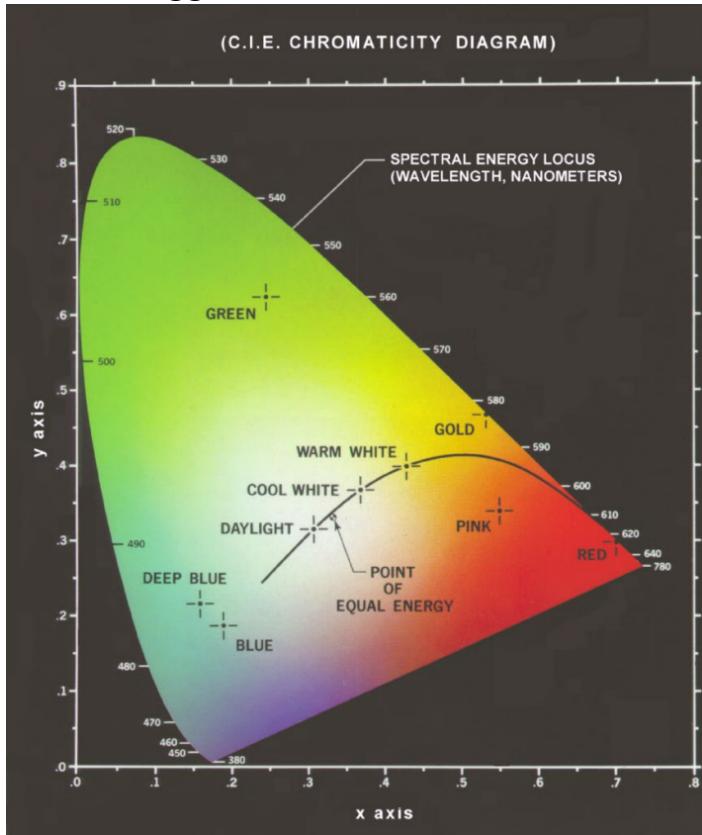


22-11-2022

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.

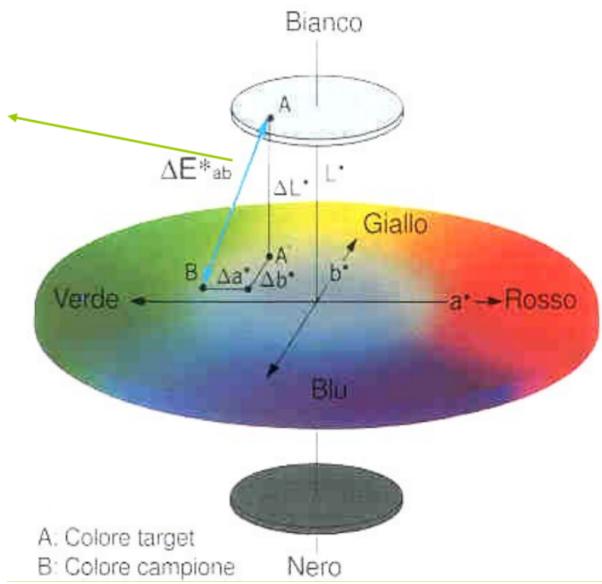
per CIELAB ha senso definire una metrica per calcolare le **distanze fra 2 colori** denominata come $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

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:



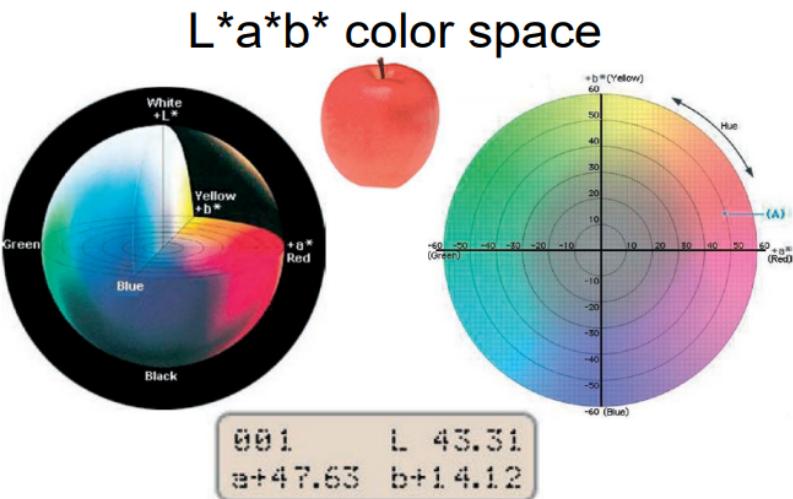
- Quando si sceglie L si "percorre" l'asse "verticale" fra Nero-Bianco.
- Per a ci si sposta sull'asse Verde-Rosso che, appunto rappresenta solo un'intensità
- Per b ci si sposta sull'asse Blu-Giallo.

nel disegno sono calcolate le distanze fra colori A e B

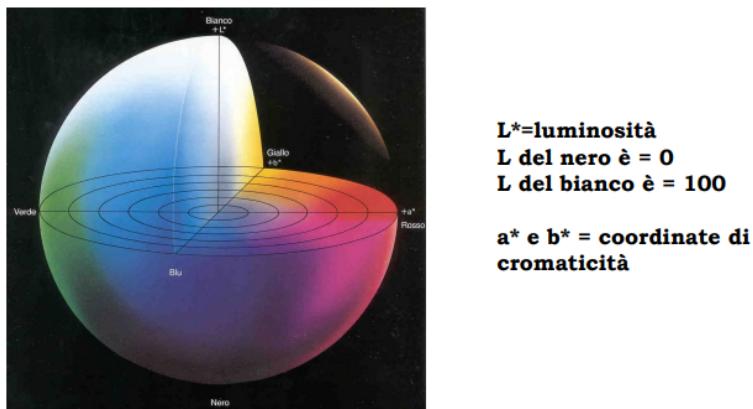
Applicazioni:

- 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)

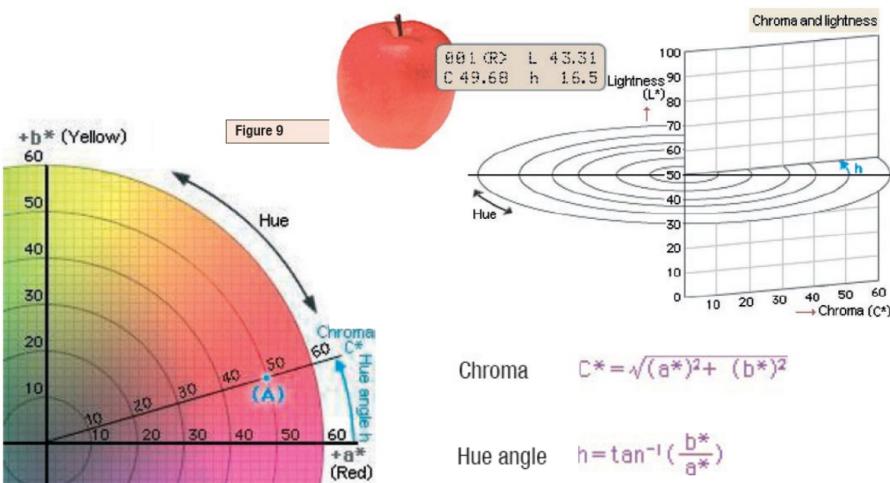


- a e b variano nel range [0, 100] e in base al valore del centro potrei avere anche -50 e +50 (anche per L) e questo dipende dai casi.

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.

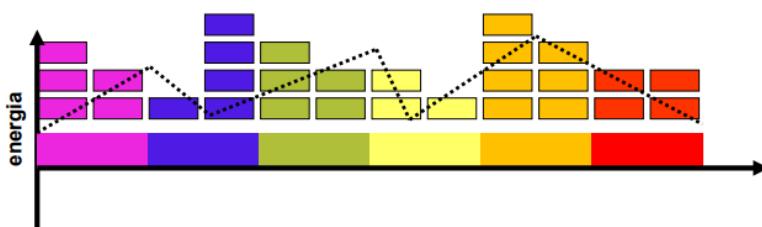
Si ha un **modo per descrivere un colore**?

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

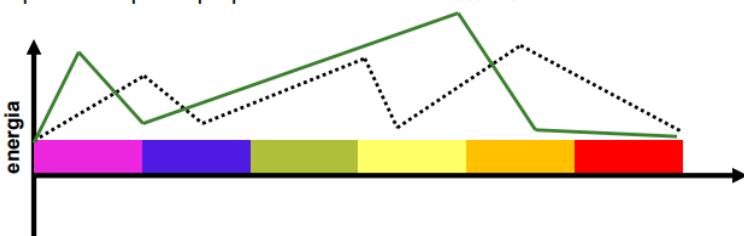
Allora si introducono gli spazi di colore usati nella pratica per descrivere i colori dei pixel nelle immagini raster.

GLI SPAZI DI COLORE

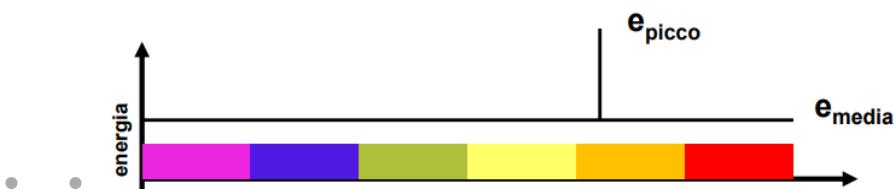
- Il cervello permette di avere la **sensazione di colore** di un oggetto, quindi non a livello fisico/accurato visto che l'occhio non è uno "spettrometro".
- Per tale motivo non è possibile costruire un grafico del tipo:



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



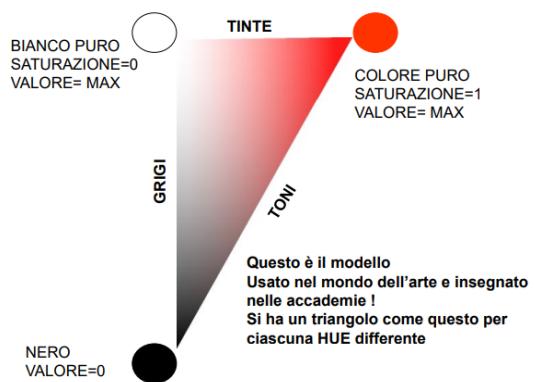
- Fra i vari metameri che esistono, ne esiste uno in particolare che ha una definizione molto semplice e chiara ed esso è fatto così:



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

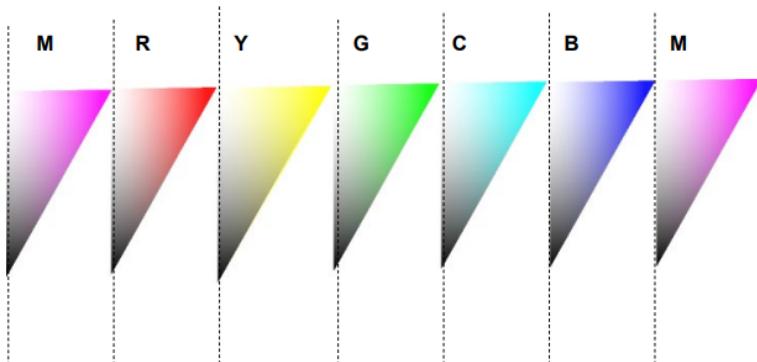
- e_{media} ci dice il **contributo luminoso**.
 - Se la media è alta allora si ha molta luminosità e viceversa.
- e_{picco} ci dice la lunghezza d'onda, indicata con **H (tinta)**
- **V** identifica la **luminosità** (più chiaro o scuro)
- per quanto riguarda la **distanza fra media e picco** si può 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



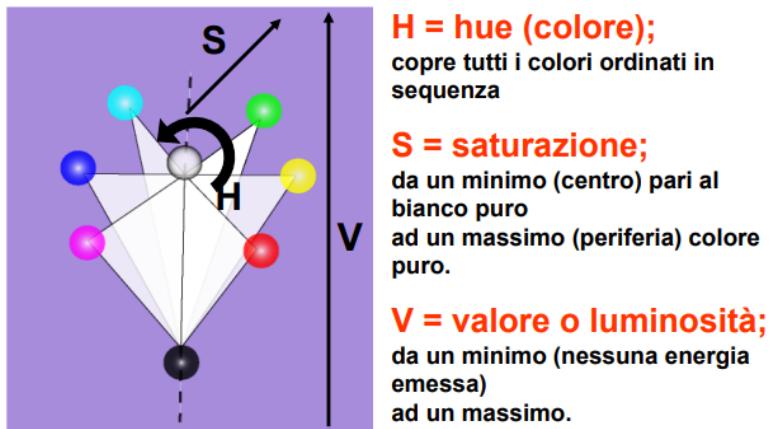
Per ogni tinta (colore di riferimento) si ha un certo valore di h (=1 per esempio), cioè ogni "triangolo" è diverso da un altro se varia l'altezza scelta h .

- Si identifica saturazione e l'energia di colore:

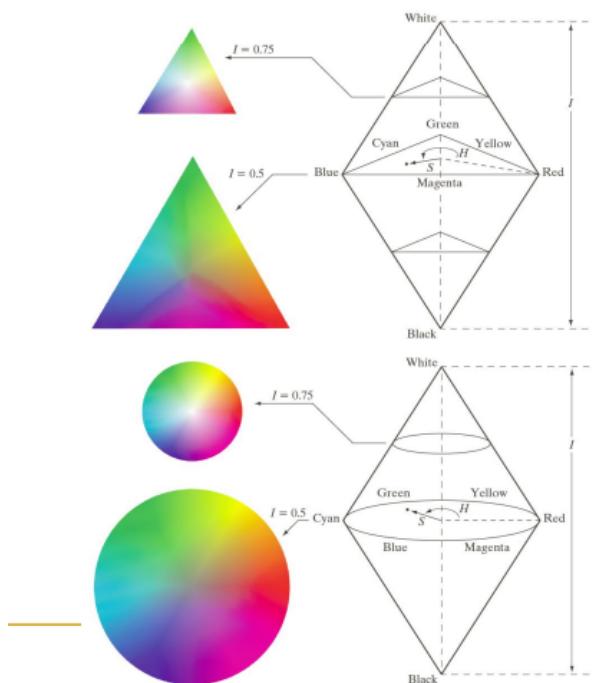


SPAZIO HSV

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

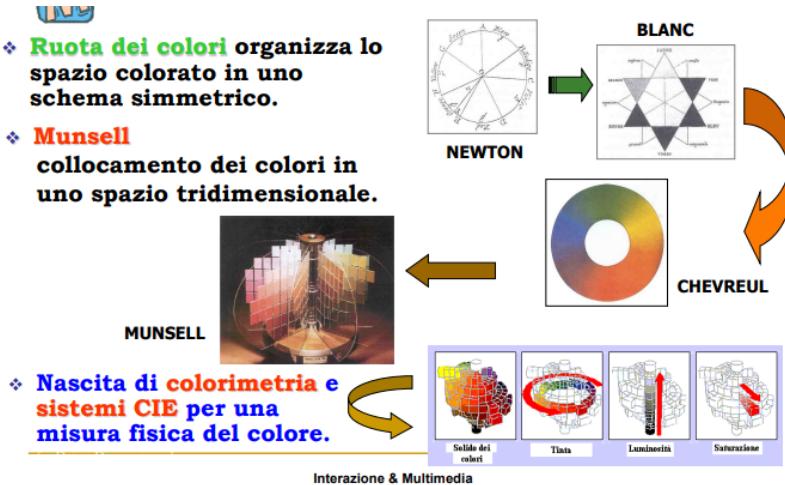


ESEMPIO:



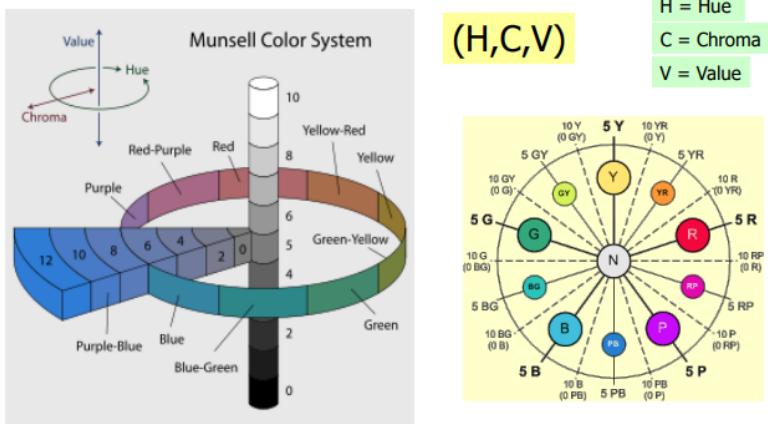
RUOTA DI COLORE

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:

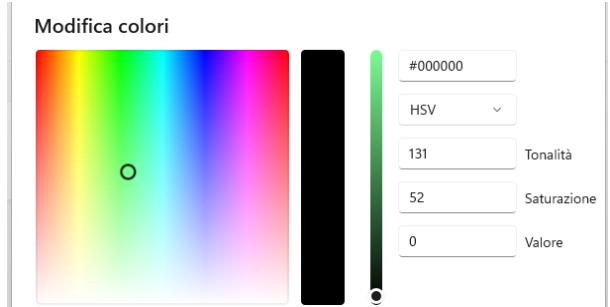
- Intuitivo;
- Percettivamente significativo: i parametri HSV hanno una perfetta interpretazione nelle nostre percezioni.

■ CONTRO:

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

Non è sempre lo spazio di colore perfetto!

Esempio su Paint:

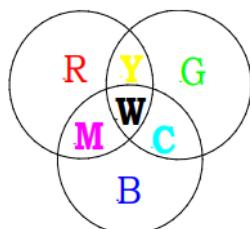
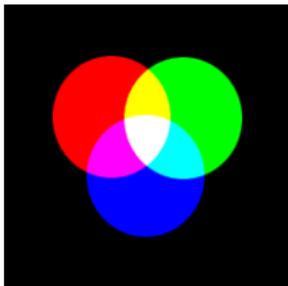


Index	Description	Munsell Notation	CIE xyY	Manufacturer's sRGB color values ^[6]
Row 1: Natural colors				
1	Dark skin	3 YR 3.7/3.2	0.400 0.350 10.1	#735244
2	Light skin	2.2 YR 6.47/4.1	0.377 0.345 35.8	#c29682
3	Blue sky	4.3 PB 4.95/5.5	0.247 0.251 19.3	#627a9d
4	Foliage	6.7 GY 4.2/4.1	0.337 0.422 13.3	#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:

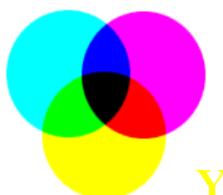
- (10, 25, 35) il complementare di questo colore è (245, 230, 225)

SINTESI SOTTRATTIVA

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

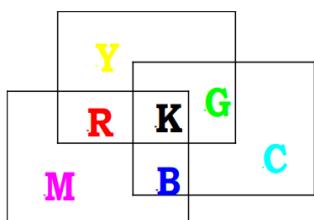
Con un inchiostro si sottraggono delle lunghezze d'onda del foglio bianco (che, invece, le possiede tutte, cioè 255,255,255).

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.

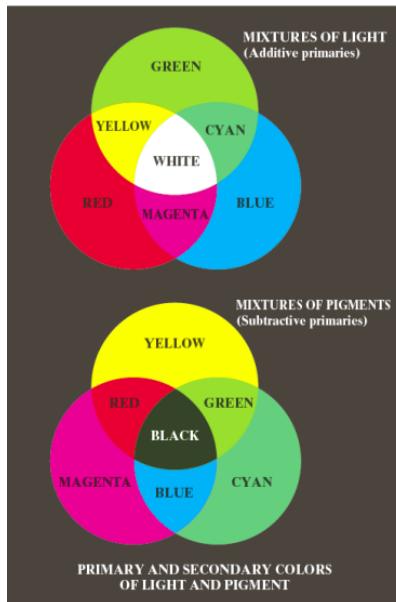


Su questo principio si basa la riproduzione delle immagini colorate nella fotografia a colori e nella stampa con inchiostri.

Osservazioni

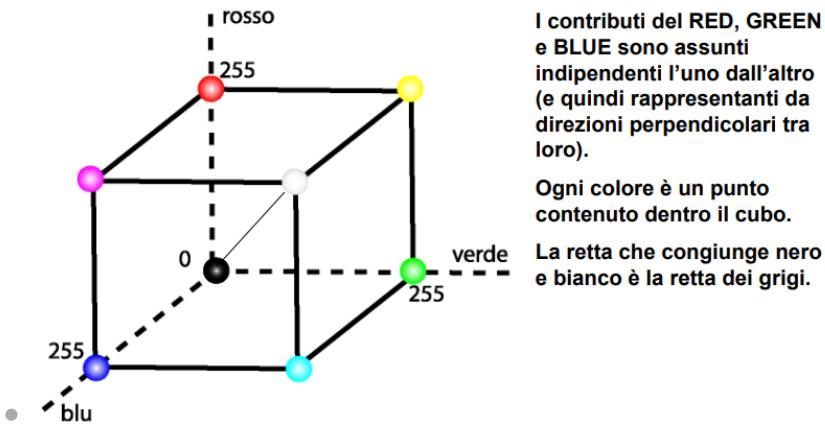
- **Sistemi Attivi** = sintesi additiva (emettono luce propria → monitor)
- **Sistemi Passivi** = sintesi sottrattiva (non emettono luce propria → stampante)
- Quando non c'è inchiostro nella carta la luce riflessa è bianca;

- 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.

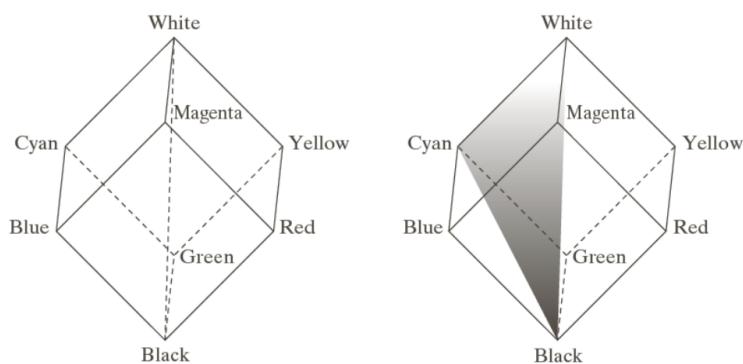
De facto è uno STANDARD.

■ CONTRO:

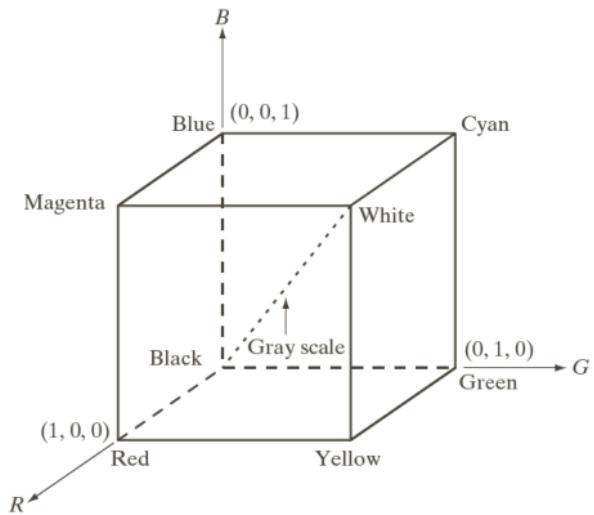
percettivamente poco comodo: difficile capire guardando un colore in natura in quale proporzione vi contribuiscano l'R, il G e il B.

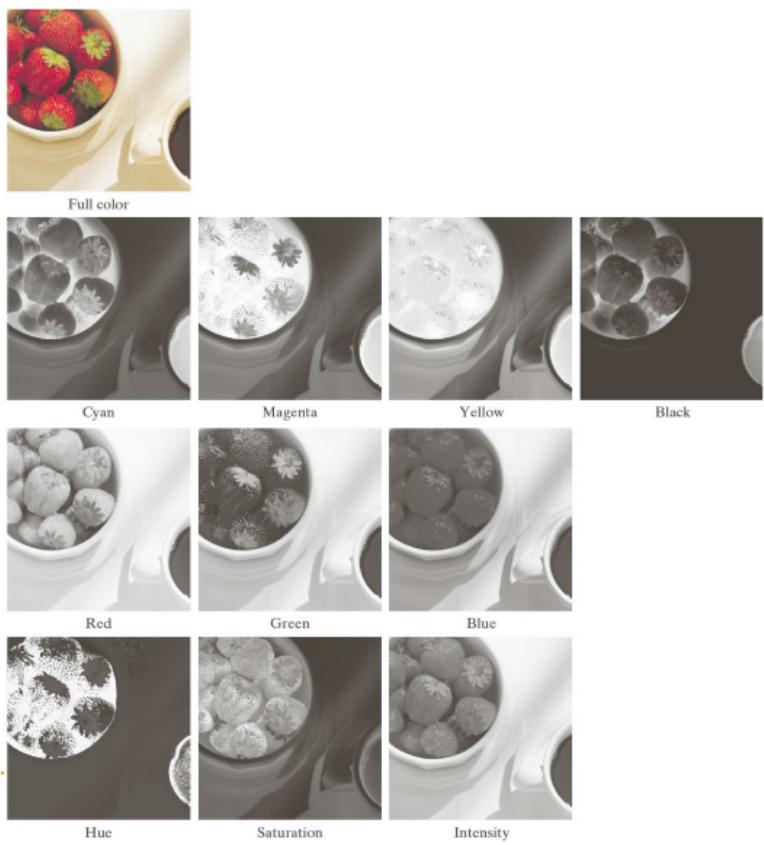
CUBO RGB e piramide HSV si trasformano l'un l'altro mediante semplici algoritmi (non lineari).

Relazione fra RGB e HSV



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

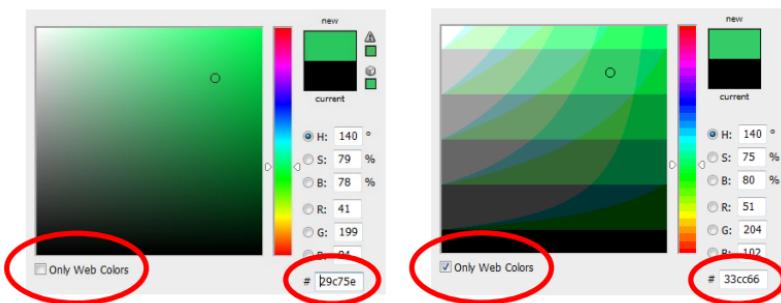




- Le rappresentazioni dei colori nello spazio *RGB* (o *CMY* il duale) non sempre sono le più convenienti. (duale o complementare)
- Sono disponibili altre rappresentazioni che usano componenti che sono specificatamente relazionate al criterio usato per descrivere **la luminanza, la tinta e la saturazione (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.

SPAZIO YUV

Ha *luminanza* sul canale *Y* e *crominanza* dedicata ai canali *UV* (*parte del colore*)

A differenza di *LAB*, *YUV* è più applicato a livello tecnologico.

- tra *YUV* e *RGB* la relazione è lineare
- tra *L*a*b** e *RGB* è leggermente differente
- *YUV* è poco maneggevole
- *YUV* è una **famiglia di spazi di colore** definito nel documento "*ITU-R BT.601-4*" per **SEGNALI ANALOGICI**.
- In *YUV* ci interessa *YC_bC_r* per **SEGNALI DIGITALI** (*con un numero predefinito di valori*).

YUV NON è quantizzato

YC_bC_r è quantizzato

Passaggio da *YUV* a *YC_bC_r*

- La **luminanza** può essere ottenuta mediante una combinazione lineare delle intensità luminose dei canali rosso, verde e blu di *RGB*. Un'approssimazione abbastanza fedele della luminanza *Y* si ottiene attraverso la somma pesata:
 - $$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$
- Il termine **crominanza** è definito come la differenza tra il colore e un bianco di riferimento alla stessa luminanza opportunamente pesato:
 - $$U = 0.564(B - Y) \rightarrow U = -0.169R - 0.331G + 0.5B$$
 - $$V = 0.713(R - Y) \rightarrow V = +0.5R - 0.419G - 0.081B$$

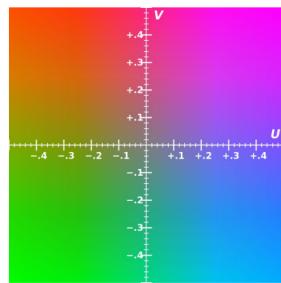
1. Come è possibile notare, il **VERDE** da un contributo maggiore rispetto agli altri 2 canali.

- La *Y*, dopo aver calcolato la somma, rappresenta una scala di grigi.
- per passare da *RGB* a scala di grigi, l'idea è del tipo:
 - Si fa una media fra i 3 canali e le percentuali sono molto simili a queste scritte nelle formula sopra e, in particolare, *Y* determina la luminanza
- La crominanza si calcola usando *U* e *V*
- Da **RGB** si ottiene rispettivamente le componenti **YUV linearmente**.

Nel caso in cui R, G e B siano compresi tra **0** e **1**, si ottengono valori di Y compresi tra 0 e 1 e valori di U e V compresi tra -0.5 e 0.5.

Nella figura sono rappresentati i colori al variare di U e V con Y fissato a 0.5 (luminanza media).

Quando R=G=B, U e V valgono 0 e si ottengono solo grigi (nessuna crominanza)



Esempio 1:

1. Dato un colore $c_{RGB} = (0, 0, 0)$
2. Converto esso in c_{YUV}
3. $Y = 0$
4. $U = 0.564(B - Y) = 0$
5. $V = 0.713(R - Y) = 0$
6. Il colore finale è $c_{YUV} = (0, 0, 0)$

Esempio 2:

1. Dato un colore $c_{RGB} = (1, 1, 1)$
2. Converto esso in c_{YUV}
3. $Y = 1$
4. $U = 0.564(B - Y) = 0$
5. $V = 0.713(R - Y) = 0$
6. $c_{YUV} = (1, 0, 0)$

- Quando $R = G = B$ allora U e V sono sempre 0, quindi un valore di crominanza uguale a 0 e quindi una scala di grigi.



Da YUV a YC_bC_r

- Si usano valori RGB compresi nel range [0-255];
- Il passaggio da YUV a YC_bC_r si fa **normalizzando**:
 - $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
 - $C_b = U + 128$
 - $C_r = V + 128$
 - $U \in [-0.5, 0.5]$ quando i valori RGB sono nel range [0,1];
 - $U \in [-128, 128]$ se sommo 128 va a finire nel range [0,255];

YC_bC_r è una versione **DISCRETIZZATA** (*normalizzata*) di YUV e si usa meglio per le immagini digitali. Tale formato è usato nel formato **JPEG**

- Y è a scala di grigi, quindi rappresenta un valore di **LUMINANZA**.
- C_b e C_r rappresentano la **CROMINANZA** del blu e del rosso. Essi non ci dicono tantissimo infatti, per capirlo dovremmo capire come funziona lo spazio.
- Qui sono rappresentati canali che oscillano fra valori, non sono contributi di una specifica lunghezza d'onda.

COLORI E MEMORIA (esame)

Schema assunto in RAM per mostrare i colori:

8 bit Red + 8 bit Green + 8 bit Blue = 24 bit

(circa 16 milioni di colori o true color)

Questo costoso schema NON E' lo schema con il quale i colori vengono conservati in memoria di massa e compressi nelle tecniche JPEG, GIF o altro!

In formati JPEG o GIF si usa altro.

In GIF si usa la paletta (tavolozza) costruendo una tabella di indici

Una immagine "grande" è di
2400 x 1800 = 4.520.000 pixel.

Una immagine "media" è di
1600 x 1200 = 1.920.000 pixel.

Una immagine "piccola" è di
800 x 600 = 480.000 pixel.

In ogni caso ho più colori che pixel!

Inoltre le immagini "naturali" hanno una proprietà di coerenza interna per cui raramente si ha un colore differente per ogni differente pixel.

Questo porta ad adottare la modalità a **COLORI INDICIZZATI** (indexed color) o a **PALETTE** o a **LOOK-UP-TABLE (LUT)**.

In breve:

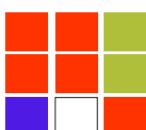
- In un'immagine grande abbiamo tantissimi colori disponibili, cioè 16 milioni mentre i pixel disponibili sono solo 4.5 milioni;

- Di conseguenza si usa la **PALETTE**, ovvero si usa ricostruire la tabella dei "colori" dove inserisco solo i colori che mi servono effettivamente;
- Solitamente si usano sempre molti meno colori rispetto ai totali disponibili;

Esempio di tabella

INDEX	RGB
0	(0,5,200)
1	(4,7,24)
.	.
.	.
n	.

dove l'**Indice** è il numero che permette di recuperare il colore che associo ad ogni terna.



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 (9 pixel x 3 byte)= 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
18 bit (9 pixel x 2
bit) per l'immagine
+ 12 byte per la
palette
= 114 bit

Ricordo queste "etichette" e
questa tabella

- In questo caso ho **4 colori** e **27 byte** ed essi sono evidentemente troppi;
- Allora costruisco la paletta nel seguente modo:

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
18 bit (9 pixel x 2
bit) per l'immagine
+ 12 byte per la
palette
= 114 bit

Ricordo queste "etichette" e
questa tabella

- Assegnando un determinato bit ai colori decisi, specifici;
- La tabella che lega "**etichette**" con le corrispondenti componenti RGB si chiama:
"tavolozza", *"Palette"*, *"tabella di indicizzazione dei colori"*, *"Look Up Table LUT"*.

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

Se si usa una palette **custom (adattata all'immagine)**:

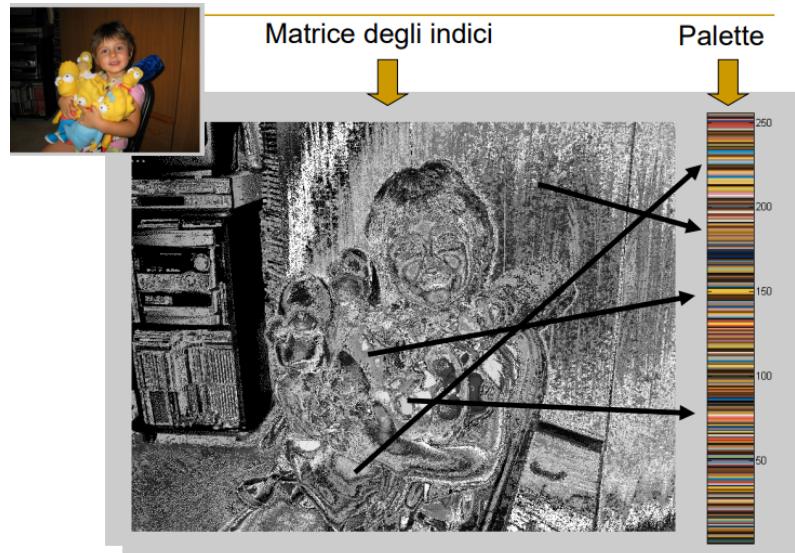
- **se nell'immagine true color (16 milioni di colori) ci sono meno** di 256 colori, alcuni di essi vengono replicati.
- **se nell'immagine true color ci sono più** di 256 colori, essi vengono “ridotti” scegliendo 256 rappresentanti che garantiscano una buona qualità visiva (esistono numerosi algoritmi, anche proprietari per tale scopo).

Esistono anche palette “**standard**”: MAC, WINDOWS, WEB_SAFE, OTTIMIZZATE eccetera.

Se si usa una palette standard di 256 colori, alcuni di questi potrebbero non essere utilizzati nell'indicizzare un'immagine true color (anche se questa presenta più di 256 colori).

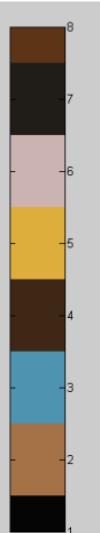
Visualizzazione della matrice degli indici

Effettivamente non ha molto senso visualizzarla ma la vediamo solo per capire come appare.

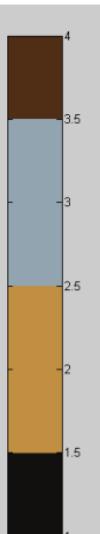




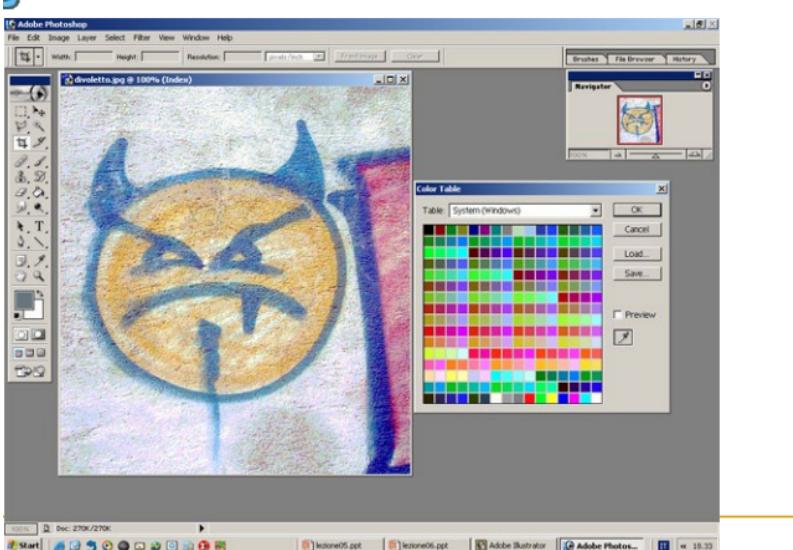
Palette 8 colori



Palette 4 colori



Palette: una schermata di Photoshop



- Molti dei colori presenti nell'ultima palette standard di Photoshop non ci sono nell'immagine, quindi se ne possono usare benissimamente molti di meno.



Confronti tra palette



Le differenze percettive tra le varie palette ci sono ma non sono evidenzianti via proiettore e quindi sono qui trascurate



Interazione & Multimedia

124

Palette a 256 colori, ottimizzata per l'immagine (Photoshop)

Palette a 16 colori, ottimizzata per l'immagine (Photoshop)

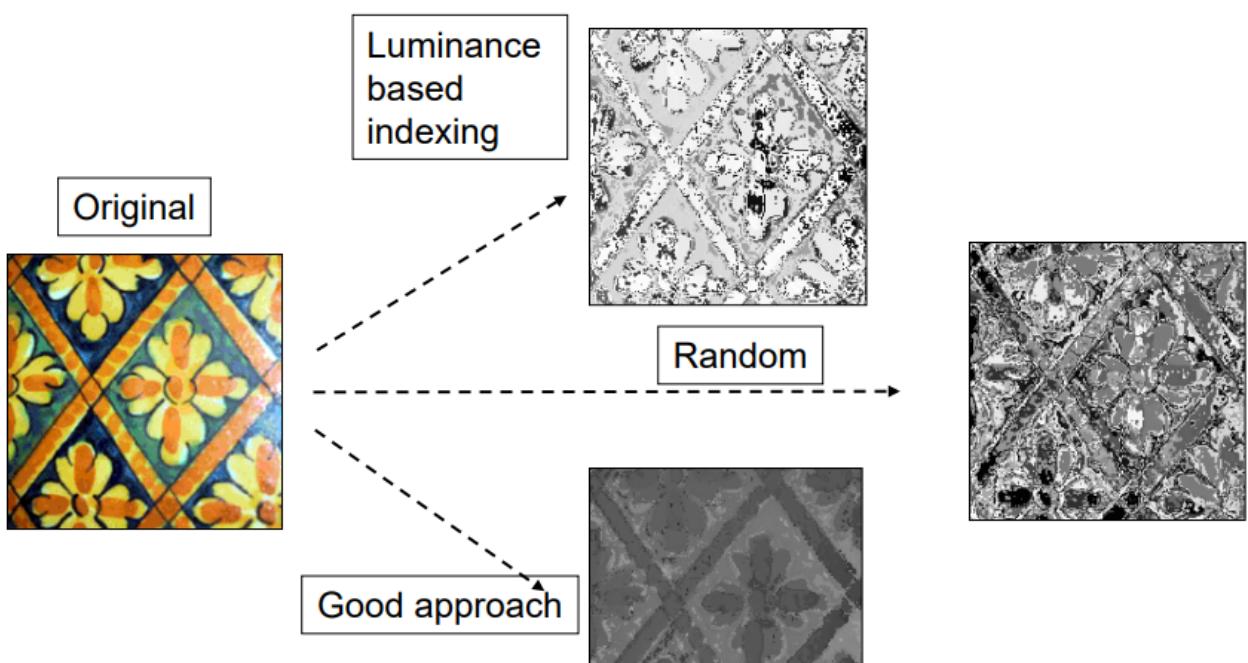


RE-INDEXING

Quando si comprime si può usare la *matrice degli indici*?

- Sì, per risparmiare spazio.
- Quando comprimo, quello che mi fa capire se risparmio è la **ridondanza**.
- Se i colori sono simili, allora gli indici in tabella devono essere anche vicini e così facendo si può risparmiare in memoria.

Cambiare la posizione della paletta e quindi anche l'indice corrispondente in modo da creare una matrice di indici che abbia l'entropia minima



LUMINANCE BASED INDEXING:

1. per ogni terna si calcola il calore di luminanza Y
2. ordina i colori rispetto alla Y , mediamente tendono a essere simili i colori.
3. La Y serve solo per l'ordinamento, come regola, non come "*qualsiasi cosa da conservare*" perchè, dopo averla calcolata, viene scartata!

Esistono altre strategie per avere colori simili, cioè *indici simili* e questo serve per comprimere nel miglior modo possibile

GOOD APPROACH:

1. è più *ordinata* rispetto alle altre;
2. presenta più ridondanza;
3. si può comprimere guadagnando più spazio;

4. Il *re-indexing* non cambia i colori, li associa ad indici diversi ovvero si ha una permutazione della tabella dove si associano i colori a diversi indici.

- Se ho m colori, le possibili permutazioni sono $m!$
- Ce ne sarà **una in particolare** che sarà la migliore in assoluto per comprimere nella maniera migliore
- La soluzione di questo problema è proprio *NP – hard*, perché fra le tantissime permutazioni è difficilissimo trovare soluzioni in poco tempo.
- Per tale motivo si va a trovare con soluzioni approssimate alla soluzione ottimale

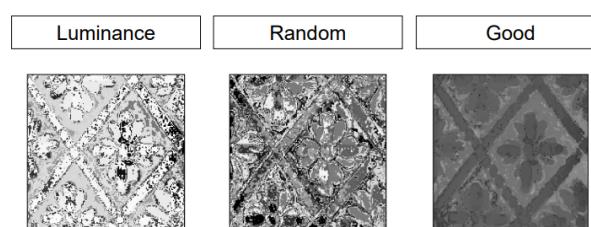
■ L'idea generale è che se ai colori **di pixel adiacenti** associo **indici numericamente vicini**, la differenza tra tali indici diventa più piccola.

■ Questo permette di diminuire l'entropia dell'immagine, garantendo un miglior rapporto di compressione quando si utilizzano formati che usano la codifica differenziale (che vedremo più avanti nel corso)

■ Purtroppo, trovare la disposizione ottimale (quella ad entropia minima) è un problema NP-hard. Per una paletta con **M** colori, bisogna cercare tra **$M!$** possibili ordinamenti.

■ Pertanto, gli algoritmi di reindexing si basano sulla ricerca di soluzioni che si avvicinano a quella ottima.

Minimizzare l'entropia



5.25

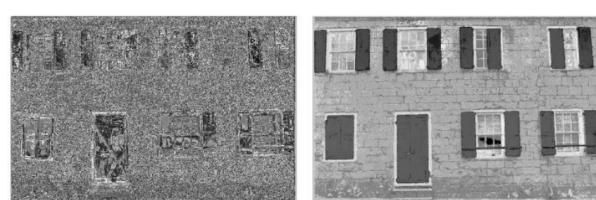
5.85

4.65



(a)

(b) Entropy=5.762



(c) Entropy=6.860

(d) Entropy=5.010

- Per il *re-indexing* si vorrebbe trovare il migliore ma in realtà il risultato si avvicinerà semplicemente alla soluzione ottimale.

Per **ENTROPIA** si intende l'informazione media che trasporta ogni pixel:

- più è bassa e meno pixel ho bisogno per rappresentare un'immagine quindi **più posso comprimere**.