

il Colore



© Prof. Andrea Pizzirani

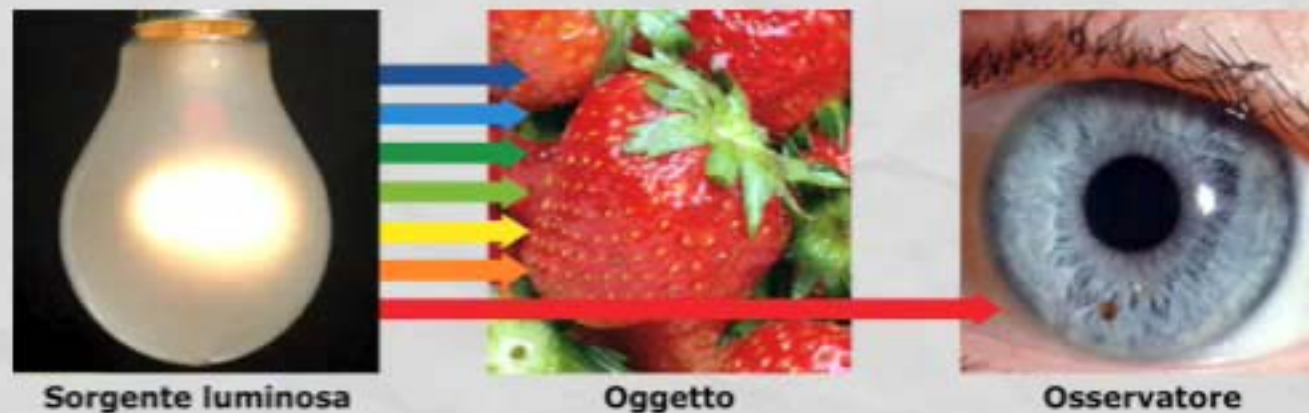
La natura del colore

Il colore è un fenomeno fisico complesso che dipende dalla quantità e dalla qualità della luce che colpisce un oggetto, dalle sue caratteristiche fisico-chimiche e dalle modalità con cui la luce riflessa o trasmessa dall'oggetto viene raccolta dai nostri occhi ed elaborata dal nostro cervello. Il fenomeno interessa quindi tre soggetti:

- una **sorgente luminosa**,
- un **oggetto**,
- un **osservatore**.

Se manca anche uno solo di questi soggetti il colore non si manifesta.

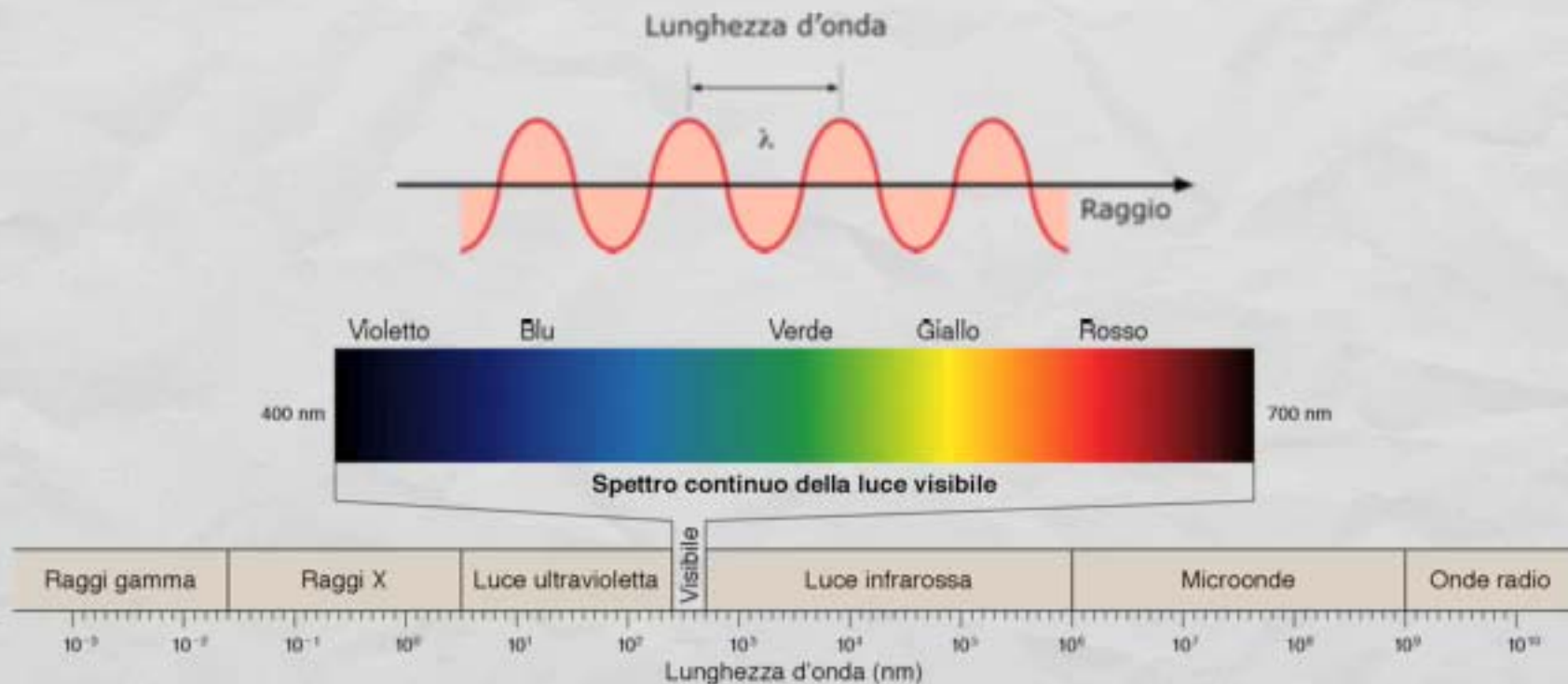
Il maggior numero di colori è presente nello spettro visibile, cioè la gamma che l'occhio umano può percepire; alcuni di questi colori si trovano in natura, altri sono opera dell'attività umana, come ad esempio alcuni pigmenti sintetici.



Luce e colore

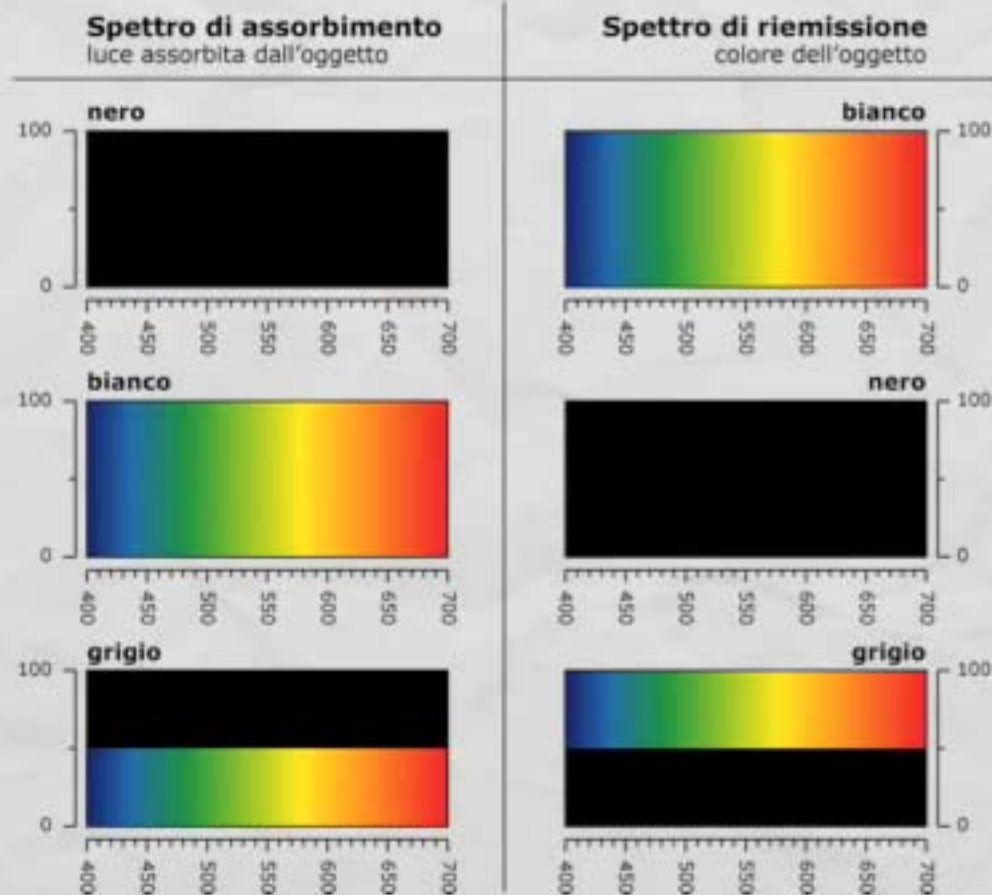
La luce ci appare normalmente di colore bianco, ma in condizioni particolari (ad esempio al passaggio attraverso un prisma di vetro trasparente), in virtù del fenomeno della dispersione, essa si scompone in tanti raggi di diverso colore.

Le diverse tonalità cromatiche che si originano costituiscono lo **spettro continuo della luce visibile** (parte dello *spettro elettromagnetico*) che contiene un numero teoricamente illimitato di colori anche se ad essi siamo in grado di assegnare solo pochi nomi (rosso, arancione, giallo, verde, blu, indaco e violetto). È evidente quindi come la luce bianca risulti essere la somma di tutte queste luci colorate che sono caratterizzate, dal punto di vista fisico, dal possedere ognuna una lunghezza d'onda caratteristica.



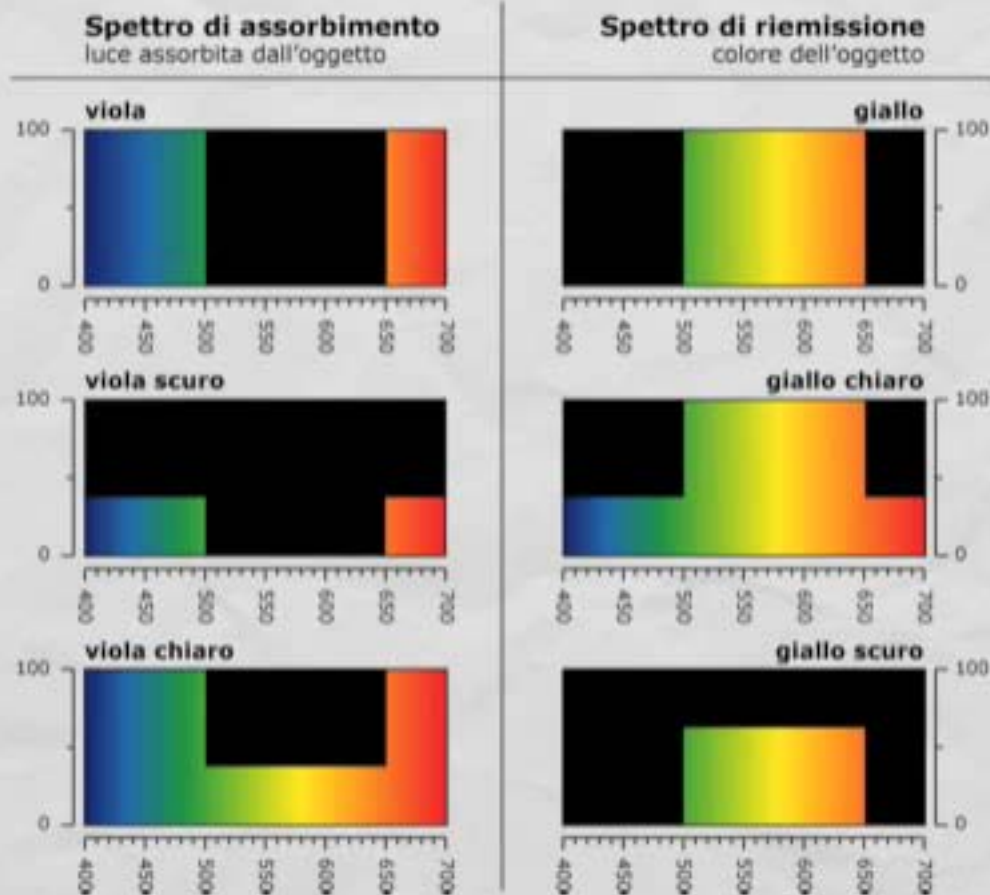
Materia e colore

Gli oggetti che ci circondano appaiono colorati in modo differente perché riflettono verso il nostro occhio soltanto alcuni dei colori che compongono la luce che li colpisce, mentre assorbono tutti gli altri. Quando tutta la luce è riflessa, l'oggetto appare di colore bianco, quando tutta la luce è assorbita, l'oggetto appare di colore nero. Se solo una parte della luce è riflessa, l'oggetto appare grigio o colorato.



Materia e colore

Quando l'oggetto possiede un colore significa che ha assorbito tutte le altre lunghezze d'onda dalla luce bianca riflettendo solo la lunghezza d'onda caratteristica di quel colore che sarà più o meno chiaro o scuro in funzione della quantità di luce assorbita o riflessa. In pratica il tipo di colore dipende dalla **qualità** di luce assorbita/riflessa, il chiaroscuro dipende dalla **quantità** di luce assorbita/riflessa.



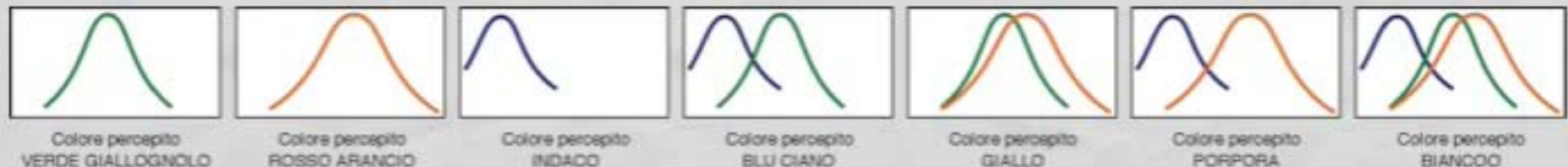
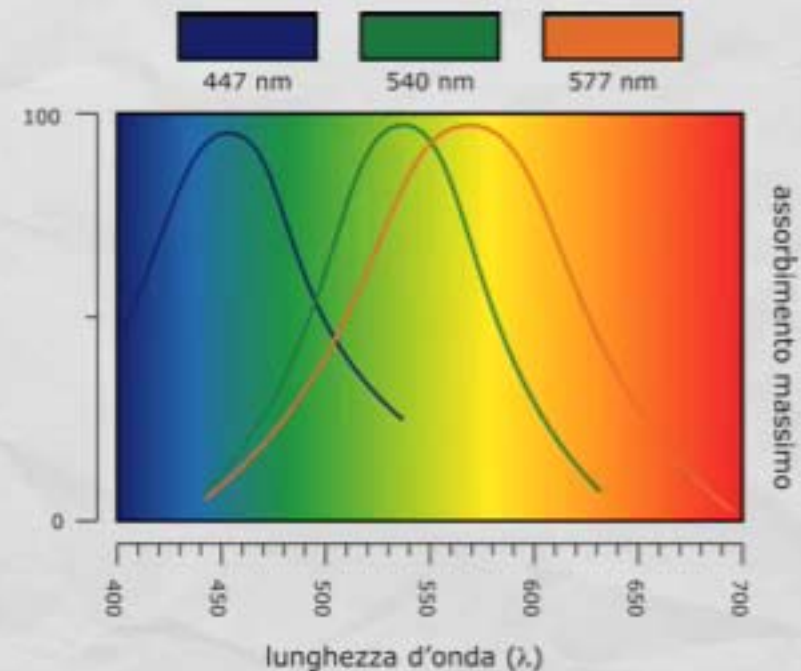
Occhio e colore

Nell'occhio umano il tessuto in grado di percepire la luce è la retina. La retina è costituita da cellule particolari dette fotorecettori e distinte in **bastoncelli** e **coni**. I bastoncelli sono sensibili alla quantità della luce, e quindi al chiaroscuro, i coni sono sensibili alla qualità della luce e quindi al colore.

I coni sono di tre tipi ognuno dei quali sensibile ad un determinato intervallo di lunghezze d'onda, con massimi di assorbimento a 447 nm, 540 nm e 577 nm rispettivamente.

Le tre curve di sensibilità dei coni evidenziano zone di sovrapposizione, e non sono equidistanti: circa il 65% dei coni è sensibile al rosso (**R**), circa il 33% al verde (**G**), solo circa il 2% al blu (**B**).

Il cervello percepisce quindi un segnale che dipende dalla combinazione dell'attività dei tre tipi di coni e si manifesta come somma dei tre colori primari, la cui definizione in termini di lunghezze d'onda è tuttavia soggettiva.



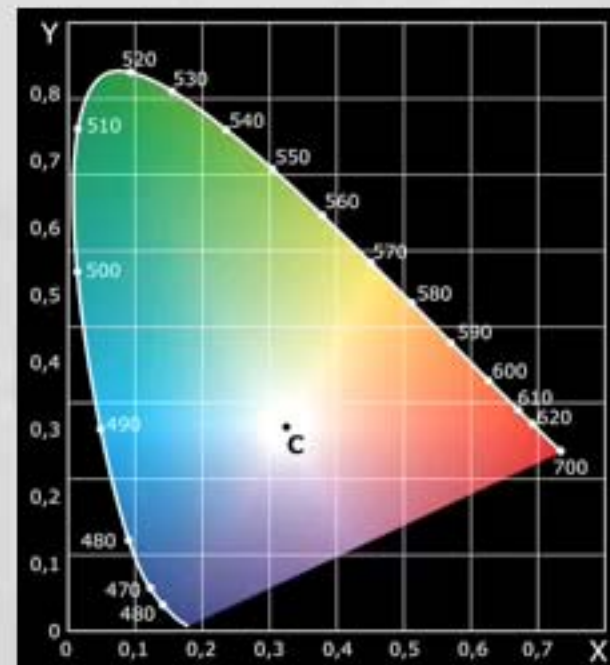
Rappresentazione del colore

Nel 1931 la *Commission Internationale de l'Eclairage* riunita in Inghilterra con il compito di creare uno standard del campo dell'illuminazione propose un modello colorimetrico in grado di rappresentare tutti i colori percepiti dall'occhio umano.

Il **Modello CIE XYZ** detto anche *sistema di colore norma* è un solido complesso che rappresenta tutti i colori caratterizzati da tre parametri: **luminosità** (o luminanza), **tinta** e **purezza** (o saturazione); tinta e purezza rappresentano la **cromaticità** del colore. Del solido viene solitamente rappresentata soltanto la sezione secondo il piano XY con una forma che assomiglia alla sagoma di una campana e in cui X ed Y indicano la cromaticità, e dove la luminanza non viene rappresentata.

Circa al centro del diagramma CIE è presente un punto detto «*illuminante CIE*» (C), assunto come riferimento e corrispondente alla radiazione emessa da una superficie bianca illuminata da luce diurna media. Lungo il tratto curvo della campana si trovano tutte le tinte spettrali alla loro massima saturazione: i verdi nella parte alta, i blu in basso a sinistra e i rossi in basso a destra. Il segmento rettilineo che congiunge i due vertici inferiori della campana rappresenta i colori non spettrali (cioè non presenti nello spettro della luce visibile) alla loro massima saturazione. La saturazione dei colori decresce approssimandosi al punto C.

Nel modello tridimensionale l'asse della luminanza è perpendicolare al piano XY nel punto C.

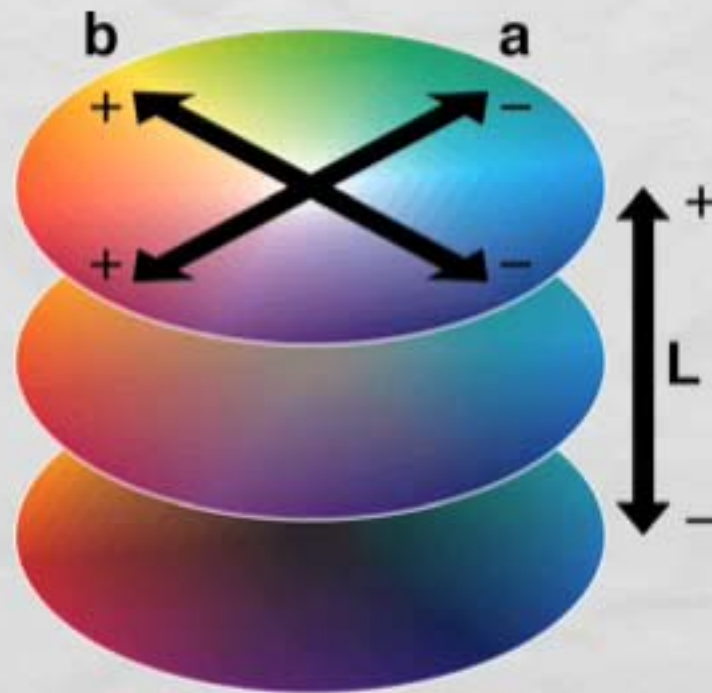


Rappresentazione del colore

Il **Modello CIE L*a*b**, sviluppato nel 1931, è un'evoluzione del modello CIE XYZ. È un modello tridimensionale che si sviluppa lungo tre assi ortogonali. Due assi sul piano orizzontale riguardano la cromaticità: l'asse **a** si estende dal verde (-a) al rosso (+a) e l'asse **b** dal blu (-b) al giallo (+b); un asse verticale riguarda la luminosità o luminanza (**L**) che diminuisce dal basso verso l'alto.

I colori sono rappresentati da valori numerici:
 a e b variano tra -128 e +127
 (255 valori in totale),
 L varia tra 0 e 100.

100L, 0a, 0b = **bianco**
 100L, -128a, 0b = **cyan**
 100L, 127a, 0b = **magenta**
 100L, 0a, -128b = **blu**
 100L, 0a, 127b = **giallo**
 0L, na, nb = **nero**



Rappresentazione del colore

Anche se l'occhio umano può percepire soltanto una piccola parte dello spettro elettromagnetico, si tratta pur sempre di vari miliardi di colori (teoricamente un numero infinito), un numero comunque maggiore di quello dei colori che possono essere riprodotti da un monitor, uno scanner o una stampante.

Come si è detto, ogni colore può essere rappresentato da una appropriata miscela dei tre **colori primari**, rosso (**R** = *red*), verde (**G** = *green*) e blu (**B** = *blue*), ma generare tutti i colori dello spettro non è possibile senza modificare anche le lunghezza d'onda dei colori primari.

I colori primari possono miscelati a due a due in modo da produrre i cosiddetti **colori secondari**: il magenta (**M**), miscela di rosso e blu, il ciano (**C** = *cyan*), miscela di verde e blu, e il giallo (**Y** = *yellow*), miscela di rosso e verde.

La miscela, nelle intensità appropriate, dei tre primari, o di un secondario e del primario opposto, produce luce bianca.

Esistono diversi metodi descrittivi del colore, ognuno legato ad un particolare ambito professionale, ma per rappresentare uno standard devono appartenere ad uno dei due tipi di sintesi:

- **sintesi additiva,**
- **sintesi sottrattiva.**

Si parla di sintesi additiva in riferimento ai colori primari della luce, e di sintesi sottrattiva in riferimento ai colori primari dei pigmenti, definiti tali se sottraggono (o assorbono) un primario della luce e riflettono (o trasmettono) gli altri due.

Sintesi additiva

La **sintesi additiva** utilizza come primari i colori di alcune luci fondamentali per costruire tutte gli altri. Questi colori sono il **rosso** (**R** = *red*), il **verde** (**G** = *green*) e il **blu** (**B** = *blue*) presenti nel mezzo e ai due estremi dello spettro della luce visibile.

Miscelati tra loro in proporzioni diverse è teoricamente possibile ottenere tutti i colori della gamma spettrale. Miscelati a due a due producono i colori secondari (o complementari). Miscelati tutti e tre producono il bianco. La sintesi additiva è quindi la ricomposizione della luce bianca per somma di radiazioni colorate di diversa lunghezza d'onda.

Blu + rosso = magenta.

Blu + verde = cyan.

Verde + rosso = giallo.

Due colori complementari danno come somma il bianco:

il magenta è complementare del verde,

il cyan è complementare del rosso,

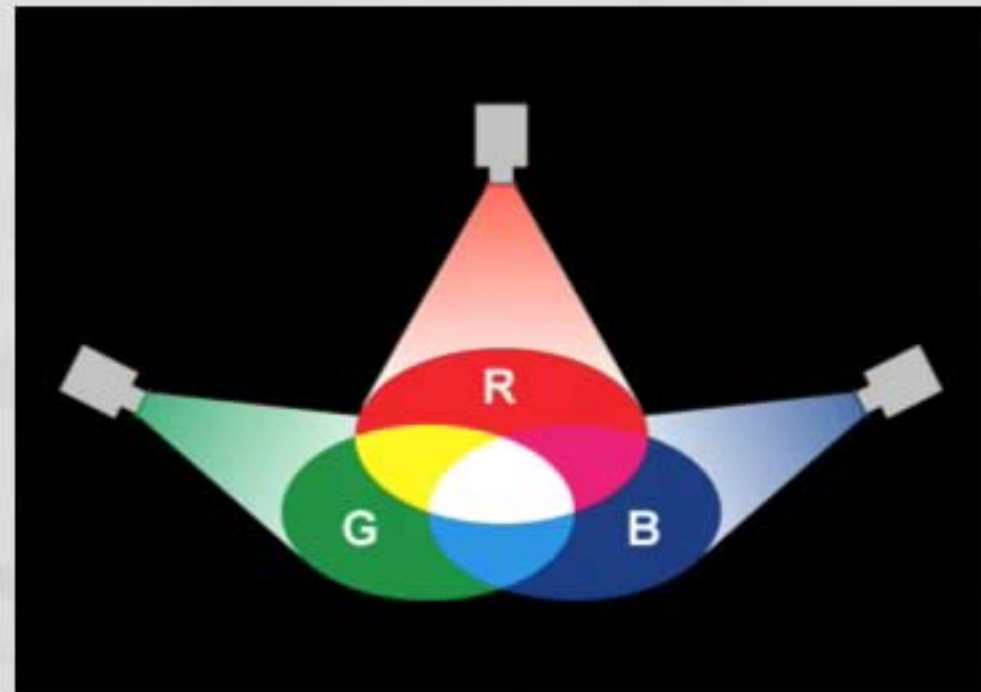
il giallo è complementare del blu.

Blu + rosso + verde = bianco.

Blu + giallo = verde + magenta

= rosso + cyan = bianco.

Assenza di luce = nero



Sintesi sottrattiva

Come si è detto una caratteristica della materia, e quindi dei pigmenti, è quella di assorbire in maniera selettiva solo alcune lunghezze d'onda della luce e di rifletterne le altre; il colore del pigmento è quindi determinato dalle radiazioni sottratte alla luce bianca. Per i pigmenti si parla quindi di **sintesi sottrattiva**.

I colori secondari della sintesi additiva diventano quindi i colori primari della sintesi sottrattiva. Questi colori sono: il **cyan (C)**, il **magenta (M)**, il **giallo (Y = yellow)**. Mescolando tra loro questi colori a due a due si ottengono i colori secondari R, G e B, e dalla somma di tutti e tre si ottiene il nero.

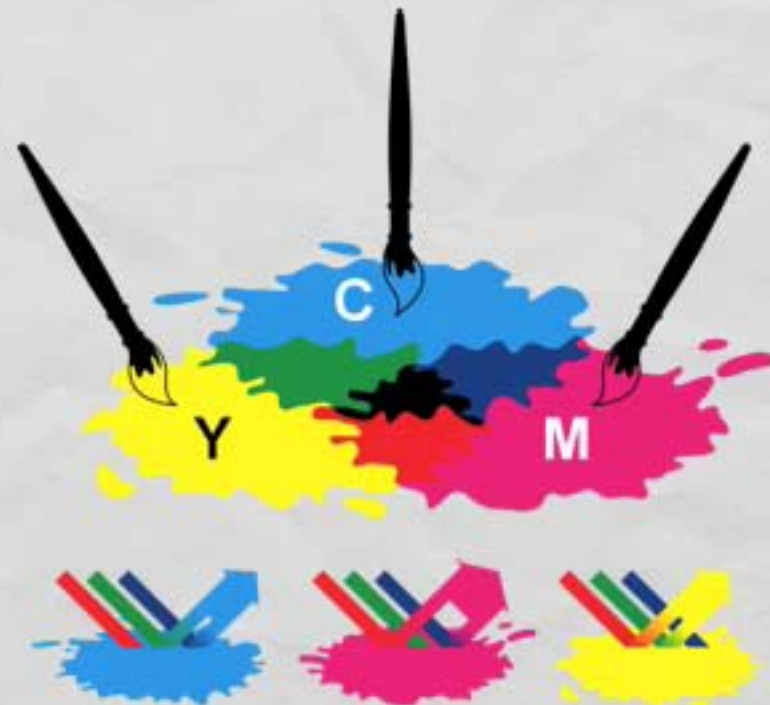
In sintesi sottrattiva il nero (teorico) è il risultato della totale sottrazione delle radiazioni colorate riflesse dai pigmenti.

Cyan + magenta = viola.
Cyan + giallo = verde.
Magenta + giallo = arancio.

Cyan + magenta + giallo = nero.
Viola + giallo = verde + magenta
= arancio + cyan = nero.

Continuando a combinare tra loro i colori si possono ottenere colori terziari, quaternari, ecc. fino a realizzare una gamma pressoché infinita.

Assenza di pigmento = bianco.



Spazio RGB e spazio CMYK

Lo **spazio colore RGB** (sintesi additiva) si propone come standard ideale per tutte quelle situazioni in cui il colore viene riprodotto utilizzando la luce. Fanno quindi riferimento allo spazio colore RGB, monitor, scanner, fototocamere e videocamere digitali, videotelefon, apparecchiature mediche di digitalizzazione; tutti strumenti che permettono di produrre o visualizzare immagini digitali.

La definizione dei colori in modalità RGB si avvale di una notazione digitale: un colore è definito da un byte (8 bit) di informazione, e quindi 256 valori possibili, per ogni componente primaria (R, G, B) per un totale di 24 bit che consentono di ottenere oltre 16,7 milioni di combinazioni.

255,0,0 = **rosso** ; 0,255,0 = **verde** ; 0,0,255 = **blu** ; 0,0,0 = **nero** ; 255,255,255 = **bianco** ;
255,255,0 = **giallo** ; 255,0,255 = **magenta** ; 0,255,255 = **cyan**

Gli inchiostri riflettono la luce anziché emetterla, trattenendo dalla luce incidente i colori in modo selettivo e operando una sorta di sottrazione di tonalità dalla luce bianca.

Lo **spazio colore CMYK** (sintesi sottrattiva) è lo standard utilizzato dai sistemi di stampa: stampanti, plotter, ecc. La gamma utilizzata dai sistemi di stampa utilizza anche un quarto colore, il nero, indicato con K (*key color* = colore chiave). Necessità indotta da motivi tecnici legati al problema di un'eccessiva copertura dell'inchiostro e dal fatto che il nero prodotto per somma di cyan, magenta e giallo, a causa delle impurità degli inchiostri, è di scarsa qualità.

Un colore definito in modalità CMYK deriva dalla somma percentuale delle componenti primarie (C, M, Y, K) per un totale del 400%. In realtà si usano 3 dei 4 primari per definire un colore in modo tale da non superare una copertura totale dell'inchiostro del 300%.

100C, 0M, 0Y, 0K = **cyan** ; 0C, 100M, 0Y, 0K = **magenta** ; 0C, 0M, 100Y, 0K = **giallo** ;
0C, 0M, 0Y, 100K = **nero** ; 0C, 0M, 0Y, 0K = **bianco** ; 100C, 100M, 0Y, 0K = **blu** ;
100C, 0M, 100Y, 0K = **verde** ; 0C, 100M, 100Y, 0K = **rosso**

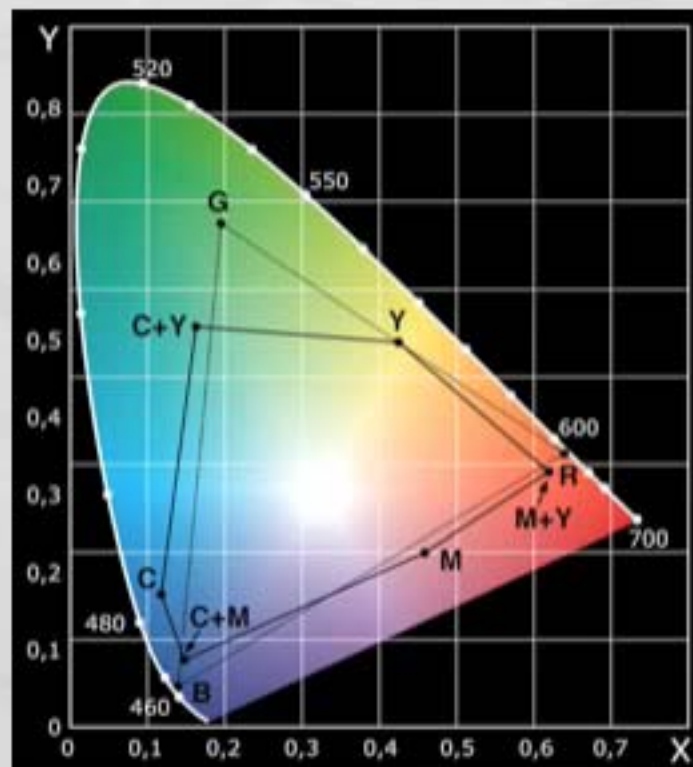
Spazio RGB e spazio CMYK

La gamma di colori dello spazio RGB è in realtà più limitata rispetto allo spettro visibile ma rimane comunque uno standard più che accettabile; normalmente un monitor a colori è in grado di riprodurre fino a 16,7 milioni di colori, un numero di gran lunga superiore a quello dei colori che l'occhio umano può percepire.

Anche la gamma di colori dello spazio CMYK è più limitata rispetto allo spettro visibile anche se permette di riprodurre a stampa un numero più che accettabile di colori. La gamma CMYK è più limitata anche di quella RGB.

In figura la comparazione tra i due spazi colore RGB (triangolo tratteggiato) e CMYK (esagono irregolare a tratto intero) rispetto al diagramma CIE. Come si può vedere, il numero di colori di entrambe le gamme è inferiore a quello contenuto nel diagramma CIE, significa che né lo spazio RGB, né quello CMYK sono in grado di rappresentare tutti i colori presenti in natura.

Si evince inoltre che la gamma RGB è più ampia di quella CMYK ma anche che la gamma CMYK non è completamente contenuta in quella RGB. Significa che molti colori RGB non potranno essere stampati (soprattutto molti verdi e i blu intensi) ma che esistono anche colori di stampa che non possono essere visualizzati a monitor. Problema non trascurabile per i grafici.

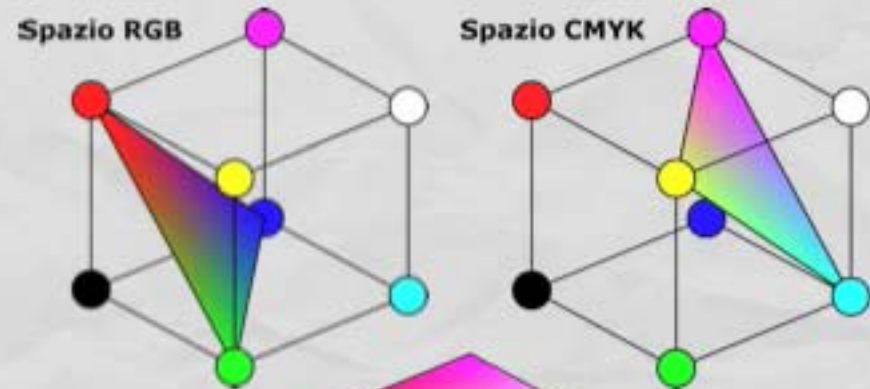
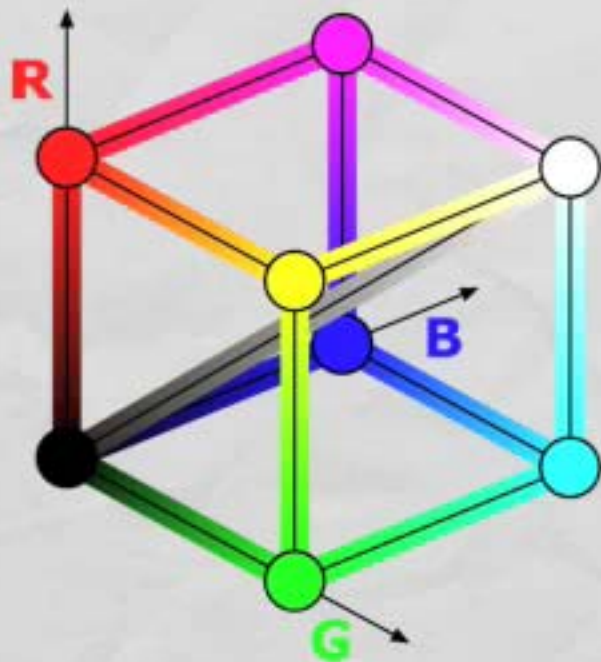


Modello RGB

La necessità di definire uno standard descrittivo del colore indipendente dalle caratteristiche dei dispositivi di visualizzazione o di stampa, basato sul concetto di *Osservatore Standard*, ha portato nel tempo alla definizione di diversi modelli cromatici.

Il **modello RGB** è definito mediante le intensità dei tre primari rosso, verde e blu associati ad un sistema di coordinate cartesiane che individuano uno spazio di riferimento dalla forma di un cubo di lato unitario.

Rosso, verde e blu definiscono vertici sugli assi, mentre ciano, magenta e giallo sono ai vertici opposti. Il nero si trova all'origine ed il bianco è al vertice opposto, la diagonale che li congiunge rappresenta la scala dei grigi.



Il cubo RGB è un solido che contiene colori sia sulla superficie che al suo interno.

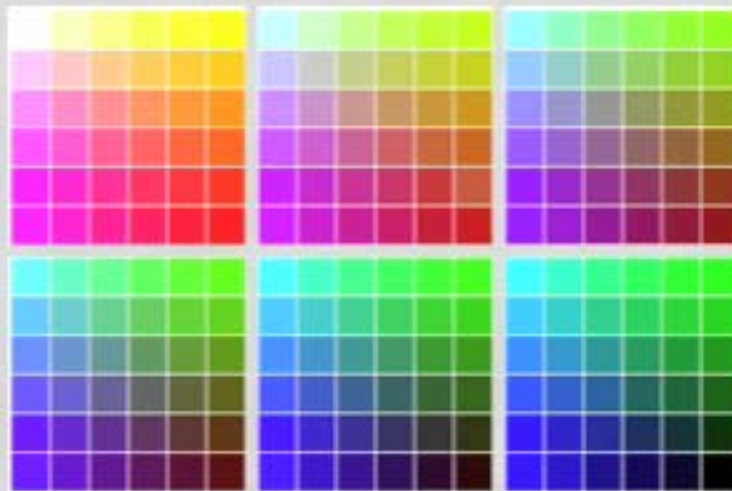


Modello RGB

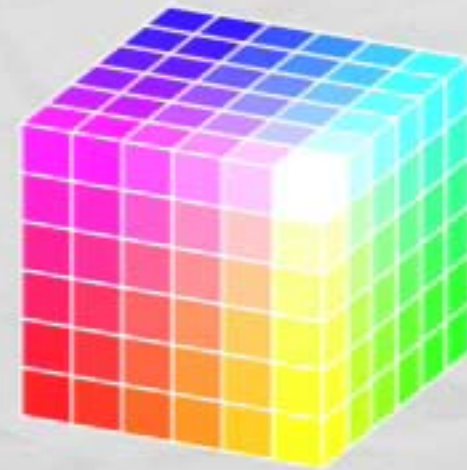
L'esistenza di dispositivi dalle differenti performance e la necessità di realizzare, in taluni casi, prodotti con un numero limitato di colori hanno indotto la necessità di standardizzare un certo numero di colori, al fine di garantirne la riproducibilità, indipendentemente dalle caratteristiche dell'hardware

Sono i **colori RGB sicuri** o **colori web sicuri** (*palette web safe*).

Si tratta di un set di **216 colori**. Per ciascuno di essi i valori di R, G e B possono essere soltanto 0, 51, 102, 153, 204, 255, equivalenti agli esadecimali 00, 33, 66, 99, CC, FF; le possibili triplette sono $6^3 = 216$.



Colori RGB sicuri presentati per valori RGB decrescenti: il quadrato in alto a sinistra (bianco) vale FFFFFFFF (esadecimale), quello in basso a destra (nero) vale 0. Ogni blocco contiene 36 colori con R costante (FF nel primo blocco, CC nel secondo, ecc.) e mentre variano G (tra le righe) e B (tra le colonne).



Cubo dei colori RGB sicuri.

Modello RGB

Come si è visto la palette dei colori RGB sicuri esprime i nomi dei colori in base esadecimale con una stringa di 6 cifre, che possono essere lettere o numeri, precedute dal simbolo #. La notazione esadecimale permette di rappresentare numeri come il 255 con due sole cifre anziché tre come nel sistema decimale. In questo modo delle sei cifre della stringa, la prima coppia esprime sempre la quantità di rosso, la seconda la quantità di verde e la terza la quantità di blu che compongono il colore.

In base esadecimale è possibile disporre di 16 cifre, anziché 10, per poter comporre i numeri. Per far questo è necessario introdurre lettere al posto dei numeri dopo il numero 9 come mostra la tabella seguente.

Base decimale	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Base esadecimale	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

In un qualsiasi numero il valore della cifra è determinato dal posto che occupa. Per esempio, il numero 45, in base decimale, è formato da 4 decine e 5 unità e quindi: $(4 \times 10) + 5 = 45$. Lo stesso numero in base esadecimale sarebbe formato da 4 «sedicine» e 5 unità e quindi espresso come decimale diventerebbe: $(4 \times 16) + 5 = 69$.



Il colore rosso sarà quindi: 255, 0, 0 in base decimale, #FF0000 in base esadecimale.

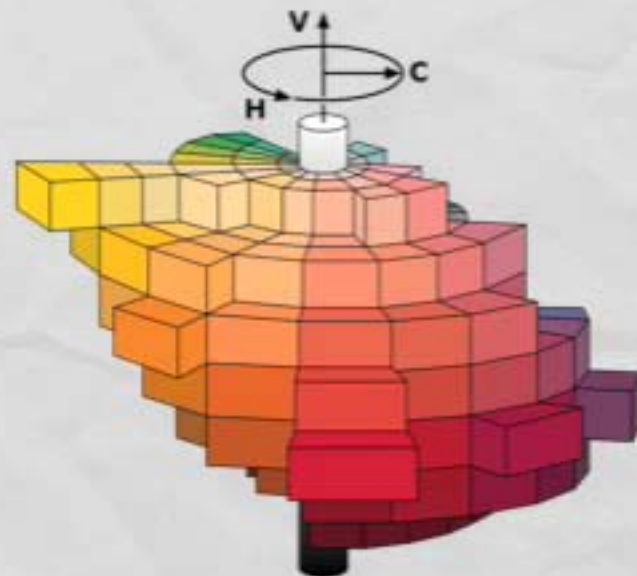
Sistema colore Munsell

Il **Sistema di colore Munsell** fu proposto nel 1905 dalla *American A.H. Munsell* e poi perfezionato nel 1943. Definisce tre attributi di colore: **H** (*hue* = tonalità), **C** (*chroma* = saturazione) e **V** (*value* = luminosità) e descrive 1488 colori.

La tonalità è divisa in cinque colori di base: rosso (R), giallo (Y), verde (G), blu (B) e porpora (P), con una ulteriore suddivisione tra ciascun colore che produce 10 gradazioni. La luminosità è definita in 11 intervalli tra bianco e nero; la saturazione (o purezza) è suddivisa in 15 gradazioni.

I colori nel sistema di Munsell sono descritti con gruppi di tre simboli.

Ad esempio, un rosso brillante è 5R 4/14, dove:
 5R = tonalità,
 4 = luminosità,
 14 = saturazione.



Sistema NCS

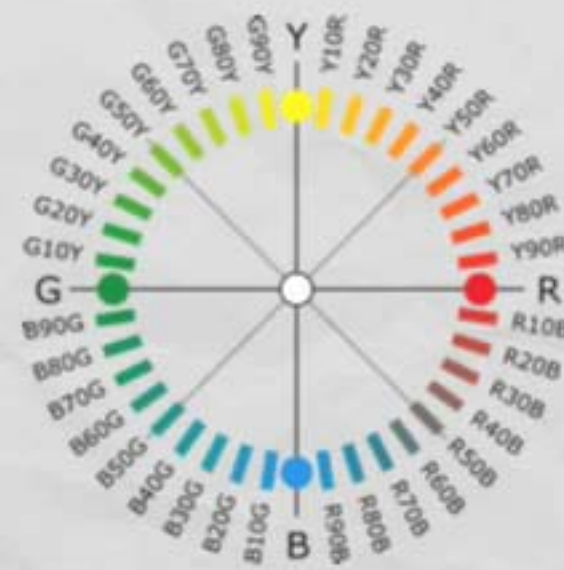
Il **Sistema NCS** (*Natural Color System*) è un sistema cromatico di tipo percettivo, proprietario pubblicato dall'*Istituto Scandinavo dei Colori di Stoccolma* (1950) in grado di definire oltre 10 milioni di colori.

Il Sistema NCS è basato su sei colori identificati come fondamentali dall'occhio umano: il bianco (**W**), il nero (**S**), il giallo (**Y**), il rosso (**R**), il blu (**B**) e il verde (**G**). La notazione NCS si basa sul confronto tra un colore e i sei colori fondamentali o elementari.

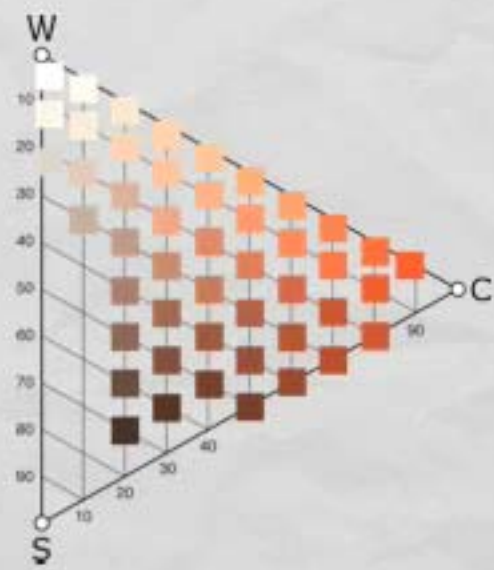
Lo **Spazio del Colore NCS** è descrivibile con un modello tridimensionale dalla forma di un doppio cono dal quale derivano due modelli bidimensionali, che ne rappresentano le sezioni: il **Cerchio dei Colori NCS** e il **Triangolo dei Colori NCS**.



Spazio colore NCS



Cerchio dei colori NCS



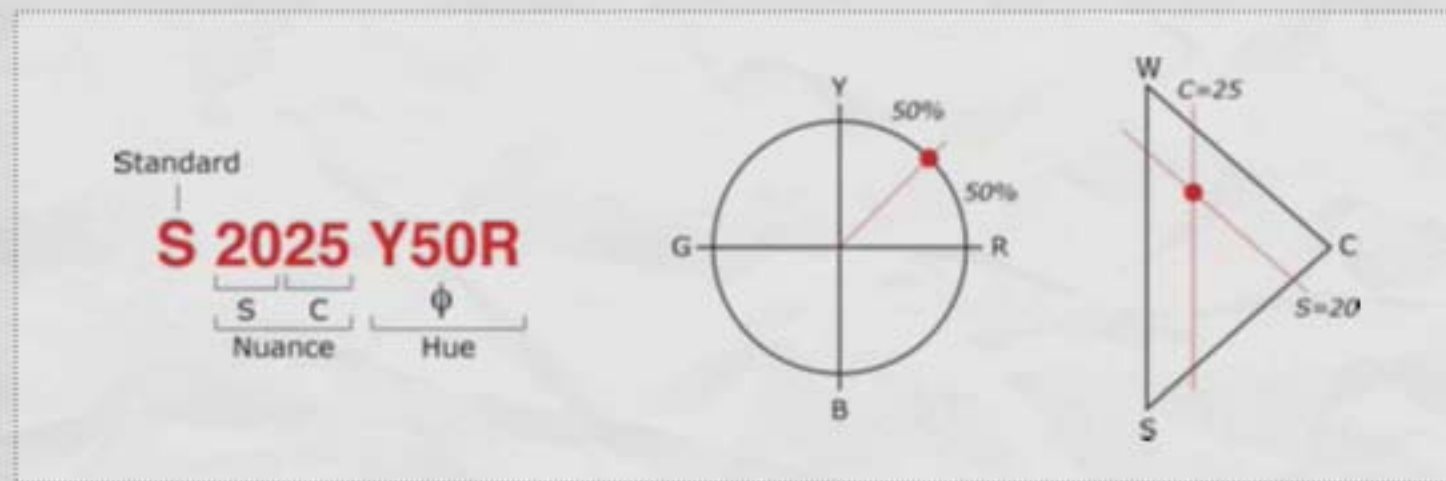
Triangolo dei colori NCS

Sistema NCS

Il Cerchio dei Colori NCS è una sezione orizzontale mediana dello Spazio del Colore NCS e rappresenta nei suoi quattro punti cardinali i quattro colori elementari Y, R, B e G. Ognuna delle quattro aree comprese tra i colori elementari è suddivisa in 10 parti uguali.

Il Triangolo dei Colori NCS è una sezione verticale dello Spazio del Colore NCS. La base del triangolo rappresenta la scala dei grigi che va dal bianco (W) al nero (S) e il vertice del triangolo rappresenta la massima saturazione (**C** = chroma) di una particolare tonalità (Φ = hue). L'area del triangolo contiene le **nuance** di una stessa tonalità di colore cioè i suoi diversi gradi di luminosità (o nerezza) e saturazione (o cromaticità).

Nella notazione NCS un colore si indica con una sigla. Nell'esempio a fianco, 2025 indica la nuance, cioè il grado di somiglianza con il nero (S) e con la massima cromaticità (C); in questo caso la nerezza (S) è del 20% e la cromaticità (C) è del 25%. Y50R si riferisce alla tonalità (Φ) e indica la somiglianza in percentuale del colore a due colori elementari adiacenti, in questo caso, Y e R. Y50R indica un giallo con un 50% di rosso. La lettera S iniziale indica che il campione NCS è Standard.



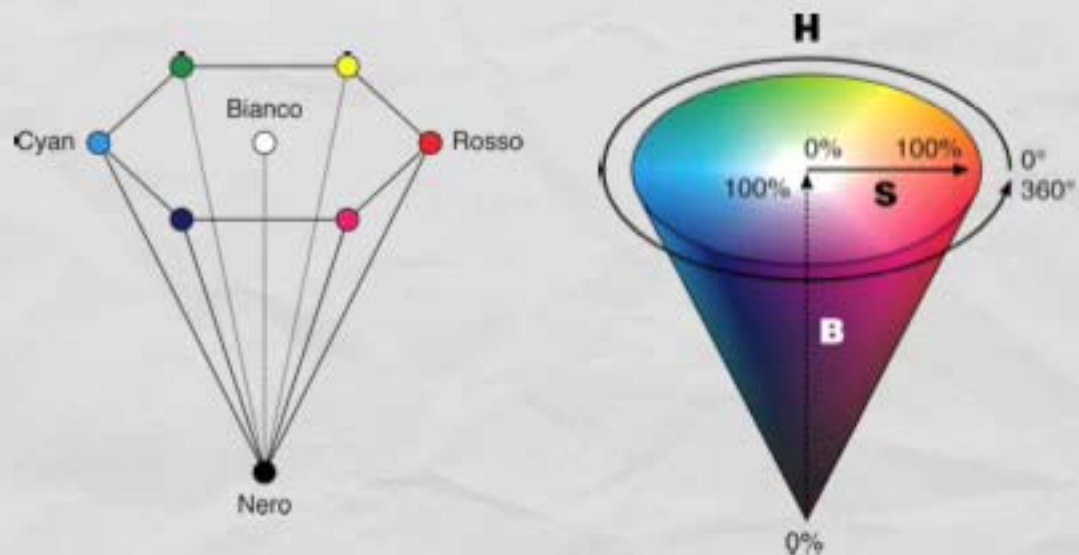
I colori grigi neutri sono privi di tonalità ($C = 0$) e sono determinati solo dalla nuance seguita da -N, in quanto colore neutro. 0300-N è il bianco, 0500-N, 1000-N, 1500-N sono grigi via via più scuri, 9000-N è il nero.

Modello HSB

Il **Modello HSB** (o HSV) si basa sugli attributi di **luminanza** (**B** = *brightness*) e di **chrominanza**, quest'ultima distinta in **tinta** (**H** = *hue*) e **saturazione** (**S** = *saturation*). È rappresentato da un solido piramidale a base esagonale (o a cono) rovesciato caratterizzato da due coordinate lineari (B ed S) ed una angolare (H).

H si esprime in gradi e misura l'angolo di rotazione antioraria rispetto all'asse verticale B partendo dal rosso a (0°).
 B varia tra 0%, vertice della piramide (nero), e 100%, base della piramide (bianco).
 S varia da 0% (sull'asse B) a 100% (sulla superficie della piramide)

La scala dei grigi è rappresentata dall'asse B.
 Per $S = 0\%$, il colore è sempre grigio, più o meno scuro dipendentemente dal valore di B.
 Per $B = 0\%$, il colore è sempre nero indipendentemente dai valori di H e di S.

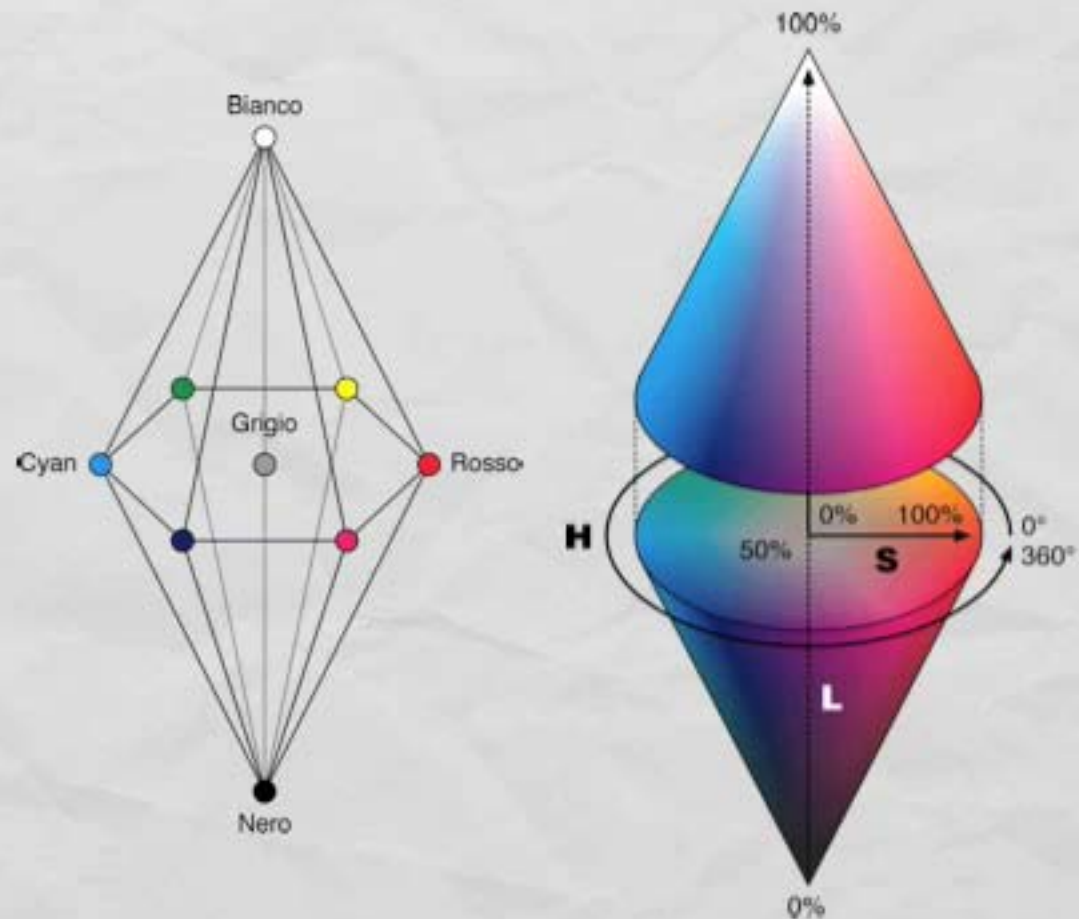


Modello HLS

Il **Modello HLS** si basa sugli attributi di **luminosità** (**L** = *lightness*), **tonalità** (**H** = *hue*) e **saturazione** (**S** = *saturation*).

È rappresentato da una doppia piramide a base esagonale (o doppio cono) caratterizzata da due coordinate lineari (L ed S) ed una angolare (H).

H si esprime in gradi e misura l'angolo di rotazione antioraria rispetto all'asse verticale L partendo dal rosso a (0°).
 L varia tra 0%, vertice inferiore della bipiramide (nero), e 100%, vertice superiore della bipiramide (bianco).
 S varia da 0% (sull'asse L) a 100% (sulla superficie della piramide)
 La scala dei grigi è rappresentata dall'asse L.
 Per $S = 0\%$, il colore è sempre grigio, più o meno scuro dipendentemente dal valore di L.
 Per $L = 0\%$, il colore è sempre nero, per $L = 100\%$ il colore è sempre bianco, indipendentemente dai valori di H e di S.



Rappresentazione del colore

I programmi per il trattamento delle immagini si riferiscono ai modelli di colore finora descritti. Segue il selettore di colore di Photoshop® CS3.

The image shows the Photoshop CS3 Color Picker dialog box. It features a large color field on the left, a vertical hue slider in the center, and a color swatch on the right. Below the swatch are input fields for different color models: HSB (H: 195°, S: 76%, B: 87%), RGB (R: 54, G: 180, B: 222), and CMYK (C: 69%, M: 6%, Y: 4%, K: 0%). There are also fields for Lab (L: 68, a: -25, b: -31) and a hex code field containing #36b4de. A 'Solo colori Web' checkbox is at the bottom left. Buttons for 'OK', 'Annulla', and 'Librerie colori' are on the right. Red labels with lines pointing to specific parts of the dialog identify: 'Selettore manuale' (the color field), 'Modalità HSB' (the HSB input fields), 'Modalità Lab' (the Lab input fields), 'Spazio CMYK' (the CMYK input fields), 'Palette colori web sicuri' (the 'Solo colori Web' checkbox), 'Notazione esadecimale' (the hex code field), and 'Spazio RGB' (the RGB input fields).

© Prof. Andrea Pizzirani

I testi e i disegni di questa lezione sono di proprietà dell'Autore
e non possono essere copiati o diffusi al di fuori del contesto didattico
a cui sono destinati senza il suo consenso scritto.

Aprile 2008