Colore

- Abbiamo studiato come funziona l’occhio e come il cervello elabora le informazioni ricevute.
- Adesso dobbiamo capire come è fatta la luce!

Sir Isaac Newton, 1666

- Se un raggio luminoso bianco attraversa un prisma di vetro, ciò che si ottiene non è luce bianca, ma è uno spettro di colori che vanno dal violetto al rosso.
- Quindi la luce può essere decomposta in onde luminose di tipo differente.

Lo spettro elettromagnetico

- Quello che il nostro occhio percepisce è solo una piccola porzione dello spettro elettromagnetico.

Colore

I colori sono legati alle lunghezze d'onda (Newton-Huygens).

L=Lunghezza d'onda

Lung. in nanometri	Tipo radiazione
10^{17} - 10^{13}	Osc.elettriche
10^{13} - 10^{9}	Onde radio
10^{9} - 10^{6}	Micro-onde
10^{6} - 10^{3}	Infrarosso
10^{3} - 10^{2}	Visibile
10^{2} - 10	Ultravioletto
10 – 10^{-3}	Raggi X
10^{-3} – 10^{-7}	Raggi gamma e cosmici

Un nanometro= 1 metro / 1.000.000.000

- La luce è formata da tutte quelle lunghezze d'onda percepite dall'occhio umano.
- Lo spettro della luce visibile oscilla tra il violetto e il rosso.
- Per comodità lo spettro del visibile è diviso in sei regioni: violetto, blu, verde, giallo, arancio e rosso.
- Le bande di colore non sono tutte della stessa grandezza e degradano in quelle limitrofe.

GAMMA RAYS
X-RAYS
U-V
INFRA-RED
MICRO-WAVES
T-V
RADIO
.001nm
1nm
10nm
.0001 ft
.01 ft
1 ft
100 ft
ULTRAVIOLET
VISIBLE SPECTRUM
INFRARED
300
400
500
600
700
1000
1500
WAVELENGTH (Nanometers)

- L’occhio umano percepisce come colore di un oggetto quella luce che l’oggetto stesso riflette.
- Se un oggetto riflette tutte le lunghezze d’onda luminosa, allora l’oggetto sarà percepito come bianco.
- Un oggetto che riflette le lunghezze d’onda da 500 a 570 nm ed assorbe tutto il resto, sarà percepito come di colore verde.

- Per descrivere la luce bastano i seguenti valori:
- *Radianza*: cioè la quantità di luce emessa dalla sorgente luminosa;
- *Luminanza*: cioè la misure dell’energia percepita dall’utente;
- *Brillantezza*: è un valore soggettivo che indica la sensazione di colore.

I coni

Nella retina ci sono tre tipi di coni:

TIPO S: **Sensibili alle lunghezze d'onda corte (short, colori bluastri)**

TIPO M: **Sensibili alle lunghezze d'onda medie (middle, colori verdastri)**

TIPO L: **Sensibili alle lunghezze d'onda lunghe (long, colori rossastri)**

Tutti i primati hanno questi tre tipi di cellule retinali. I non primati hanno solo due tipi di cellule retinali per i colori mentre gli uccelli ne hanno ben 5 tipi differenti!

Spettro di assorbimento dei coni

Spettri di assorbimento per i tre tipi di coni, **rosso (L)**, **verde (M)** e **blu (S)**, normalizzati ai rispettivi massimi

Funzioni di efficienza luminosa per **visione fotopica e scotopica**

Teoria del tristimolo (Young, 1802)

Tutti i colori si possono ottenere "mescolando" tre colori fondamentali in proporzioni differenti.

Dimostreremo che questa *ipotesi è FALSA* se non in prima approssimazione.

Il colore

A differenza delle misure di lunghezza o di peso, **non esiste una scala fisica per misurare il colore**.

Il colore è una questione di **percezione** o di **interpretazione soggettiva**.

Il riconoscimento dei colori da parte dell'uomo è basato sulla **luce**, sugli **oggetti** che riflettono la luce e sugli **occhi** e il **cervello** dell'osservatore.

Differenze di colore

Differenze di sorgenti luminose

luce solare, lampade ad incandescenza, neon,…

Differenze di osservatore

sensibilità, vista,…

Differenze di dimensioni

Effetto area = colori che ricoprono vaste superfici appaiono più luminosi e vivaci

Differenze di sfondo

Effetto contrasto = colori appaiono più cupi se lo è sfondo scuro

Differenze di direzione

Caratteristiche direzionali di alcune vernici

costanza degli angoli di osservazione e di illuminazione

misure

Composizione dei colori

Illuminando una superficie bianca (coefficiente di riflessione del 100% su tutto il VIS) con una o più luci mononocromatiche si ottiene (per riflessione) una radiazione colorata per

Sintesi Additiva

Qualsiasi luce di spettro complesso può essere ottenuta come "somma" di tre luci monocromatiche agenti simultaneamente.

La CIE, partendo dall'ipotesi che tutti i colori possono essere valutati in termini di tre componenti pure, ha scelto le tre radiaioni primarie in modo che le lunghezze d'onda siano il più possibile distanziate nello spettro.

Rosso	**700.0 nm**
Verde	**546.1 nm**
Blu	**435.8 nm**

CIE

Colorimetria

(X, Y, Z)

- L'occhio è lo strumento umano per la misura del colore.
- La retina ha tre tipi di coni.

Sensibilità spettrale dell'occhio umano

valori del tristimolo X, Y, Z

$$X = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}\bar{x}(\lambda)d\lambda \qquad Y = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}\bar{y}(\lambda)d\lambda = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}V(\lambda)d\lambda \qquad Z = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}\bar{z}(\lambda)d\lambda$$

$X = \int \ldots$ $Y = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}\bar{y}(\lambda)d\lambda$ $Z = \int \ldots$

spazio colorimetrico CIE 1931.

Colore e riflettanza spettrale

Dati colorimetrici

(L*,a*,b*)

1. **Distribuzione energetica della luce che lo illumina**
2. **Curva spettrale dell'oggetto colorato,**
3. **Sensibilità al colore dell'occhio umano.**

Distribuzione spettrale degli illuminanti più diffusi:

Visione e misura

Visione e misura

Visione e misura

- Una **luce** allo Xenon illumina il campione in maniera uniforme;
- La luce riflessa dalla superficie del **campione** viene raccolta da un **sistema di lenti** ed entra nel sensore spettrale principale
- La luce che entra in ciascun **sensore** viene divisa in lunghezze d'onda da un reticolo di diffrazione e convertita in segnale elettrico da una array di fotodiodi

Spazi colore

Munsell color space

```
001    MUNSELL
  2.5R    4.2/11.5
```

L*a*b* color space

```
001          L  43.31
a+47.63   b+14.12
```

L*C*h color space

```
001 <R>    L  43.31
C 49.68    h   16.5
```

XYZ (Yxy) color space

```
001          Y  13.37
x .4832    y .3045
```

Hunter Lab color space

```
001        HL  36.56
a+42.18   b +8.84
```

Illuminanti

Illuminante : Energia radiante con distribuzione spettrale di energia relativa definita nel campo di lunghezza d'onda capace di influenzare la visione del colore degli oggetti.

Illuminante CIE : Gli illuminanti colorimetrici A, B, C e D65 sono quelli le cui distribuzioni spettrali di energia relativa sono definite dalla CIE.

Figure 22a: Standard Illuminants
1 Standard Illuminant Average daylight (including ultraviolet wavelength region) with a correlated color temperature of 6504K; should be used for measuring specimens which will be illuminated by daylight including ultraviolet radiation. 2 Standard Illuminant C Average daylight (not including ultraviolet wavelength region) with a correlated color temperature of 6774K; should be used for measuring specimens which will be illuminated by daylight in the visible wavelength range but not including ultraviolet radiation. 3 Standard Illuminant A Incandescent light with a correlated color temperature of 2856K; should be used for measuring specimens which will be illuminated by incandescent lamps.

Nome	CIE 1931 2°		CIE 1964 10°		CCT (K)	Hue	Note
	x_2	y_2	x_{10}	y_{10}			
A	0.44757	0.40745	0.45117	0.40594	2856		Incandescente / Tungsteno
B	0.34842	0.35161	0.34980	0.35270	4874		{obsoleta} luce diretta del sole a mezzogiorno
C	0.31006	0.31616	0.31039	0.31905	6774		{obsolete} Average / North sky Daylight
D50	0.34567	0.35850	0.34773	0.35952	5003		Horizon Light. ICC profile PCS
D55	0.33242	0.34743	0.33411	0.34877	5503		Mid-morning / Mid-afternoon Daylight
D65	0.31271	0.32902	0.31382	0.33100	6504		Luce diurna a mezzogiorno: Televisione, sRGB
D75	0.29902	0.31485	0.29968	0.31740	7504		North sky Daylight
E	1/3	1/3	1/3	1/3	5454		Equal energy
F1	0.31310	0.33727	0.31811	0.33559	6430		luce diurna fluorescente
F2	0.37208	0.37529	0.37925	0.36733	4230		Luce Fluorescente bianca fredde
F3	0.40910	0.39430	0.41761	0.38324	3450		luce fluorescente bianca
F4	0.44018	0.40329	0.44920	0.39074	2940		Warm White Fluorescent
F5	0.31379	0.34531	0.31975	0.34246	6350		luce diurna fluorescente
F6	0.37790	0.38835	0.38660	0.37847	4150		Fluorescente bianco chiaro
F7	0.31292	0.32933	0.31569	0.32960	6500		D65 simulatore, simulatore di luce diurna
F8	0.34588	0.35875	0.34902	0.35939	5000		D50 simulator, Sylvania F40 Design 50
F9	0.37417	0.37281	0.37829	0.37045	4150		Cool White Deluxe Fluorescent
F10	0.34609	0.35986	0.35090	0.35444	5000		Philips TL85, Ultralume 50
F11	0.38052	0.37713	0.38541	0.37123	4000		Philips TL84, Ultralume 40
F12	0.43695	0.40441	0.44256	0.39717	3000		Philips TL83, Ultralume 30

Illuminanti

Figure 22b: Fluorescent Illuminants (recommended by JIS for measurements)
4 F6: Cool white
5 F8: Daylight
6 F10: Three narrow band daylight white

Figure 22c: Fluorescent Illuminants (recommended by CIE for measurements)
7 F2: Cool white
8 F7: Daylight
9 F11: Three narrow band cool white

Misura

Spectral distribution A of the light reflected the specimen (apple)
Illumination
400 500 600 700
Wavelength (nm)
Sensor spectral sensitivity B corresponding to the human eye
2.0
1.5
1.0
0.5
z̄(λ)
ȳ(λ) x̄(λ)
x̄(λ)
C Tristimulus values
A × D
I have sensors with spectral sensitivity B built in.
I have data for spectral sensitivity B in memory.
C-1
X
C-2
Y
C-3
Z

Osservatori Standard e CMF

CIE 1931 e 1964

XYZ Tristimulus Values (CIE 1931)

$$X = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Y = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Z = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda)}$$

Tristimulus values determined based on the color matching functions $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ and $\bar{z}(\lambda)$ defined in 1931 by CIE; also referred to as 2° XYZ tristimulus values. They are suitable for a viewing angle of 4° or less and are defined for reflecting objects by the following formulas:

where
S(»): Relative spectral power distribution of the illuminant
$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: Color–matching functions for CIE 2° Standard Observer (1931)
R(»): Spectral reflectance of specimen

X_{10} Y_{10} Z_{10} Tristimulus Values (CIE 1964)

$$X_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Y_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Z_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)d(\lambda)}$$

Tristimulus values determined based on the color matching functions $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ and $\bar{z}(\lambda)$ defined in 1964 by CIE; also referred to as 10° XYZ tristimulus values. They are suitable for a viewing angle of more than 4° and are defined for reflecting objects by the following formulas:

where
S(»): Relative spectral power distribution of the illuminant
$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: Color–matching functions for CIE 10° Supplementary Standard Observer (1964)
R(»): Spectral reflectance of specimen

Standard CIE

- Nel 1931 il CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ha fissato le lunghezze d'onda standard per i tre colori primari:

  Blue = 435,8 nm

  Verde = 546,1 nm

  Rosso = 700 nm
- Anche se nel 1964 i dati sperimentali hanno dimostrato che in realtà il valore reale è lievemente differente.

  Blue = 445 nm

  Verde = 535 nm

  Rosso = 575 nm

Standard CIE 1964

Diagramma cromatico CIE

(X, Y, Z)

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

- Se x è la quantità di rosso
- Se y è la quantità di verde

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

- z è la quantità di blu ottenuta come

$z = 1 - (x + y)$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

- La rappresentazione grafica al variare di x e y da origine al diagramma cromatico CIE

$$z = 1 - (x + y)$$

Diagramma cromatico CIE

- Tutti i colori delle lunghezze d'onda visibili sono disposti lungo i bordi.
- Il punto di uguale energia è il bianco.
- Qualsiasi colore lungo il bordo non ha bianco, quindi è puro.

Diagramma cromatico CIE

- Unendo due colori con una linea, tutti i colori nella linea sono quelli ottenibili mischiando i due colori.
- Unendo un colore con il bianco si ottengono tutti le tonalità di quel colore

Diagramma cromatico CIE

- Unendo tre colori con un triangolo, tutti i colori lungo il bordo e nel triangolo sono quelli ottenibili mischiando quei tre colori.

Color gamut

- Unendo R G e B si ottiene un triangolo che contiene tutti i colori che si possono produrre.
- Da notare che il triangolo non copre tutta l'area, quindi non tutti i colori si ottengono unendo R G e B.

Color gamut

- L'area irregolare dentro il triangolo rappresenta tutti i colori che una stampante può ottenere.
- Questi sono in numero minore rispetto a quelli dei monitor perché è differente il modo di mischiare i colori (additivo vs sottrattivo).

Spazio CIE xyz

Un colore può essere specificato mediante dei coefficienti tricromatici. I valori di tristimolo necessari a rappresentare il colore corrispondente ad una certa lunghezza d'onda possono essere determinati da curve, tabelle e diagrammi determinati sulla base di una estesa sperimentazione, condotta in particolare negli anni'60. Uno di essi è il diagramma CIE di cromaticità, che mostra la composizione di un colore in funzione di *x* e *y*, mentre il corrispondente valore di *z* è calcolato direttamente dalla $z = 1 - (x + y)$. Il diagramma di cromaticità CIE 1931, è solo una "fetta" di uno spazio più completo, lo spazio dei colori CIE 1931 al quale si assegnano le coordinate XYZ.

La sua proiezione su un piano è un diagramma di cromaticità xy. Le relazioni per passare dalle coordinate tridimensionali XYZ alle coordinate xy sono: $x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$.

Modelli del 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.

- I modelli del colore più utilizzati in image processing sono orientati o all'hardware di acquisizione (RGB) e restituzione (RGB, CMY) delle immagini o alla loro trasmissione (YUV, YIQ), compressione (YCbCr), elaborazione (od analisi) mediante trattamento del colore (RGB, HSI, HSV, LUV, ...).

- Alla poca chiarezza derivante dalla abbondanza di modelli dello stesso tipo, si aggiunge l'uso ambiguo delle lettere nei nomi dei modelli (I o V significano cose diverse in modelli diversi), e soprattutto il fatto che in letteratura esistono differenti versioni delle equazioni di conversione dall'uno all'altro dei modelli indicati.

CIE L*a*b*

- Il principale difetto del sistema CIE (e di tutti i modelli del colore da esso derivati mediante trasformazioni lineari o non lineari di coordinate) è che esso non è dotato di uniformità percettiva.
- **In altre parole, dati due colori *C1* e *C2*, consideriamone le distanze ΔC, rispettivamente, dal colore $C3 = C1 + \Delta C$ e dal colore $C4 = C2 + \Delta C$. Supponendo che le due distanze siano quantitativamente uguali, sarebbe desiderabile che i due colori *C3* e *C4* fossero percepiti come ugualmente distanti da *C1* e *C2.* Dato che il sistema non è percettivamente uniforme, in generale le due distanze, benchè uguali, saranno percepite come differenti.**
- Dopo molti anni di elaborazione, la CIE ha standardizzato nel 1976 due spazi di colore percettivamente uniformi, chiamati rispettivamente CIE L*u*v*e **CIE L*a*b*** (u e v non hanno alcuna relazione con le componenti video U e V)

Formule

(X, Y, Z)

(L*, a*, b*)

- Attraverso le seguenti formule, si può passare dallo spazio colore CIE XYZ allo spazio colore CIELAB, e viceversa

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

- Dove X/X_n, Y/Y_n, e Z/Z_n , sono maggiori di 0.01 e X_n , Y_n e Z_n definiscono il punto bianco. Lo spazio colore CIELAB in confronto al CIE XYZ rispetta maggiormente la risposta non lineare dell'occhio umano alle radiazioni elettromagnetiche.
- La metrica CIELAB si ottiene dalla seguente formula:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$\Delta E^*_{a,b}$ CIELAB

La metrica $\Delta E^*_{a,b}$ CIELAB lavora sullo spazio colore CIELAB. Differentemente da altri spazi colore, lo spazio colore CIELAB, è ***percettivamente uniforme***. I parametri che lo determinano sono: L*, a*, b*.

L* rappresenta la **luminanza** mentre a* e b* rappresentano la **crominanza**.

L*, a* e b* sono le trasformazioni dei tre valori di tristimolo X, Y e Z dello spazio colore CIE XYZ.

Color differences

Color differences

(L^*_1, a^*_1, b^*_1)

(L^*_2, a^*_2, b^*_2)

Differenze di colore

$\sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2}$

Nello spazio CIELAB le differenze di colore sono definite come <u>distanza tra due punti dello spazio L*a*b*</u>

$$\boxed{\Delta E^*_{ab}} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

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

L*a*b* color space

2

Spazio CIELAB L*a*b* (1976)

(L*, a*, b*)

L*=luminosità
L del nero è = 0
L del bianco è = 100

a* e b* = coordinate di cromaticità

Spazio CIELAB L*a*b* (1976)

Piano cromatico a L*=50

L*C*h color space

Figure 9

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

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

L*C*h color space

Il bianco e il nero

Quali sono le coordinate del nero ?

Il nero matematico è rappresentato dal tristimolo X=0,Y=0,Z=0.

Nessun corpo reale possiede questa specificazione.

Il nero "fisico", cioè quello di un corpo di cui si misura il fattore di riflessione spettrale e si calcola il tristimolo è diverso e dipende dal corpo:

- **Il fattore di riflessione spettrale di un corpo nero è dell'ordine di un qualche percento (3-5%)**
- **Il nero più nero è del velluto nero**
- **La tavoletta nera standard dell'NPL ha un fattore di riflessione 0.15% - 4.00% nell'intervallo 320nm - 780nm (geometria 8/d). La corrispondente specificazione colorimetrica per osservatore CIE 31 ed illuminante D65 è:**

(x,y,Y%)=(0.2940, 0.3258, 0.47) e (L*,a*,b*)=(4.2,-0.9,-0.5)

e questi dati cambiano se si cambia geometria…

Il bianco e il nero

Analogamente per il bianco si pone la stessa domanda, quale bianco?

Bianco equienergetico, per il quale la distribuzione spettrale di potenza è 1 ed a cui corrisponde (X=1,Y=1,Z=1), (x=1/3,y=1/3,Y=1).

Diversamente il bianco è quello associato all'illuminante scelto, la cui specificazione colorimetrica, per gli illuminanti standard CIE, è data (vedi Oleari, 2008).

Per quanto riguarda i corpi reali si considera il fattore di riflessione:

- **la tavoletta ideale lambertiana ha un fattore di riflessione uguale per tutte le lunghezze d'onda, vale 1 o 100%, e la sua specificazione colorimetrica è uguale a quella dell'illuminante considerato.**
- **la tavoletta standard bianca NPL ha il fattore di riflessione che varia tra 78.71%@400nm e 86.11%@700nm nella geometria 8/d e la sua specificazione per l'osservatore CIE 31 e l'illuminante D65 vale**

(x,y,Y%)=(0.3145, 0.3318, 85.56) e (L*,a*,b*)=(94.1,-0.4, +1.3)

Il bianco e il nero

Il *Macbecth Color checker* è concepito per uso fotografico.

L'RGB è un sistema di riferimento nello spazio del tristimolo e può avere significato nell'imaging.

Nell'imaging si usano riferimenti come sRGB, ADOBE RGB, ADOBE wide gamut, KODAK prophoto, ecc.

- **questa scelta ha senso solo nel caso che si considerino immagini**
- **i vari RGB sono molto diversi tra loro e non vanno confusi**

Nel sistema sRGB dell'*imaging* (sistema operativo Microsoft, file in fotografia, da scanner, ...):

- **il nero è quello matematico e lo stimolo bianco (RsRGB=1,GsRGB=1,BsRGB=1) è la specificazione del bianco D65. Così è pure nella televisione (NTSC, PAL, SECAM, HDTV)**
- **nelle arti grafiche il bianco è quello dell'illuminante D50 (norme ISO, ANSI, ...)**

Il bianco e il nero

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

Quale osservatore scegliere?

- **Per oggetti da vedersi in modo analitico, cioè quasi tutti gli oggetti che rientrano tra i beni culturali, l'osservatore è il CIE 1931.**
- **Per oggetti di grandi superfici, quali oggetti architettonici e forse anche affreschi destinati ad essere visti da lontano, l'osservatore è il CIE 64.**

L'illuminante classico per tutti gli usi è il D65.

L'atlante di Munsell è definito per l'osservatore CIE 64 e l'illuminante D65.
Le sue proprietà dal punto di vista percettivo non valgono più se si opera in condizioni differenti

Le comparazioni visive vanno fatte in situazione visiva controllata

(X, Y, Z)

(L*, a*, b*)

Gli spazi di colore

In realtà:

Raramente vediamo in natura colori puri. Ma piuttosto vediamo miscele di radiazione luminosa in ogni lunghezza d'onda.

Il nostro cervello non è uno "spettrometro":

- spettri differenti producono sensazioni cromatiche eguali;

- manteniamo una percezione costante del colore di una superficie anche se cambia la luce che la illumina.

- **Ogni lunghezza d’onda trasporta differenti quantità di energia.**
- **La energia totale della radiazione è la somma di tutti i contributi di energia dalle diverse lunghezze d’onda.**
- **Lo “spettro” di un illuminante è il diagramma dei contributi di energia che esso apporta per ciascuna differente lunghezza d’onda.**

Spettro

- **Il disegno mostra uno spettro “discretizzato” con una convenzione grafica del tipo visto in una applicazione di “equalizzazione” nello stereo.**

Metameri

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

Lo spettro tratteggiato e quello continuo producono (nel cervello) il medesimo colore!

Tra i vari metameri di un dato spettro se ne può sempre individuare uno assai importante che è alla base del modello dei colori detto “del pittore”.

Modello del pittore: basi fisiche

(H, S, V)

H = HUE

$S = \frac{(e_p - e_m)}{(e_p + e_m)}$

V = e medio

Ogni spettro ha un metamero della seguente forma:

La lunghezza d'onda in cui si ha il picco è responsabile del "colore percepito" (detto anche in inglese **HUE**).

Il rapporto **(epicco-emedia)/(epicco+emedia)** è la **SATURAZIONE**, cioè quanto il colore è puro. Meno luce bianca equivale ad un maggiore valore del rapporto.

emedia è proporzionale al contenuto energetico della radiazione: essa può essere considerata una misura della "luminosità" di una radiazione (detto anche **VALORE**). Esso da un contributo "bianco" al colore percepito.

Modello del pittore

BIANCO PURO
SATURAZIONE=0
VALORE= MAX

COLORE PURO
SATURAZIONE=1
VALORE= MAX

NERO
VALORE=0

H = Rosso
S ∈ [0, 1]
V ∈ [0, max]
(H, S, V)

Questo è il modello
Usato nel mondo dell'arte e insegnato nelle accademie !
Si ha un triangolo come questo per ciascuna HUE differente

Mettere assieme i triangoli…

Tutte le linee verticali trattegiate sono la rappresentazione della medesima "linea dei grigi".

IDEA! Attacchiamo tutti i triangoli in una "girandola" facendo coincidere le linee dei grigi.

Spazio HSV (oppure HSI)

(0, –, –)
(180, ~~0~~, ~~0~~)

H = hue (colore);

copre tutti i colori ordinati in sequenza RGB (10, 20, 40)

S = saturazione;

da un minimo (centro) pari al bianco puro
ad un massimo (periferia) colore puro.

V = valore o luminosità;

da un minimo (nessuna energia emessa)
ad un massimo.

Relazione tra RGB e HSV

White
I = 0.75
I
Green
Cyan
Yellow
H
S
I = 0.5
Blue
Red
Magenta
Black

White
1
I = 0.75
I
Green
Yellow
I = 0.5
Cyan
S
Red
Magenta
0
Black
0

$V \in [0,1]$

Rappresentazione del colore

- **Ruota dei colori organizza lo spazio colorato in uno schema simmetrico.**
- **Munsell collocamento dei colori in uno spazio tridimensionale.**

NEWTON

BLANC

CHEVREUL

MUNSELL

- **Nascita di colorimetria e sistemi CIE per una misura fisica del colore.**

H L S

Il solido dei colori

Tinta = identifica il rosso, il blu, il giallo,… e forma la ruota dei colori

Luminosità = colori chiari e colori scuri e cambia verticalmente

Saturazione = colori brillanti e colori opachi; cambia a partire dal centro

Munsell System (H, C, V)

(H,C,V)

H = Hue

C = Chroma

V = Value

Discussione del modello del pittore

- **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”?

(pagina, riga, colonna)

Color Checker Chart
Dark Skin R=115 G= 82 B= 68
Light Skin R=194 G=150 B=130
Blue Sky R= 98 G=122 B=157
Foliage R= 87 G=108 B= 67
Blue Flower R=133 G=128 B=177
Bluish Green R=103 G=189 B=170
Orange R=214 G=126 B= 44
Purple Red R= 80 G= 91 B=166
Moderate Red R=193 G= 90 B= 99
Purple R= 94 G= 60 B=108
Yellow Green R=157 G=188 B= 64
Orange Yellow R=224 G=163 B= 46
Blue R= 56 G= 61 B=150
Green R= 70 G=148 B= 73
Red R=175 G= 54 B= 60
Yellow R=231 G=199 B= 31
Magenta R=187 G= 86 B=149
Cyan R= 8 G=133 B=161
White R=243 G=243 B=242
Neutral 8 R=200 G=200 B=200
Neutral 65 R=160 G=160 B=160
Neutral 5 R=122 G=122 B=121
Neutral 35 R= 85 G= 85 B= 85
Black R= 52 G= 52 B= 52
X-Rite
100
200
300
400
500
600
700
800
200
400
600
800
1000
1200

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

RGB

Composizione additiva dei colori partendo dai tre colori primari RGB.
Dalla loro sovrapposizione si ottiene il *bianco* (*W*), dalla sovrapposizione di due luci si ottengono giallo (*Y*), *magenta* (*M*) e *ciano* (*C*).

Su questo principio si basa il funzionamento di monitor e schermi televisivi.

I colori complementari

Colore Complementare = quando la somma di un dato colore ad un altro dà il Bianco (W)

$$R + G + B = W$$

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

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

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

Il **Giallo** è complementare del **Blu**
Il **Magenta** è complementare del **Verde**
Il **Ciano** è complementare del **Rosso**

Il colore può essere ottenuto anche come mescolanza di sostanze colorate (pigmenti, coloranti, ecc.) il cui comportamento può essere simulato considerando dei *filtri colorati*.

Sintesi sottrattiva

Filtro Ottico Colorato = mezzo a facce piane e parallele che attraversato dalla luce bianca ne assorbe selettivamente una porzione.

Il filtro assume il colore prodotto dalla radiazione complementare di quella che viene assorbita come accade alle sostanze colorate.

Sovrapponendo tre filtri di colore giallo (Y), magenta (M) e ciano (C) su un visore luminoso bianco si ottengono i colori per

Sintesi Sottrattiva

Sovrapponendo tutti e tre i filtri viene assorbita tutta la radiazione visibile per cui si ottiene il Nero (K).
Sovrapponendo due filtri si ottiene il colore corrispondente alla componente luminosa che non viene assorbita da nessuno dei due.

Sintesi sottrattiva

YMC

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.

Immagini in sintesi sottrattiva

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

$$\mathbf{Y} + \mathbf{M} = \mathbf{R}$$

$$\mathbf{Y} + \mathbf{C} = \mathbf{G}$$

$$\mathbf{M} + \mathbf{C} = \mathbf{B}$$

$$\mathbf{Y} + \mathbf{M} + \mathbf{C} = \mathbf{K}$$

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.

Colori primari e secondari

- I colori Rosso R, Verde G e Blue B sono detti colori primari.
- Combinandoli tra di loro NON si ottengono tutti i colori visibili.
- Combinandoli a due a due si ottengono i colori secondari: Magenta M, Giallo Y e Ciano C.

Colori primari

- L'uso del termine primario è stato ampiamente frainteso nel senso che i tre colori primari standard, mescolati in varie proporzioni di intensità, venivano considerati capaci di produrre tutti i colori visibili. Come si vedrà a breve, questa interpretazione non è corretta a meno che si permetta anche alla lunghezza d'onda di variare, ma in questo caso non si avrebbero tre colori primari standard fissi.

MIXTURES OF LIGHT
(Additive primaries)
GREEN
YELLOW
CYAN
WHITE
RED
MAGENTA
BLUE
MIXTURES OF PIGMENTS
(Subtractive primaries)
YELLOW
RED
GREEN
BLACK
MAGENTA
BLUE
CYAN
PRIMARY AND SECONDARY COLORS
OF LIGHT AND PIGMENT

RGB

- Nel modello RGB ciascun colore è ottenuto mischiando i tre colori fondamentali.
- Se ogni componente di colore è intesa come una coordinata cartesiana, allora il modello RGB può essere graficamente descritto da un cubo.

RGB sintesi additiva

Descrizione geometrica

R (255,0,0) Y (255,255,0)
K (0,0,0) G (0,255,0) C (0,255,255)
W (255,255,255) B (0,0,255) M (255,0,255)

I contributi del RED, GREEN e BLUE sono assunti indipendenti l'uno dall'altro (e quindi rappresentanti da direzioni perpendicolari tra loro).

RGB

Ogni colore è un punto contenuto dentro il cubo. CMY

La retta che congiunge nero e bianco è la retta dei grigi.

Y (0,0,255) R (0,255,255)
M (0,255,0) G (255,0,255)
W (0,0,0)
K (255,255,255) C (255,0,0) B (255,255,0)

sintesi sottrattiva

Modello additivo

- Nel mondo delle immagini a colori ci sono due modi per riprodurre selettivamente la cromaticità: colori additivi e colori sottrattivi.
- I colori additivi sono utilizzati con sistemi che emettono luce, nei quali la luce proveniente da sorgenti di differente colore viene fusa assieme per produrre i colori così come sono percepiti.
- In un dispositivo a colori additivi, come un display CRT, la luce è prodotta da tre fosfori primari, rosso, verde, e blu (RGB). Questi fosfori vengono eccitati separatamente formando un fascio di elettroni. La luce emessa dai tre fosfori stimola nell'occhio i tre tipi di recettori per produrre la percezione dei colori.

Discussione

- **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).

CMY

(255, 255, 255) -
(0, 0, 255) ← B Add.
(255, 255, 0) ← B sott.

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

Modello sottrattivo

- I colori sottrattivi sono usati nei sistemi passivi, nei quali la luce viene assorbita selettivamente alle diverse lunghezze d'onda, riflettendone solo alcune che comporranno i colori desiderati.
- I colori sottrattivi sono utilizzati principalmente nell'industria della stampa. Tre colori (e a volte un quarto) vengono impressi in una superficie riflettente come la carta. Gli inchiostri, tipicamente ciano (un blu-verde), magenta, e giallo (CMY), assorbono selettivamente una certa gamma di lunghezze d'onda della luce. L'occhio percepisce la luce riflessa, che non viene assorbita; da qui il termine "sottrattivi".

Modello sottrattivo

- 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 quindi si utilizza un quarto inchiostro, il nero (CMYK, dove K sta per blacK).

(255, 0, 0)

RGB

(255, 255, 255)

HSI (–, –, –)

R

G

B

Y

Colore giallo (255,255,0)

Colore ciano (0, 255,255)

00FFFF

Colore bianco (255,255,255)

(—, —, —)

(FF, FF, FF)

#FFFFFF

Riepilogando

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

- Si sa che 40 di questi 256 colori vengono processati in modo diverso da vari tipi di sistemi operativi, mentre 216 colori sono comuni alla maggior parte dei sistemi. Questi 216 colori sono diventati gli standard di fatto dei colori sicuri, specialmente nelle applicazioni Internet. Essi vengono utilizzati quando si vuole che i colori visti dalla maggior parte delle persone siano gli stessi.
- Ognuno dei 216 colori sicuri è formato come sempre da tre valori RGB, ma ogni valore può essere solo i numeri 0, 17, 34, 51, 68, 85, 102, 119, 136, 153, 170, 187, 204, 221, 238, 255 che poi sono gli equivalenti in decimale dei numeri esadecimali 00, 11, 22, 33, 44, 55, 66, 77, 88, 99, AA, BB, CC, DD, EE, FF.
- Quindi sono colori sicuri tutti quelli che in esadecimale sono scritti con cifre uguali per ogni coppia: ad esempio #11AA33 è sicuro mentre non lo è il colore #12A3FE.

Colori sicuri per il web

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 che ai colori. Posso dunque "spendere" molti bit per registrare la luminanza e risparmiarne un po' sulle crominanze.

Lo spazio YUV

(Y, U, V)

- La luminanza è ottenuta mediante una combinazione lineare della intensità luminosa dei canali rosso, verde e blu. Un'approssimazione abbastanza fedele della luminanza Y si ottiene attraverso la somma pesata:

$$Y = 0.3R + 0.6G + 0.1B$$

- Il termine *crominanza* è definito come la differenza tra il colore e un bianco di riferimento alla stessa luminanza. I valori della crominanza possono pertanto essere espresse da un insieme di differenze di colore, e , definiti come segue:

$$U = B - Y \qquad U \in [-229.5, 229.5]$$

$$V = R - Y \qquad V \in [-178.5, 178.5]$$

- Queste differenze di colore valgono 0 quando R=G=B. Questa condizione produce il grigio che non ha crominanza. La componente V controlla i colori dal rosso al blu-verde. Mentre la componente U controlla i colori dal blu al giallo.

La luminanza

Immagine RGB

$$Y = a\,R + b\,G + c\,B$$

$$a = .3$$
$$b = .6$$
$$c = .1$$

Canale LUMINANZA

I tre canali RGB non danno eguale contributo alla luminanza.
Il valore di “luminanza” è mantenuto massimamente nel canale G.

Lo spazio YUV

Y

U

V

Lo spazio YC_bC_r

(Y, U, V)
(Y, C_b, C_r)

- Lo spazio YC_bC_r è fortemente legato allo spazio YUV. Esso utilizza la stessa coordinata Y del sistema YUV, mentre le coordinate U e V vengono scalate e *shiftate* producendo due variabili, C_b e C_r rispettivamente. In particolare le equazioni per e sono:

$Y = 0{,}3R + 0{,}6G + 0{,}1B$

$$C_b = \frac{U}{2} + 114{,}75$$

$$C_r = \frac{V}{1.6} + 111{,}57$$

$C_b \in [0, 255]$

$C_r \in [0, 255]$

- Con questa trasformazione i valori della crominanza stanno sempre nell'intervallo da 0 a 255.
- Questo sistema di coordinate viene largamente utilizzato dagli standard di compressione (Es. JPEG).

da RGB a Y C_b C_r

$Y = 0{,}299 \cdot R + 0{,}587 \cdot G + 0{,}114 \cdot B$

$C_b = 0{,}596 \cdot R - 0{,}275 \cdot G - 0{,}321 \cdot B$

$C_r = 0{,}212 \cdot R - 0{,}523 \cdot G + 0{,}311 \cdot B$

JPEG

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

La Y è la luminanza, gli altri due canali codificano i colori.

Si tratta di una trasformazione reversibile.

Il modello Y C_b e C_r è un modello di colori che permette di avvantaggiarsi della “debolezza” del sistema visivo umano.

Infatti…

$$Y = 0{,}3R + 0{,}6G + 0{,}1B$$

$$U = B - Y = B - 0{,}3R - 0{,}6G - 0{,}1B =$$

$$= \underline{0{,}9B} - 0{,}3R - 0{,}6G$$

$$V = R - Y = R - 0{,}3R - 0{,}6G - 0{,}1B =$$

$$= \underline{0{,}7R} - 0{,}6G - 0{,}1B$$

Lo spazio YC_bC_r

YC_bC_r :

Y rappresenta la *luminanza* mentre C_b e C_r rappresentano la *crominanza* del blue e del rosso.

Y

C_b

C_2

Colori e memoria

Colori e memoria

$2^{24} \rightarrow 16.000.000 \rightarrow \infty$

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!

Più colori che pixel!

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 <u>coerenza interna</u> 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).

R	R	G
R	R	G
B	W	R

$3 \times 3 \times 24 = 216$ bit

(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)

00	00	01
00	00	01
10	11	00

00	R (255,0,0)
01	G (0,255,0)
10	B (0,0,255)
11	W (255,255,255)

palette

~~$3 \times 3 \times 2 = 18$~~ +

$4 \times 24 = 96$

114 bit

Palette: l'idea

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

Ricordo queste "etichette" e questa tabella

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

R	R	G
R	R	G
B	W	K

216 bit

000	000	001
000	000	001
010	011	100

000	R
001	G
010	B
011	W
100	K

$3 \times 3 \times 3 = 27$ bit

$5 \times 24 = 120$

$27 + 120 = 147$ bit

R	G	B
C	M	Y
k	W	O

216 bit

0000	R
0001	G
0010	B
0100	C
1000	M
0011	Y
0111	k
1111	W
1010	O

$9 \times 24 = 216$ bit

0000	0001	0010
0100	1000	0011
0111	1111	1010

$3 \times 3 \times 4 = 36$ bit

$36 + 216 = 252$ bit

$M = 256$

$N = 256$

$256 \times 256 \times 24 =$

M N

1.572.864 bit

$256 \times 256 \times 8 =$

M N

524.288 +

$M \times N \times 8 =$

$256 \times 24 = 6.144$

530.432 bit

La palette

La tabella che lega “etichette” con le corrispondenti componenti RGB si chiama:
“tavolozza”,
“palette”, -
“tabella di indicizzazione dei colori”, “tabella di sbirciata”,
“look up table”,
“LUT”.

Indicizzazione di una immagine true color

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

Se nell'immagine true color ci sono meno di 256 colori essi vengono replicati nella palette.

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

Matrice degli indici

Palette

Palette 256 colori

Palette 16 colori

Palette 8 colori

Palette 4 colori

Palette: una schermata di Photoshop

Confronti tra palette

Palette di sistema di Windows

Palette di sistema di Macintosh

Palette Web Safe (216 colori)

Palette ottimizzata per l'immagine (Photoshop)

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

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

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

Il re-indexing

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

Original

Luminance based indexing 1

Random 2

Good approach 3

Minimizzare l'entropia

palette

Gray-level	Random	Good

matrice indici

E

5.25	5.85	4.65

(a)

(b) Entropy=5,762

(c) Entropy=6,860

(d) Entropy=5,010

Maggiori dettagli sul re-indexing

- S. Battiato, G. Gallo, G. Impoco, F. Stanco - *An Efficient Re-indexing Algorithm for Colour-Mapped Images. IEEE Transactions on Image Processing, ISSN 1057-7149, vol. 13, n. 11, pp. 1419-1423, Novembre* 2004;
- S. Battiato, F. Rundo, F. Stanco - *Self Organizing Motor Maps for Colour Mapped Image Re-indexing* – IEEE Transactions on Image Processing, ISSN 1057-7449, Vol. 16, Issue 12 – December 2007, pp. 2905-2915