

INFORMATICA GRAFICA – SSD ING-INF/05

Sistemi di elaborazione delle informazioni

a.a. 2007/2008

CAP 6. Rendering grafico

Lighting and Shading
REVIEW

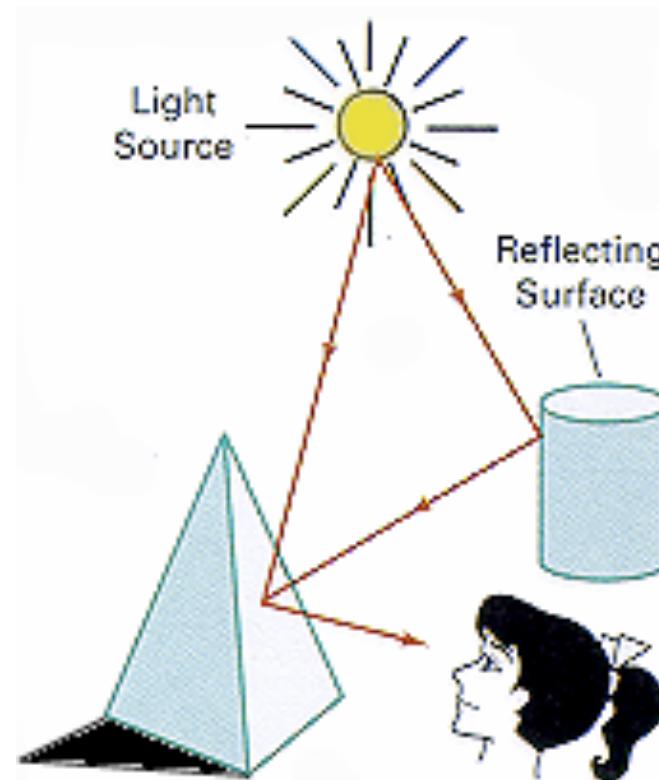
Illumination Models and Shading - Review



Illumination Models and Shading - Review

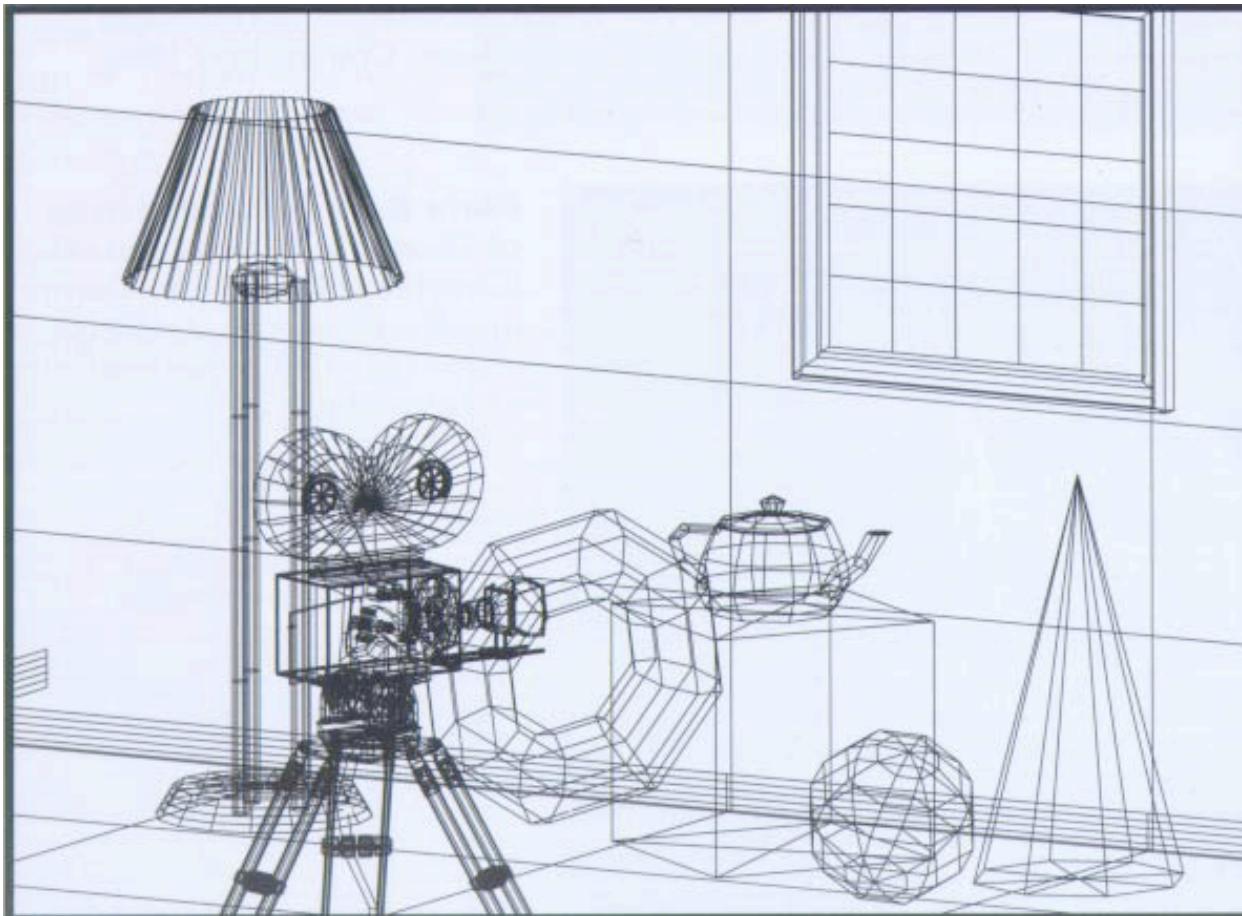
Creare una immagine da un modello

- Light Source Parameters (forma, posizione, colore, intensità)
- Surface Parameters (ambiente, diffusiva, speculare)
- Polygon rendering Methods (Flat, Gouraud, Phong)
- Transparency
- Shadow



Illumination Models and Shading - Review

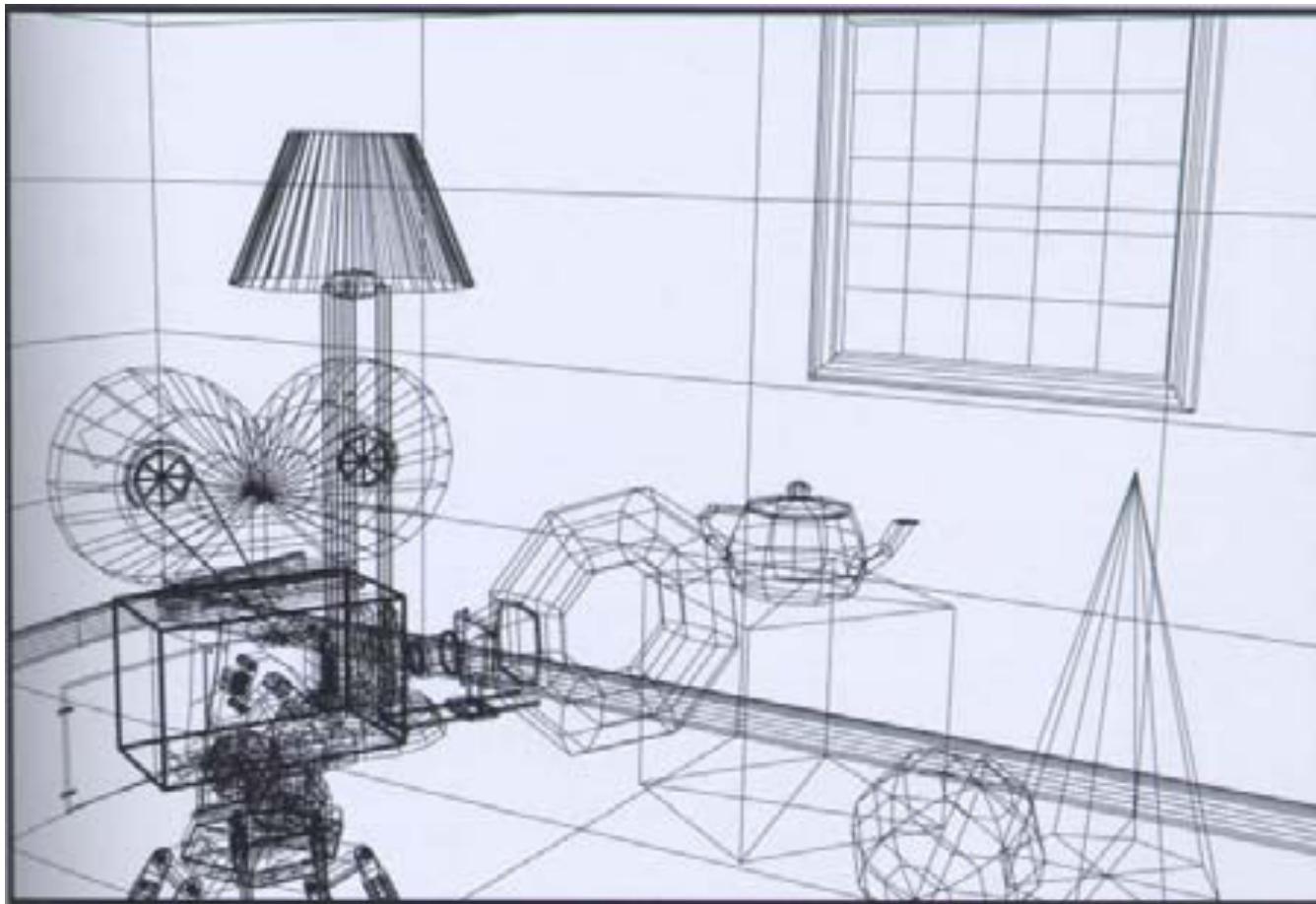
Creare una immagine da un modello



Modello wireframe – Proiezione Ortografica

Illumination Models and Shading - Review

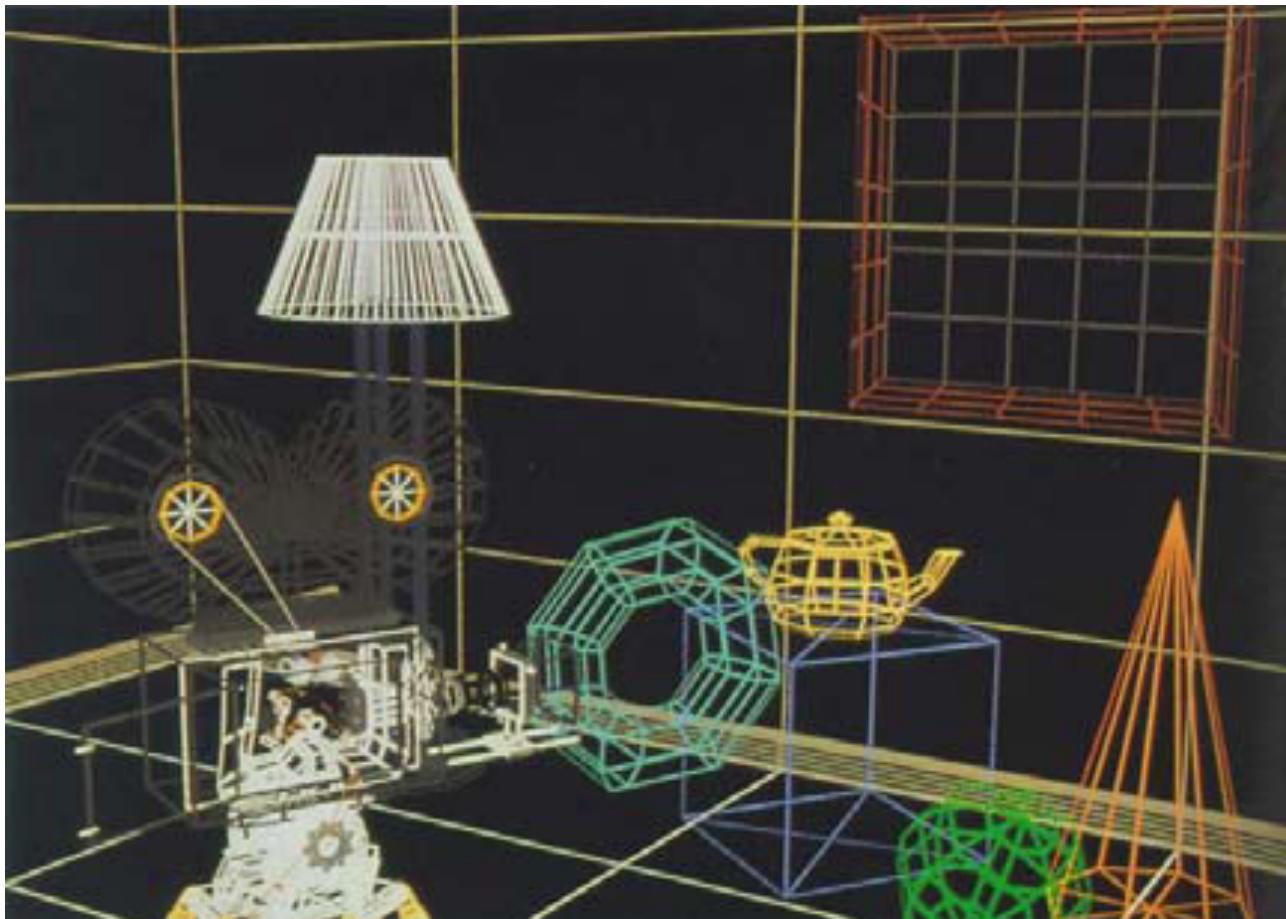
Creare una immagine da un modello



Modello wireframe – Proiezione Prospettica

Illumination Models and Shading - Review

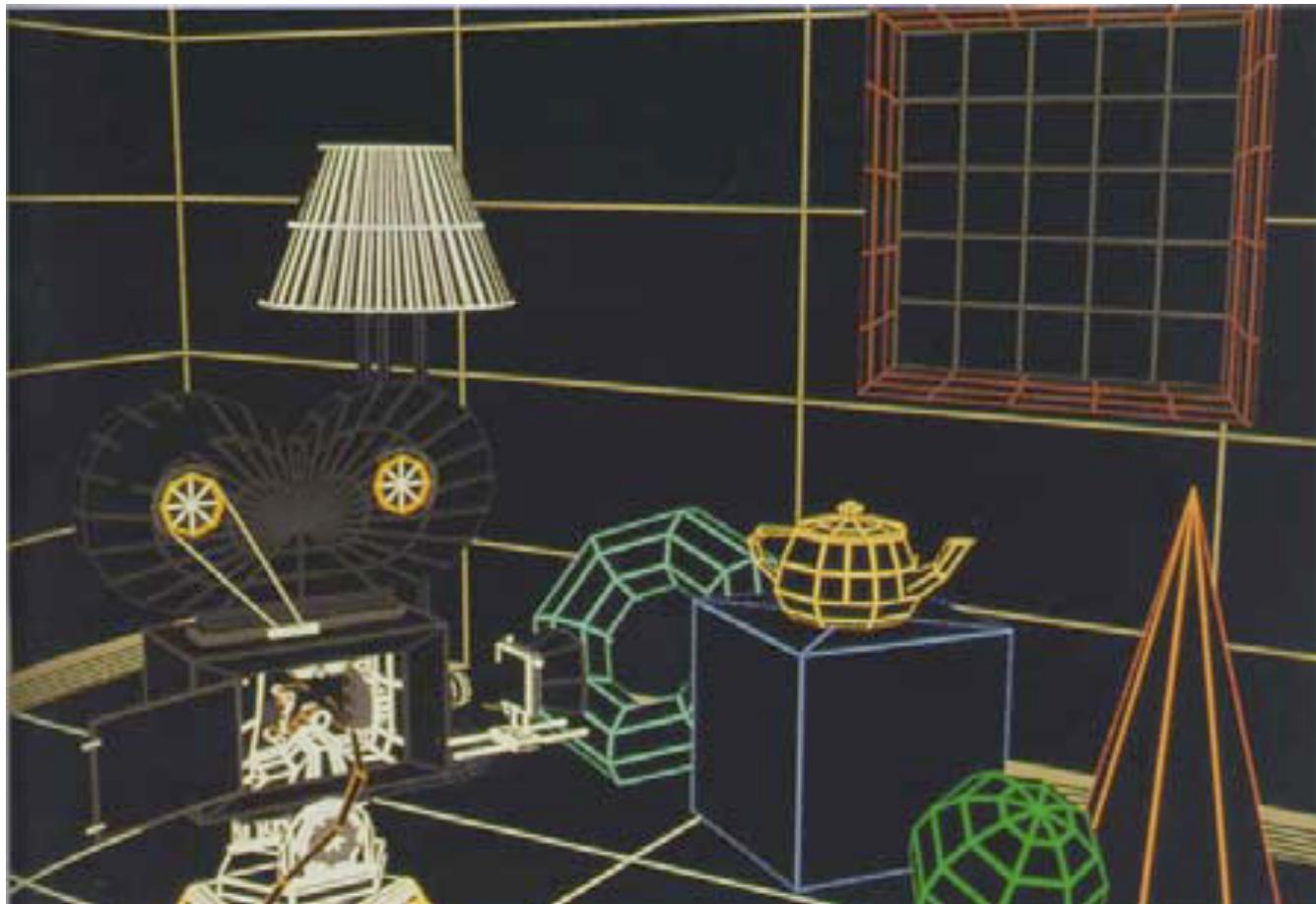
Creare una immagine da un modello



Modello wireframe – Linee colorate

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Modello wireframe – Individuazione linee/superfici visibili

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Superfici visibili con illuminazione ambiente

Illumination Models and Shading - Review

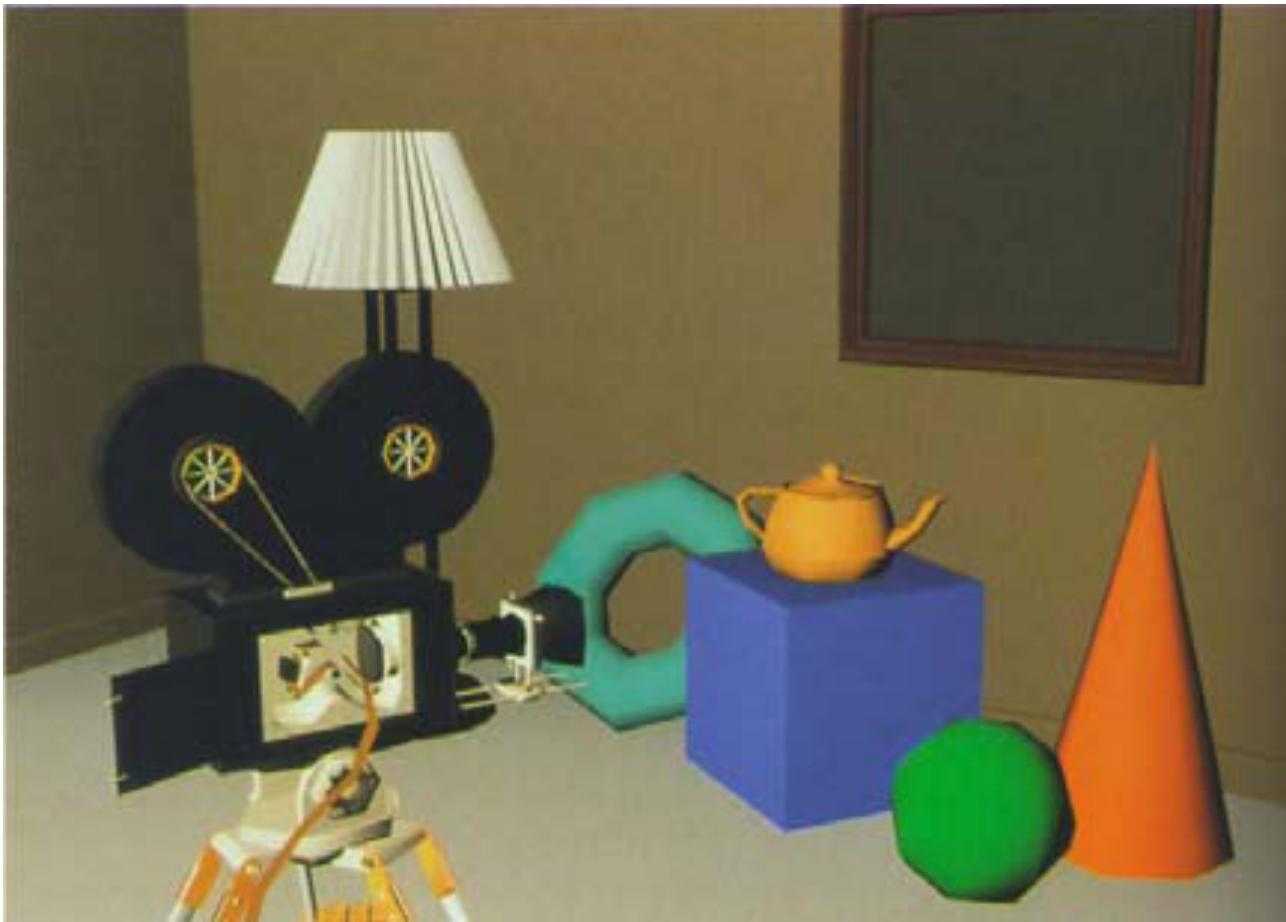
Creare una immagine da un modello



Shading Flat con riflessione diffusiva

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Shading di Gouraud con riflessione diffusa

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Shading di Gouraud con riflessione speculare

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Shading di Phong con riflessione speculare

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Luci multiple

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Texture mapping

Illumination Models and Shading - Review

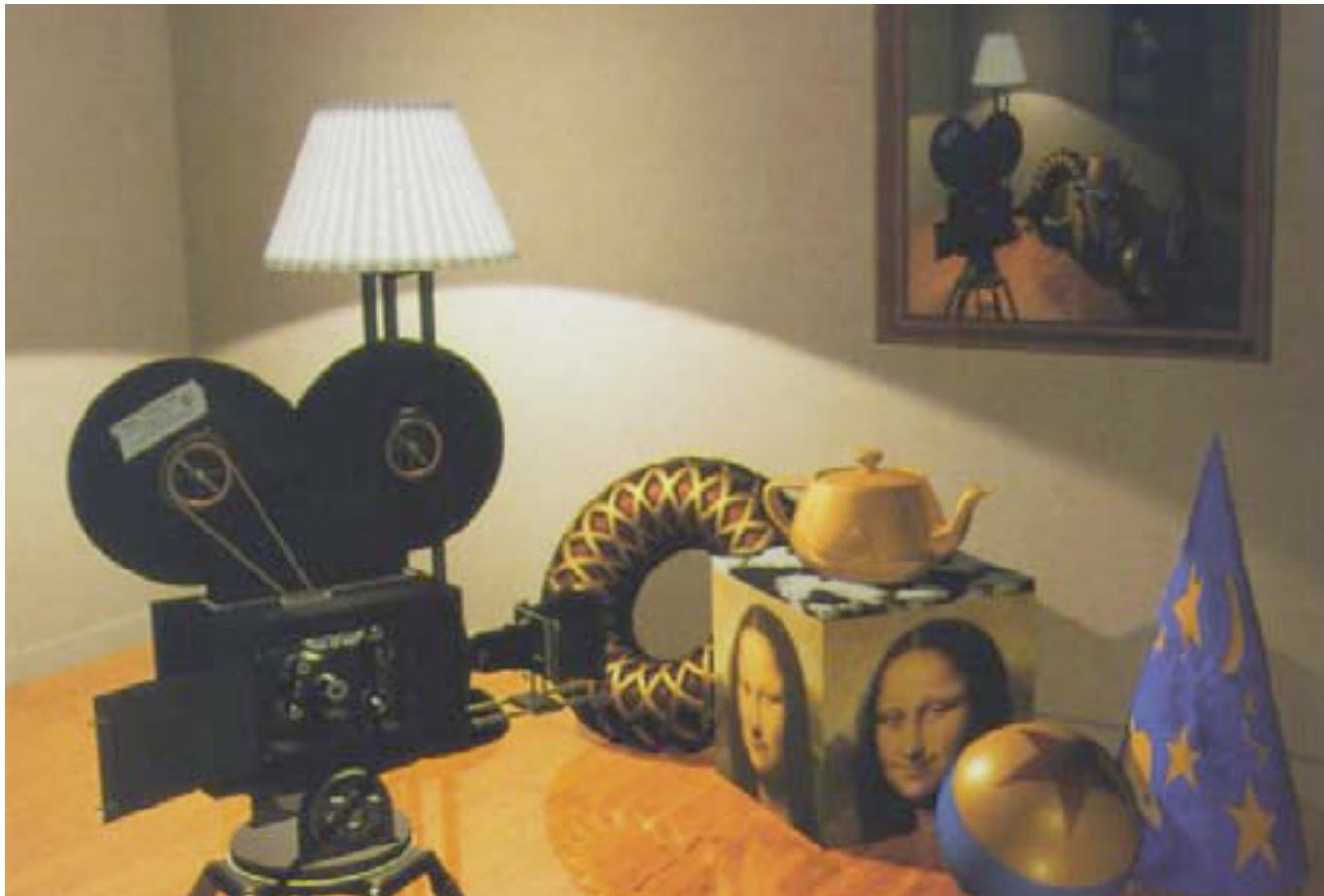
Creare una immagine da un modello



Shadows

Illumination Models and Shading - Review

Creare una immagine da un modello



Reflection Mapping

INFORMATICA GRAFICA – SSD ING-INF/05

Sistemi di elaborazione delle informazioni

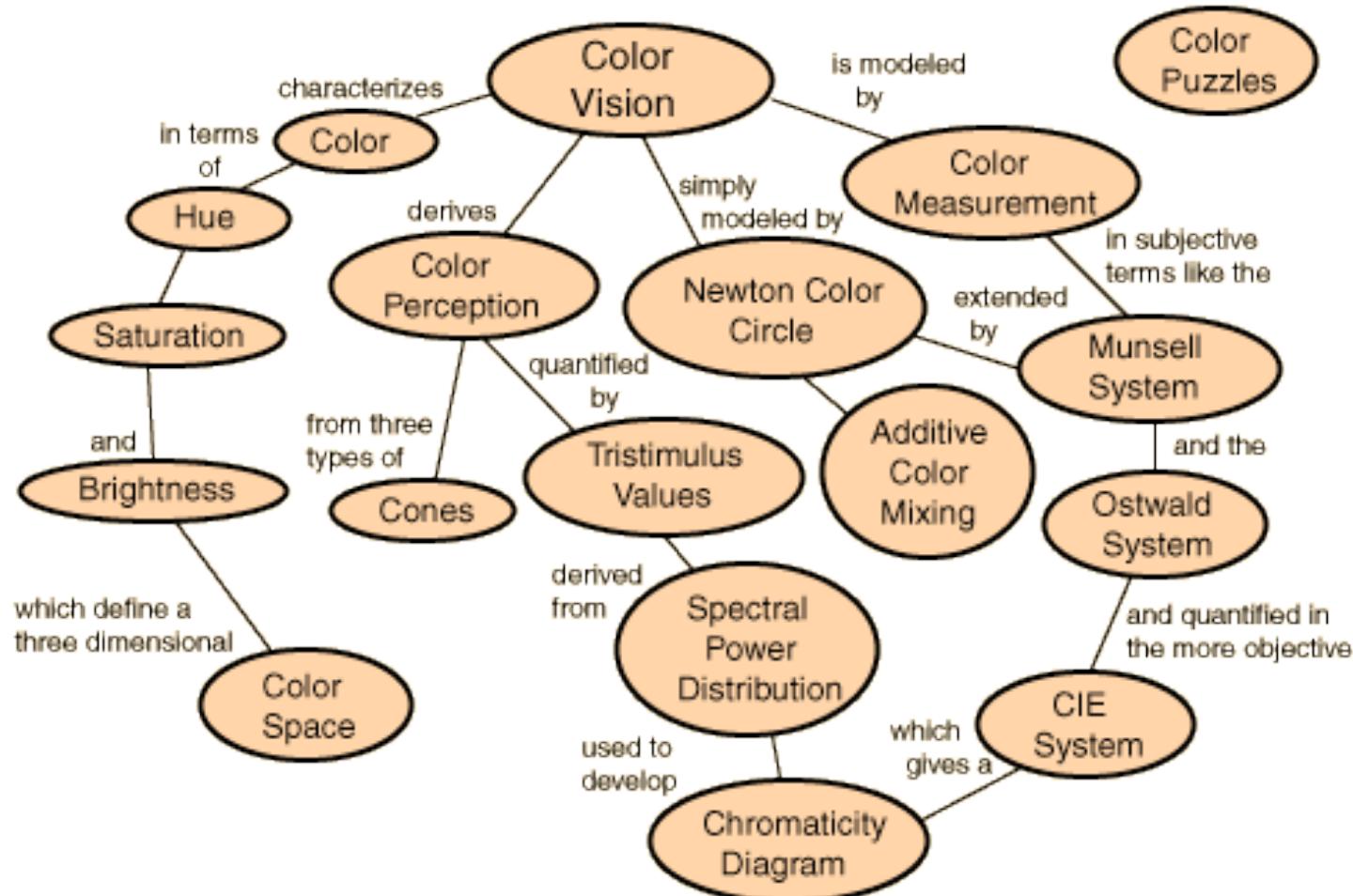
a.a. 2007/2008

CAP 6. Rendering grafico

Teoria dei colori

Colore

L'argomento è certamente interessante ...

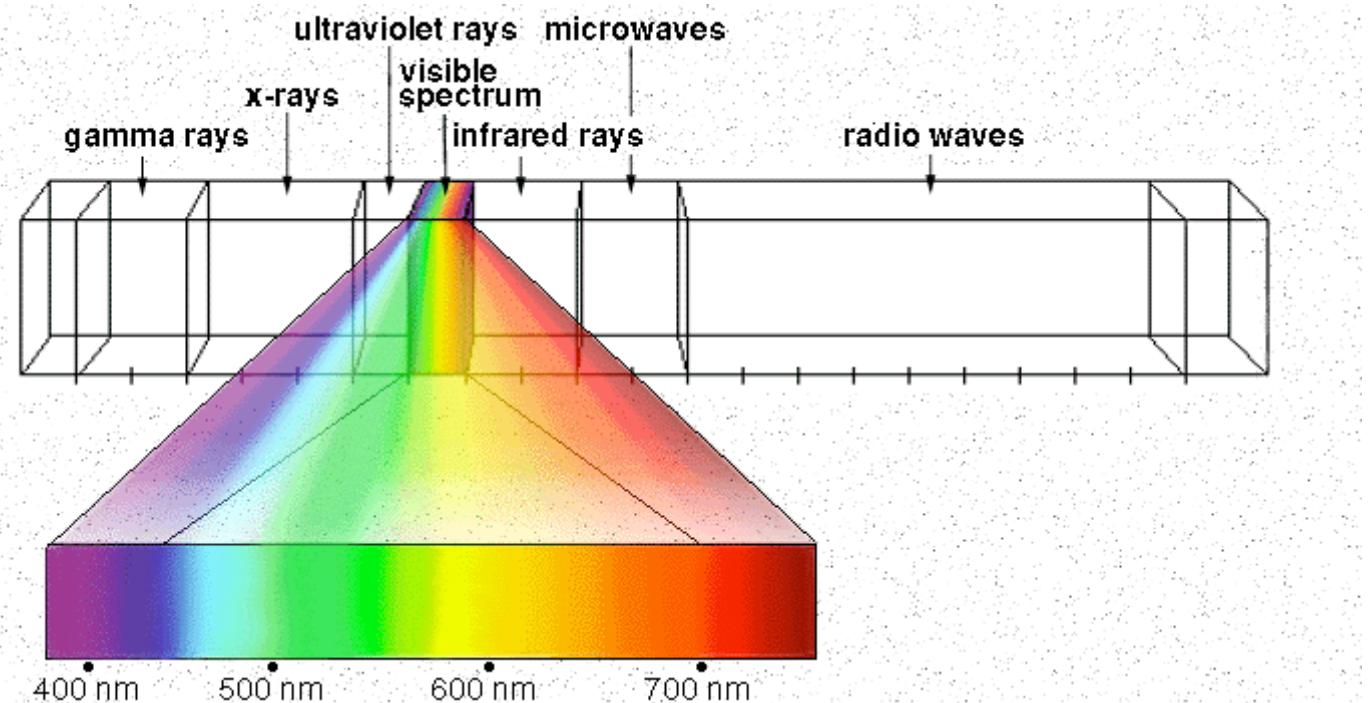


... semplifichiamo!!

Colore

Il **colore** è un'onda elettromagnetica definita da:

- ampiezza (intensità o energia)
- lunghezza d'onda



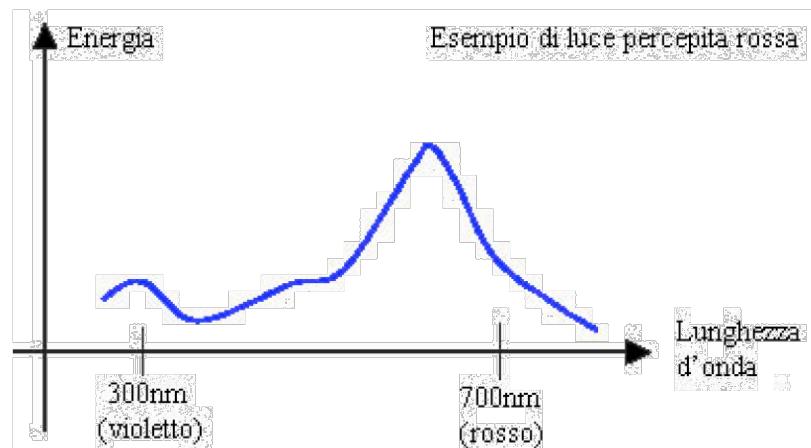
La luce bianca visibile è composta dalle frequenze nel range 400-700 nm

- 400-500 nm blue range
- 500-600 nm green range
- 600-700 nm red range

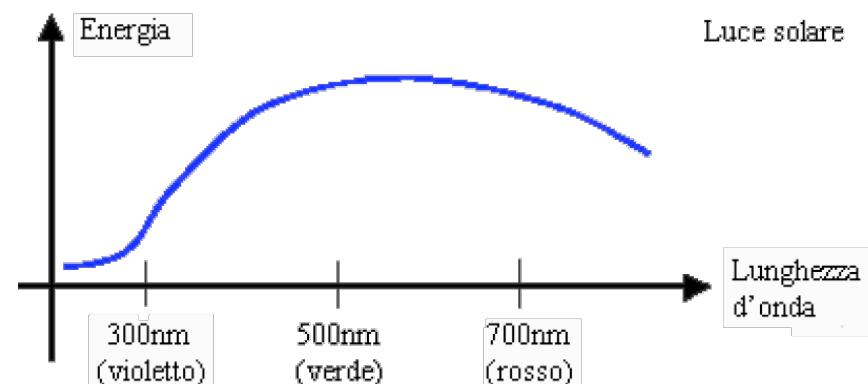
Colore e luce

- Il colore ("non puro") è dato da una luce composta da diverse onde con proprie lunghezze e distribuzioni di energia

Esempio colore rosso



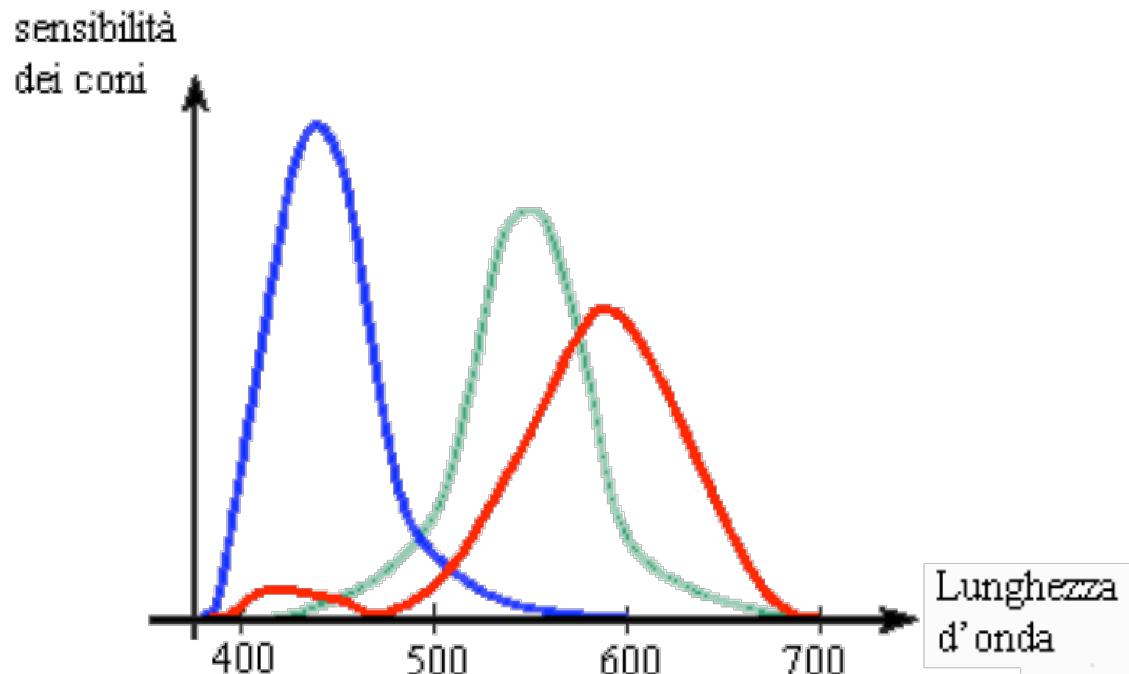
Esempio luce solare



- La luce laser è una sorgente di luce con un'unica lunghezza d'onda (o con una banda molto ristretta di lunghezze d'onda)

Percezione umana del colore

- La retina umana ha **tre** tipi di fotorecettori detti “**coni**”, ciascuno dei quali ha una propria distinta e caratteristica sensibilità (*spectral response*)
- La sensibilità spettrale dei tre tipi di coni corrisponde (con una certa sovrapposizione) al **rosso**, **verde** e **blue** dello spettro visibile (nel range 400-700 nm).



Percezione umana del colore

- ❑ I coni e la retina sono stimolati solo dalle lunghezze d'onda a cui sono sensibili, in funzione della distribuzione spettrale dei raggi incidenti: un segnale *composito* è quindi inviato al cervello.
- ❑ L'insieme dei tre tipi di coni non è uniformemente distribuito sul range dello spettro visibile: per ogni cono sensibile alle short-wavelength (blue) ci sono approssitivamente 20 medium-wavelength (green) e 40 long-wavelength coni (red)
- ❑ La combinazione di diverse frequenze che colpiscono i coni determinano la **sensazione** dei diversi colori.
 - ✓ e.g. la sensazione del porpora richiede che le frequenze nella regione del rosso e blu abbiano una determinata distribuzione di energia

Percezione umana del colore

- Distribuzioni spettrali diverse possono però determinare uno stesso “*segnaletico* composite” (o meglio, molto simile) inviato al cervello: il colore **percepito** risulta essere quindi lo stesso. Questo fenomeno è chiamato **metamerismo**.
- Il principio del **metamerismo** è di fatto utilizzato per definire un sistema di riproduzione/rappresentazione dei colori.
- Considerando la sensibilità dei tre tipi di coni della retina, sensibili alle onde “*long*”, “*medium*” and “*short*”, possiamo assumere che questi siano dei **colori primari** che in modo opportuno e controllato misceliamo per determinare la percezione dei diversi colori.

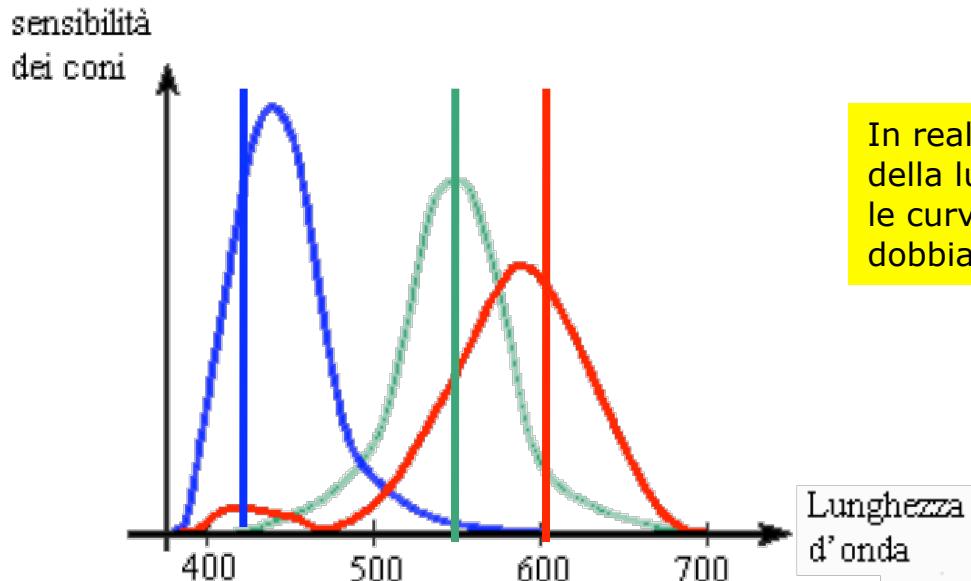
Rappresentazione Matematica

Quindi, se la percezione umana dei colori è basata sulla sensibilità di tre coni a tre diversi range di lunghezza d'onda possiamo immaginare – semplificando - di rappresentare un colore come la combinazione di tre sorgenti di colore "puro":

$$X = rR + gG + bB$$

dove

- ✓ X è il colore che vogliamo rappresentare
- ✓ R, G e B sono i tre colori puri rosso, verde e blu
- ✓ r, g e b le rispettive intensità



In realtà r, g e b dovrebbero essere delle **funzioni** della lunghezza d'onda ... noi abbiamo trasformato le curve in "impulsi" – non necessariamente dobbiamo farlo nei massimi!

Rappresentazione Matematica

- Nota importante:
Assegnando a r, g o b eventualmente anche valori **negativi**, si possono rappresentare tutti i colori esistenti!
- In caso di intensità negative si parla di "**subtractive matching**" (colore per sottrazione)

Rappresentazione Matematica

- Senza nessuna perdita di informazione, ma con il guadagno di una maggiore semplicità, “mappiamo” i range utili di r , g e b all’intervallo $[0, \dots, 1]$
- imponiamo inoltre che

$$r + g + b = 1$$

Rappresentazione Matematica

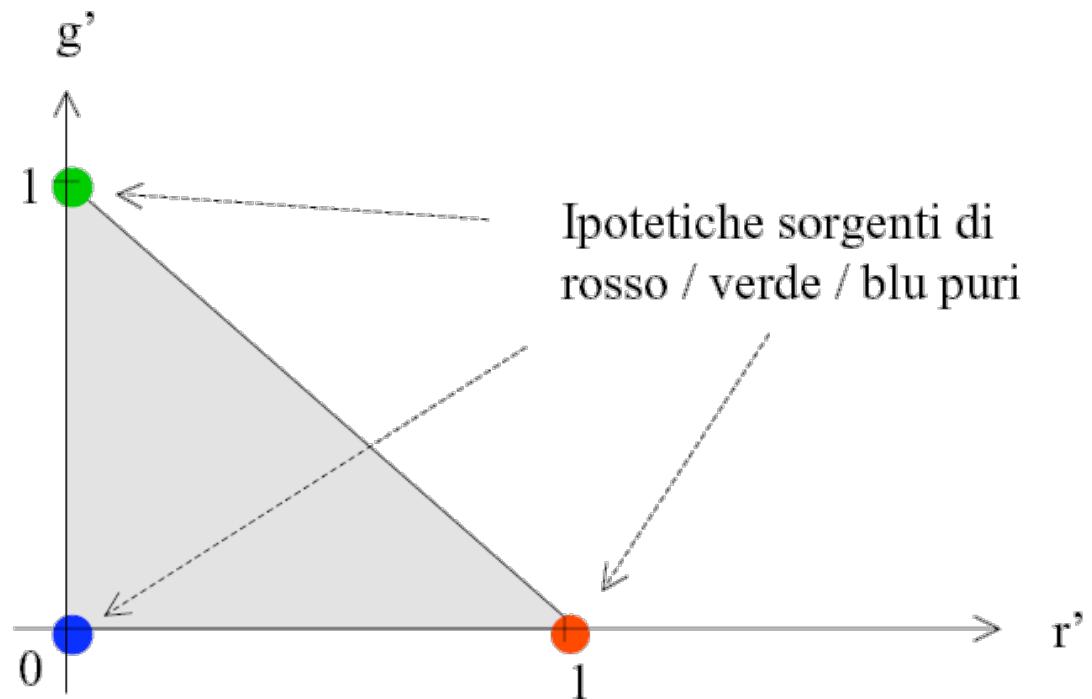
L'ultimo vincolo si traduce in:

$$r' = r / (r+g+b)$$

$$g' = g / (r+g+b)$$

$$b' = b / (r+g+b) = 1 - r' - g'$$

da cui si evince che l'insieme normalizzato di tutti i colori può essere rappresentato in uno spazio 2D

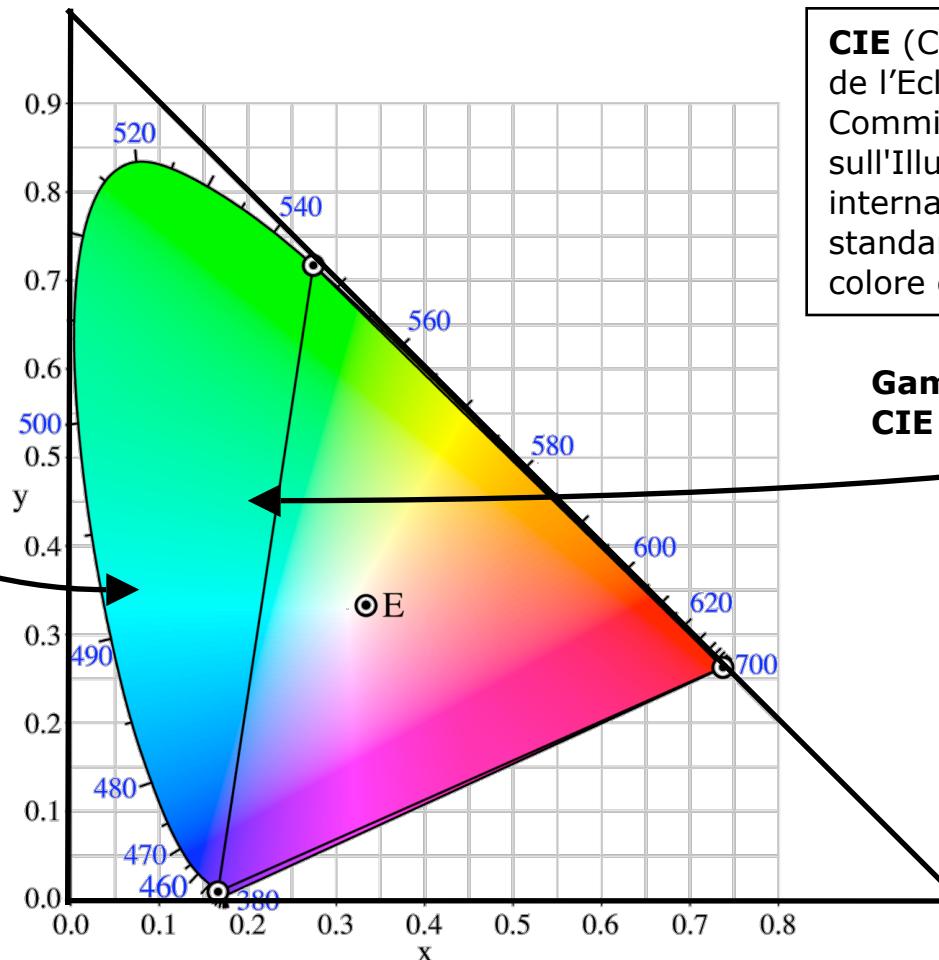


Lo Spazio normalizzato dei colori

In realtà i colori effettivamente **visibili** sono solo un sottoinsieme dei colori rappresentabili con il paradigma RGB.

CIE 1931 xy Chromaticity Diagram

Questa curva racchiude tutti i colori percepibili dall'occhio umano come distinti.



CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), ovvero la Commissione Internazionale sull'Illuminazione, è l'autorità internazionale che definisce gli standard legati alla luce, al colore e alla visione.

Gamma e posizione del CIE RGB

Racchiude tutti i colori rappresentabili con un modello RGB.

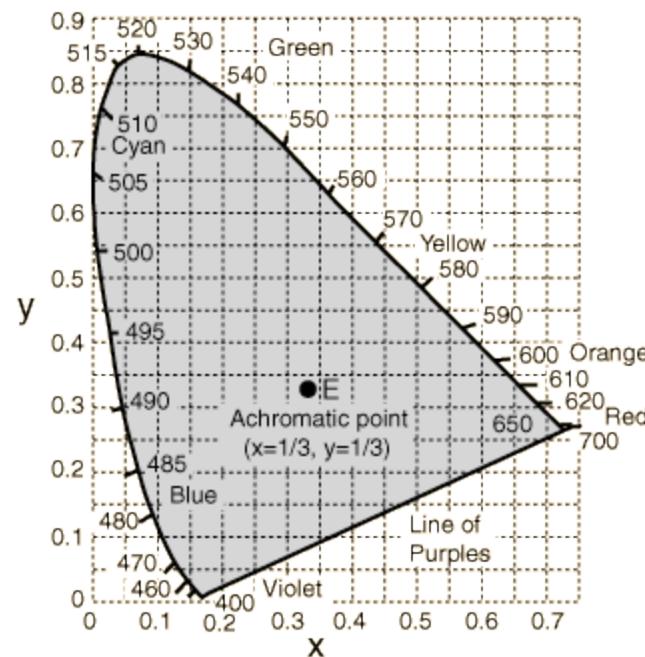
Il termine **visibili** qui è da intendersi come "differentemente percepibili" – ovvero, se uso dei valori di r' e g' al di fuori della regione racchiusa dalla regione curva ottengo un colore che viene **percepito** come (o quasi) uno di quelli presenti nell'area indicata.

Lo Spazio normalizzato dei colori CIE

- Il diagramma CIE è uno standard per la rappresentazione normalizzata del colore
- I colori **puri** stanno sul “bordo curvo”
- La linea retta congiungente rosso e blu non ha alcun equivalente puro: i colori possono essere ottenuti solo con “blending” (interpolazione) di colori puri
- Il diagramma è convesso, in quanto ogni possibile combinazione lineare di colori puri deve dar luogo ad un colore contenuto nel diagramma stesso

Il bianco, i grigi e le intensità

- I **grigi** si hanno per $r = g = b$
- Nel diagramma CIE, dato che r , g e b sono normalizzati, questo si riduce ad un unico punto, ovvero $r' = g' = 0.33$, che è il **bianco**
- I grigi dunque non sono contemplati nel modello CIE, a causa della normalizzazione. In altre parole, il modello CIE non rappresenta **l'intensità** ("intensity" o "brightness")
- Cambiando l'intensità i colori cambiano a livello percettivo



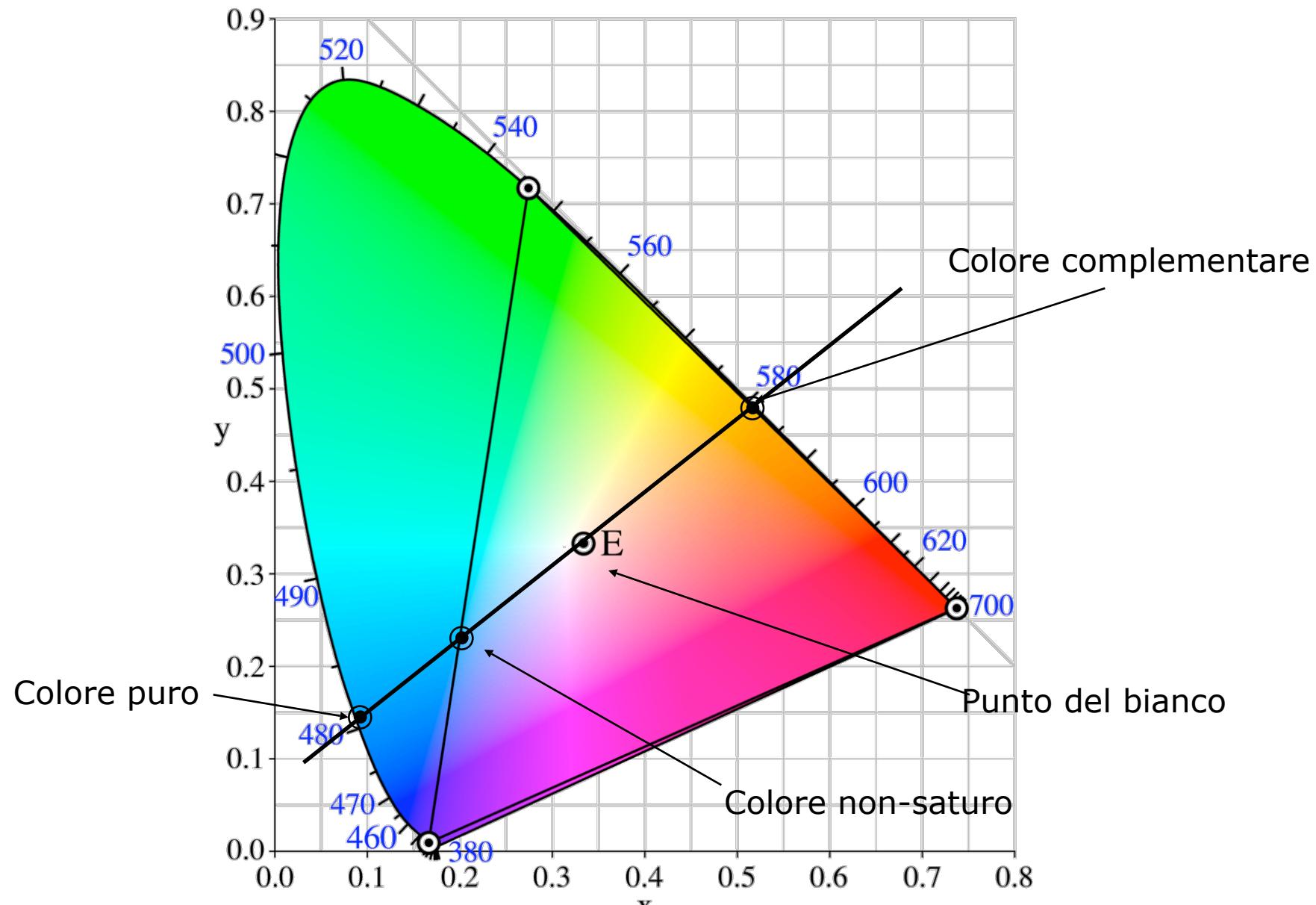
Saturazione

- I colori puri sono detti **saturi**
- Stanno sul bordo curvo del diagramma CIE
- Matematicamente la saturazione di un colore c è data dal rapporto tra due distanze A e B , dove
 - A è la distanza tra il colore c e il punto bianco
 - B è la distanza tra il punto bianco e il bordo del diagramma, passando per il colore c

Colori Complementari

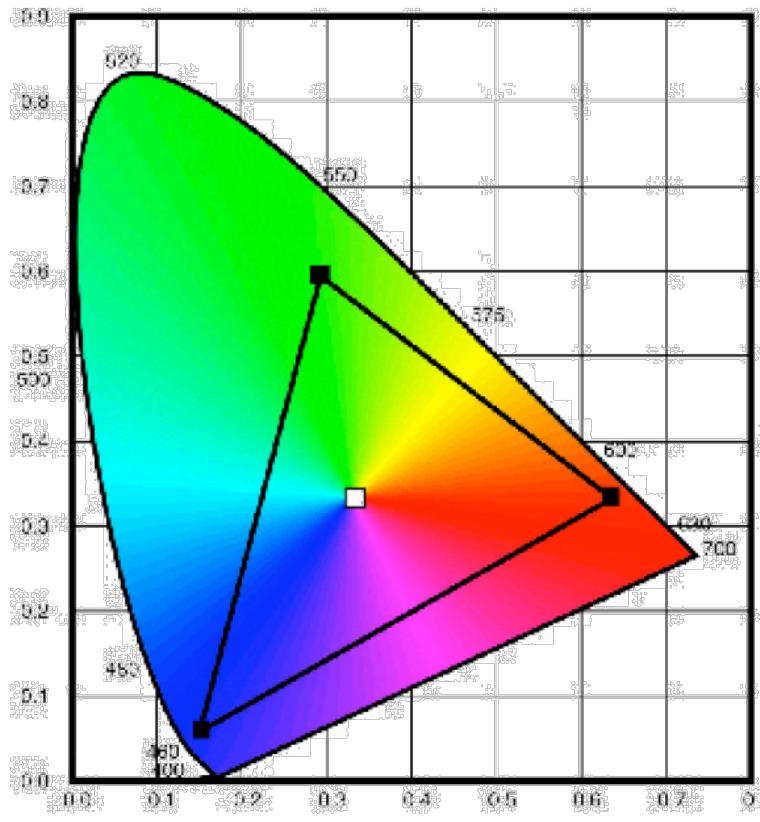
- Dato un colore saturo c , il suo colore complementare c' è quello che sta sul bordo opposto del diagramma, passando attraverso il bianco
- $c + c' = \text{bianco}$

Colore Complementare e Saturazione



Il modello RGB dei monitor

- I monitor rappresentano il colore sommando l'output di tre fosfori - rosso, verde e blu
- La posizione sul diagramma CIE del colore emesso da ognuno dei tre fosfori, è data da:



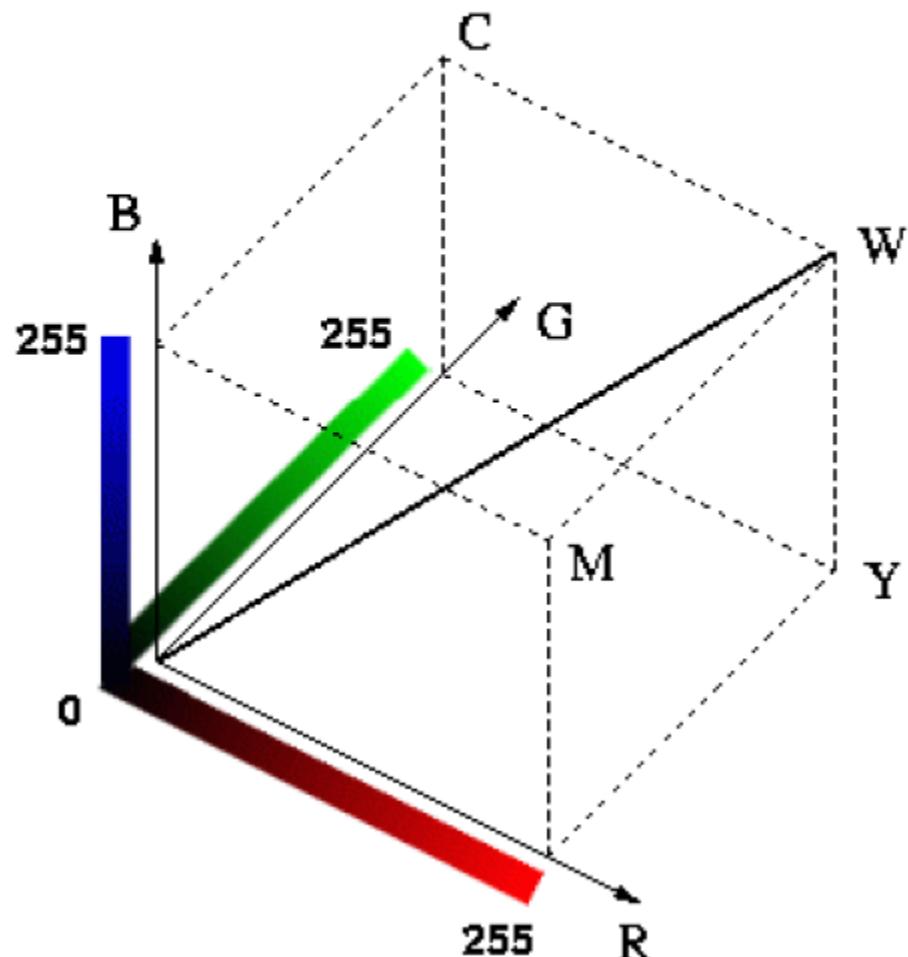
	r'	g'	b'
rosso	0.628	0.346	0.026
verde	0.268	0.588	0.144
blu	0.15	0.07	0.78

Da RGB a CIE

- Viceversa, si ottengono i valori CIE di un colore specificato nello spazio RGB con la seguente trasformazione

$$(r', g', b') = \begin{pmatrix} 0.628 & 0.268 & 0.15 \\ 0.346 & 0.588 & 0.07 \\ 0.026 & 0.144 & 0.78 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Rappresentazione grafica dello spazio RGB



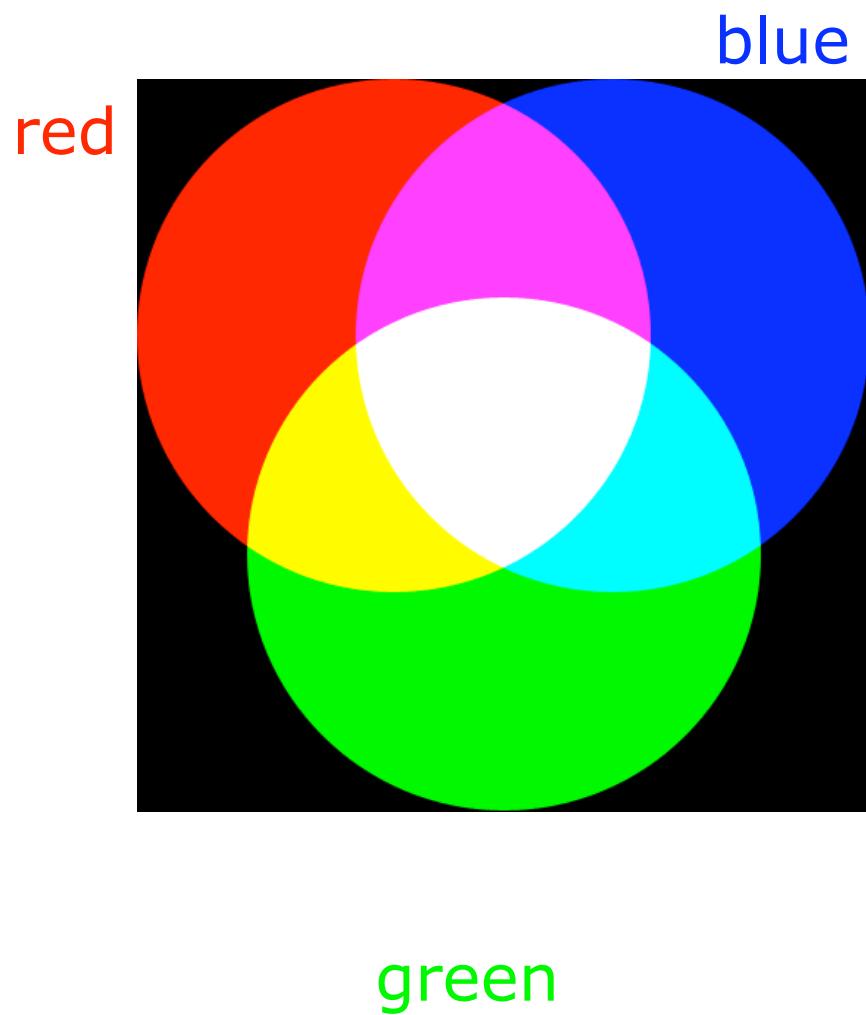
R: red
G: green
B: blue
C: cyan
M: magenta
Y: yellow
W: white

Metodo sottrattivo dei colori

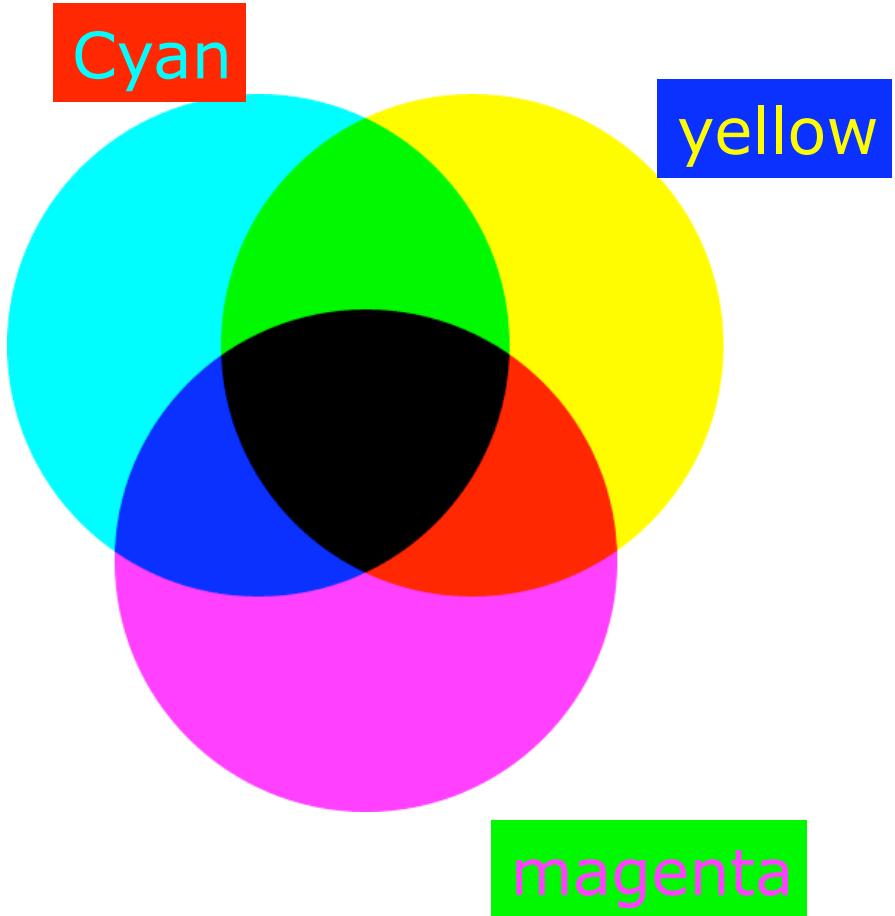
- Gli inchiostri usati per la stampa assorbono determinate lunghezze d'onda della luce incidente: ciò significa che per generare un dato colore "sottraggono" alcune componenti
- Per questo, nella stampa come anche in altri casi, per la rappresentazione del colore conviene usare un **modello sottrattivo**
- In realtà il modello sottrattivo permette di rappresentare un range di colori ben più ampio che non il modello additivo

Colori Primari per i sistemi Additivo e Sottrattivo

Primari additivi

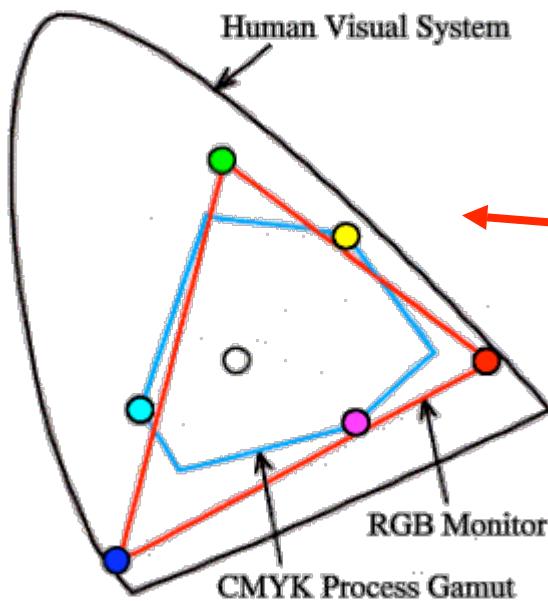


Primari sottrattivi



Il modello CMY/CMYK

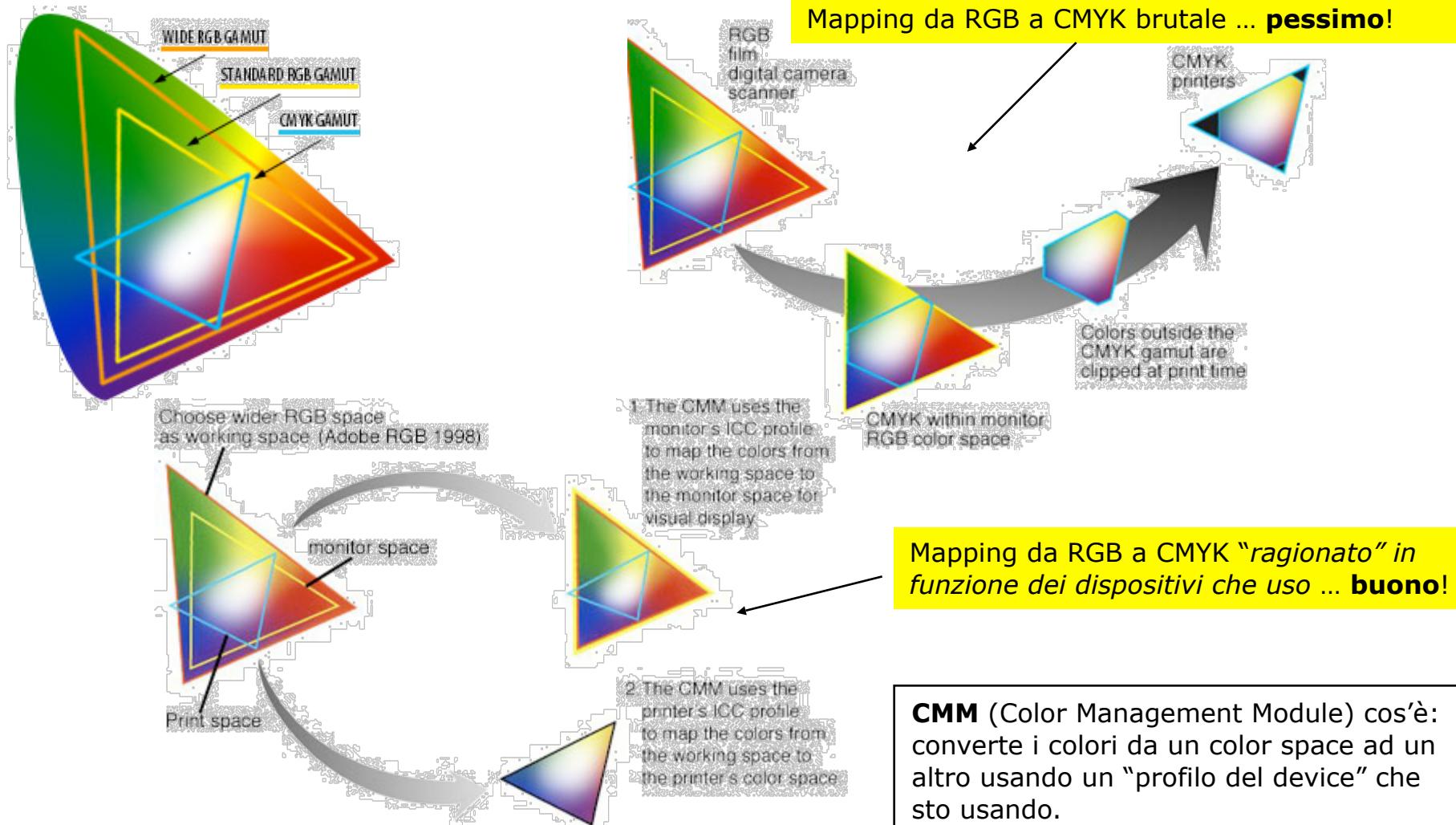
- E' un modello sottrattivo
- Si basa sui tre colori sottrattivi primari cyan - magenta - yellow
- Usato per esempio per la stampa (vd. cartucce per stampanti a getto)
- Spesso si usa il modello CMYK, cyan - magenta - yellow - black



Significa che quando stampo non riesco ad ottenere gli stessi colori che "vedo" sul monitor!

Color Spaces

- RGB e CMYK sono modelli di colore.
- Un mapping tra un modello di colore e un altro determina una diversa gamma di colori.



CMYK → CMY → RGB

$$C_{\text{CMYK}} = [C, M, Y, K]$$



$$C_{\text{CMY}} = [C', M', Y'] = [C(1 - K) + K, M(1 - K) + K, Y(1 - K) + K]$$



$$C_{\text{RGB}} = [R, G, B] = [1 - C', 1 - M', 1 - Y']$$

$$= [1 - (C(1 - K) + K), 1 - (M(1 - K) + K), 1 - (Y(1 - K) + K)]$$

Non devo impararle a memoria ... basta sapere che esiste un metodo con cui si passa da uno all'altro e perchè!

RGB → **CMY** → **CMYK**

Il mapping **RGB** → **CMYK** non è unico!

$$C_{\text{RGB}} = [\text{R}, \text{G}, \text{B}]$$

↓

$$C_{\text{CMY}} = [\text{C}, \text{M}, \text{Y}] = [1 - \text{R}, 1 - \text{G}, 1 - \text{B}]$$

↓

$$\text{if } \min[\text{C}, \text{M}, \text{Y}] == 1 \text{ then } C_{\text{CMYK}} = [0, 0, 0, 1]$$

$$\text{else } \mathbf{K} = \min(\text{C}, \text{M}, \text{Y})$$

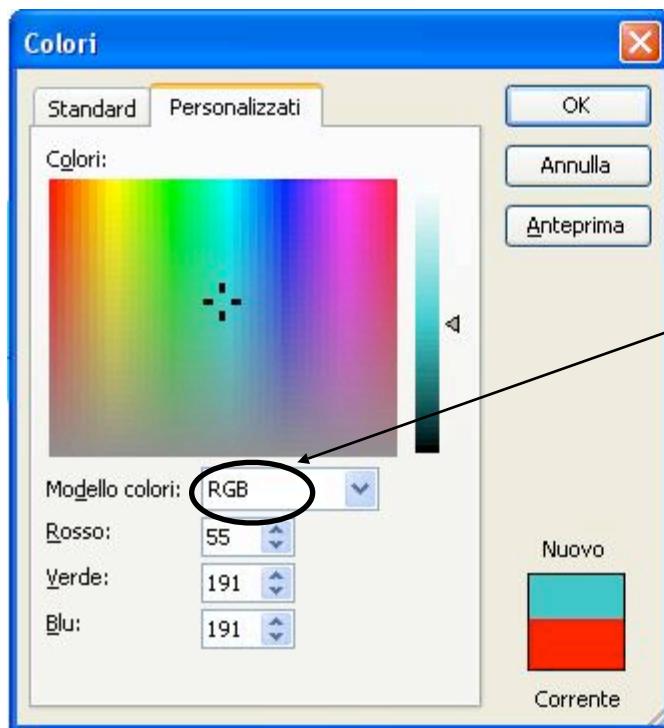
$$C_{\text{CMYK}} = [(\text{C} - \mathbf{K}) / (1 - \mathbf{K}), (\text{M} - \mathbf{K}) / (1 - \mathbf{K}), (\text{Y} - \mathbf{K}) / (1 - \mathbf{K}), \mathbf{K}]$$

Questo approccio tende ad usare il più possibile il colore nero!

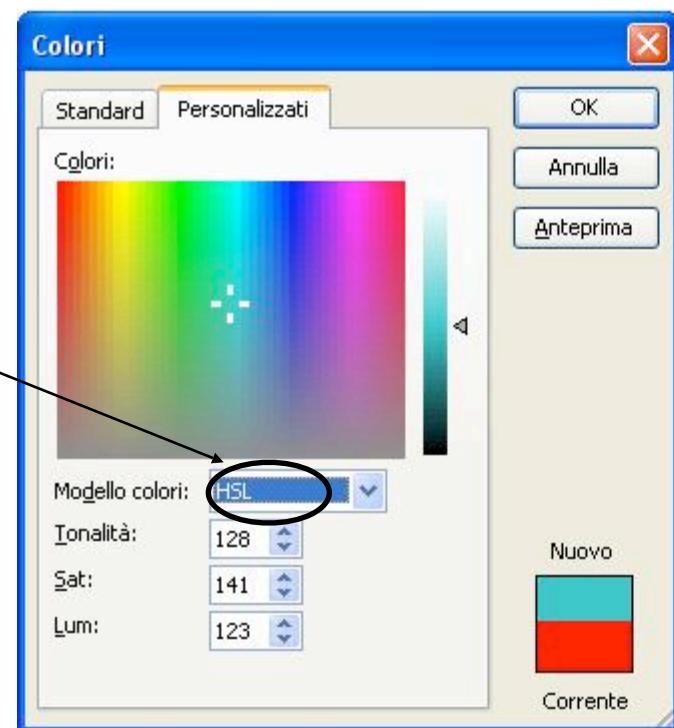
Non devo impararle a memoria ... basta sapere che esiste un metodo con cui si passa da uno all'altro e perchè!

Color Space per Designer

- ☐ Miscelare i colori in RGB è **pratico**, ma **non è naturale** – non rispecchia la modalità secondo cui vede l'occhio umano!
- ☐ Miscelare i colori in CMY è un pò più naturale – ma non è molto intuitivo!
- ☐ Come rendo un colore più *pallido*? Come lo rendo più *brillante*?
- ☐ Come lo ottengo questo **colore**? E quest'altro **colore**?
- ☐ **HSV** (HSB) e **HSL** (HSI) sono i sistemi utilizzati dai designer.

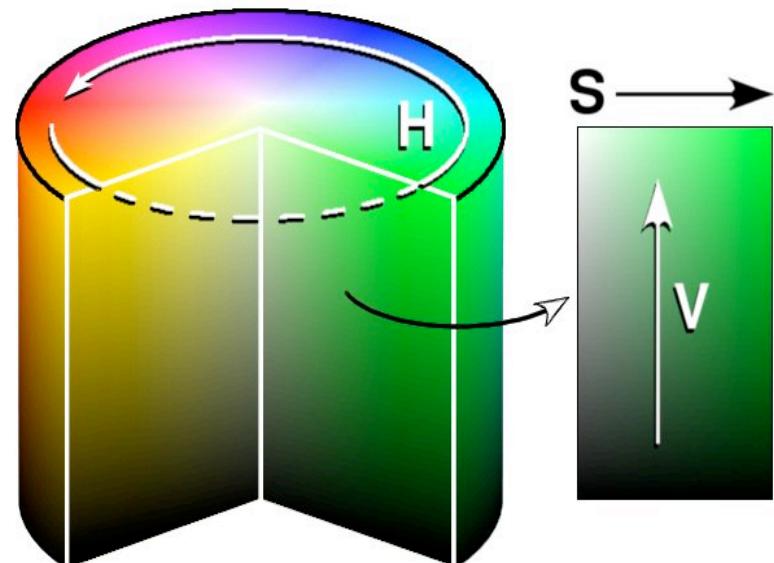
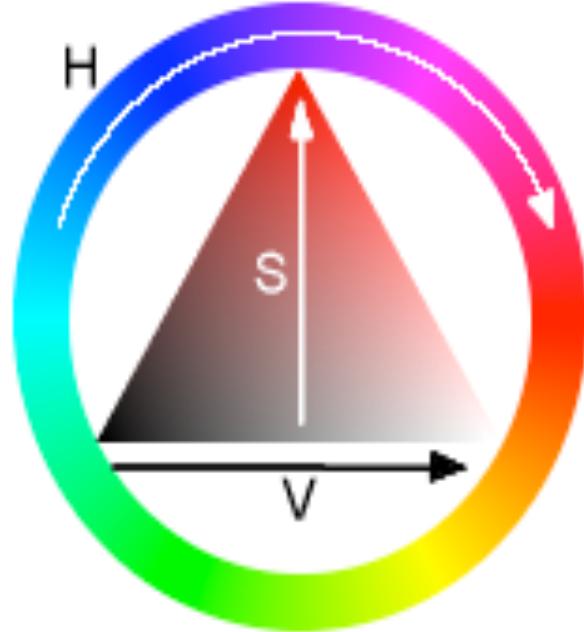


Li conosco già!



HSV (Hue, Saturation, Value) HSB (Hue, Saturation, Brightness)

- Hue (e.g. red, blue, e yellow):
 - va da 0-360
- Saturation, la “purezza” del colore:
 - va da 0-100%
 - quanto più è bassa la saturazione di un colore quanto più apparirà pallido.
- Value, la brightness del colore:
 - va da 0-100%



RGB → HSV

Data la tupla (R, G, B) con $0.0 \leq R, G, B \leq 1.0$

siano $MAX = \max(R, G, B)$ $MIN = \min(R, G, B)$

allora:

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0 & \text{if } MAX = R \text{ and } G \geq B \\ 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360 & \text{if } MAX = R \text{ and } G < B \\ 60 \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120 & \text{if } MAX = G \\ 60 \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240 & \text{if } MAX = B \end{cases}$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

$$V = MAX$$

Non devo impararle a memoria ... basta sapere che esiste un metodo con cui si passa da uno all'altro e perchè!

HSV→RGB

Dato il colore (H, S, V)

dove $0.0 \leq H \leq 360.0, 0.0 \leq S, V \leq 1.0$

allora

if $S == 0.0$ then $R = G = B = V$ e H e S qualsiasi

else

$$H_i = \left\lfloor \frac{H}{60} \right\rfloor \bmod 6 \quad f = \frac{H}{60} - H_i$$

$$p = V(1 - S) \quad q = V(1 - fS) \quad t = V(1 - (1 - f)S)$$

if $H_i == 0$ ® $R = V, G = t, B = p$

if $H_i == 1$ ® $R = q, G = V, B = p$

if $H_i == 2$ ® $R = p, G = V, B = t$

if $H_i == 3$ ® $R = p, G = q, B = V$

if $H_i == 4$ ® $R = t, G = p, B = V$

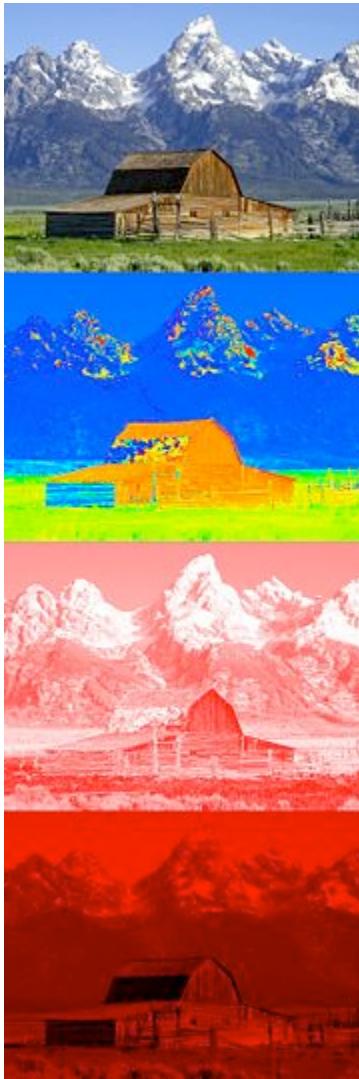
if $H_i == 5$ ® $R = V, G = p, B = q$

Non devo impararle a memoria ... basta sapere che esiste un metodo con cui si passa da uno all'altro e perchè!

Un confronto tra HSV e RGB

RGB

H
S
V



An image, along with its h , s and v components.

- Compare the dark on the left side of the barn roof and the white of the snow; though one is much brighter than the other, these near-neutral colors both have low saturation.
- Notice that the green grass is highly saturated and of moderate brightness, while the blue of the mountains has consistent hue but widely varying brightness and saturation, and the sky has constant hue and brightness but varying saturation.

Crominanza e Luminanza: un altro mapping da RGB

- ❑ Un altro modello di colore è il **YUV**, utilizzato negli standard video televisivi, e definisce lo spazio colore in termini di **luminanza** (Y) e di due componenti di **crominanza** (U e V)
- ❑ YUV modella la percezione umana dei colori in un modo diverso dall'RGB.
- ❑ Le ampiezze dei segnali analogici YUV sono determinati a partire dai valori di RGB.
 - ✓ Una combinazione pesata di R, G, e B producono il segnale Y – che rappresenta la brillantezza del punto
 - ✓ Il segnale U viene creato sottraendo Y al blue, e scalando
 - ✓ V viene creato sottraendo Y al rosso, e scalando con diverso fattore

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

$$U = 0.436 * (B - Y) / (1 - 0.114)$$

$$V = 0.615 * (R - Y) / (1 - 0.299)$$

... facile anche con i circuiti analogici!

Non devo impararle a memoria ... basta sapere che esiste un metodo con cui si passa da uno all'altro e perchè!

Crominanza e Luminanza: un altro mapping da RGB

In termini matriciali dato il vettore [R, G, B] il vettore [Y, U, V] può essere calcolato con la seguente matrice (vero per il sistema PAL analogico) :

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

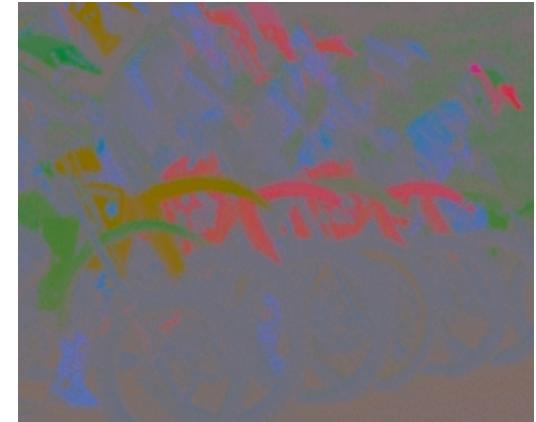
dove R, G e B appartengono ad un range normalizzato [0,1]



RGB



Luminanza (Y)



Crominanza (U e V)