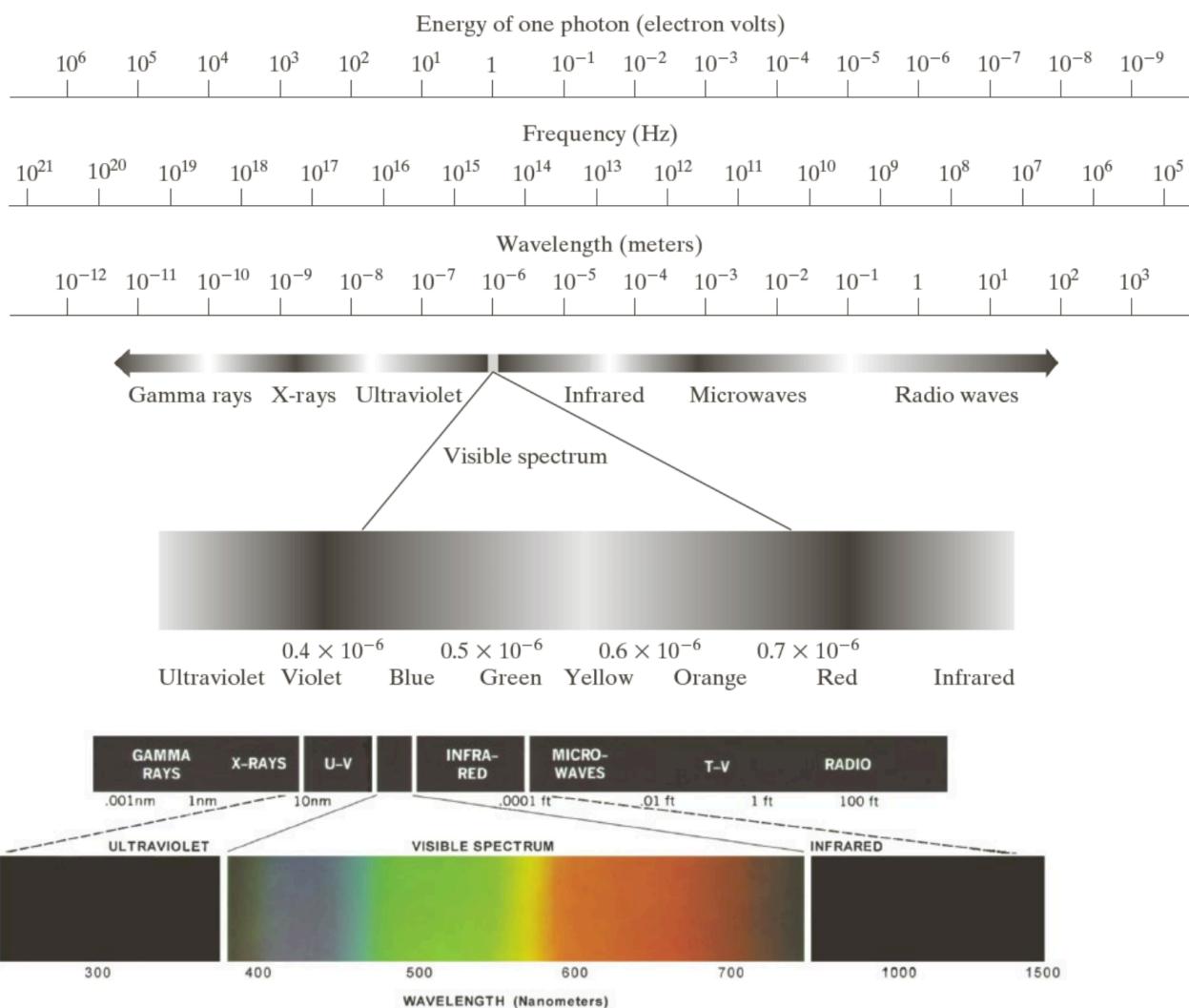


Nel '600 Isaac Newton scoprì attraverso l'esperimento del prisma di vetro che se fatto passare un raggio di luce bianca, essa si scomponeva in tutti i colori fondamentali. Facendo un passo indietro andiamo ad analizzare lo spettro elettromagnetico.

Il nostro occhio percepisce solo parte di questo spettro: dopo il rosso non percepiamo nulla e idem dopo l'ultravioletto; notiamo quindi che questa porzione è particolarmente piccola.



Notiamo come le sei regioni non sono tutte della stessa dimensione, e in particolare notiamo come esse degradano verso l'altro colore. Tendenzialmente il violetto e il blu vengono accorpati insieme, idem per verde e giallo e infine arancione e rosso -> RGB (*notiamo però come in realtà l'ordine sia al rovescio ovvero, BGR*).

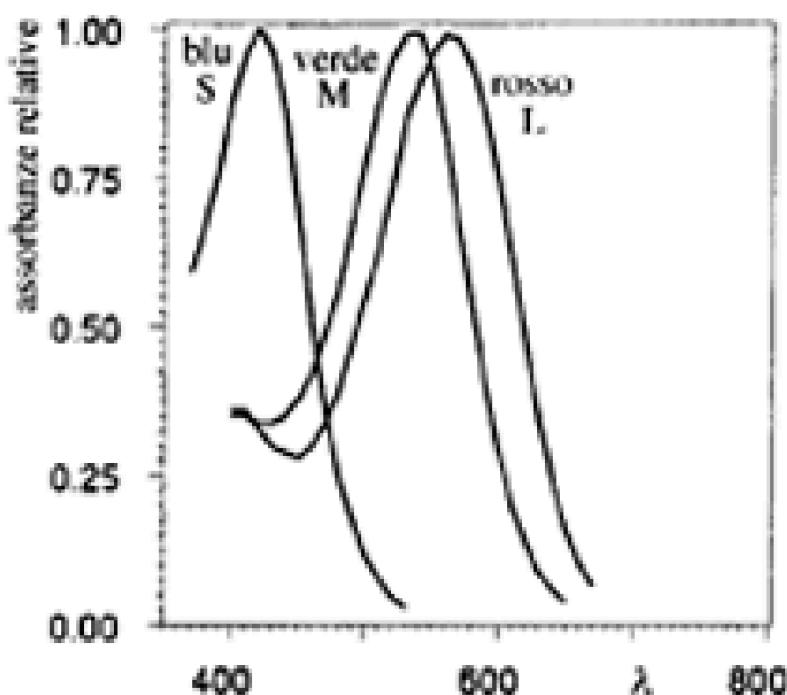
Spettro di assorbimento dei coni

Riprendendo il concetto visto in [07 - Occhio umano, lente sottile e sua equazione](#) i coni sono i responsabili per la visione del colore e sono di tre tipi:

- **Tipo S** -> responsabili della visione delle onde corte (**Short**, bluastri)
- **Tipo M** -> responsabili della visione delle onde medie (**Medium**, verdastri)

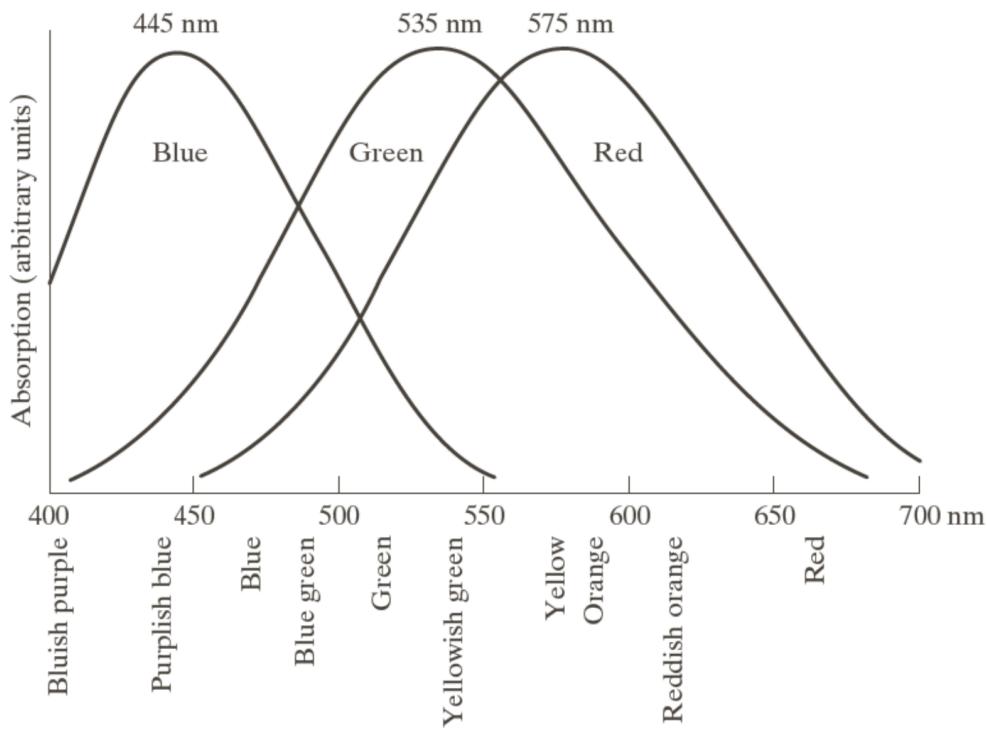
- **Tipo L** -> responsabili della visione delle onde lunghe (**Long**, rossastri)

Se volessimo rappresentare graficamente il modo di assorbire il colore da parte dei coni, lo possiamo vedere attraverso questa funzione matematica:



E qui si apre la teoria del **tristimolo**: unendo tutti i tre colori (RGB) si possano ottenere tutti i colori. Questa teoria in base al suo enunciato può essere vera o falsa, difatti può essere vera solo se si considera che il colore non abbia solo una lunghezza d'onda.

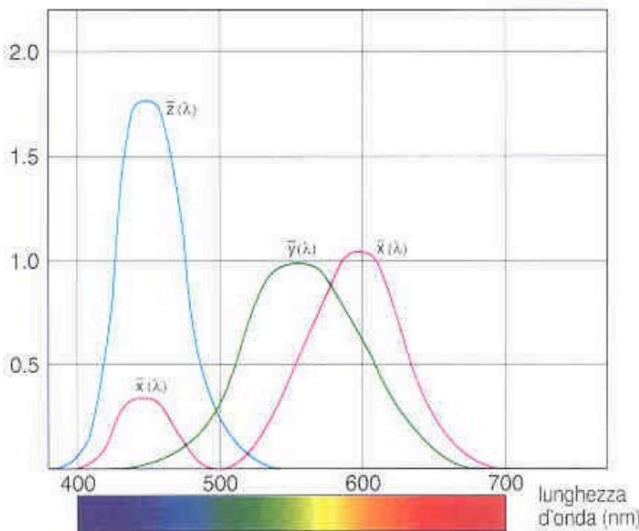
Tramite gli standard CIE possiamo considerare tutti i range di misura per i vari colori.



La percezione del colore varia rispetto a molteplici fattori che influenzano la vista dell'oggetto, come la luce ambientale, il colore stesso dell'oggetto e quanto è distribuito in esso, la differenza dello sfondo rispetto all'oggetto (che quindi lo fa risaltare più o meno).

Sensibilità spettrale dell'occhio umano

Vediamo attraverso questo grafico la sensibilità spettrale dell'occhio assumendo per il teorema tristimolo X, Y, Z :



I valori verranno ricavati calcolando l'area sottostante alle curve, in particolare stiamo considerando l'intersezione tra il cono del colore e il colore dell'oggetto stesso:

$$X = \int_{300}^{780} L_{e,\lambda} \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{300}^{780} L_{e,\lambda} \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{300}^{780} L_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{300}^{780} L_{e,\lambda} \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Da qui qualche esempio grafico di illuminanti più comuni:

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

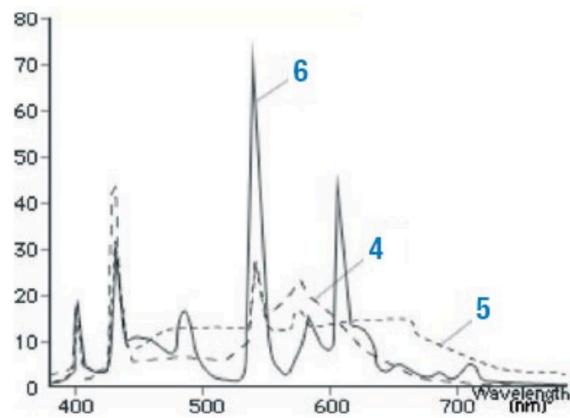
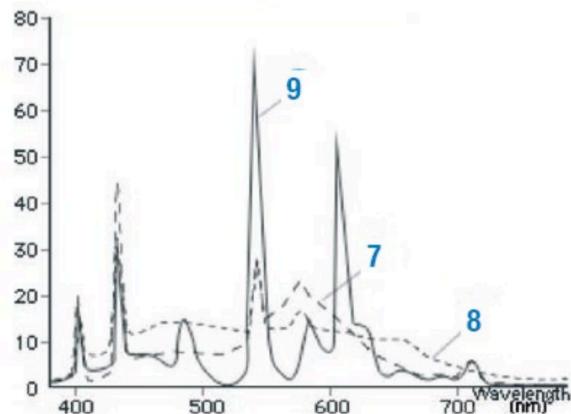


Figure 22c: Fluorescent Illuminants
 (recommended by CIE for measurements)
7 F2: Cool white
8 F7: Daylight
9 F11: Three narrow band cool white

L'angolo di visione partecipa molto al risultato finale, vediamo infatti un grafico che mostra la variazione della curva rispetto all'angolo di visione, lo standard è variato da 2° a 10 a partire dagli anni '60.

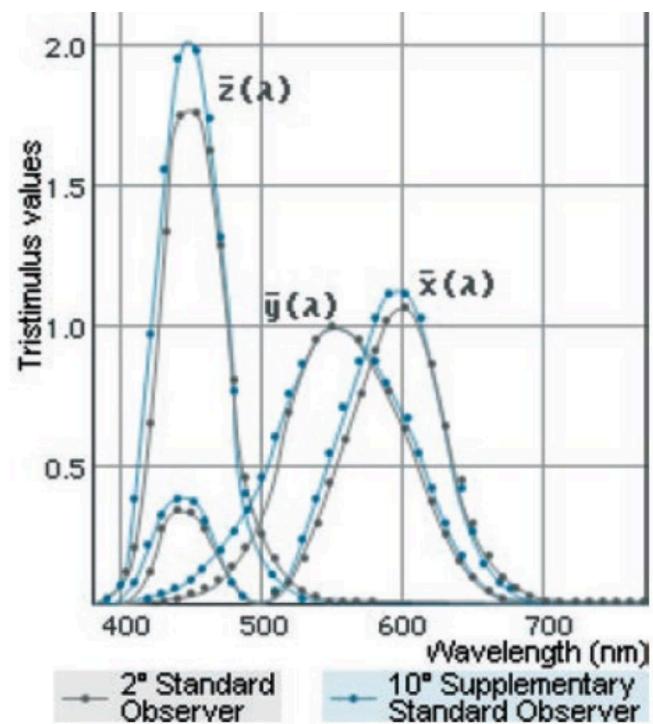
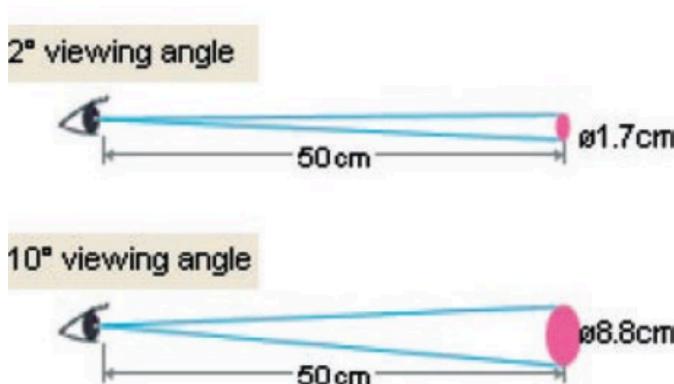
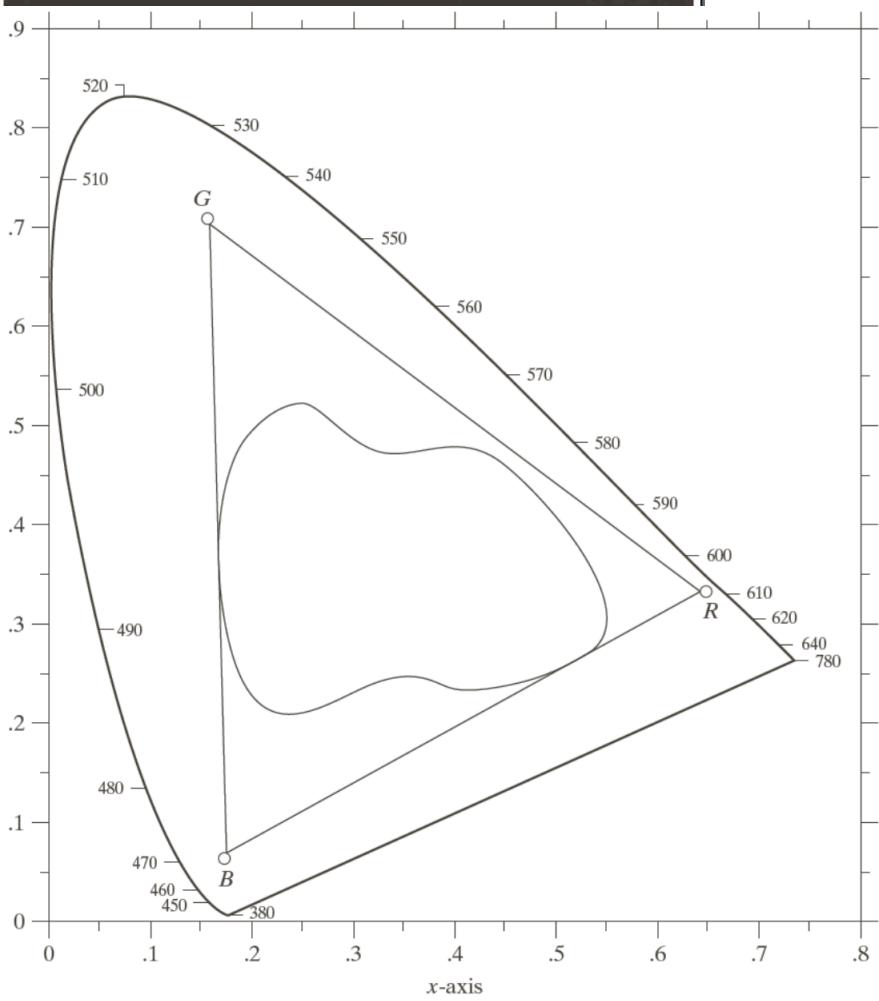
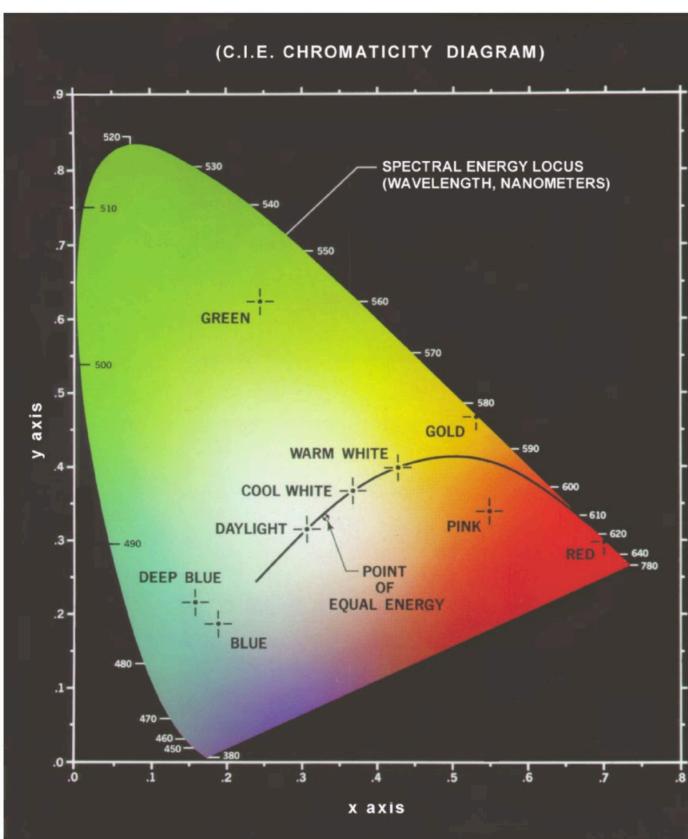


Diagramma cromatico CIE

Inoltre possiamo rappresentare tutto il diagramma cromatico attraverso questo grafico, dove:

- X è la quantità di rosso
- Y è la quantità di verde
- Z è la quantità di blu ottenuta come $Z = 1 - (x + y)$

La sua forma è simile a un triangolo dove verso i vertici sono posti i colori puri, e al centro tutti i colori si riuniscono in un'area bianca. Nella seconda immagine, la sezione informe all'interno del triangolo viene definita **color gamut** ed è il range dei colori **stampabili**, sono in quantità minore poiché il metodo di visualizzazione del colore è differente (**additivo** contro **sottrattivo**).



Spazi colore CIELAB

Il difetto principale degli spazi colore **CIE** è proprio il fatto di non essere **percettivamente uniformi**, ciò implica la seguente:

In altre parole, dati due colori C_1 e C_2 , consideriamone le distanze ΔC , rispettivamente, dal colore $C_3 = C_1 + \Delta C$ e dal colore $C_4 = C_2 + \Delta C$. Supponendo che le due distanze siano quantitativamente uguali, sarebbe desiderabile che i due colori C_3 e C_4 fossero percepiti come ugualmente distanti da C_1 e C_2 . Dato che il sistema non è percettivamente uniforme, in generale le due distanze, benché uguali, saranno percepite come differenti.

Da ciò ne segue che CIE ha creato due nuovi spazi colori che risolvono questo problema:

- CIE L^{*}U^{*}V^{*}
- CIE L^{*}A^{*}B^{*}

Otteniamo la metrica CIELAB come:

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

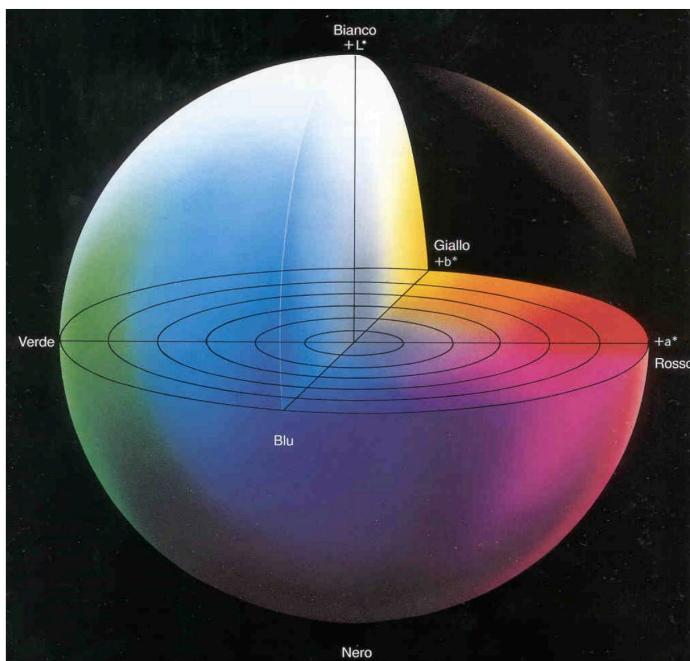
In particolare la metrica CIELAB è **percettivamente uniforme** e le tre componenti che lo caratterizzano sono in ordine:

- L^{*} -> **Luminanza**
- a **e** b -> **crominanza**
- Inoltre L^{*}, a **e** b sono **trasformazioni del tristimolo** in particolare di X, Y, Z

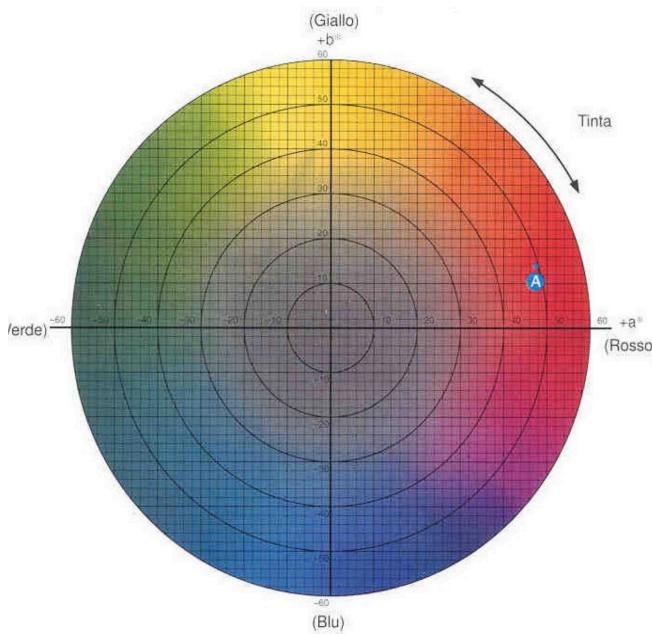
La distanza tra i punti rappresenta la distanza di percezione del colore, eguale distanza significa quindi eguale percezione. Un grande vantaggio per questo spazio colore.

Spazio colore CIE L^{*}a^{*}b^{*}

Vediamo ora la rappresentazione grafica di questo spazio colore, esso non è altri che una sfera dove la L rappresenta la luminosità e i suoi valori hanno un range da 0 (bianco) a 100 (nero). Come già detto a e b^{*} rappresentano le coordinate di cromaticità.



Notiamo come la sfera non lo è realmente, bensì potremmo considerarla un **geoide** per essere precisi. Tagliando a coordinata $L^* = 50$ otteniamo il **piano cromatico** che ci permette di vedere con maggiore chiarezza la distribuzione del colore:



Spazio colore CIE L*C*h*

In maniera simile allo spazio colore precedente, qui prendiamo come riferimento il piano cromatico direttamente, in questo caso il chroma viene calcolato attraverso la variazione di angolo a partire dal valore del rosso puro, seguendo in senso antiorario, l' h^* rappresenta invece l'angolo effettivo di **hue**.

Avremo quindi le seguenti formule per chroma e hue:

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

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

Vediamo quindi graficamente:

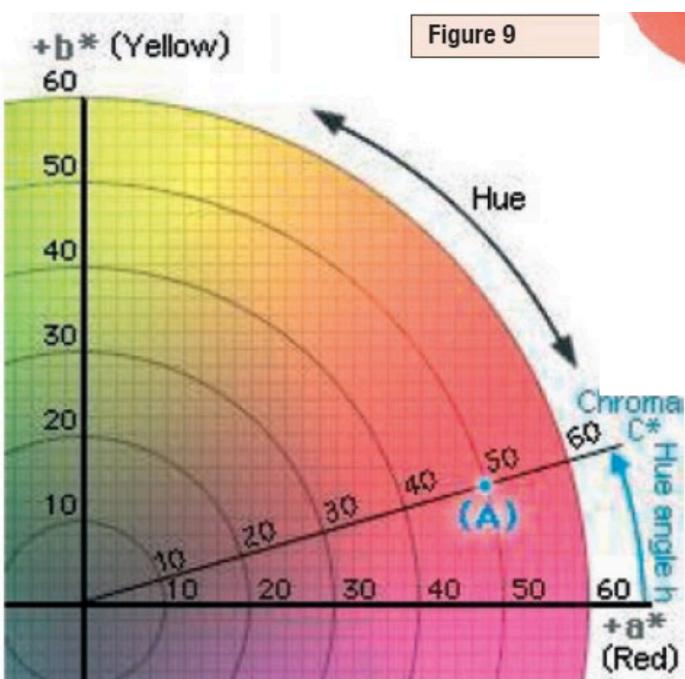
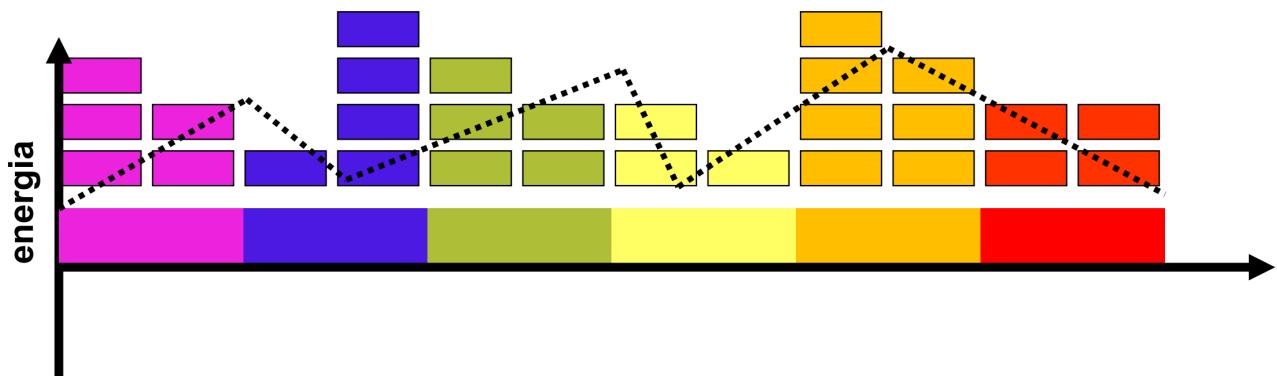


Figure 9

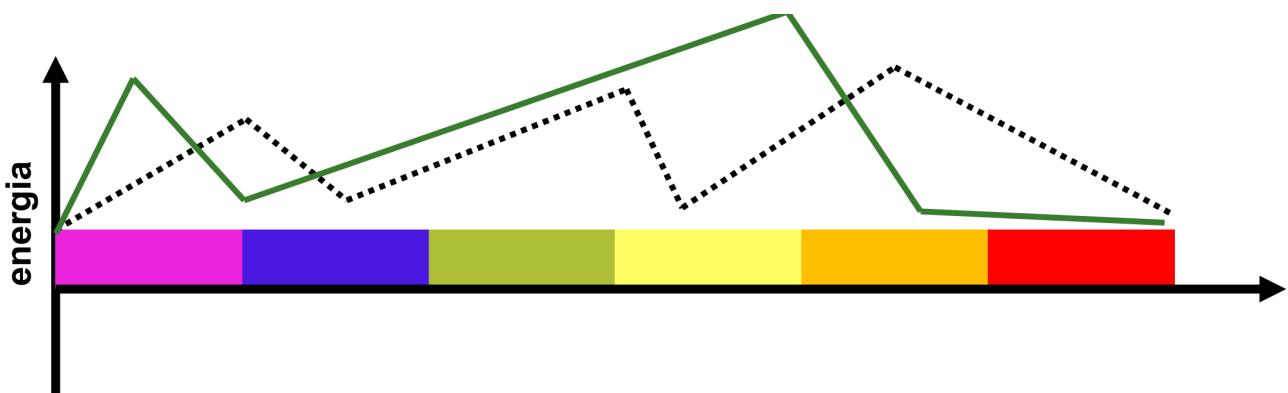
Modello del pittore

Ogni lunghezza d'onda trasporta diverse quantità di energia, la somma totale della radiazione è la somma di tutti i contributi di energia di tutte le lunghezze d'onda.

- Lo **spettro di un illuminante** è il diagramma che mostra tutti i contributi di energia per le varie lunghezze d'onda.



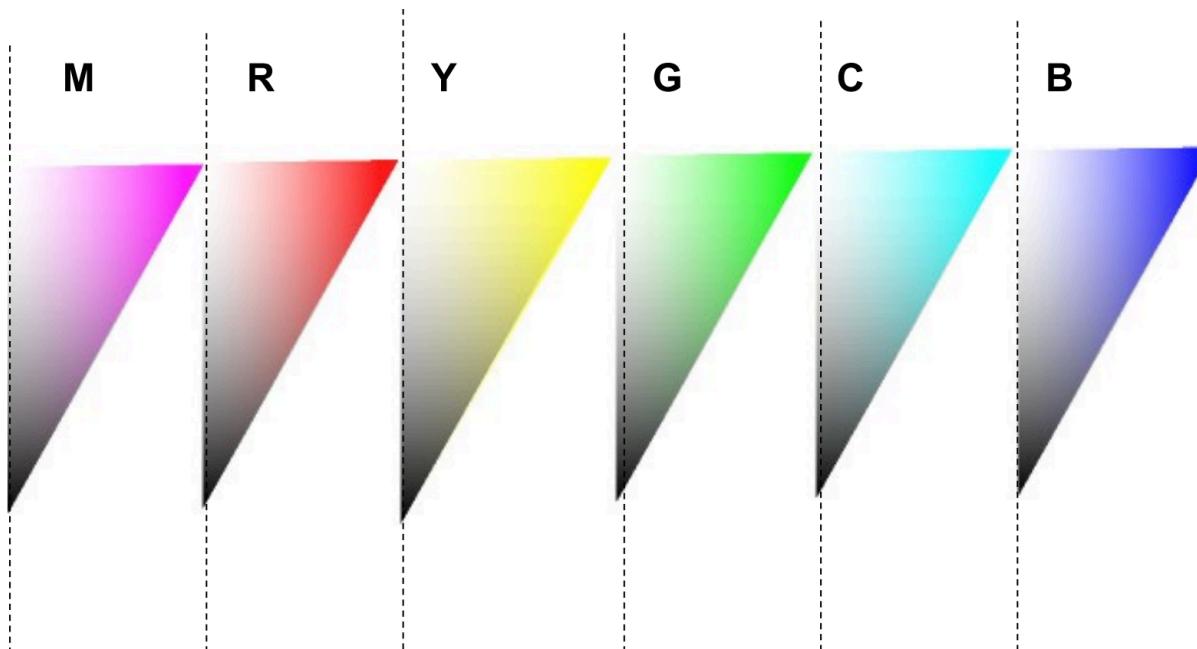
In questo schema vediamo una visualizzazione idealizzata ma efficace, più spettri possono produrre colori uguali, coloro che godono di questa proprietà sono definiti **metameri**.



Vediamo inoltre come ogni spettro ha un picco, che generalmente consiste nel **colore percepito** che chiameremo **epicco**, oltre all'epicco troviamo l'**emedia** che rappresenta il valore medio della nostra onda.

Il rapporto $\frac{\text{epicco} - \text{emedia}}{\text{epicco} + \text{emedia}}$ rappresenta la **saturazione**, possiamo dire inoltre che emedia può essere considerata come la "luminosità" di una radiazione (detto anche **valore**) quindi emedia da un contributo di **bianco** al colore.

Andando a schematizzare il concetto, ne ricaviamo un triangolo detto **modello del pittore**:

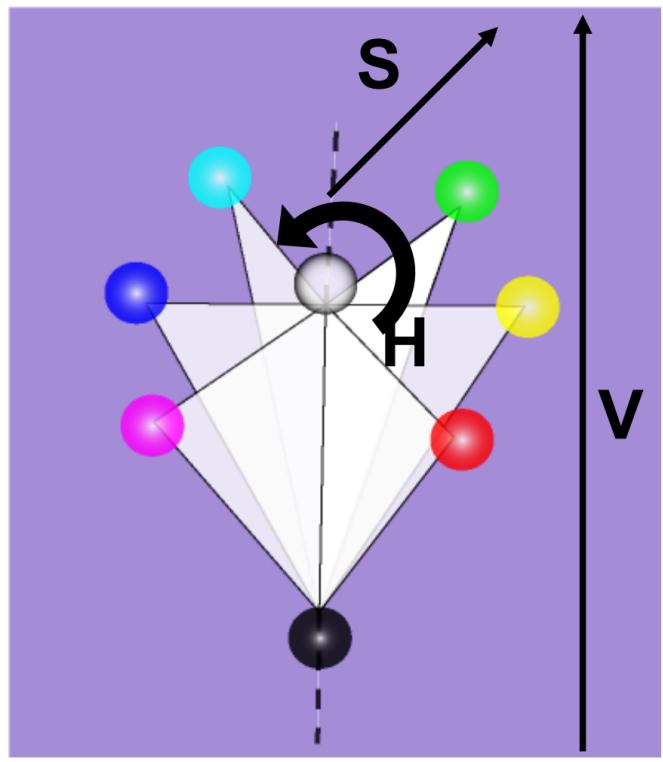


Notiamo come la linea tratteggiata rappresenta la stessa scala di grigi per tutti i colori.

Spazio colori HSV

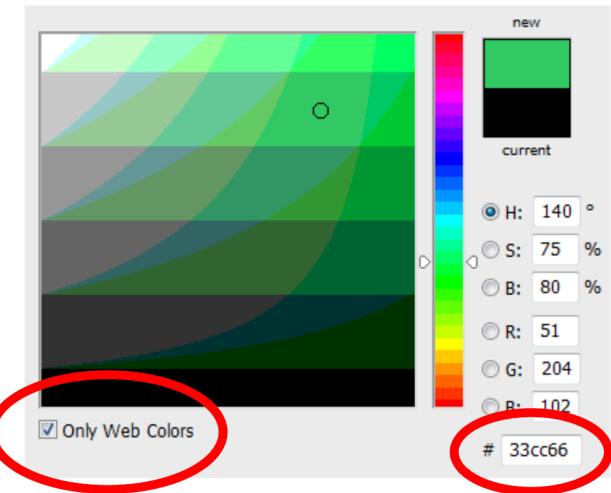
Dal concetto del modello del pittore possiamo unire tutti i modelli e "incollarli" insieme in una girandola creando così un nuovo spazio colore, l'**HSV** dove:

- **H = Hue (colore)**: Copre tutti i colori ordinati in sequenza.
- **S = Saturazione**: Da un minimo (centro), bianco puro, ai bordi -> colore puro.
- **V = Valore o luminosità**: Da un minimo (nessuna energia ammessa) a un massimo.



Colori sicuri per il web

Nota interessante, su Photoshop si possono convertire i colori da un campo RGB a un campo HSV, inoltre tendenzialmente i colori sono definiti da numeri in esadecimale che descrivono le singole componenti di colore.



Nell'esadecimale le cifre sono **uguali a due a due** questo ci permette di avere una resa cromatica uniforme ovunque, e infatti vengono presi a saltare.

Da tutti i 16 milioni di colori rappresentabili in realtà di utilizzabili ne troviamo soltanto 216, questo però permette di non avere una rappresentazione errata del colore da parte dei display.

Spazio di colore YUV

Non è un solo spazio colore ma bensì una famiglia, fa parte degli spazi colori che distinguono luminanza e crominanza.

È possibile convertire da RGB a YUV con la seguente formula:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

Con questa formula otteniamo l'immagine in **scala di grigi** reale, difatti le tre componenti sono distribuite in maniera **non uniforme**:

- 30%~ al rosso
- 59%~ al verde
- 11%~ al blu

U e V sono invece:

$$U = 0.564(B - Y)$$

$$V = 0.713(R - Y)$$

In queste due formule c'è il segno meno, mentre in Y solo il segno più, ciò significa che Y può assumere solo valori positivi mentre U e V possono assumere anche valori negativi, creando problemi nella visualizzazione del colore a meno di uno riscalaggio su range positivi.

Notiamo dunque due esempi, uno di luminanza e uno di crominanza:



Immagine RGB

$$Y = a \text{ } R + b \text{ } G + c \text{ } B$$

$$a = .3$$

$$b = .6$$

$$c = .1$$



Canale LUMINANZA



Da YUV a YC_bC_r

Per evitare che si abbiano dei valori negativi è stato creato questo nuovo spazio colore, con le seguenti formule:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$C_b = U + 128$$

$$C_r = V + 128$$

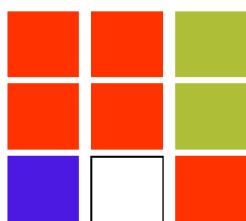
C_b sarà dunque la crominanza del blu e C_r quella del rosso.

Questo spazio è usato nel formato JPEG.

Colori e memoria

Nella memoria andiamo a rappresentare i colori con uno schema del tipo:

- 8 bit per il rosso, 8 bit per il verde, 8 bit per il blu = 24 bit



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

L'idea è quindi questa per l'immagazzinamento in memoria.

Su Windows è possibile creare palette personalizzate ma vengono usate delle palette standard, questo permette di inviare soltanto la lista degli indici per poi essere ricreate dal sistema.