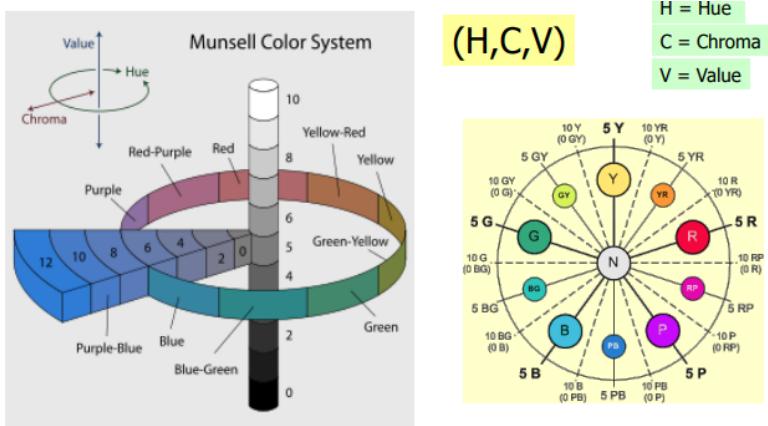
RUOTA DI COLORE

I colori si trovano in uno spazio 3D e con 3 numeri si può identificare un colore.



MUNSELL SYSTEM (H,C,V)

Rappresenta la stessa ma le componenti sono chiamate in modo diverso:



Vantaggi e svantaggi del modello del pittore (*Munsell system*):

■ PRO:

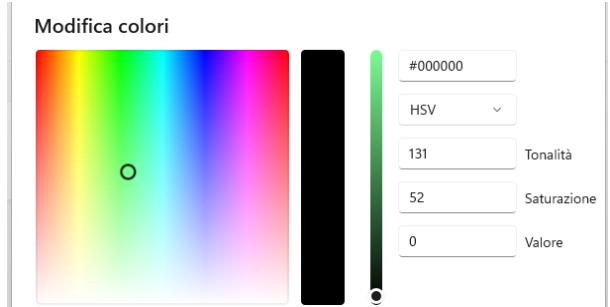
- Intuitivo;
- Percettivamente significativo: i parametri HSV hanno una perfetta interpretazione nelle nostre percezioni.

■ CONTRO:

- Modello non lineare;
- Perché una piramide esagonale?
- Quanti sono i "colori base"?

Non è sempre lo spazio di colore perfetto!

Esempio su Paint:

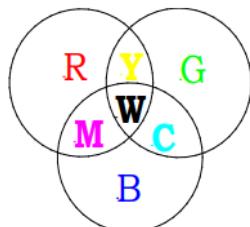
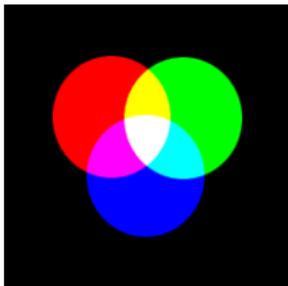


Index	Description	Munsell Notation	CIE xyY	Manufacturer's sRGB color values ^[6]
Row 1: Natural colors				
1	Dark skin	3 YR 3.7/3.2	0.400 0.350 10.1	#735244
2	Light skin	2.2 YR 6.47/4.1	0.377 0.345 35.8	#c29682
3	Blue sky	4.3 PB 4.95/5.5	0.247 0.251 19.3	#627a9d
4	Foliage	6.7 GY 4.2/4.1	0.337 0.422 13.3	#576c43
5	Blue flower	9.7 PB 5.47/6.7	0.265 0.240 24.3	#8580b1
6	Bluish green	2.5 BG 7/6	0.261 0.343 43.1	#67bdaa
Row 2: Miscellaneous colors				
7	Orange	5 YR 6/11	0.506 0.407 30.1	#d67e2c
8	Purplish blue	7.5 PB 4/10.7	0.211 0.175 12.0	#505ba6
9	Moderate red	2.5 R 5/10	0.453 0.306 19.8	#c15a63
10	Purple	5 P 3/7	0.285 0.202 6.6	#5e3c6c
11	Yellow green	5 GY 7.1/9.1	0.380 0.489 44.3	#9dbc40
12	Orange Yellow	10 YR 7/10.5	0.473 0.438 43.1	#e0a32e
Row 3: Primary and secondary colors				
13	Blue	7.5 PB 2.9/12.7	0.187 0.129 6.1	#383d96
14	Green	0.25 G 5.4/9.6	0.305 0.478 23.4	#469449
15	Red	5 R 4/12	0.539 0.313 12.0	#af363c
16	Yellow	5 Y 8/11.1	0.448 0.470 59.1	#e7c71f
17	Magenta	2.5 RP 5/12	0.364 0.233 19.8	#bb5695
18	Cyan	5 B 5/8	0.196 0.252 19.8	#0885a1
Row 4: Grayscale colors				
19	White	N 9.5/	0.310 0.316 90.0	#f3f3f2
20	Neutral 8	N 8/	0.310 0.316 59.1	#c8c8c8
21	Neutral 6.5	N 6.5/	0.310 0.316 36.2	#a0a0a0
22	Neutral 5	N 5/	0.310 0.316 19.8	#7a7a79
23	Neutral 3.5	N 3.5/	0.310 0.316 9.0	#555555
24	Black	N 2/	0.310 0.316 3.1	#343434

SINTESI ADDITIVA

Colori definiti in funzione di unione di lunghezze d'onda e *RGB* funziona in questo modo ed in questo caso i colori primari sono, appunto, Red Green e Blue.

Si potrebbero scegliere anche altri colori al posto dei soliti RGB e, in tal caso, i nuovi colori diventano i colori primari nuovi del mio sistema.



- || Giallo è complementare del Blu
- || Magenta è complementare del Verde
- || Ciano è complementare del Rosso

$$R + G + B = W$$

$$R + G = W - B = Y$$

$$R + B = W - G = M$$

$$B + G = W - R = C$$

Esempio di RGB a 24 bit (8 bit per canale) e il suo complementare:

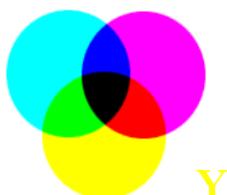
- (10, 25, 35) il complementare di questo colore è (245, 230, 225)

SINTESI SOTTRATTIVA

La sintesi sottrattiva viene adottata dalla stampante che stampa su un foglio bianco che è capace di riflettere tutta la luce.

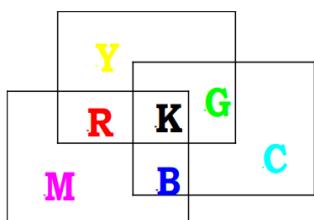
Con un inchiostro si sottraggono delle lunghezze d'onda del foglio bianco (che, invece, le possiede tutte, cioè 255,255,255).

I colori primari sono sempre arbitrari e la scelta tipica è quella dei complementari di RGB, cioè CIANO, MAGENTA e GIALLO.



Composizione sottrattiva dei colori partendo dai tre colori primari YMC ottenuti ponendo i tre filtri sul cammino di un fascio di luce bianca.

Dalla loro sovrapposizione si ottiene il nero (K), dalla sovrapposizione di due filtri si ottengono rosso (R), verde (G) e blu (B).



Sintesi Sottrattiva = aggiunge un filtro viene "sottratta" una componente che modifica il colore della luce.

Il nero è indicato genericamente con K

Immagini in sintesi sottrattiva

Nella sintesi sottrattiva si ottengono le seguenti combinazioni cromatiche (+ = sovrapposizione di filtri) :

$$\begin{aligned} Y + M &= R \\ Y + C &= G \\ M + C &= B \\ Y + M + C &= K \end{aligned}$$



I pigmenti colorati si basano sulla sintesi sottrattiva.

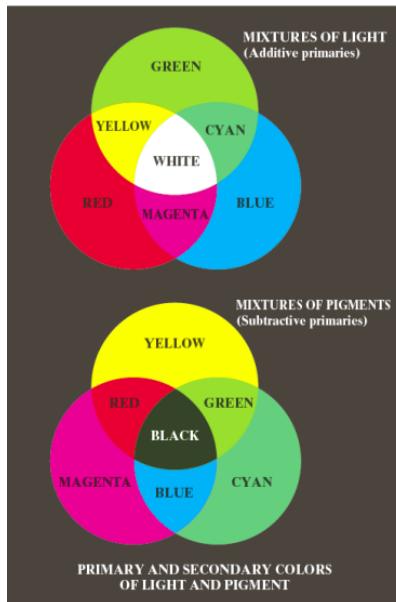


Su questo principio si basa la riproduzione delle immagini colorate nella fotografia a colori e nella stampa con inchiostri.

Osservazioni

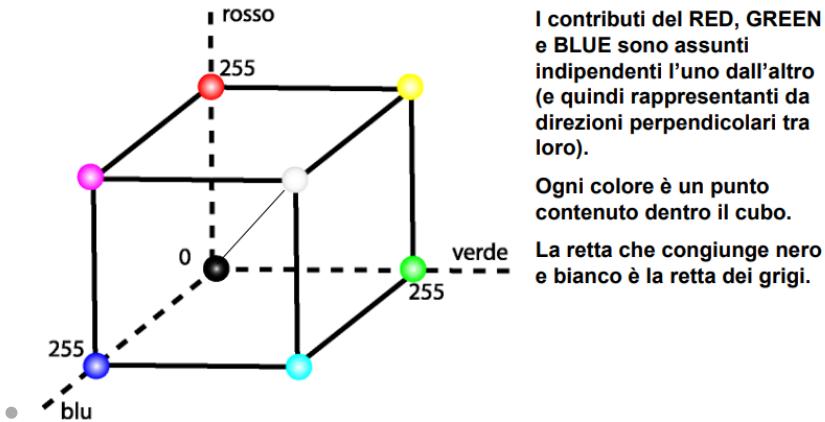
- **Sistemi Attivi** = sintesi additiva (emettono luce propria → monitor)
- **Sistemi Passivi** = sintesi sottrattiva (non emettono luce propria → stampante)
- Quando non c'è inchiostro nella carta la luce riflessa è bianca;

- 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 se si utilizzano solo i 3 colori complementari di RGB, quindi si utilizza un quarto inchiostro, il nero (CMYK, dove K sta per blacK).



MODELLO RGB

- RGB non è percettivamente uniforme.
- La geometria del modello RGB appare in questo modo:



- Il numero di bit per rappresentare RGB è comunque variabile.
- Piuttosto che 8 bit per canale se ne potrebbero usare un numero maggiore o minore di 8, ma a livello standard è 8 bit per canale per rappresentare 16M di colori.

Pro e contro di RGB

■ PRO:

semplice da usare e implementare in software e hardware.

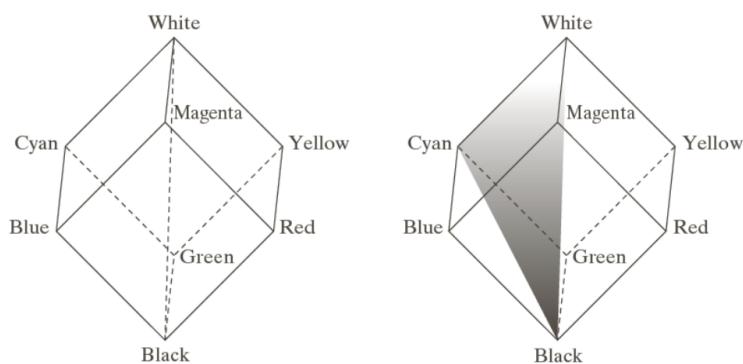
De facto è uno STANDARD.

■ CONTRO:

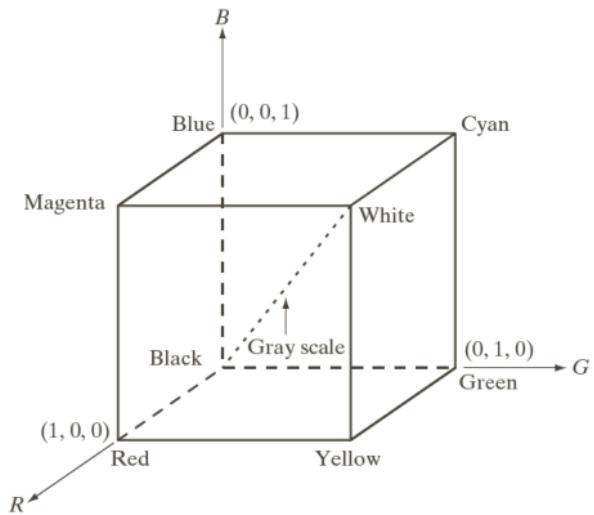
percettivamente poco comodo: difficile capire guardando un colore in natura in quale proporzione vi contribuiscano l'R, il G e il B.

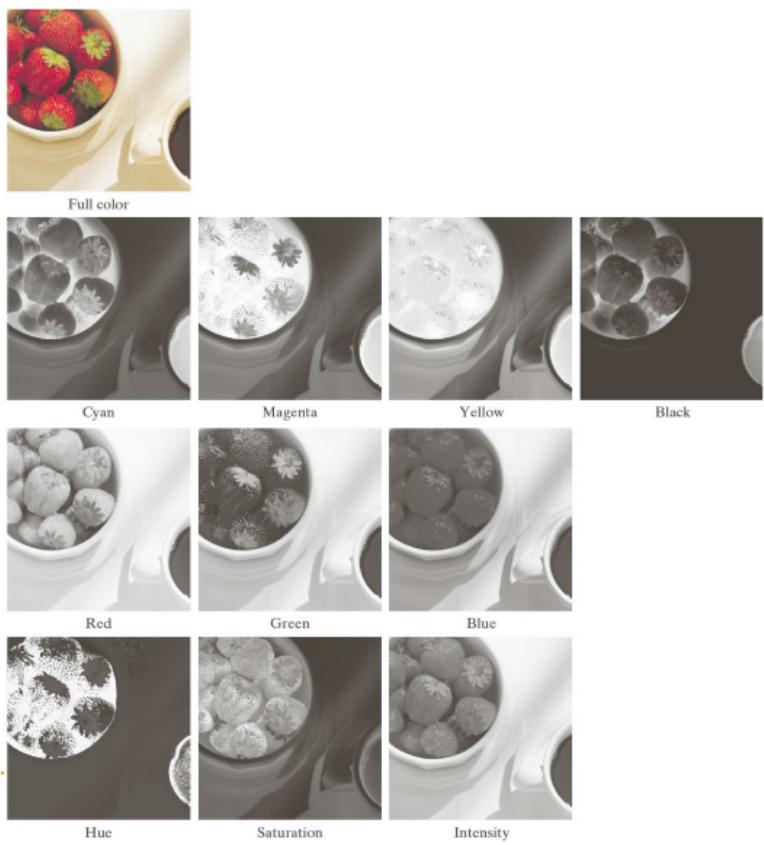
CUBO RGB e piramide HSV si trasformano l'un l'altro mediante semplici algoritmi (non lineari).

Relazione fra RGB e HSV



- Il modello complementare a RGB è CMY, Ciano, Magenta e Giallo

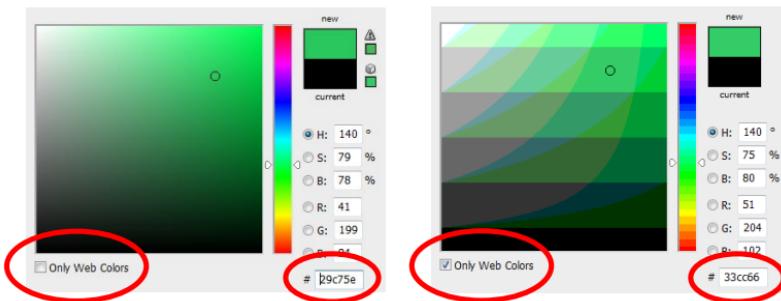




- Le rappresentazioni dei colori nello spazio *RGB* (o *CMY* il duale) non sempre sono le più convenienti. (duale o complementare)
- Sono disponibili altre rappresentazioni che usano componenti che sono specificatamente relazionate al criterio usato per descrivere **la luminanza, la tinta e la saturazione (HSV)**. (*tinta, saturazione e valore* per rappresentare il colore)
 - La **tinta** descrive il colore che è presente (rosso, verde, giallo ...) 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.

COLORI SICURI PER IL WEB

- Generalmente in una pagina web ci sono testi, immagini con un colore specifico.
- Ci sono diversi browser e potrebbero interpretare dei colori in un certo modo piuttosto che nel modo "corretto".
 - Per esempio, il profilo RGB può cambiare da browser a browser.
- I colori non sicuri verranno percepiti in maniera differente al cambiare del browser o scheda video.
- Per evitare questi problemi (a parità di schermo) allora sono stati definiti i **colori sicuri per il web (216 colori)**
- Essi sono rappresentati in forma **esadecimale**.
- Tutti i colori fatti dalle terne fra 00 33 66 99 *CC FF* sono sicuri per il web



Esempio:

- #002233 NON è sicuro per il web;
- #FF6600 è sicuro per il web perchè appartiene a quella terna.

RAPPRESENTAZIONI LUMINANZA-CROMINANZA

- Gli spazi colore, nei quali **una componente** è la luminosità e le altre due componenti sono legate alla **crominanza**, vengono chiamate **rappresentazioni luminanza-crominanza**.
- La *luminanza* fornisce una *versione a scala di grigi dell'immagine* mentre la *crominanza* fornisce le informazioni "extra" che trasformano l'immagine in scala di grigi in un'*immagine a colori*.
- Le rappresentazioni luminanza-crominanza sono particolarmente importanti nella compressione delle immagini.
- L'occhio umano è più sensibile alla luminanza (alla geometria) che ai colori. Si possono dunque "spendere" molti bit per registrare la luminanza e risparmiarne un po' sulle crominanze.

Un'immagine a scala di grigi fornisce un contenuto molto chiaro rispetto all'occhio umano. Se si riescono a separare queste componenti allora si possono prendere informazioni utili, quali "la luminanza è più importante"

Perchè serve separare luminanza crominanza?

- Perchè se devo vedere un'immagine a scala di grigi già ho un canale pronto per visualizzarlo.