




PROGETTAZIONE E PRODUZIONE MULTIMEDIALE

**Prof. Alberto Del Bimbo
Dip. Sistemi e Informatica
Univ. degli Studi di Firenze**

INTRODUCTION - Part II



I B – Color Images

- 
- **Per poter rappresentare una immagine in un sistema digitale l'immagine deve essere sottoposta ad un processo di discretizzazione nello spazio (campionamento) e nel colore (quantizzazione).**
 - **Campionamento: dividere l'asse orizzontale (larghezza immagine) e quello verticale (altezza immagine) in elementi discreti (pixel).**
 - **Quantizzazione: discretizzazione della gamma di colori:**
 - 8 bit -> 256 possibili colori**
 - 24 bit -> 16.7 milioni di possibili colori**

Color



- Colore: effetto percepito quando un'onda elettromagnetica colpisce alcune strutture del nostro sistema visivo. La luce è un'onda elettromagnetica.
- Da un punto di vista percettivo, gli esseri umani sono in grado di percepire la luce quando la lunghezza dell'onda elettromagnetica è compresa tra 350nm - 780nm (sopra i 780nm si trovano gli infrarossi e sotto i 350nm si trovano gli ultravioletti).
- Lo spettro del visibile corrisponde quindi alle frequenze comprese tra 384THz - 857THz.

RADIO

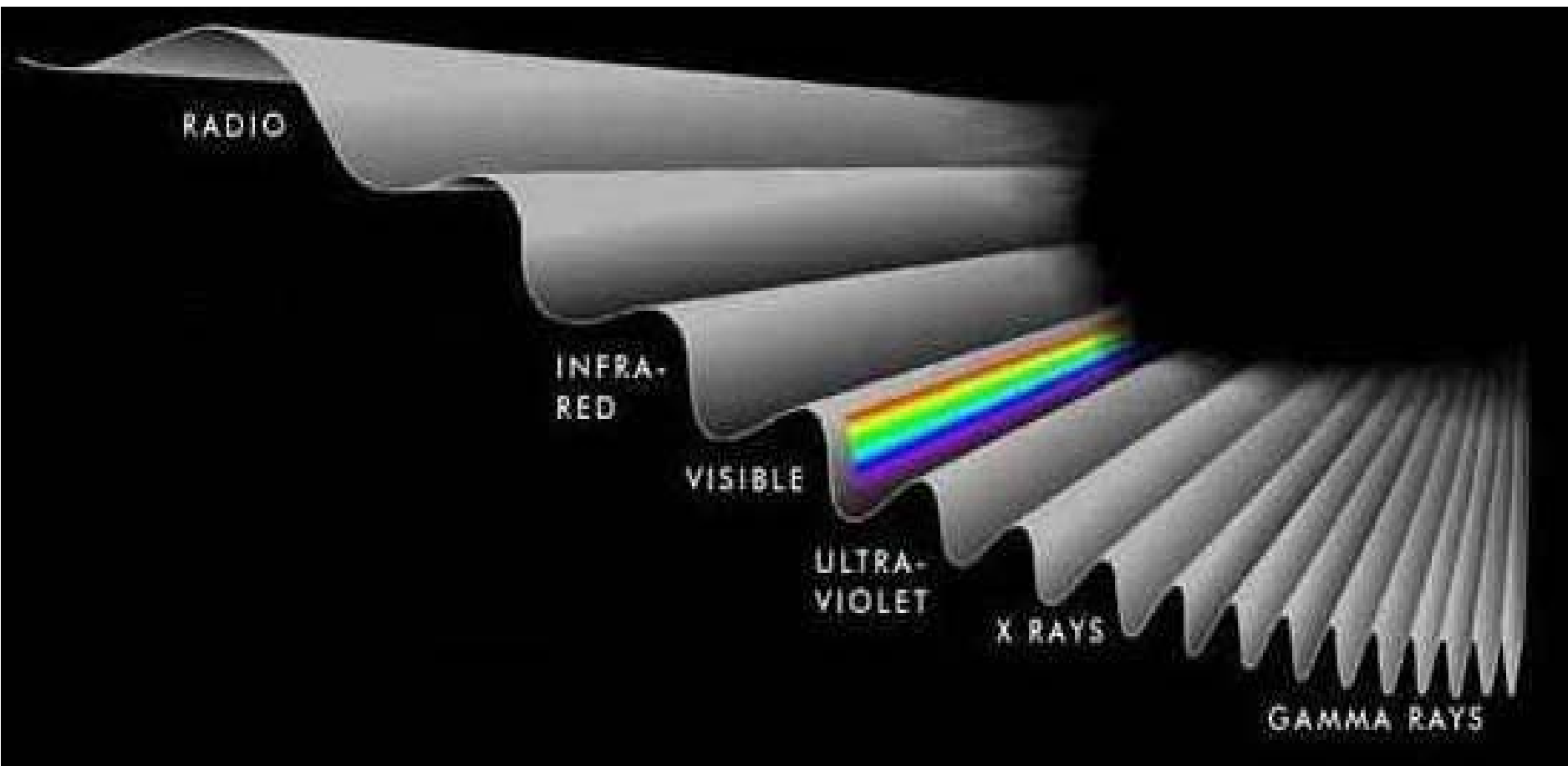
INFRARED

VISIBLE

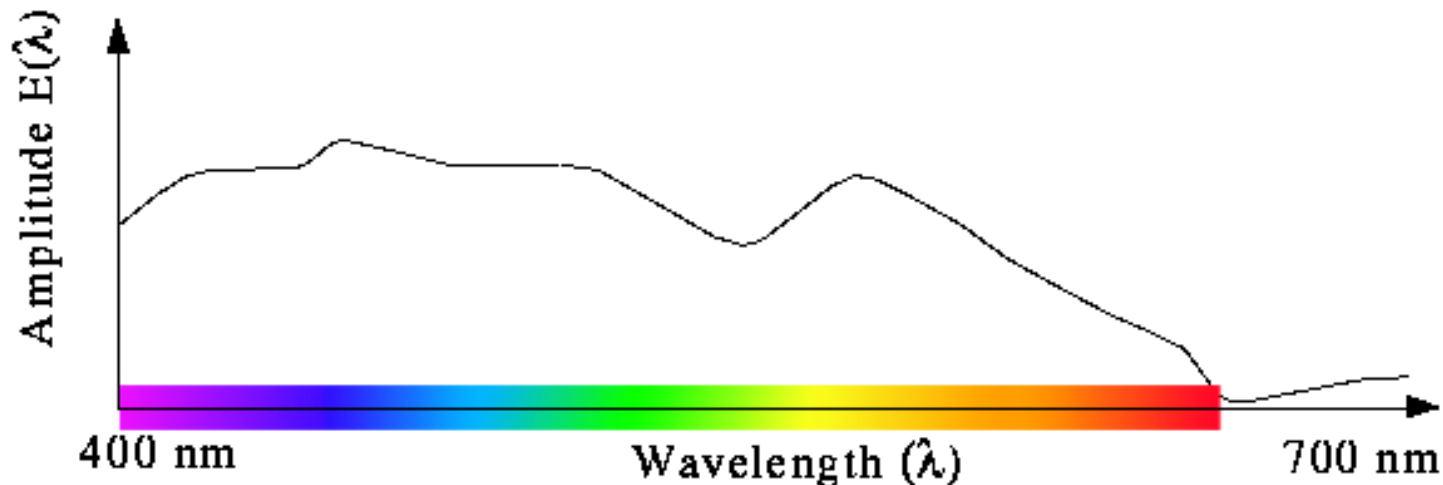
ULTRAVIOLET

X RAYS

GAMMA RAYS

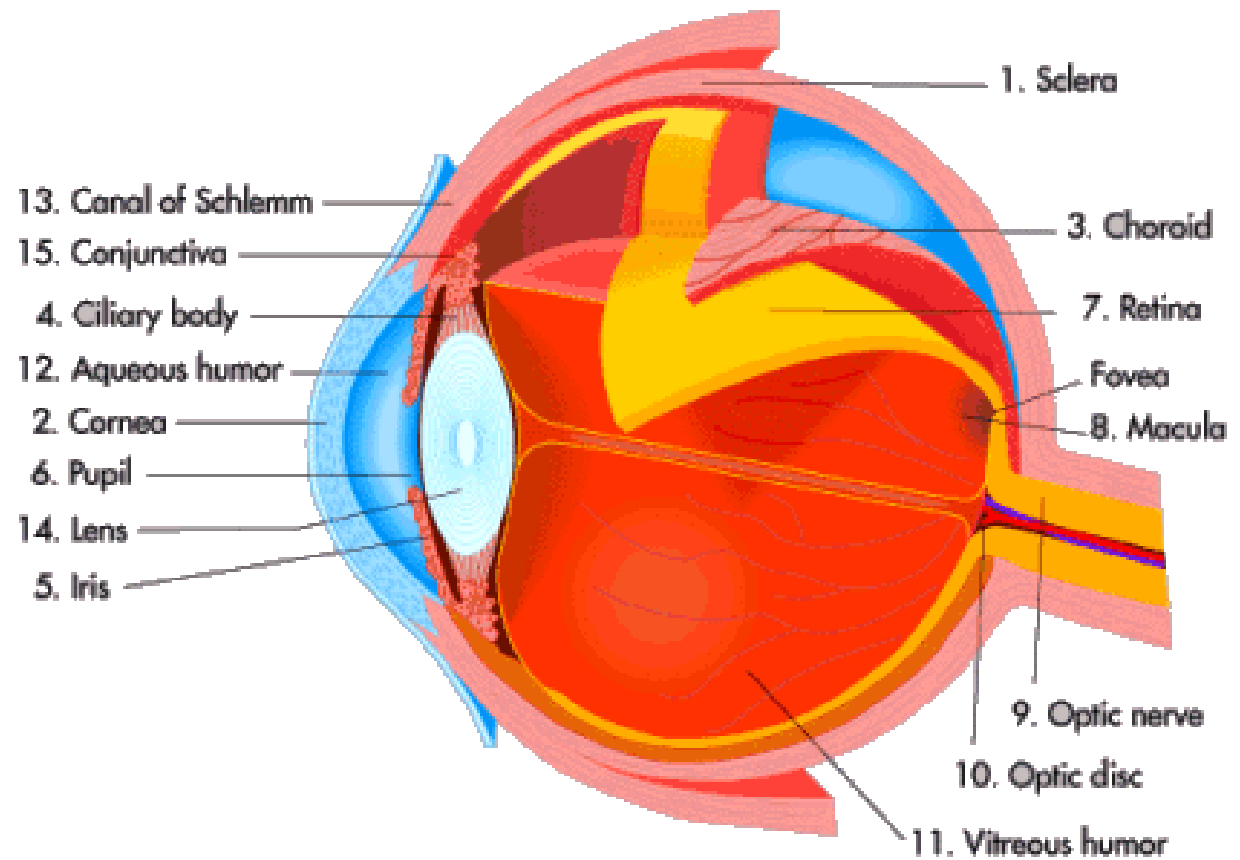


- La luce che tipicamente vediamo tutti i giorni non corrisponde mai ad una sola lunghezza d'onda ma e' una combinazione di contributi a diverse lunghezze d'onda.
- La rappresentazione dei contributi dei vari componenti alle diverse lunghezze d'onda viene detta Spettro. Un colore corrispondente ad una radiazione elettromagnetica ad una sola frequenza viene detto colore puro.

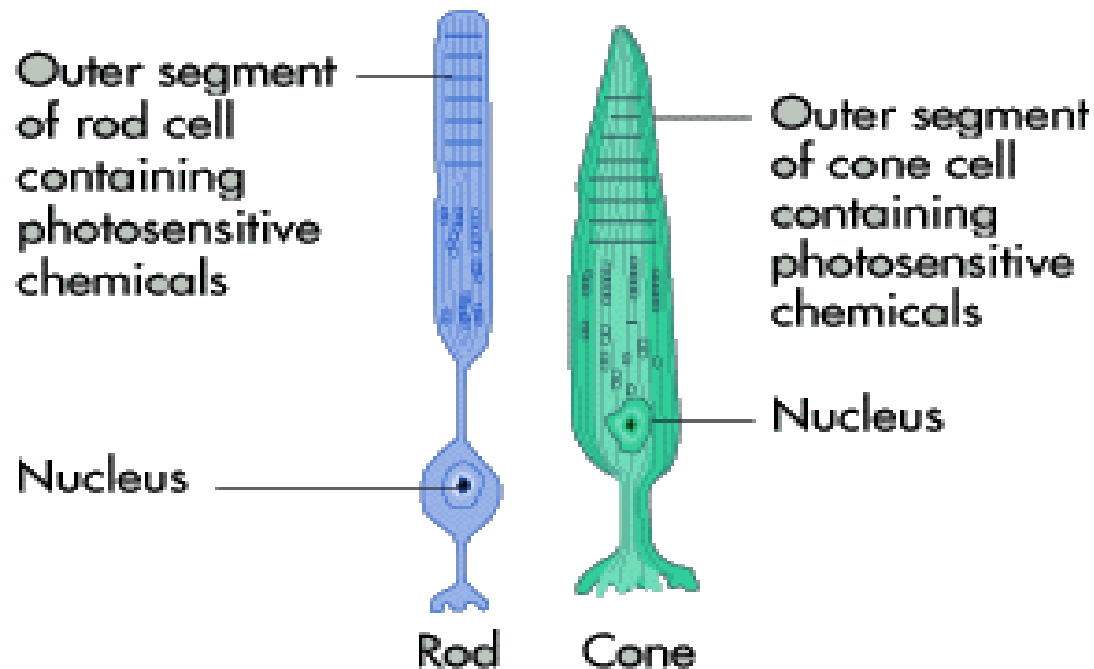



Color perception

La percezione visiva nasce grazie allo stimolo luminoso che, attraversando la cornea ed il cristallino, giunge alla retina dove sono localizzati i fotorecettori

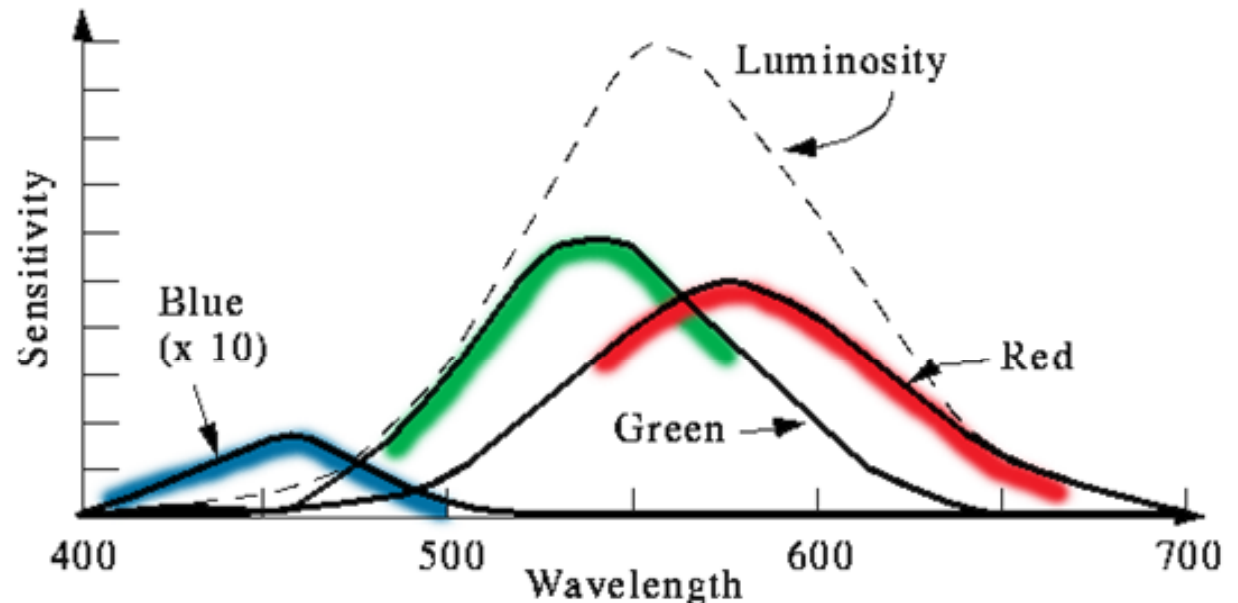


- **I fotorecettori sono strutture che generano impulsi elettrici quando vengono colpite dalla radiazione elettromagnetica visibile. Gli impulsi elettrici, attraverso il nervo ottico vengono trasmessi al cervello.**
- **I fotorecettori sono di due tipi: i coni e i bastoncelli.**

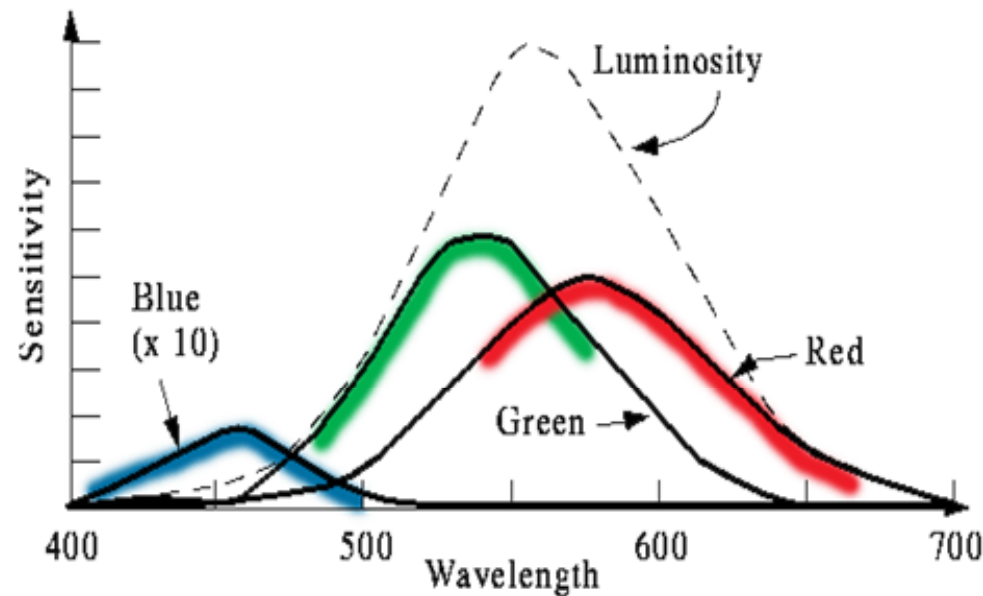


- 
- I bastoncelli sono localizzati prevalentemente su una corona circolare attorno alla fovea e provvedono alla visione scotopica acromatica, fornendo informazioni sulla sola intensita' luminosa (non sul colore) ed in presenza di poca luce (visione notturna). In presenza di forte intensita' luminosa il funzionamento dei bastoncelli e' inibito.**
 - I coni sono in numero inferiore rispetto ai bastoncelli e sono localizzati tutt'intorno alla fovea. Sono responsabili della visione fotopica cromatica fornendo informazioni in presenza di maggiore intensita' luminosa.**

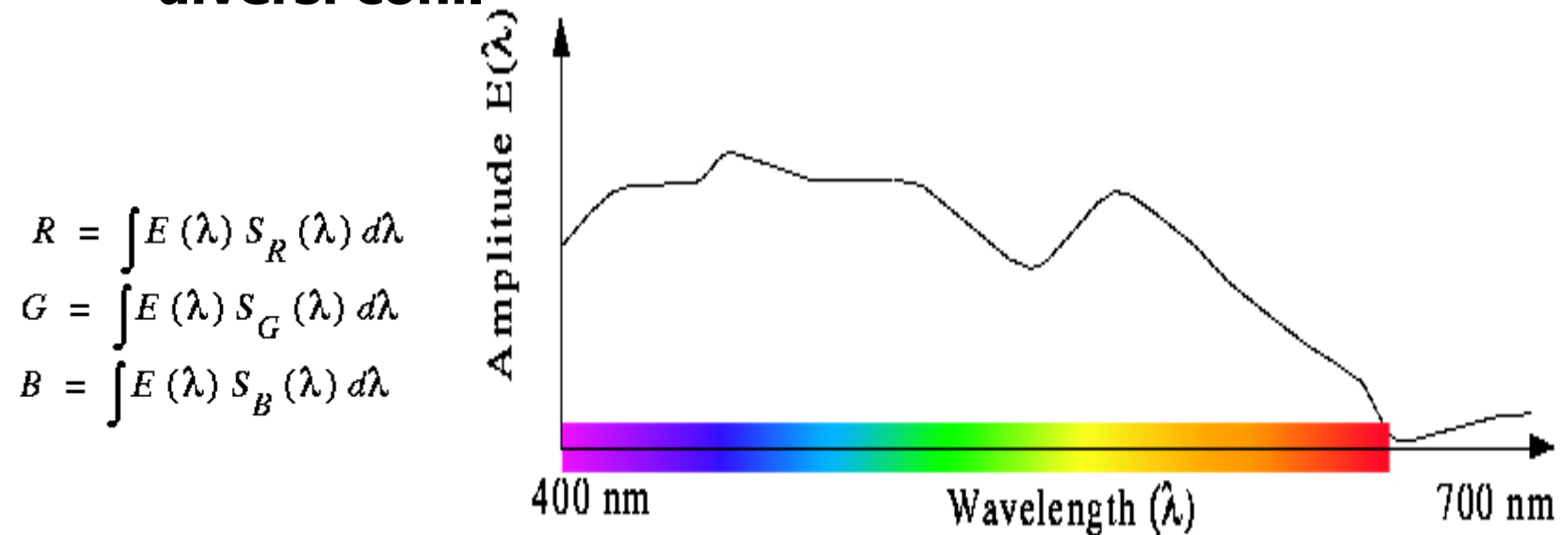
- Nella retina esistono tre tipi di coni, ognuno dei quali e' sensibile a diverse lunghezze d'onda: rossa (R), verde (G), blu (B).
- La figura mostra la funzione di risposta spettrale dei tre diversi tipi di coni.



- Esempio1: In presenza di una radiazione luminosa a 550 nm, i coni del blu non saranno attivati mentre lo saranno in modo considerevole quelli del rosso e del verde. Il cervello interpreta questa combinazione fornendoci la sensazione di percepire una luce gialla.
- Esempio2: In presenza di una radiazione luminosa a 470 nm, i coni del blu saranno attivati mentre lo saranno poco quelli del rosso e del verde. Il cervello interpreta questa combinazione fornendoci la sensazione di percepire una luce celeste.



- **La percezione cromatica di una determinata luce e' pertanto data dalla combinazione delle risposte dei tre tipi di coni. Pertanto la percezione cromatica dipende sia dalla luce E che dalla sensibilita' S dei diversi coni.**

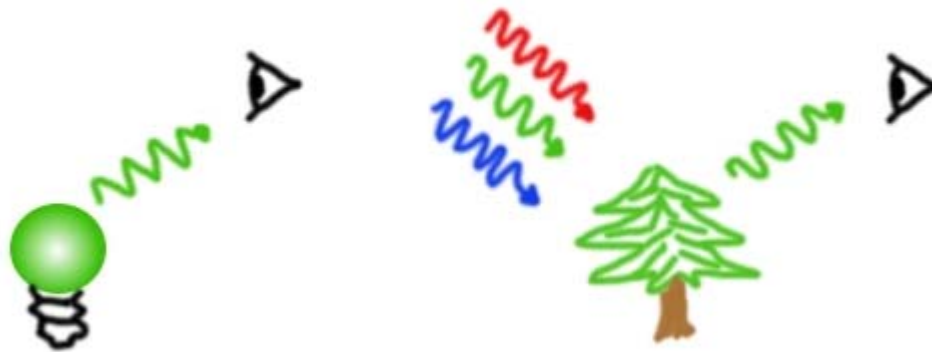



Color Models



- I modelli di colore vengono introdotti per tradurre i colori in dati numerici.
- La nostra percezione di un oggetto colorato può avvenire secondo due differenti processi, a seconda che l'oggetto sia una sorgente di luce oppure sia illuminato da una sorgente di luce esterna.
 - Nel primo caso, la luce che noi percepiamo è quella irradiata dall'oggetto.
 - Nel secondo caso, la luce che noi percepiamo è quella riflessa dall'oggetto. Il colore che noi attribuiamo all'oggetto corrisponde al colore della luce che lo illumina a cui si sottrae il colore assorbito dall'oggetto.

■ Un albero, illuminato da una luce bianca, e' verde perche' assorbe tutte le componenti della luce bianca eccetto quelle associate al verde.



- 
- Per rappresentare opportunamente i fenomeni di percezione cromatica, i modelli cromatici vengono divisi in due categorie:
 - modelli Additivi
 - modelli Sottrattivi.
 - Se e' vero che il nostro sistema visivo codifica i colori sulla base della risposta di tre diversi tipi di recettori, allora dovra' valere anche il fatto che un generico colore possa essere espresso dalla combinazione di tre colori di base, detti colori primari. Nei modelli additivi questa combinazione e' una somma, in quelli sottrattivi e' una sottrazione.

Additive color models



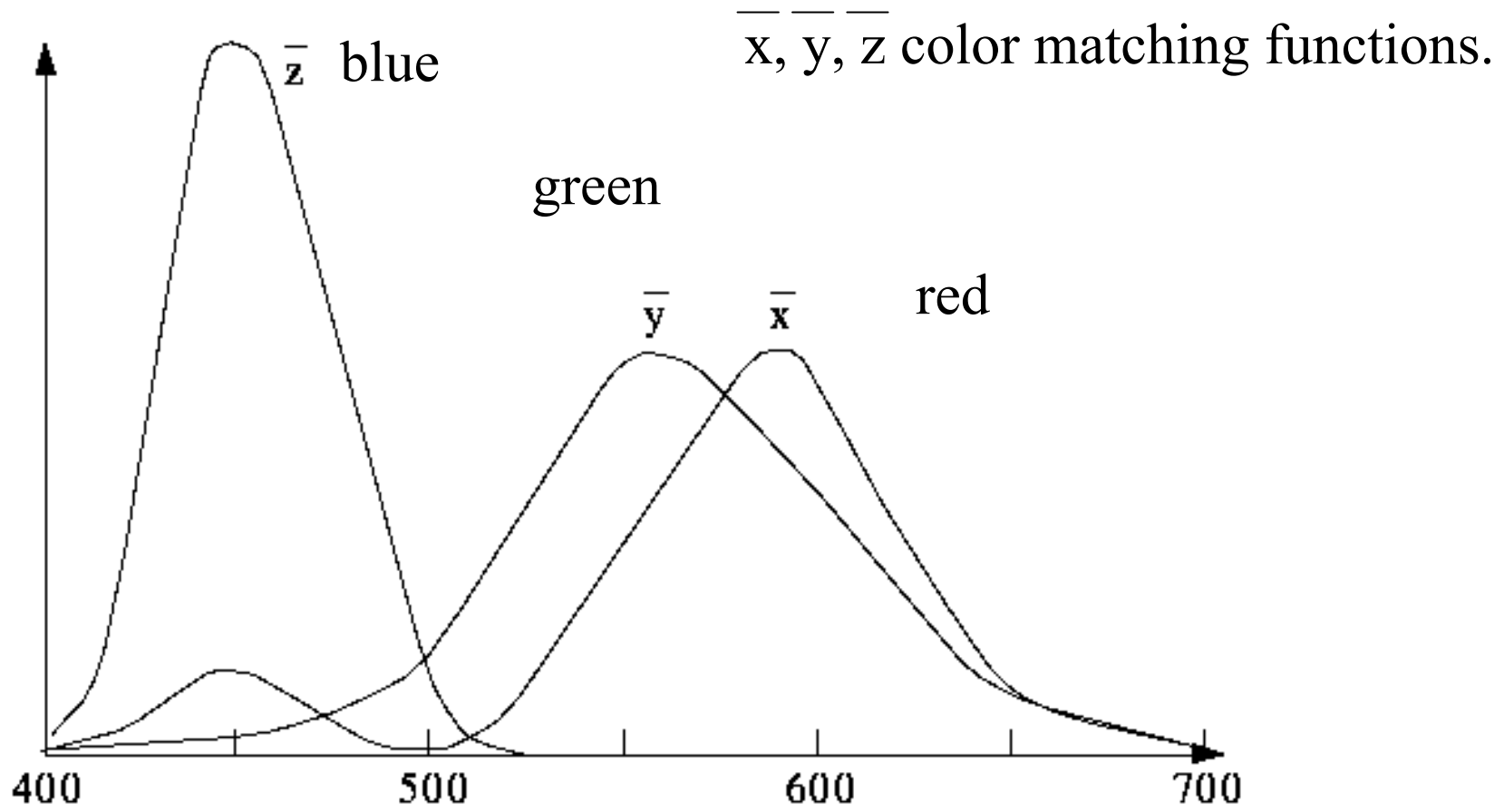
- La presenza di tre diversi tipi di fotorecettori consente di esprimere un generico colore come combinazione di tre colori primari.
- Questo consente di poter rappresentare i colori in uno spazio tridimensionale in cui le coordinate di un generico colore sono legate alla quantità di colori primari necessari per riprodurlo.


CIE Chromaticity Diagram

- A famous experiment, the color matching experiment, in 1920 was devised to characterize the relationship between the physical spectra and the perceived color. The experiment measures mixtures of different spectral distributions that are required for human observers to match colors.
- In 1930 CIE standardized a set of spectral weighting functions that models the perception of color. These curves are referred as the:

\bar{x} , \bar{y} and \bar{z} color matching functions.

CIE recommended three monochromatic primaries which roughly correspond to colour sensations of blue green and red



- 
- Almost any spectral composition can be achieved by a suitably chosen mix of three monochromatic primaries (lights of a single wavelength)
 - Given the standard observer colour matching functions, a colour spectral distribution $C(\lambda)$ and three primary light sources, it is possible to retrieve the proportions β_k in which the three light sources must be combined to obtain C . Quantities $T_k = \beta_k / w_k$ are called tristimulus values, where w_k is the proportion of light sources needed to obtain a reference white light of known energy distribution.
 - Tristimulus values are linear light values that embed the spectral properties of human color vision

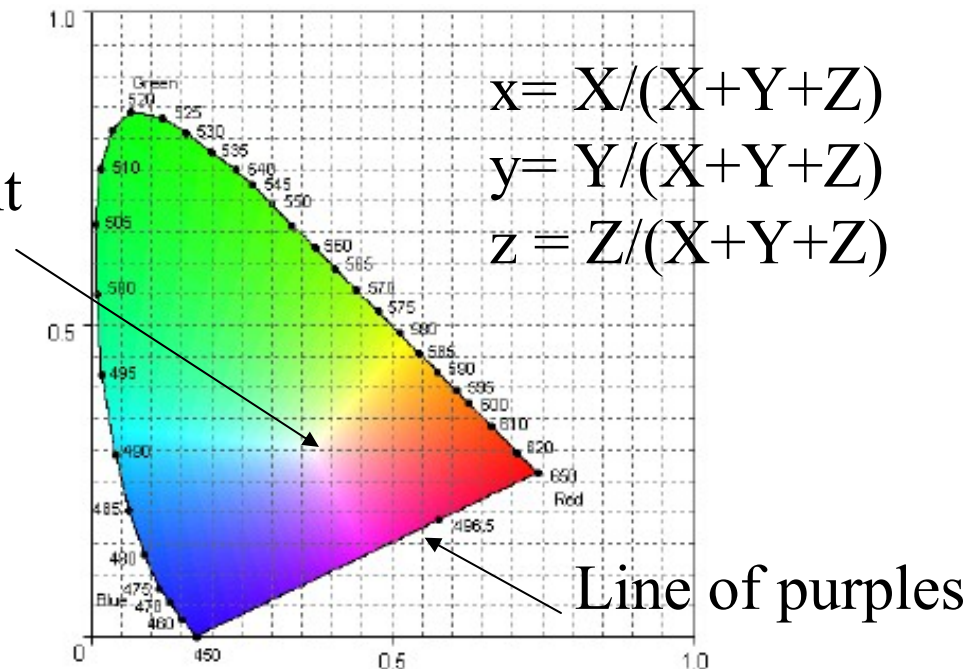
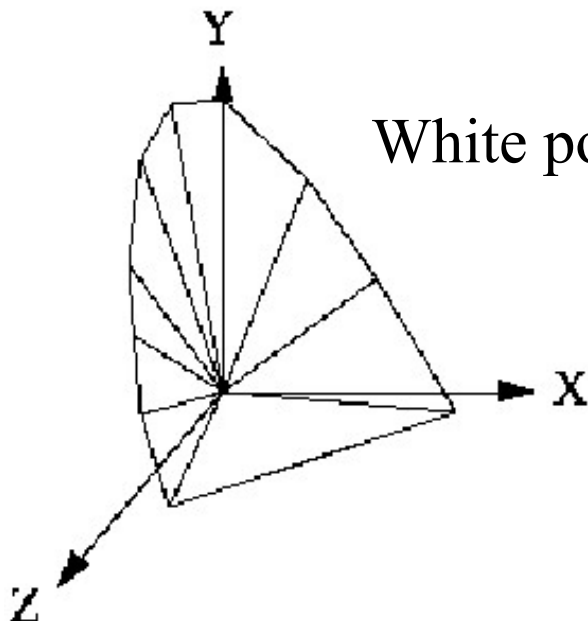
CIE XYZ color model





- The CIE XYZ color model is based on the tristimulus values of the spectral matching functions of the three primaries identified by CIE.
- The Luminance Y of a source is obtained by integrating its Spectral Power Distribution, weighted by the \bar{y} color matching function.
- The two other components X and Z , are similarly computed using the \bar{x} and \bar{z} color matching functions.

■ Nello spazio di rappresentazione (X,Y,Z), tutti i colori visibili sono contenuti in un cono con sezione a 'ferro di cavallo'.

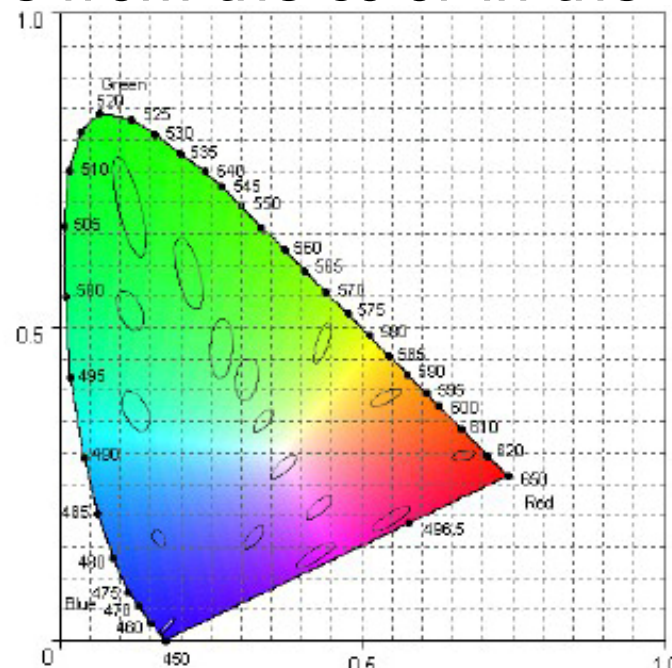
■ Considerando l'intersezione di questo cono con il piano $X+Y+Z=1$ e proiettando tale luogo geometrico sul piano X-Y si ottiene il Diagramma di Cromaticita' CIE



- 
- Le proprietà che contraddistinguono il diagramma di cromaticità sono:
 - i colori puri sono posizionati sui bordi del diagramma,
 - il bianco è rappresentato da un punto all'interno del diagramma,
 - la somma di due colori dà luogo ad un colore che si trova nel segmento di unione dei due colori da cui è generato. La distanza dai due colori dipende dalla quantità con cui questi sono combinati,
 - due colori puri si dicono complementari se il segmento che li unisce passa per il punto corrispondente al bianco,

- 
- Experimental tests have proven that the tristimulus space (and therefore the chromaticity diagram) can be regarded as a Riemann space, where the following metrics holds:
 - $d^2 = \sum c_{ij} dX_i dX_j$
 - In this formula d represents the infinitesimal distance between two color with coordinates X_i and $X_i + dX_i$. The c_{ij} measures the ability of humans to perceive small differences. If these quantities were constant throughout space, the space would be Euclidean and the distance between two color would be proportional to the length of their connecting line.

- Invece a punti equidistanti sul diagramma di cromaticita' nello spazio (X,Y,Z) non corrispondono colori ugualmente simili. Qui di seguito sono mostrate le ellissi di Mc Adams (JND) per il diagramma di cromaticita' (X,Y,Z) .
- Ellipses are such that colors inside them are not distinguishable from the color in the center.



Color model classification



- I modelli di colore si distinguono anche in:
 - modelli ingegneristici (hardware oriented)
 - modelli percettivi (perceptual models)
 - modelli emozionali (emotional models)

Engineering color models

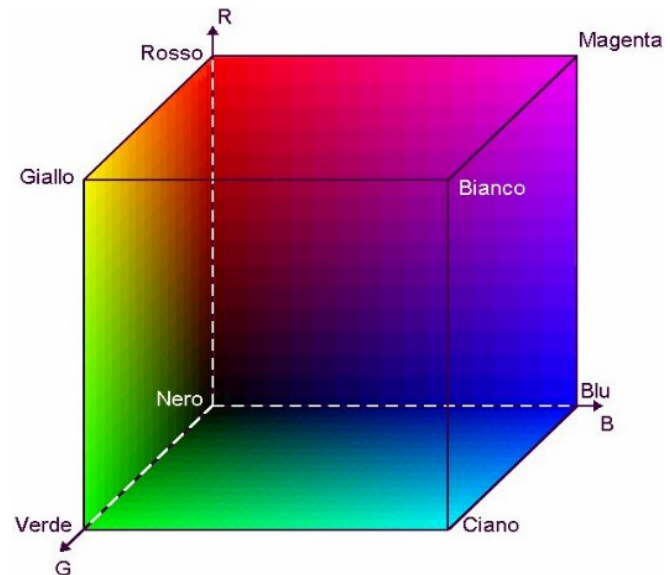
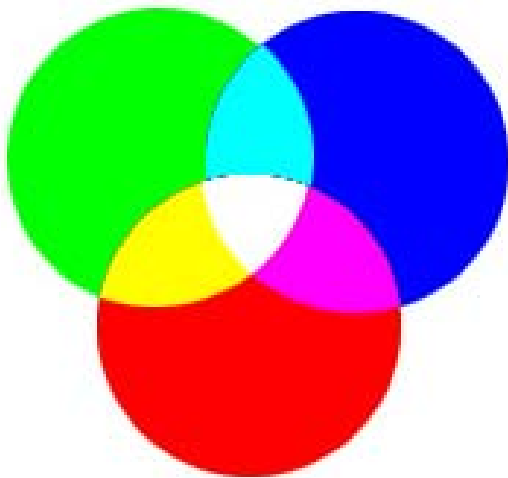
- I modelli “ingegneristici” sono adatti per la rappresentazione e trasmissione elettronica del colore, e.g.:
 - | RGB (monitor)
 - | YUV (PAL)
 - | YCrCb
 - | YIQ (NTSC)
 - | HSI, HSV

RGB color model

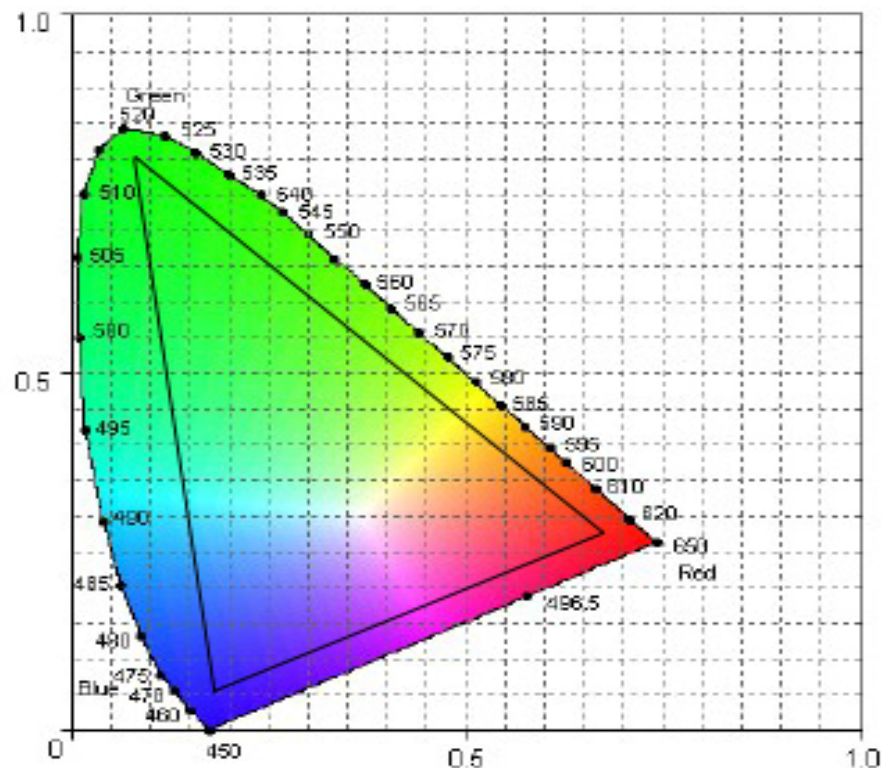



- The simplest way to reproduce colors is to mix the beams from lights of three different colors.
- As a consequence of the principle of superposition, the color of an additive mixture is a strict function of the colors of the primaries and of the fraction of each primary that is mixed.
- Additive reproduction is employed in a video projector as well as in the screen of a CRT.


- The widest range of colors will be reproduced with red, green and blue lights.
- Superposition of primaries creates secondary colors like Cyan, Magenta and Yellow
- The RGB color model is represented as a cube.




- The extent – or gamut – of the colors that can be mixed from a given set of RGB primaries is given in the xy chromaticity diagram by a triangle whose vertices are the chromaticities of the primaries.



- 
- In computing there are no standard primaries or white point chromaticities. If you have an RGB image but have no information about its chromaticities, you cannot accurately reproduce the image.
 - In 1953 the NTSC specified a set of primaries that were representative of phosphors used in color CRT. However since phosphors changed over the years, they are of no practical use today.

- 
- For 625/50 systems EBU (European Broadcasting Union) Tech 3213 standardized primaries according to:

	Red	Green	Blue	White
■ x	0.640	0.290	0.150	0.3127
■ y	0.330	0.600	0.060	0.3290
■ z	0.030	0.110	0.790	0.3582

- 
- For 525/59.94 systems and 1125/60 1920x1035 HDTV it is standard to use primaries of SMTPE RP145

	Red	Green	Blue	White
■ x	0.630	0.310	0.155	0.3127
■ y	0.340	0.595	0.070	0.3290
■ z	0.030	0.095	0.775	0.3582


- 
- Primaries representative of contemporary monitors in studio video computing and computer graphics follow ITU recommendation BT709

	Red	Green	Blue	White
■ x	0.640	0.300	0.150	0.3127
■ y	0.330	0.600	0.060	0.3290
■ z	0.030	0.100	0.790	0.3582

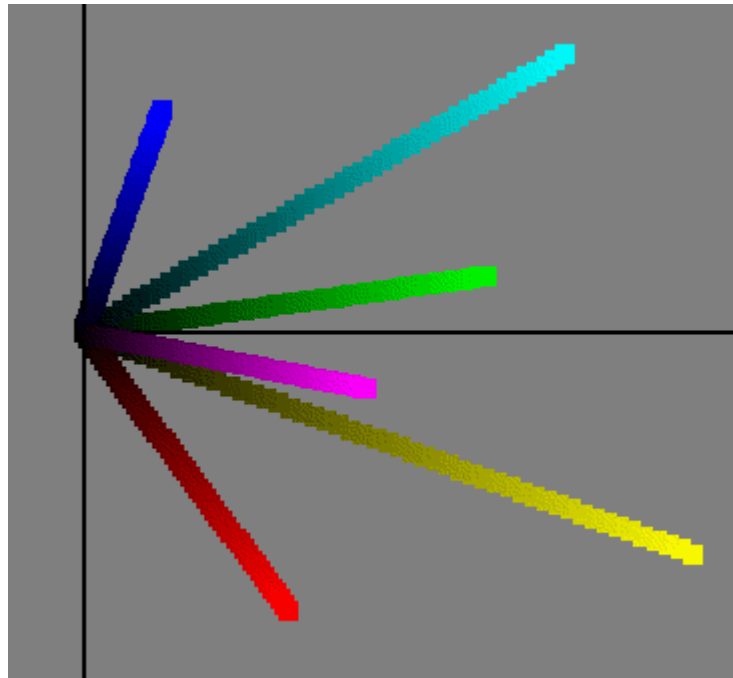
- 
- The matrices giving the transformation between XYZ and RGB₇₀₉ and viceversa are the following

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

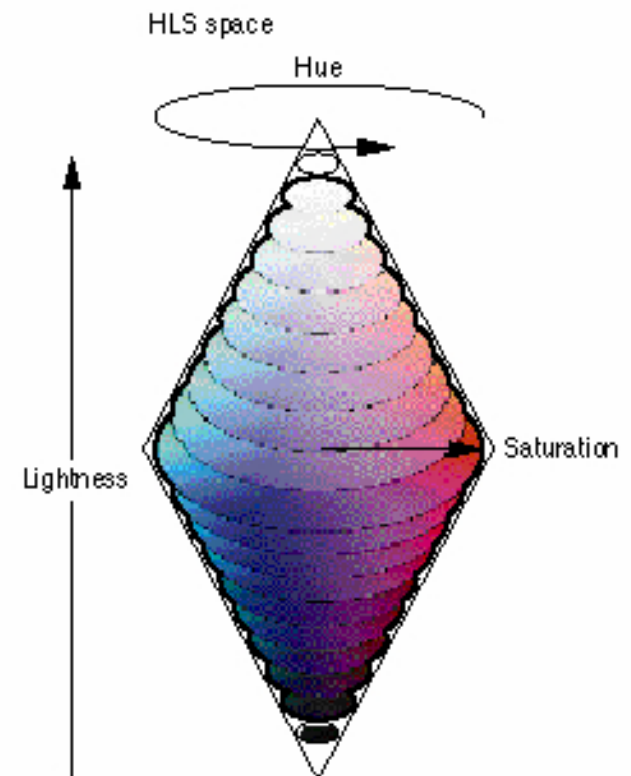
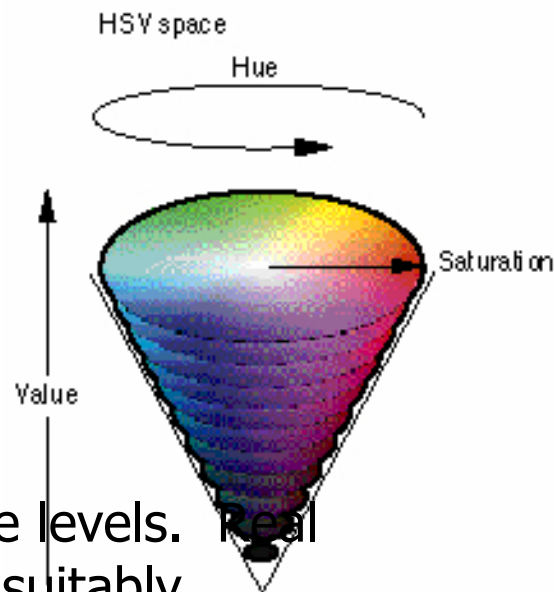
- 
- Sebbene il fenomeno di percezione cromatica dipenda dalla presenza di tre tipi di recettori sensibili al rosso, verde e blu, il modello di rappresentazione RGB non rappresenta al meglio le caratteristiche che tipicamente noi percepiamo di un colore.
 - Questo perche' da un punto di vista di rappresentazione interna che noi abbiamo dei colori, questi vengono meglio descritti in termini di tinta, luminosita' (intensita'), purezza (saturazione).

■ Percezione del colore rispetto alla luminosità



HSB – HLS - HSV color models

- I modelli HSB (Hue, Saturation, Brightness) , HLS e HSV consentono di specificare un generico colore attraverso i tre attributi di tinta (rosso, giallo, verde, ciano, blu, magenta) saturazione (purezza del colore, determinata dalla concentrazione della distribuzione spettrale attorno al valore di un'unica lunghezza d'onda). luminosita'.



Only for moderate luminance levels. Real world environments are not suitably represented in this space. To be employed only if the spectral composition of light is known in advance



■ HSV color space. Values can be derived by the RGB values


■ $V = 1/3(R+G+B)$

■ $S = 1 - [3/ (R+G+B)][\min(R,G,B)]$

■ $H = 180 [(0.5(R-G) + (R-B)) / [(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}]$

■ $H = \text{undefined}$ if $S=0$

■ $H = 360 - H$ if $B/V > G/V$

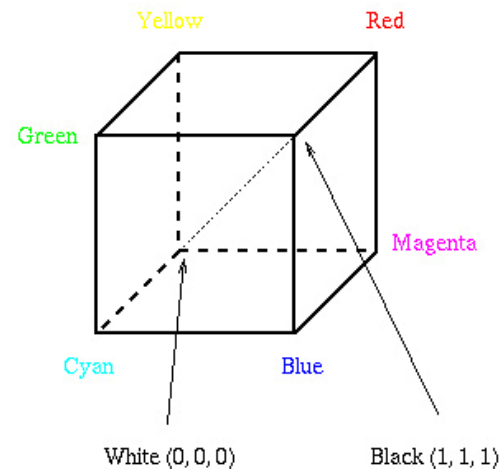
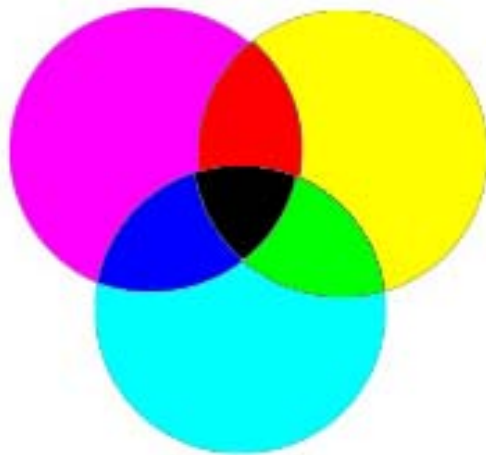
- 
- In general, hardware oriented color models are not perceptually uniform. Because of this, uniform quantization of these spaces results into perceptually redundant bins and perceptual holes.
 - Perceptual distance is therefore a function of the color position. A distance function such as the Euclidean doesnot provide satisfactory results.

CMYK subtractive color model




- L'impiego dei modelli sottrattivi e' di fondamentale importanza per quanto riguarda la sintesi di colori su carta, quindi in campo tipografico. In questo caso infatti il colore e' percepito a seguito dell'assorbimento da parte della carta colorata, di alcune delle componenti lo spettro della luce incidente.
- Il modello sottrattivo tipicamente impiegato in campo tipografico e' il modello CMYK, corrispondente all'impiego delle componenti Ciano (C), Magenta (M), Giallo (Y) e nero (K). Il nero non sarebbe necessario ma se ne preferisce l'impiego onde evitare di dover ottenere la tinta nera con la combinazione delle tre tinte CMY.

- La sintesi dei colori è ottenuta in base al principio secondo cui l'aggiunta di una componente nell'immagine riduce la presenza, nella luce riflessa, della sua componente complementare.



The CMY Cube



■ A simple but inaccurate transformation can be obtained as:

■ $R = 1 - C$

■ $G = 1 - M$

■ $B = 1 - Y$

Perceptual color models





■ Alcuni modelli di rappresentazione del colore sono “percettivi”, ovvero definiti per essere il più possibile simili al modo in cui gli umani percepiscono il colore. Fanno parte di questa tipologia:

- CIE $L^*a^*b^*$
- CIE $L^*u^*v^*$
- CIE $L^*C^*h^*$
- Munsell

CIE $L^*a^*b^*$ and CIE $L^*u^*v^*$ color models

- **Ai fini di poter riprodurre e descrivere il modello di percezione cromatica dell'occhio umano e gli effetti che la percezione di determinate combinazioni cromatiche possono generare in chi le osserva, e' fondamentale poter esprimere la similarita' tra colori cosi' come questa e' percepita dall'essere umano.**
- **Spazi colore con queste proprietà sono gli spazi CIE $L^*a^*b^*$ e CIE $L^*u^*v^*$.**

- 
- These spaces have been defined in order to make easier the evaluation of perceptual distances between colors, that is according to transformations that approximate a Riemann space into an Euclidean space
 - However, mathematical approximations introduced in such spaces cause deviations from this property in certain parts of the spaces
 - In the Luv Red is much more represented than Green and Blue.
 - In the Lab there is a great sensibility to Green than to Red and Blue. Blue is more represented here than in Luv.



■ Nello spazio CIE L*a*b*, e CIE L*u*v* dati due colori $c1 = (x1, y1, z1)$ e $c2 = (x2, y2, z2)$, la distanza percettiva tra i due colori e' rappresentabile attraverso la distanza Euclidea:

$$D(c1 , c2) = \text{sqrt} [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2]$$

■ Gli spazi di rappresentazione cromatica in cui la distanza Euclidea e' conforme con la similarita' percettiva vengono detti Spazi Uniformi.

CIE $L^*u^*v^*$ color model

$$\blacksquare L^* = \begin{cases} \bullet 903,3 Y/Y_n & \text{if } Y/Y_n < 0,008856 \\ \bullet 116 (Y/Y_n)^{1/3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\blacksquare u^* = 13L^* (u' - u'_n) \quad u' = 4X/(X+15Y+3Z)$$

$$\blacksquare v^* = 13L^* (v' - v'_n) \quad v' = 9Y/(X+15Y+3Z)$$

CIE L*a*b* color model

$$\blacksquare L^* = \begin{cases} 903,3 Y/Y_n & \text{if } Y/Y_n < 0,008856 \\ 116 (Y/Y_n)^{1/3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\blacksquare a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

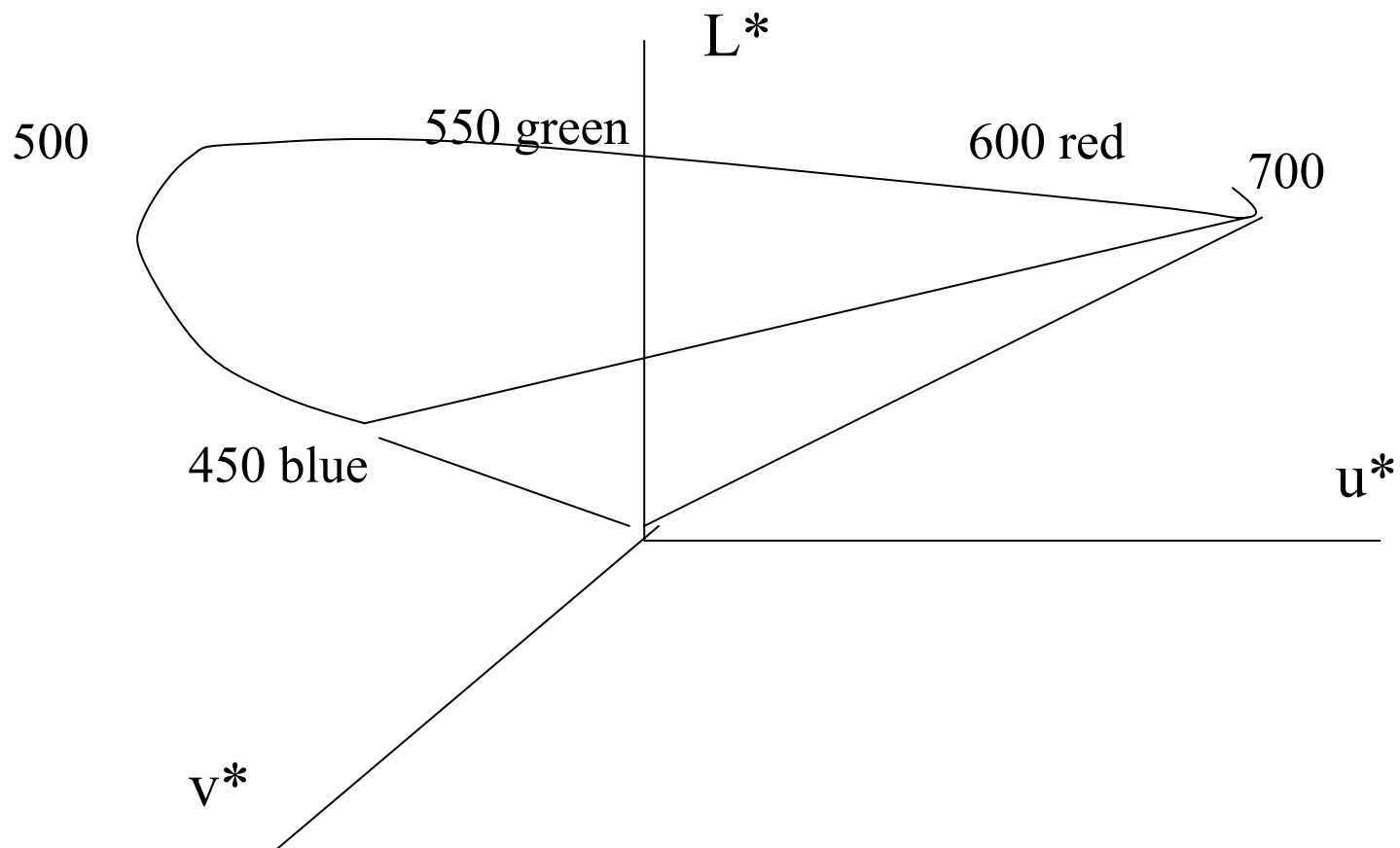
$$\blacksquare b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$X_n Y_n Z_n$ are the XYZ values of the reference white

$f(t) = (t)^{1/3}$ for $t \geq 0.008856$

$f(t) = 7.787 t + 16/116$ otherwise

■ Spazio $L^*u^*v^*$

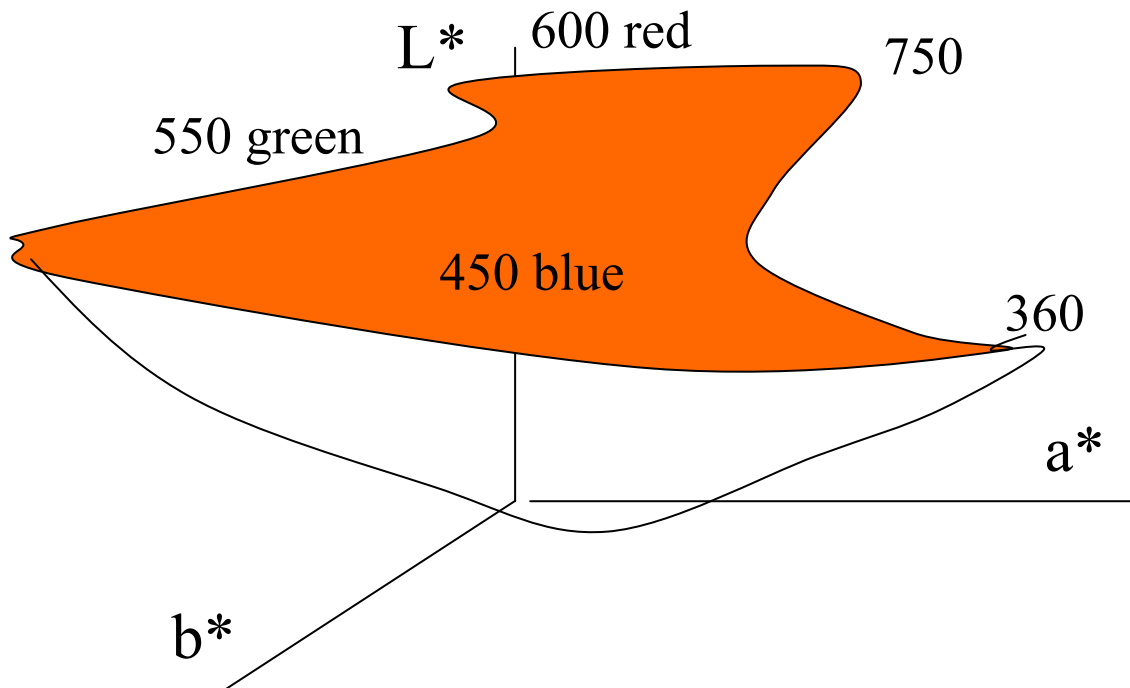


Spazio Colore CIE $L^*a^*b^*$

L^* : Luminanza; a^* , b^* : Crominanza

a^* -- tonalita' dal verde al rosso

b^* -- tonalita' dal blu al giallo

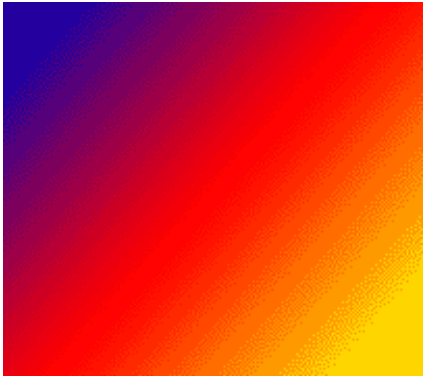
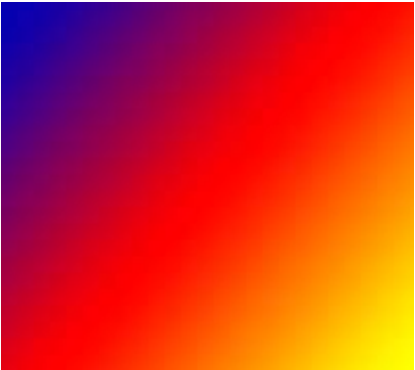




CIE LAB for image analysis



CIE LAB for image synthesis



Emotional color models




- Color combinations can be used to define a representation of image content at the emotional level. A number of representative colors are arranged in a geometric model that translates properties of color combinations into geometric relationships.
- This type of representations depends on the culture and behavior of individuals.
- Color models in this category are the Itten color model, the Kandinsky model....

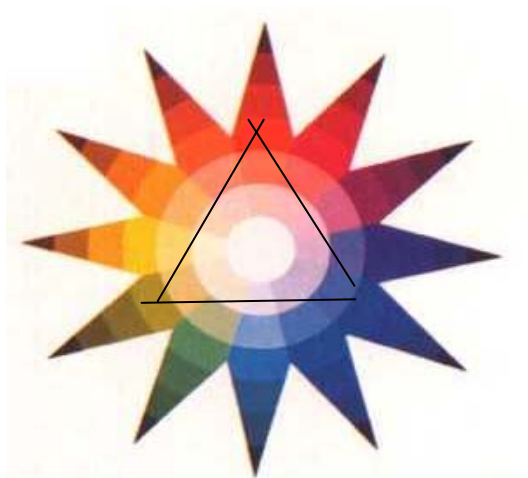
Itten color model

- The Itten Color model: uses 180 fundamental colors arranged in a sphere (the Itten-Runge sphere).
 - 12 pure hues, located along the equatorial circle.
 - 3 saturations along the radius ;
 - 7 luminance levels including black and white, along the meridians.



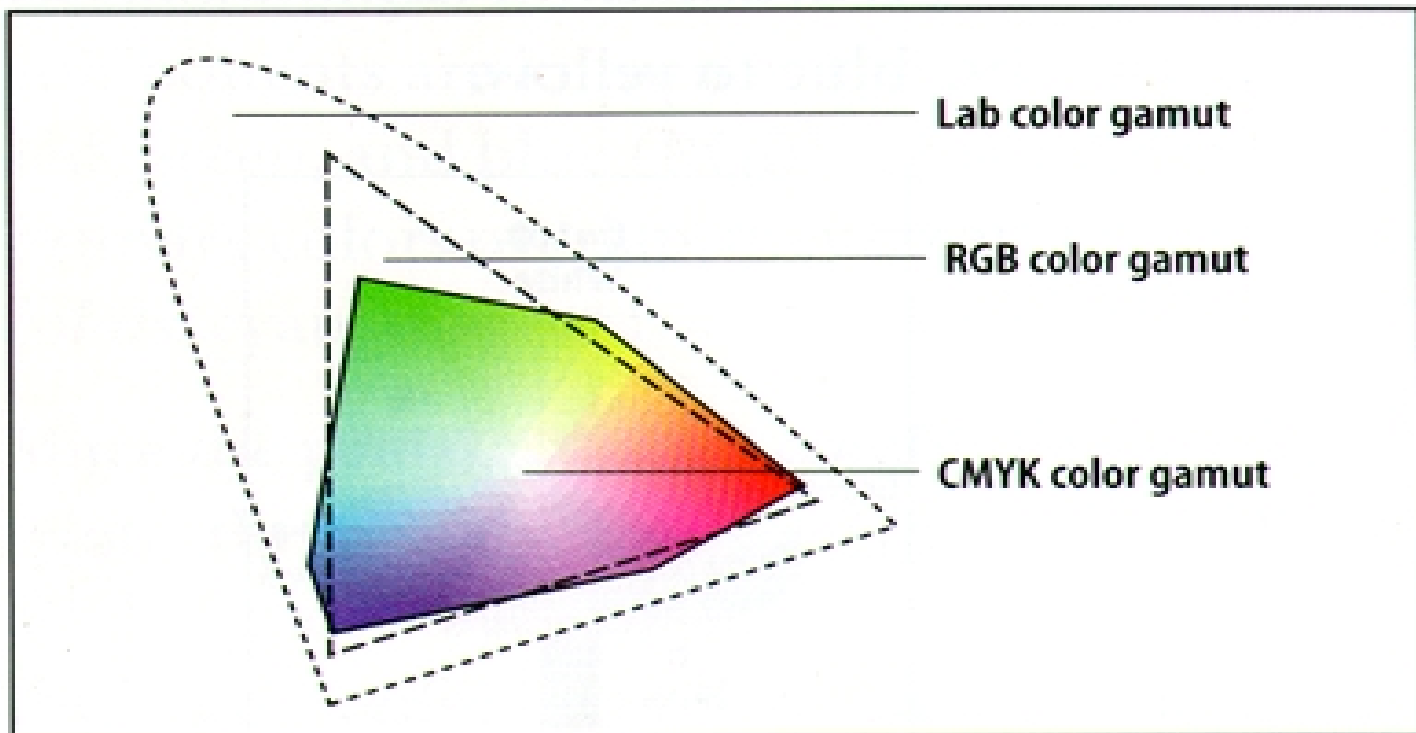
- 
- Itten's layout allows objective identification of color peculiarities and provides means for characterizing color coupling in terms of contrast and accordance
 - Contrast
 - Saturated colors – determines a sense of tense
 - Dark-light colors – determines a sense of plasticity
 - Warm-cold (at any hue) – warm colors (reddish) are perceived as closer; cold colors (greenish) as farther
 - Accordance
 - Complementary colors (their sum is white) – determine a sense of calmness. The absence of one color determines anxiety
 - Harmonic colors (their sum is grey) – sense of equilibrium


- The principle of harmonic accordance: ex three color forming a equilateral triangle in one of the circular sections of the sphere



Model comparision

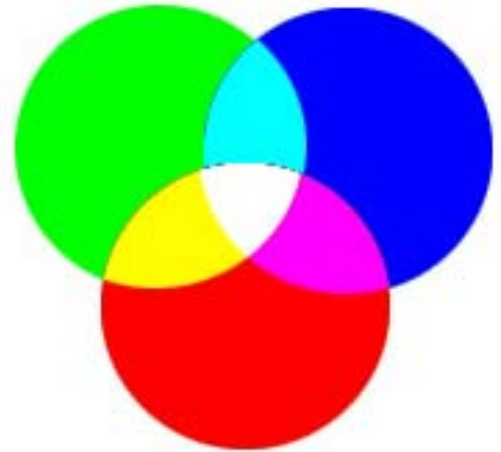
- Di seguito sono mostrati i color gamut per tre modelli di rappresentazione: Lab, RGB e CMYK.





- 
- **Si puo' notare come il modello CIE $L^*a^*b^*$ consenta di esprimere tutti i colori dello spettro visibile e pertanto includa i color gamut degli spazi RGB e CMYK.**
 - **Il confronto tra i color gamut dei modelli RGB e CMYK evidenzia che nessuno dei due contiene completamente l'altro. Tuttavia il color gamut del modello CMYK e' sensibilmente piu' ridotto di quello RGB evidenziando che molti colori presenti in natura e visualizzabili attraverso uno schermo video (o tecniche di proiezione tipo diapositive) non possono essere riprodotti sulla carta stampata.**

Color display

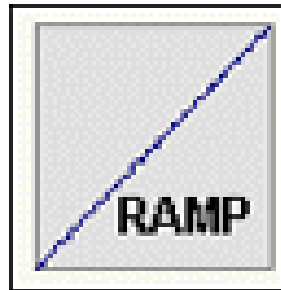
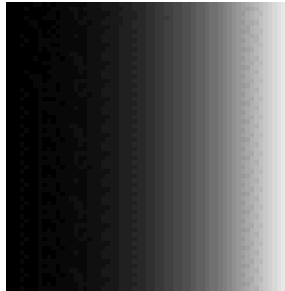
- Gli esseri umani percepiscono la luminosità in modo tale che alcuni colori appaiono più luminosi di altri (es. il rosso appare più luminoso del blu).
 - I colori secondari formati dalla combinazione dei primari appaiono ancora più luminosi.
- Gli spazi di colore usati in campo televisivo separano l'informazione sulla luminosità da quella sulla cromaticità.



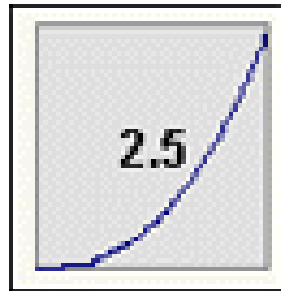
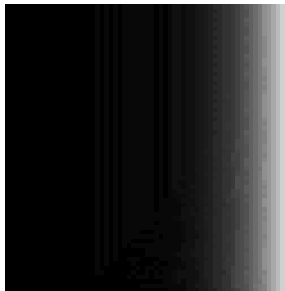
- 
- Anche le apparecchiature usate per la rappresentazione del colore hanno una risposta non lineare alla luminosità.
 - Gli “errori” delle apparecchiature sono complementari agli “errori” dell’occhio umano, anche se serve ancora una leggera correzione (Gamma correction).

- 
- La Gamma correction è applicata sia dalle telecamere che riprendono l'immagine sia dai monitor che la mostrano.
 - I monitor SGI applicano automaticamente la correzione gamma alle immagini RGB che mostrano.
 - I sistemi Mac applicano la gamma correction
 - I monitor dei PC generalmente non applicano gamma correction
 - La correzione Gamma non altera i bianchi ed i neri puri. Viene cambiata la dinamica dei grigi

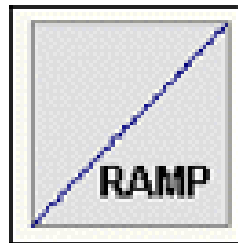
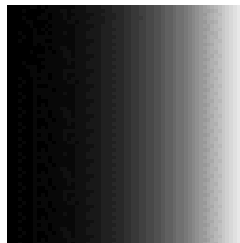
Display behavior



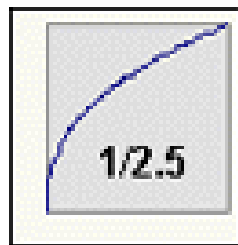
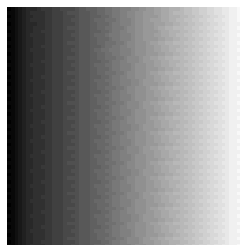
Input



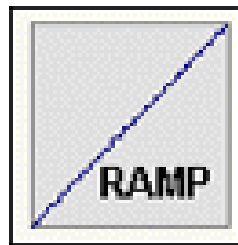
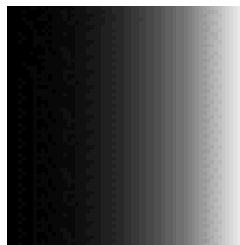
Output (monitor tipico)



Input



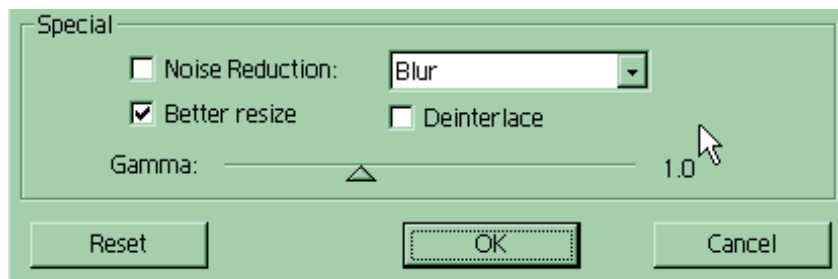
Correzione gamma



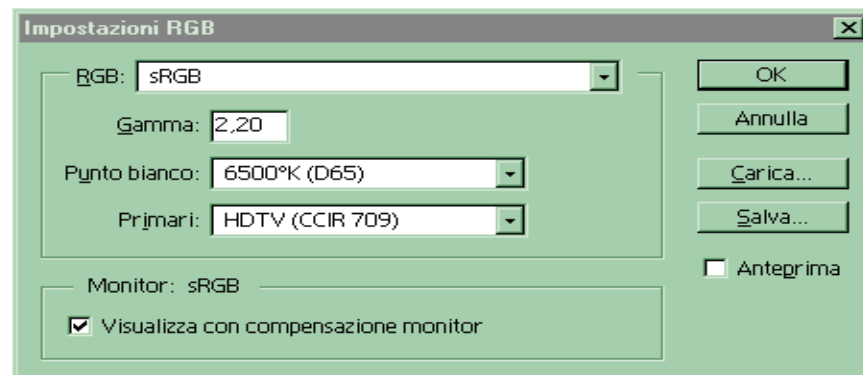
Output

- La tipica correzione Gamma applicata ai formati di acquisizione elettronica è 2.2: su uno schermo di un PC correggere con 0.45 ($1/2.2$)

Premiere



Photoshop





■ Immagine SGI/Mac



■ Immagine con
correzione gamma
per PC