

Elaborazione delle Immagini

Informazione Multimediale - Immagini

Raffaella Lanzarotti

GRANDEZZE RADIOMETRICHE

On Digital Image Processing, and Slides

Grandezze radiometriche

- Onde elettromagnetiche

onde sinusoidali in propagazione di lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ [nm} = (10^{-9} \text{m)}]$$

- Energia radiante

energia che si propaga sotto forma di onda elettromagnetica $E = h\nu = h/\lambda$

ν [1/s]: frequenza.

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (velocità della luce)

$h = 6,626069 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (costante di Planck)

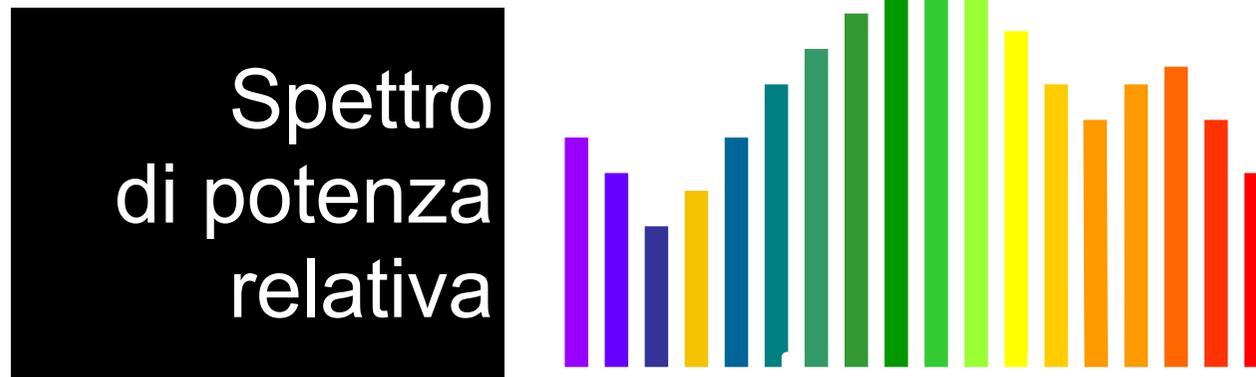
Grandezze radiometriche (cont.)

- **Potenza radiante [W]**
*energia emessa, trasferita e ricevuta
nell'unità di tempo*
- **Radianza**
*potenza radiante per unità infinitesimale di
superficie irradiata*

La luce

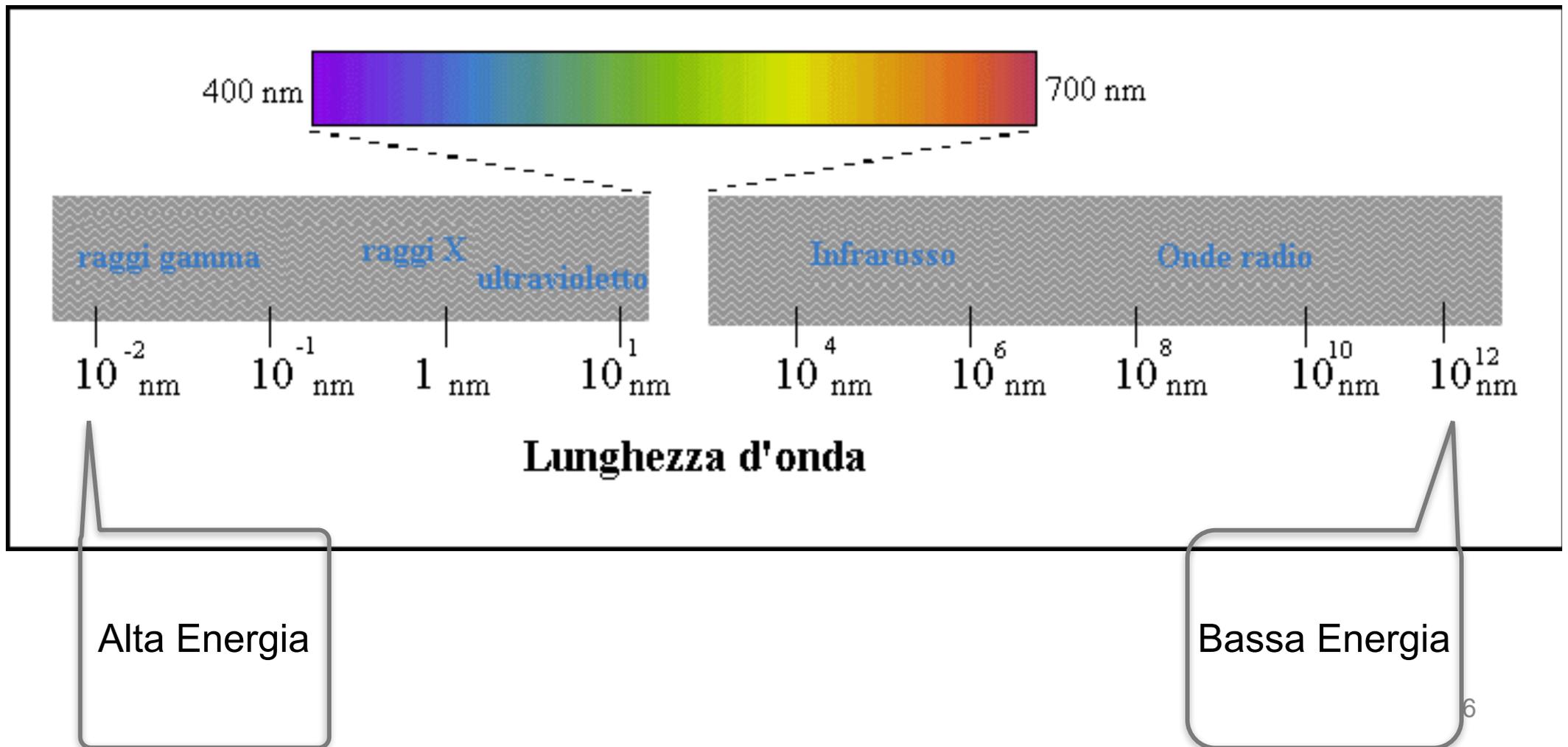
Energia radiante percepibile dal S.V.U

Spetro (di una data sorgente di luce):

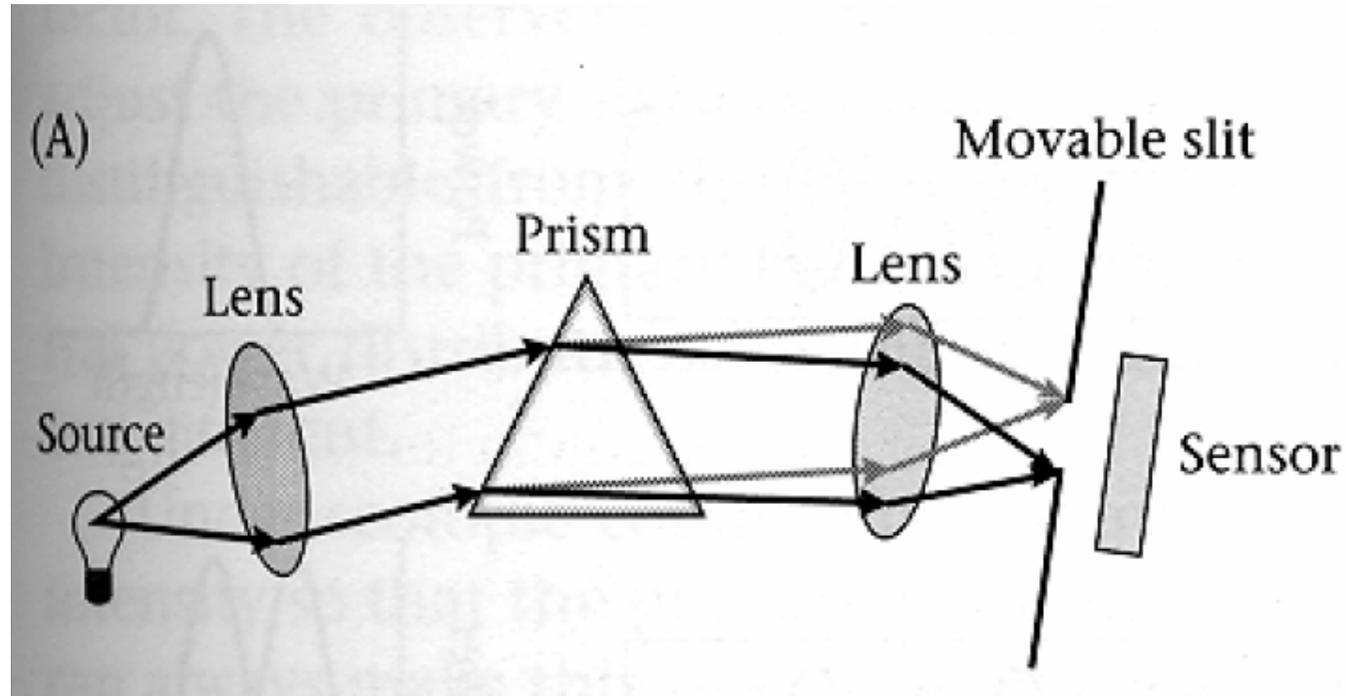


Banda Visibile: da 430 nm a 790 nm

Spettro elettromagnetico



Misurazioni fisiche

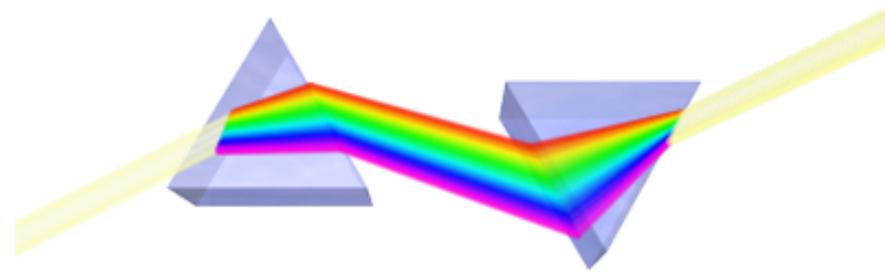


Spettro-radiometro : divide la luce in input nelle diverse lunghezze d'onda e misura l'energia di ciascuna: i differenti colori hanno un diverso indice di rifrazione, cioè sono deviati in modo diverso nel passaggio dall'aria ad un altro mezzo trasparente.

La luce

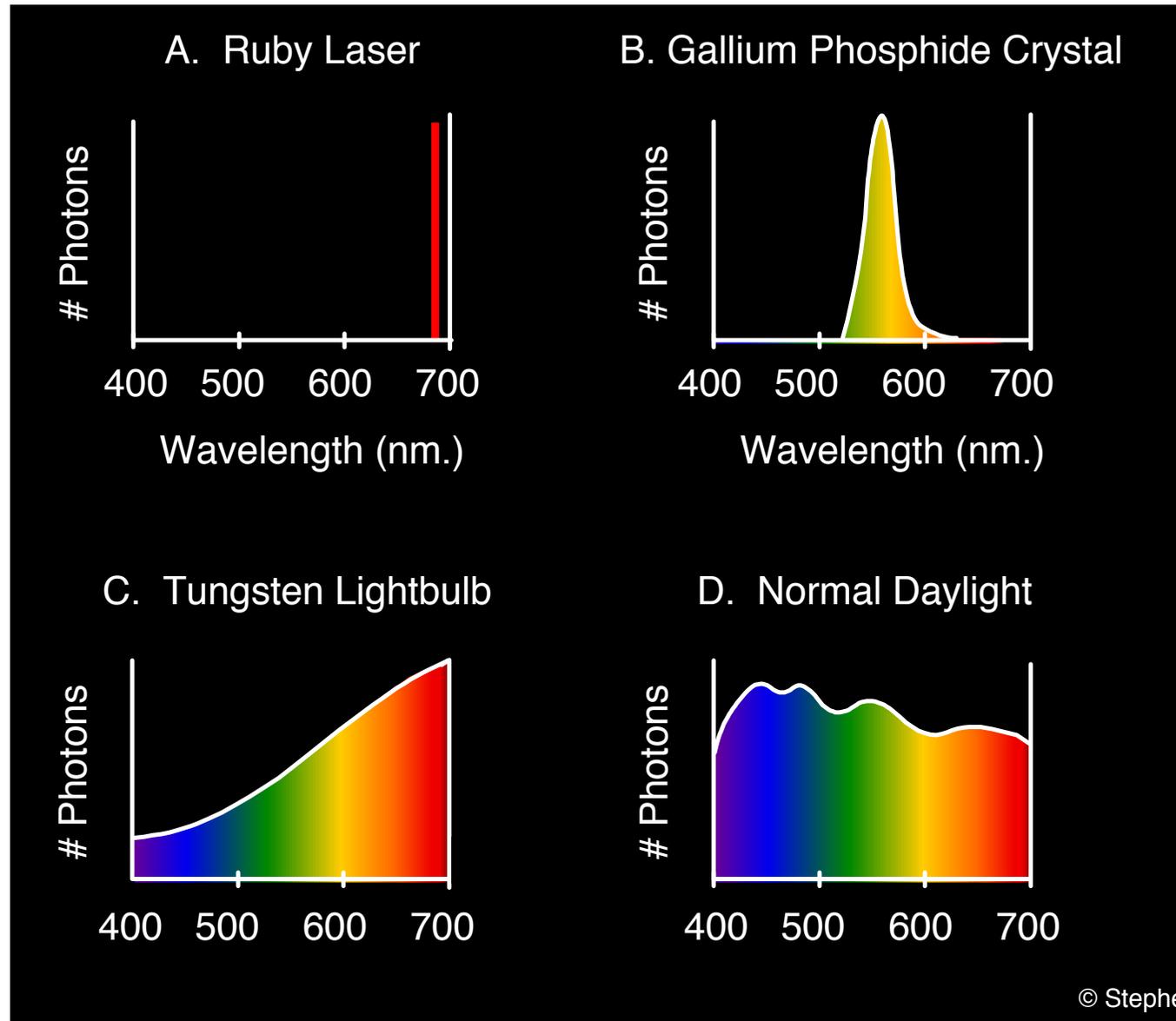
- Luce bianca:

stessa energia
(circa) per ogni
lunghezza d'onda
dello spettro visibile



Distribuzioni di spettri di potenza

- Spettri per diverse sorgenti di luce



Cos'è il colore?

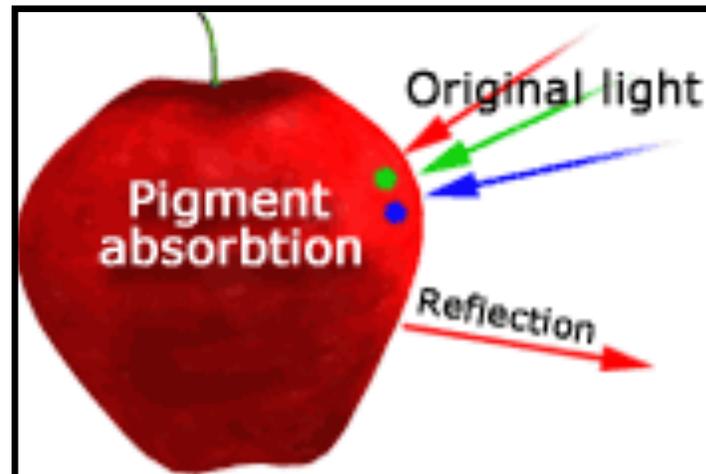
E' il risultato dell'interazione tra:

700nm

- **ENERGIA RADIANTE** (raggi di luce)
- **RIFLETTANZA** (caratteristiche dell'oggetto)
- e il **S.V.U. (Sistema Visivo Umano)**

600nm

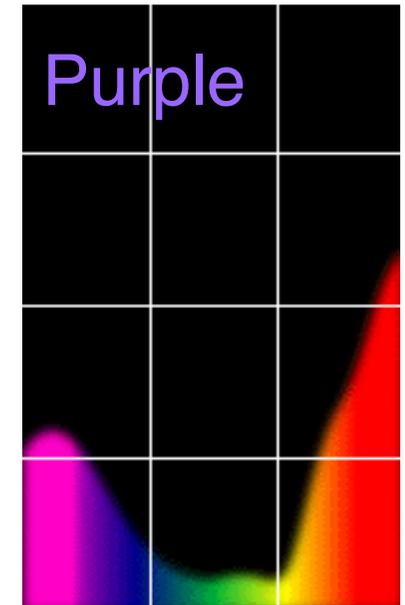
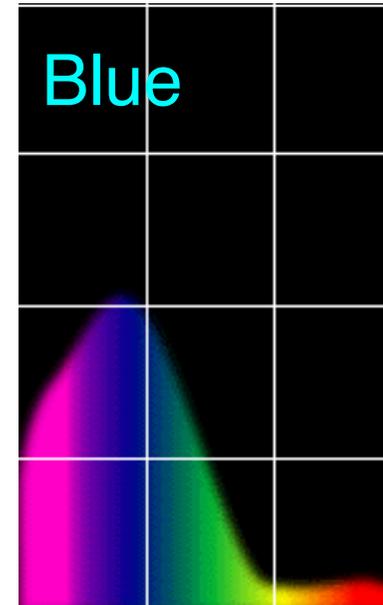
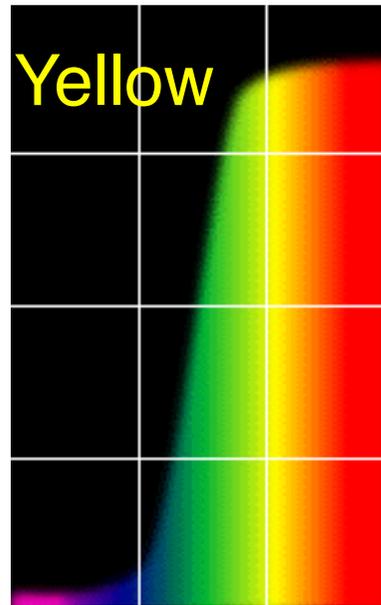
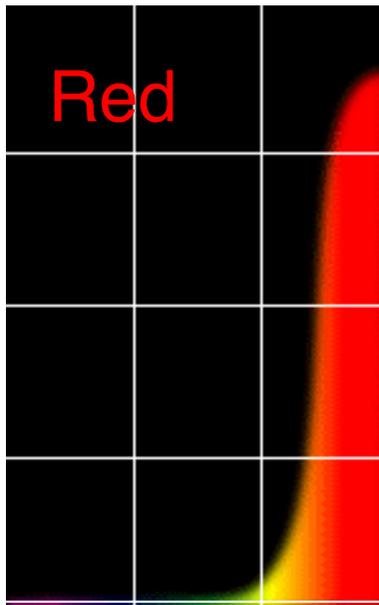
500nm



E' una **proprietà psicofisica** associata all'esperienza visiva, e non una proprietà fisica degli oggetti o della luce

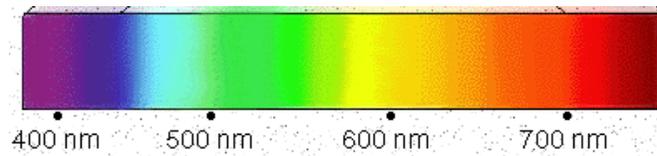
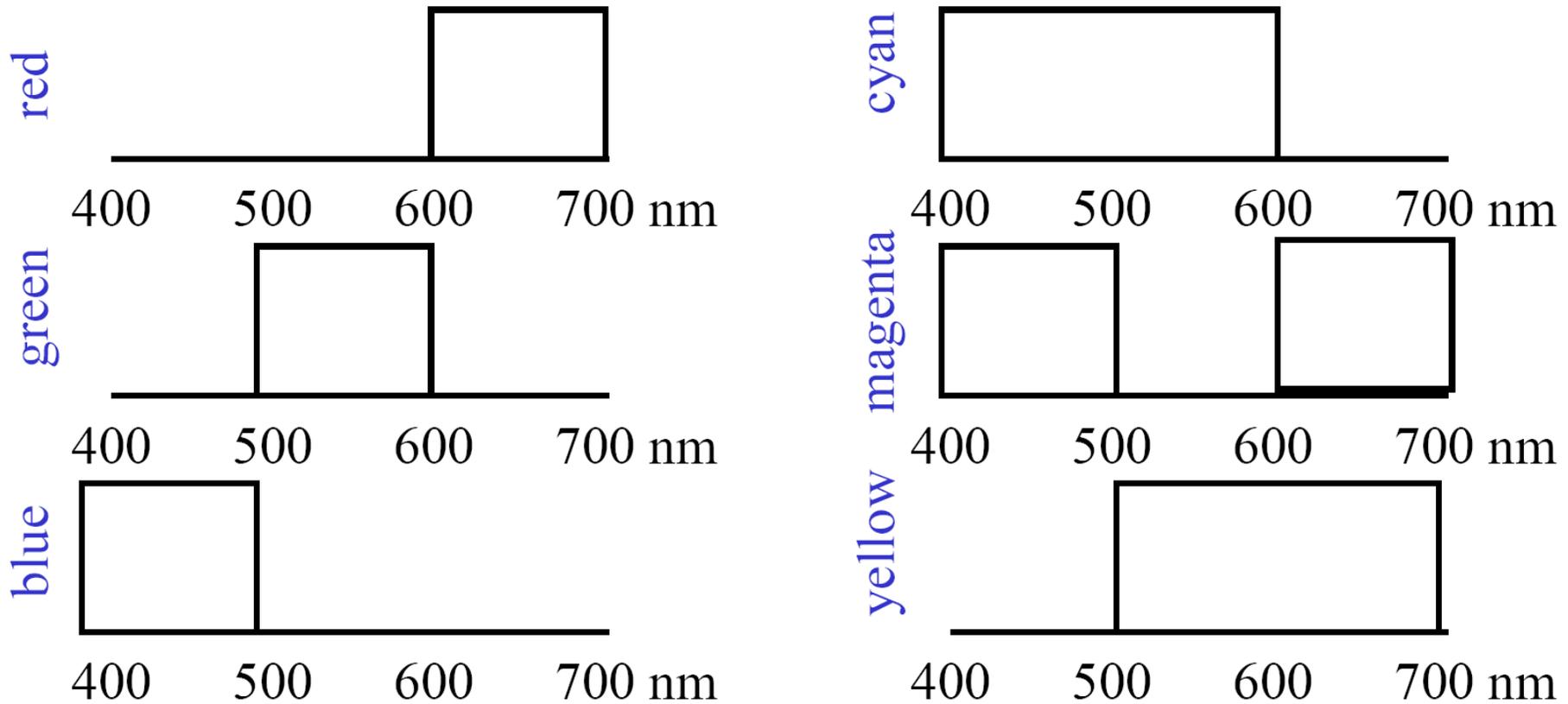
400nm

Spettri di riflettanza di superfici

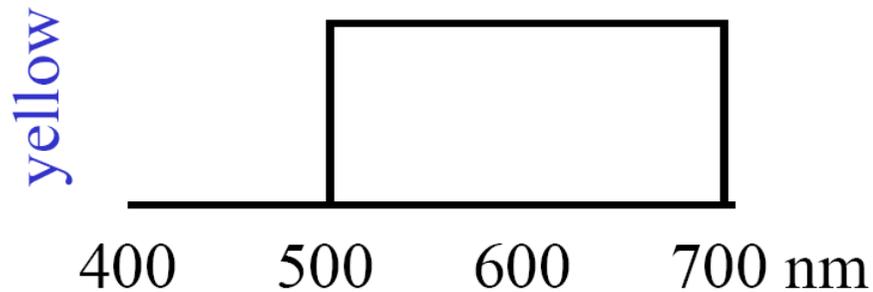
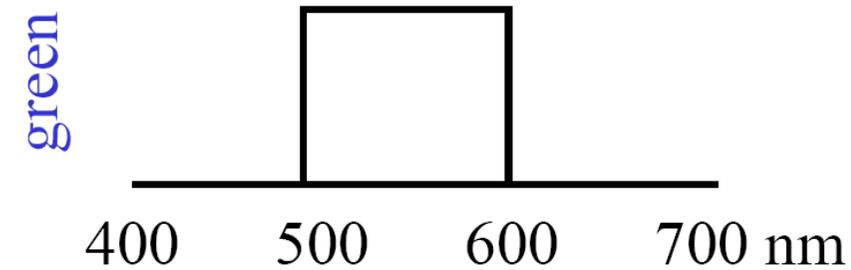
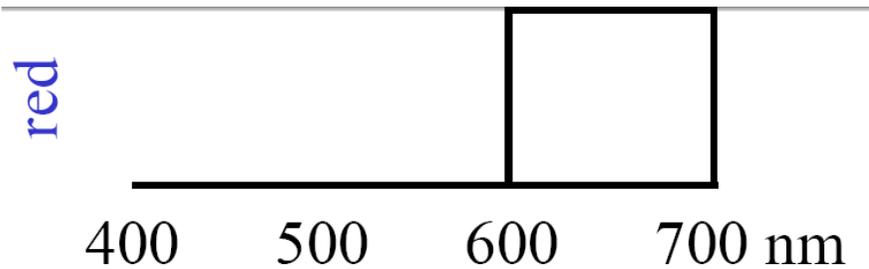


Mistura di colori

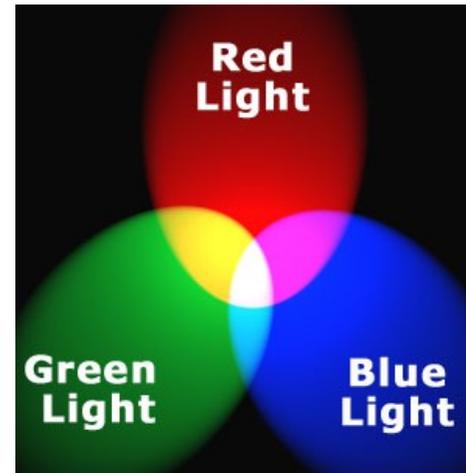
Spettri per alcuni colori:



Mistura additiva di colori

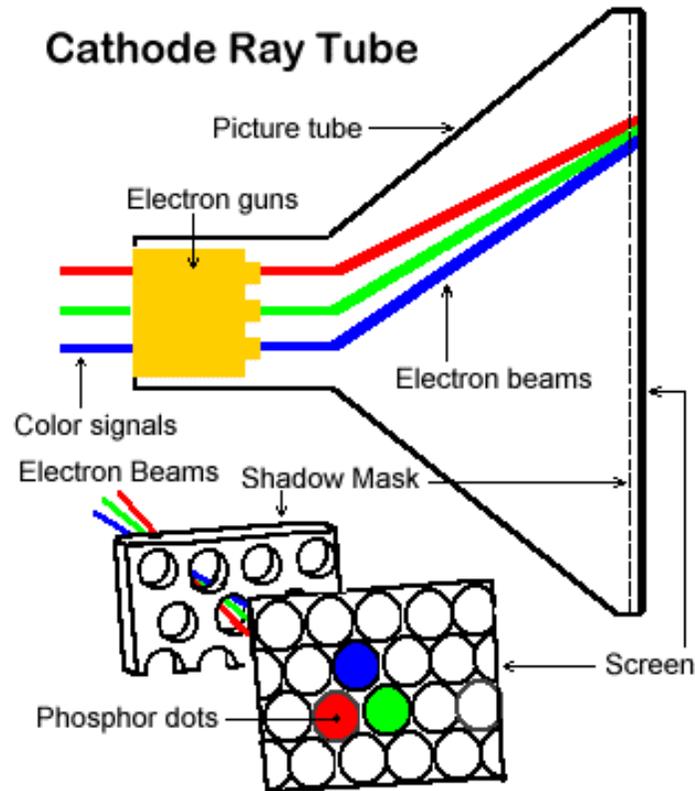


I colori si ottengono sommando gli spettri



La luce si somma al nero

Esempi di sistemi additivi

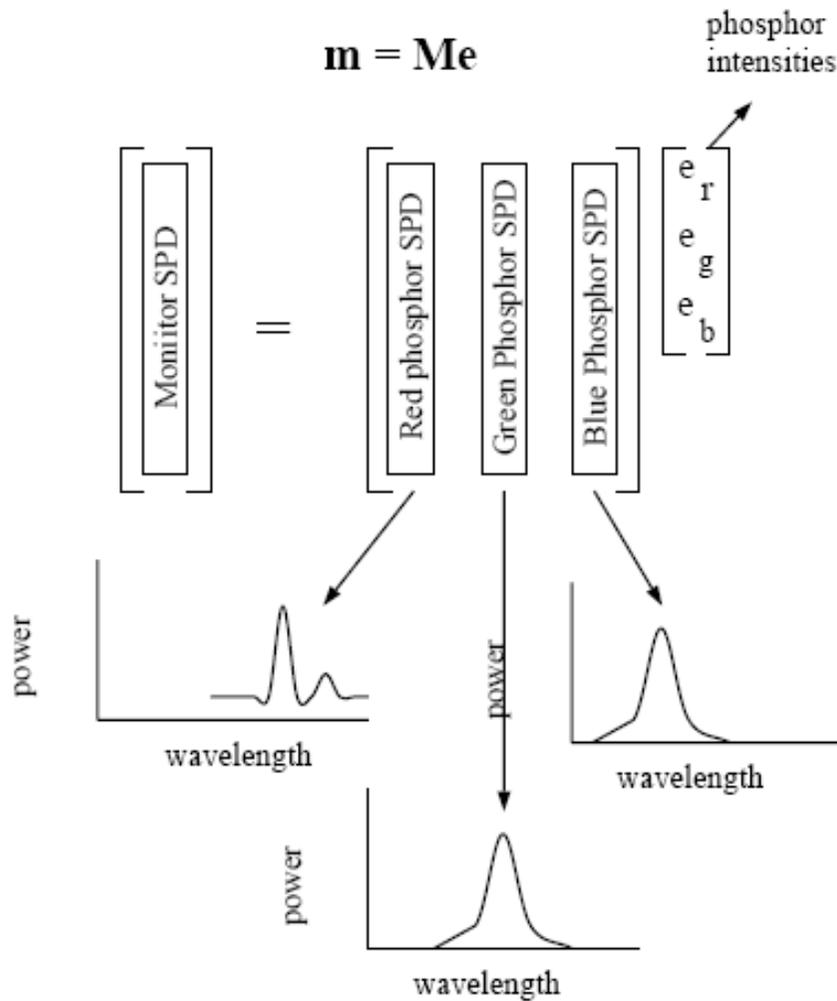


Tubo a raggi catodici



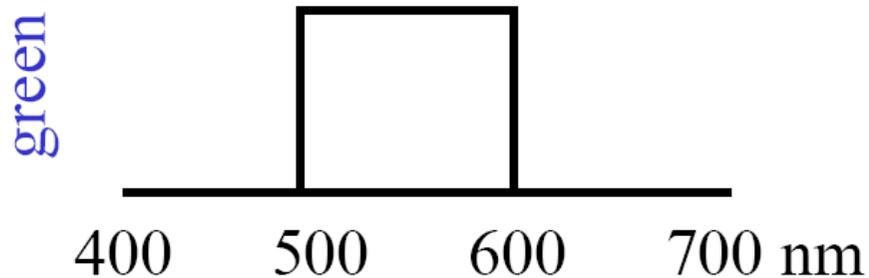
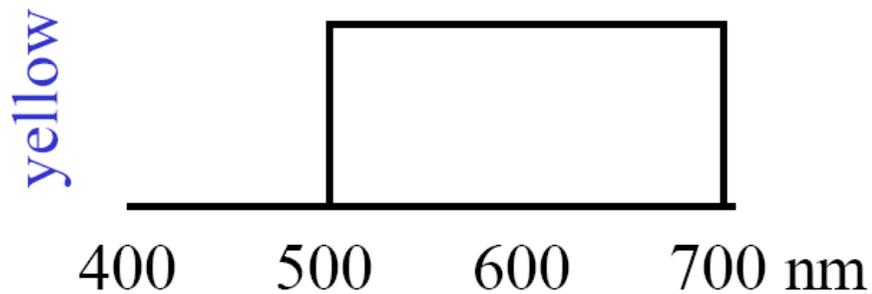
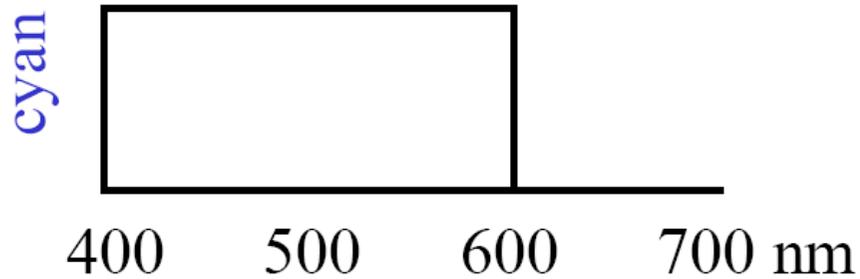
Proiettori multipli

Mistura additiva di colori

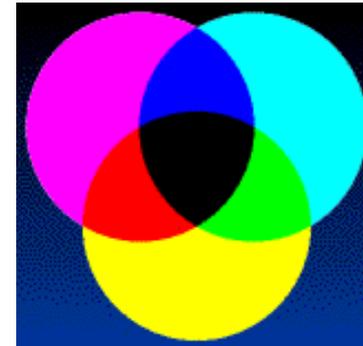


- Lo spettro di potenza della mistura è data dalla somma delle distribuzioni delle componenti

Mistura sottrattiva di colori



I colori si combinano
moltiplicando gli
spettri



Pigmenti rimuovono
colore dalla luce
incidente (bianca).

Esempi di sistemi sottrattivi

- Stampa su carta
- Pastelli
- Film



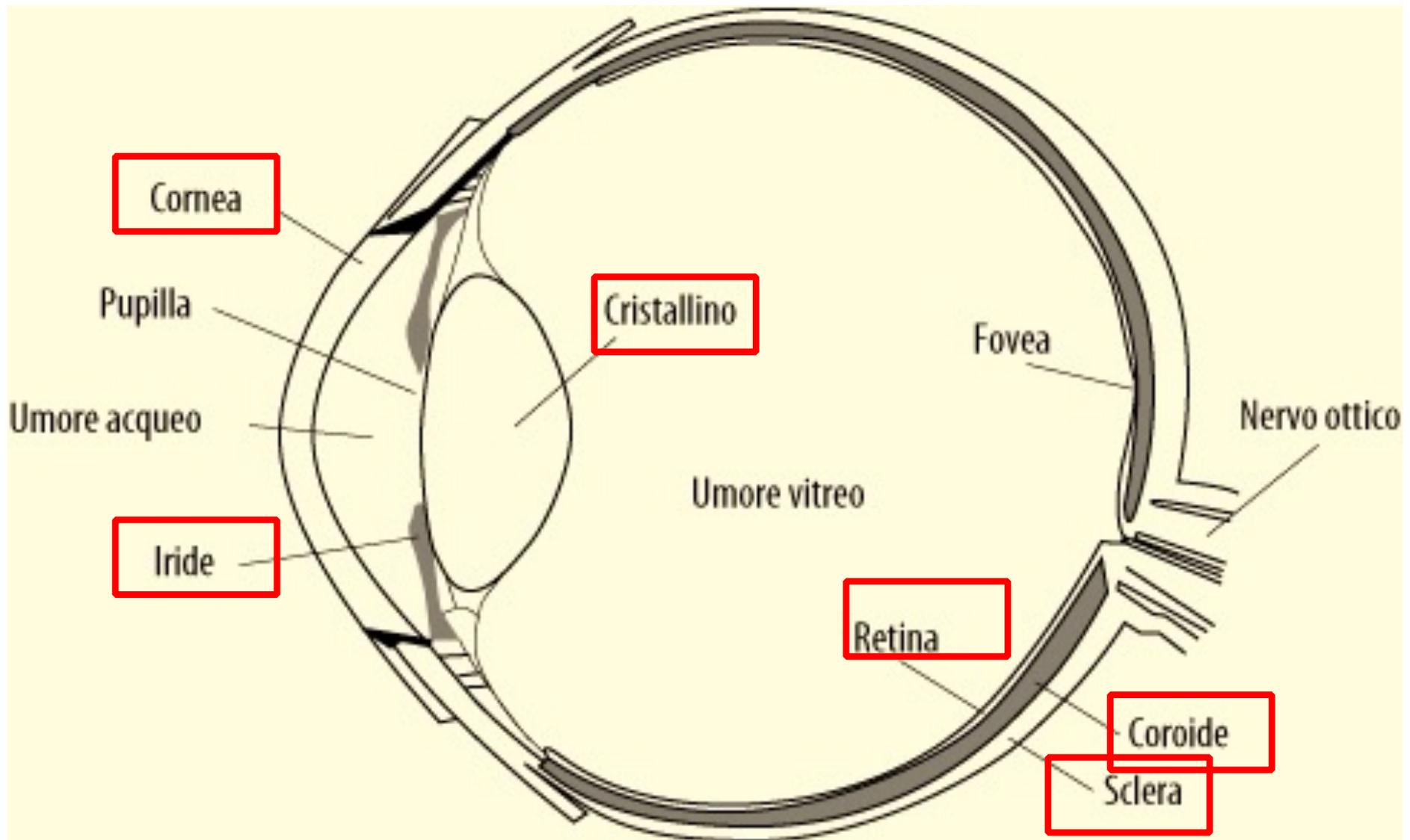
CENNI SULLA PERCEZIONE VISIVA

On Digital Image Processing, and Slides

Perché studiare il Sistema Visivo

- L'occhio è una fotocamera!
- Giudizio visivo è fondamentale nell'elaborazione delle immagini

Struttura dell'occhio umano



Formazione dell'img nell'occhio

- Messa a fuoco:
 - Distanza fissa cristallino–retina (17 mm circa)
 - Varia la forma del cristallino
 - (macchina fotografica funziona al contrario)

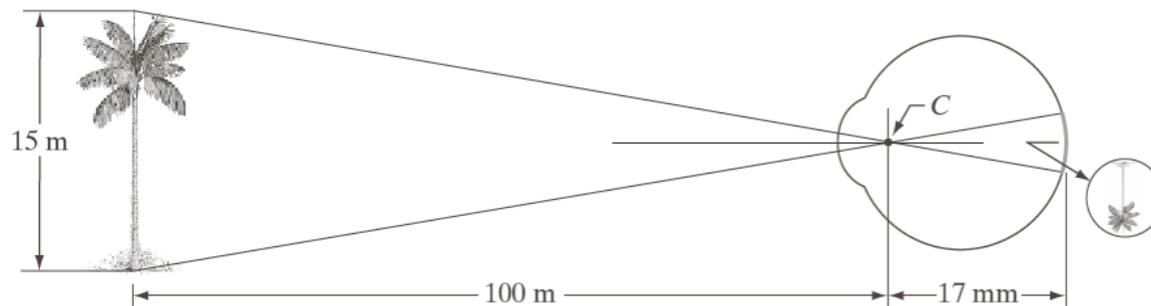


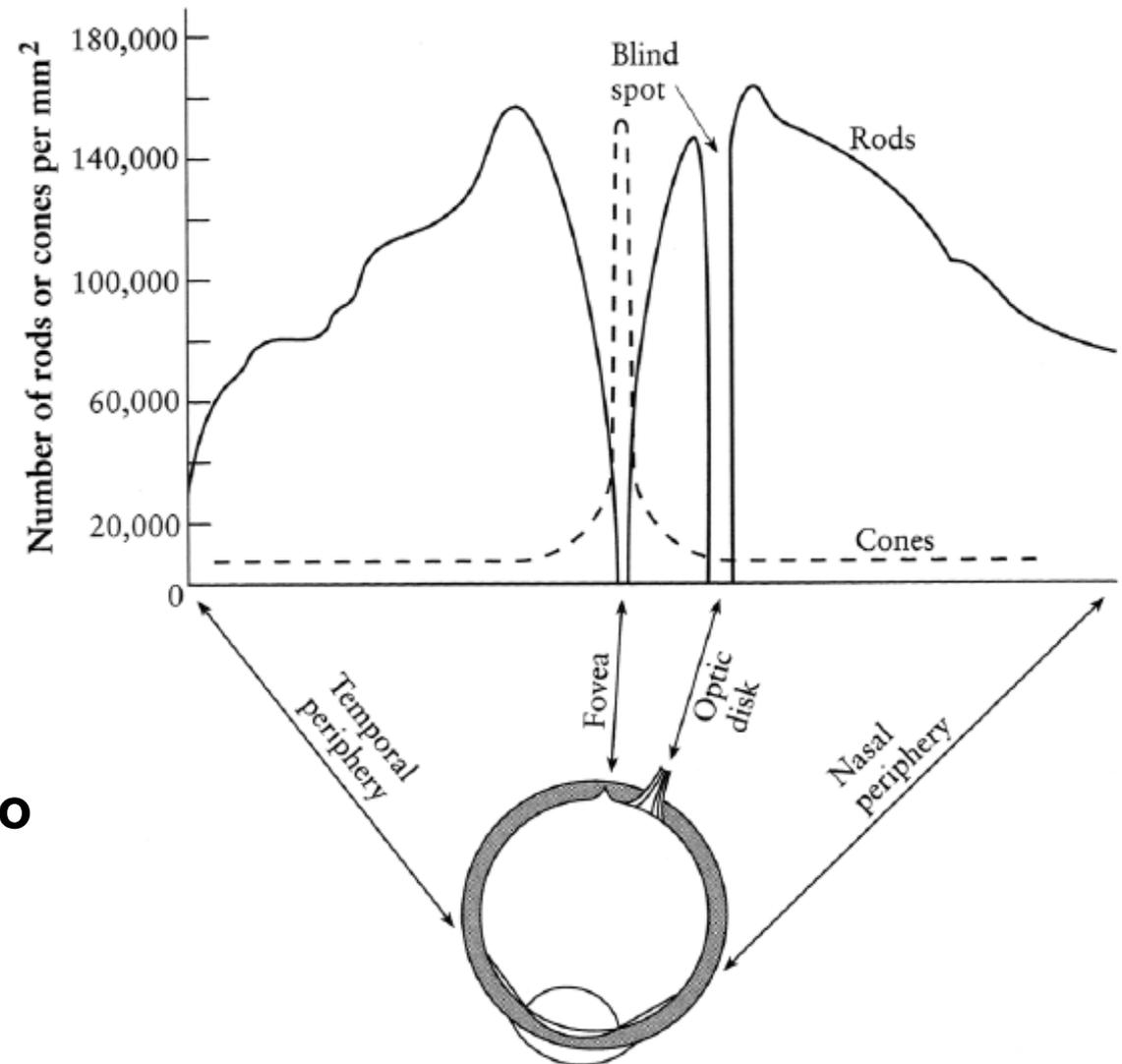
FIGURE 2.3
Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.

- Energia radiante trasformata dai ricettori in impulsi elettrici per il cervello

La Retina

- Ricettori distribuiti simmetricamente rispetto alla fovea

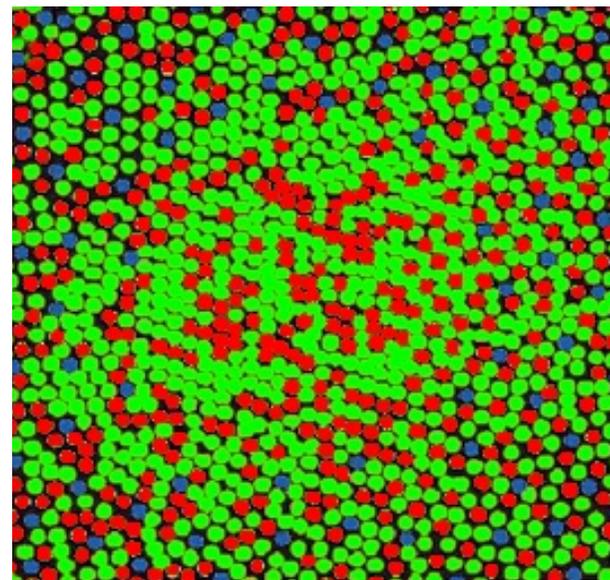
assorbe l'energia della radiazione elettromagnetica e la converte in segnali elettrochimici convogliati verso il cervello attraverso il nervo ottico



Coni, visione fotopica

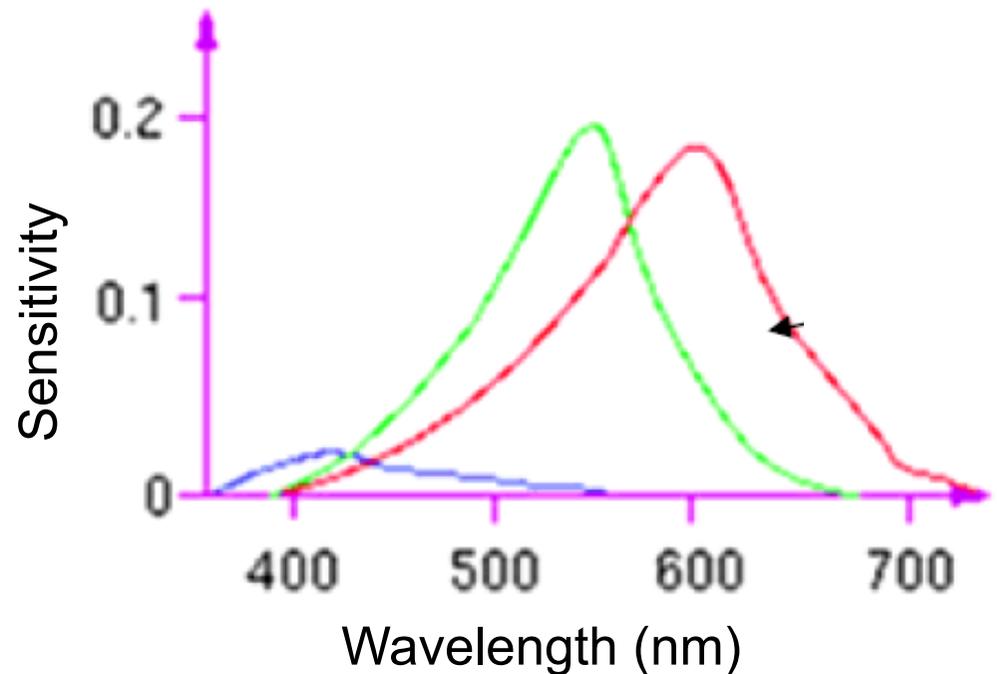
- Da 6 a 7 milioni per occhio
- Posizionati intorno alla fovea
- ognuno collegato al proprio terminale nervoso
- Molto sensibili ai colori
- Dettagli fini
- Rilevano differenze cromatiche

Densità dei coni vicino alla fovea
 $\#(\text{blu}) \ll \#(\text{rossi}) < \#(\text{verdi})$



Sensibilità spettrale dei coni

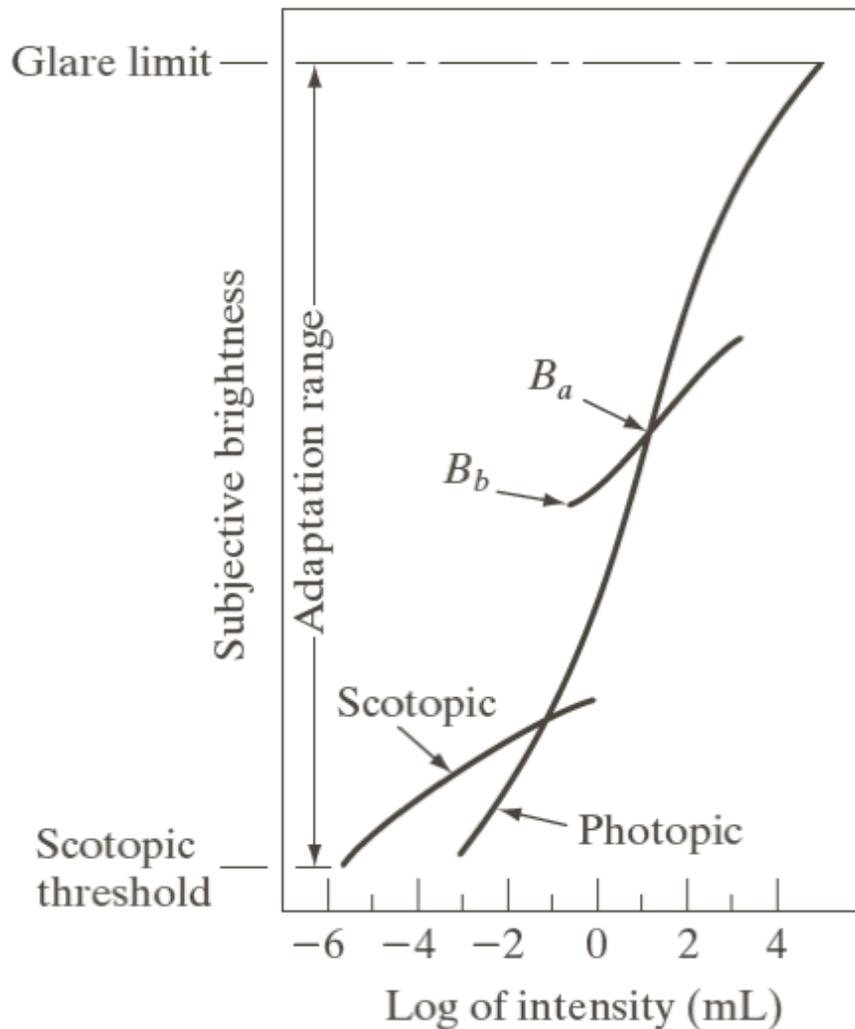
- I coni rispondono diversamente alle diverse lunghezze d'onda
- Il cervello fonde le risposte di coni vicini per determinare il colore



Bastoncelli, visione scotopica

- Da 75 a 150 milioni
- Distribuiti su tutta la retina
- Tutti collegati a un solo terminale nervoso
- Visione dell'intensità (grigi)
- Immagine generale del campo visivo
- operano con bassa illuminazione

Livelli di intensità



- Ampia gamma di livelli di intensità, ma non simultanea: adattamento alla luce
- Luminosità percepita = $\log(\text{intensità})$

Effetti ambientali e adattamento

Oltre all'adattamento alla luce:

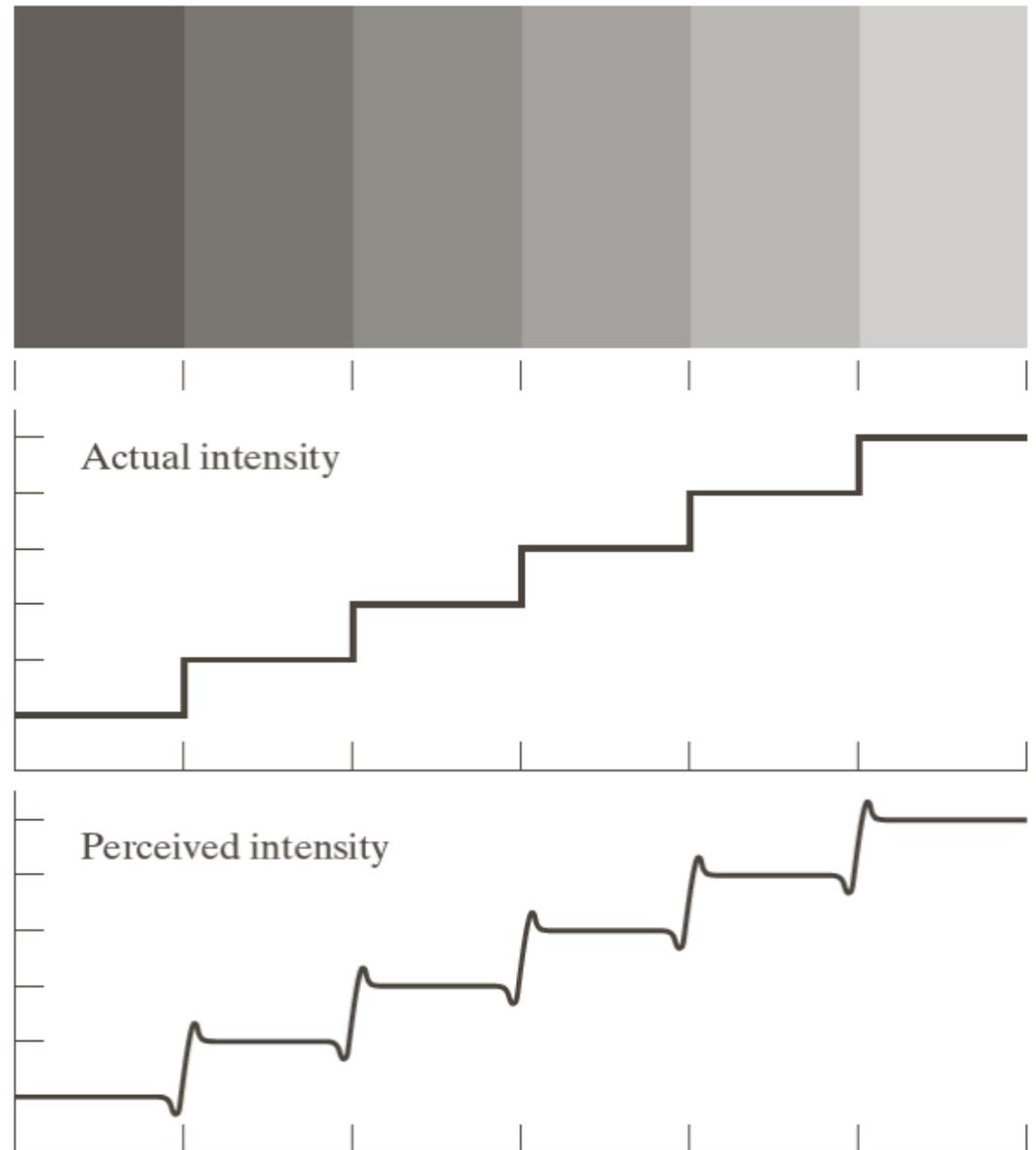
- **Assimilazione, contrasto simultaneo, induzione cromatica:**
 - Colori vicini influenzano la percezione;
 - La sollecitazione di ricettori interagisce nel tempo e nelle diverse img

Color matching \sim = apparenza colore

Fisica della luce \sim = percezione della luce

Percezione luminosità

- Percezione di maggiore contrasto al confine di due strisce



Contrasto simultaneo

il contesto contribuisce alla determinazione della luminosità di una regione



LA COLORIMETRIA

On Fundamentals of Multimedia, and Slides

La Colorimetria

- Disciplina che ha per oggetto la misura del colore
- Si fonda su esperimenti di psicofisica
- **OBIETTIVO**: determinare la relazione esistente tra le caratteristiche fisiche (spettro di potenza radiante) dello stimolo luminoso e la percezione del colore che lo stimolo evoca nell'osservatore

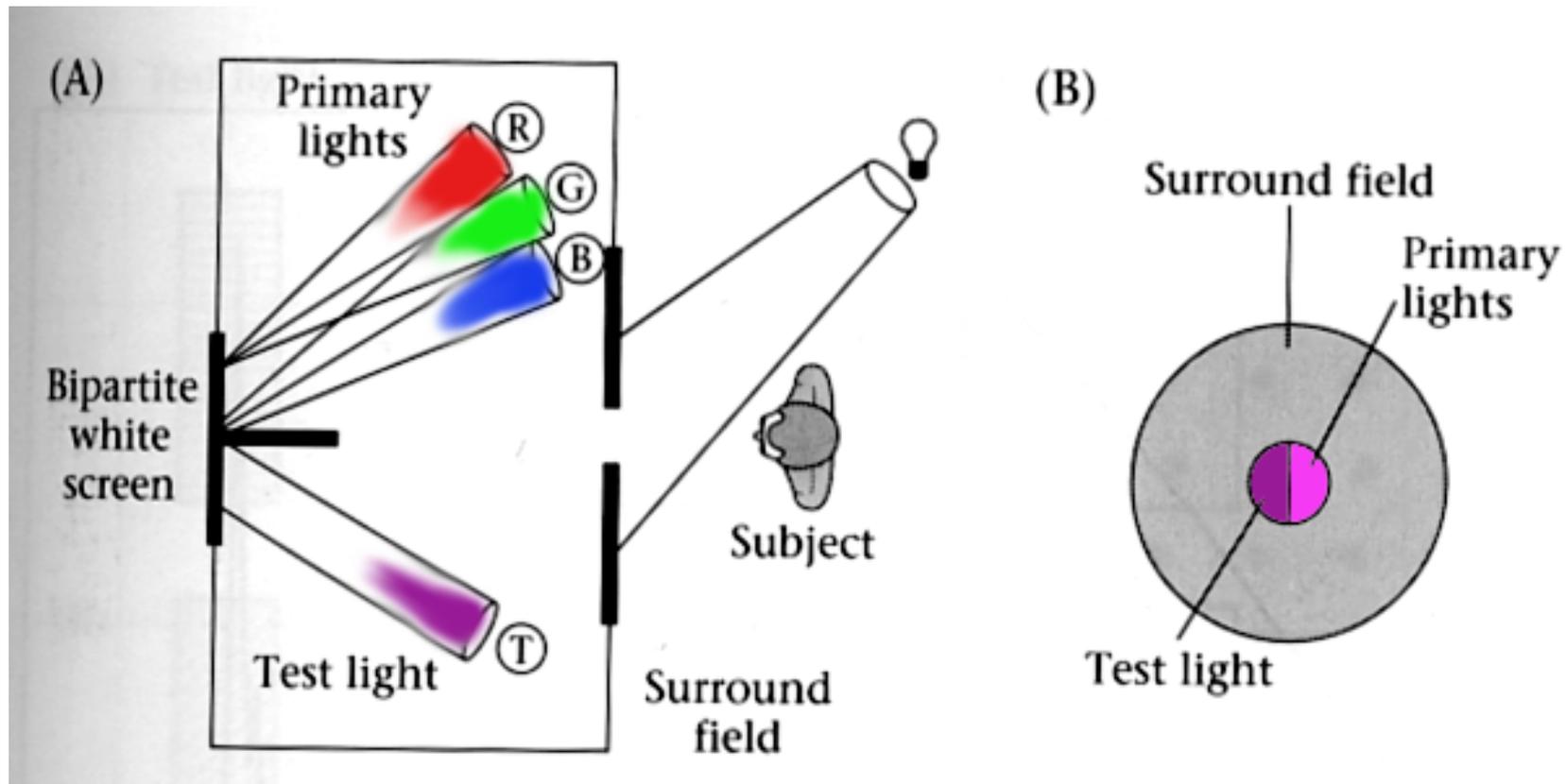
Specifica numerica compatta, perchè...

- Colori che appaiono uguali devono avere la stessa specifica (anche se hanno spettri diversi!)
 - per riprodurre fedelmente i colori
 - Prodotti commerciali, arte
 - Per descrivere qualsiasi colore: solo pochi nomi di colori sono ampiamente riconosciuti, e gli altri?
 - ~11: nero, blu, marrone, grigio, verde arancione, rosa, rosso, bianco e giallo

Esperimento di Color matching

- **Obiettivi:**
 - stimoli con la stessa specifica numerica appaiano uguali (sotto le stesse condizioni di osservazione)
 - Stimoli che appaiono uguali abbiano la stessa specifica numerica

Esperimenti di Color matching

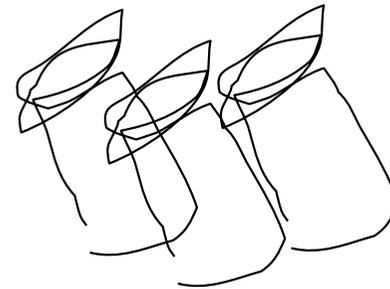
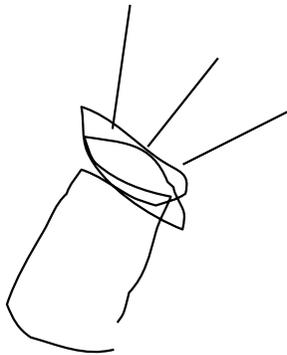
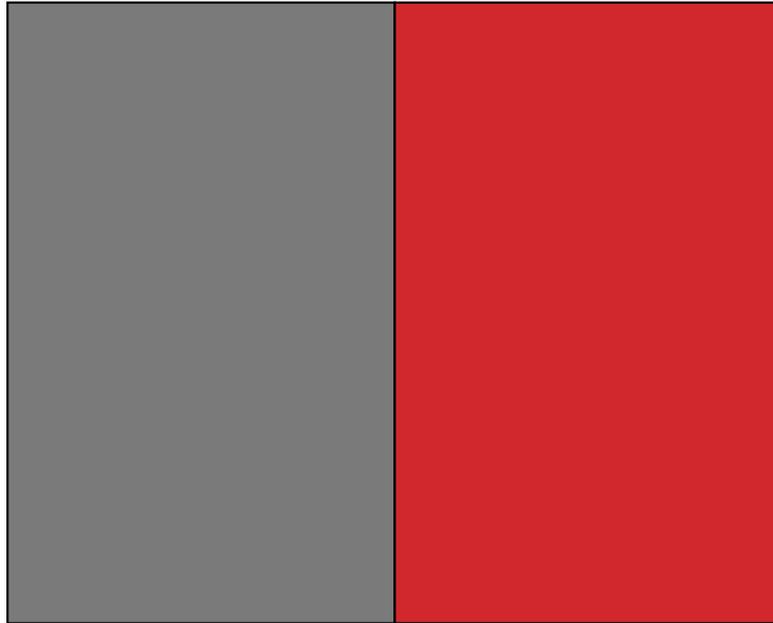


L'osservatore aggiusta i pesi (intensità) di luci primarie (RGB) per corrispondere all'apparenza (tinta, saturazione e brillantezza) di uno stimolo-test.

Esperimenti di Color matching

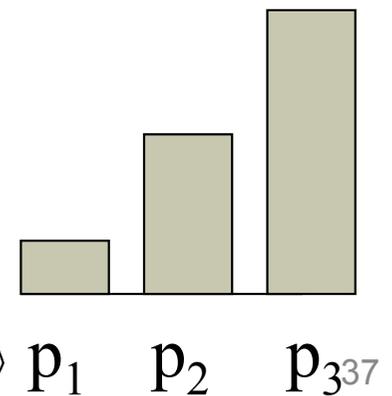
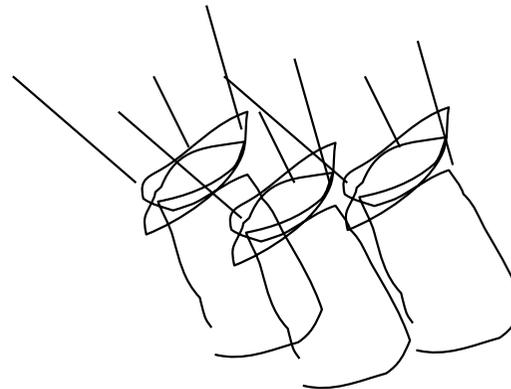
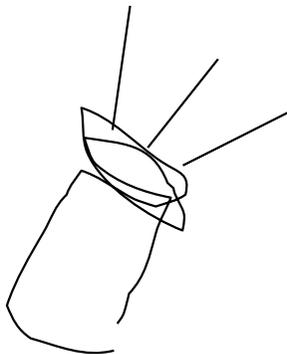
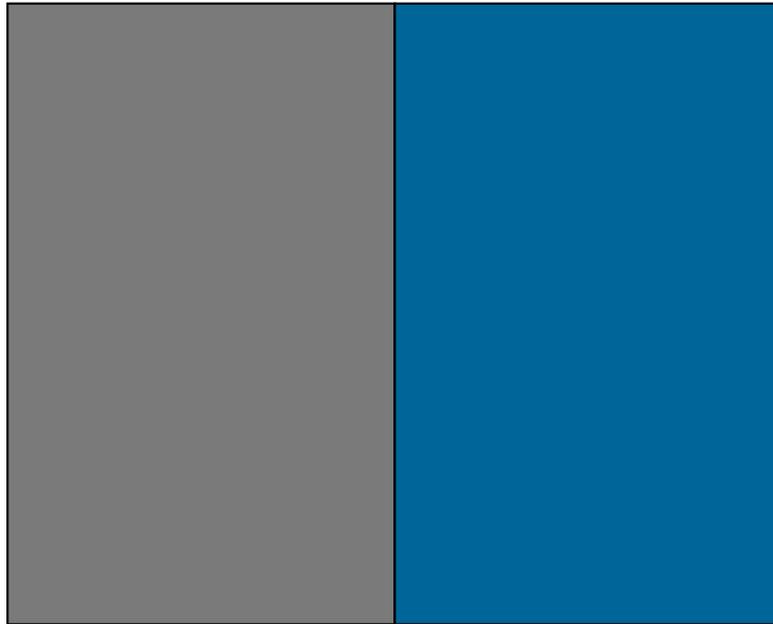
- **Condizioni:**
 - Fissare:
 - l'angolo visivo
 - Le condizioni di adattamento dell'occhio
 - Lunghezza d'onda dei primari

Color matching – esperimento 1



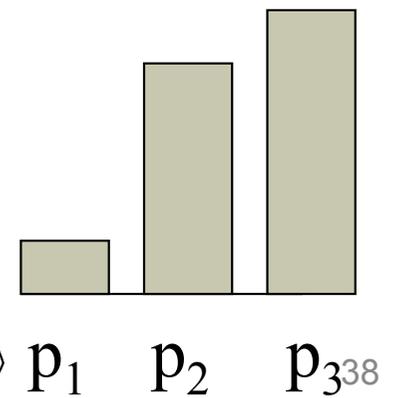
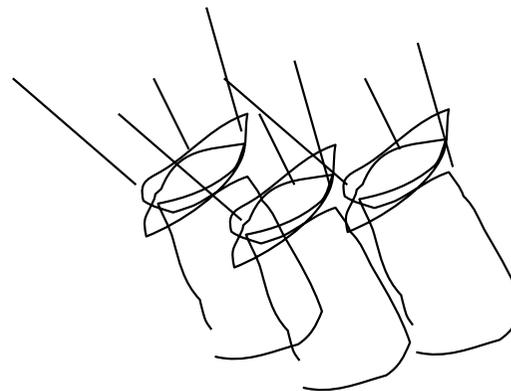
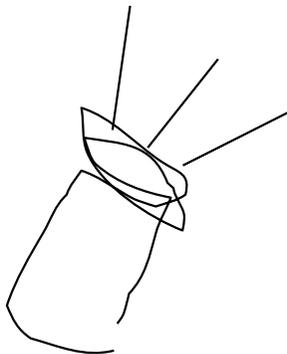
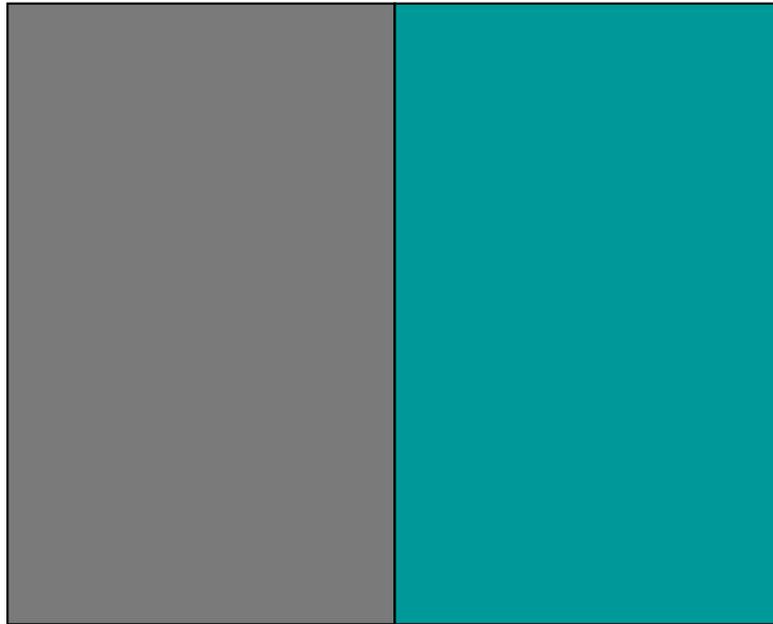
Slide credit: W.
Freeman

Color matching- esperimento 1



Slide credit: W.
Freeman

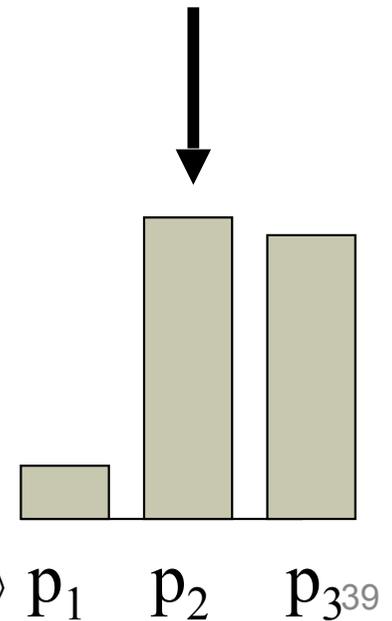
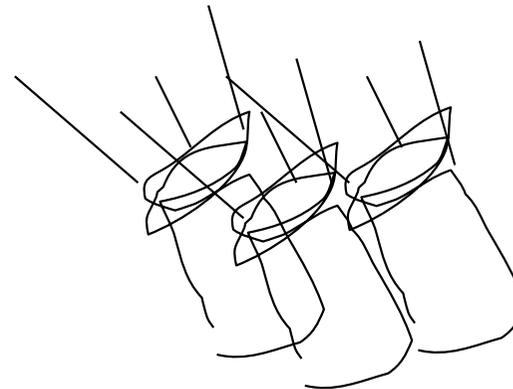
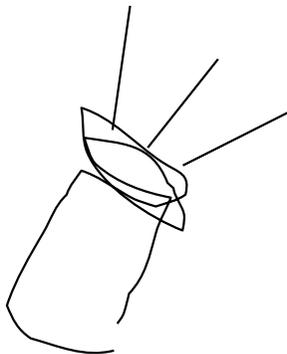
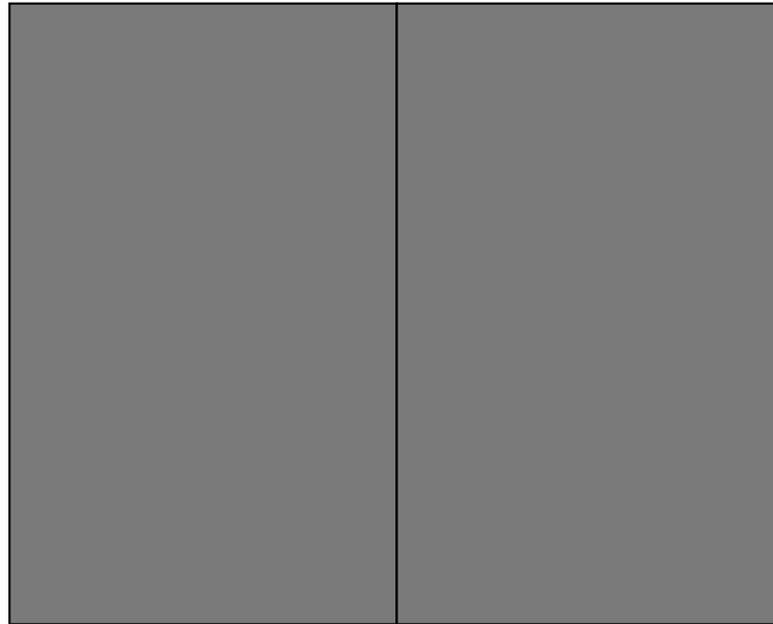
Color matching- esperimento 1



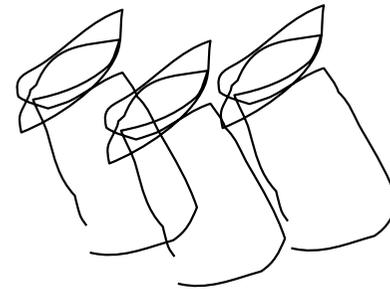
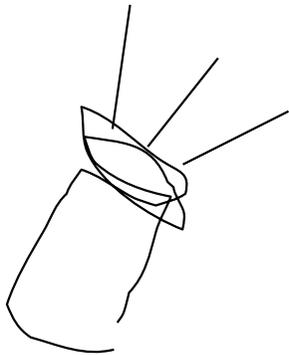
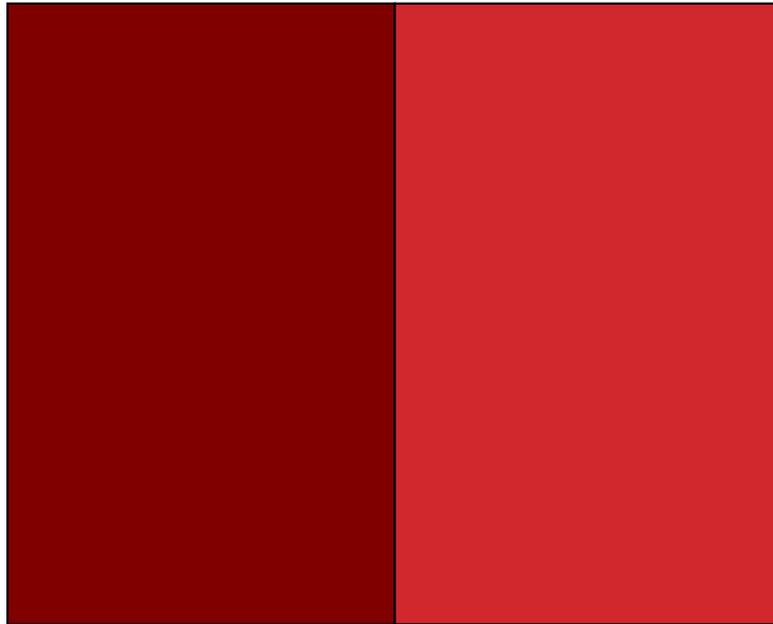
Slide credit: W.
Freeman

Color matching - esperimento 1

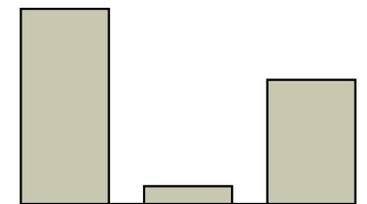
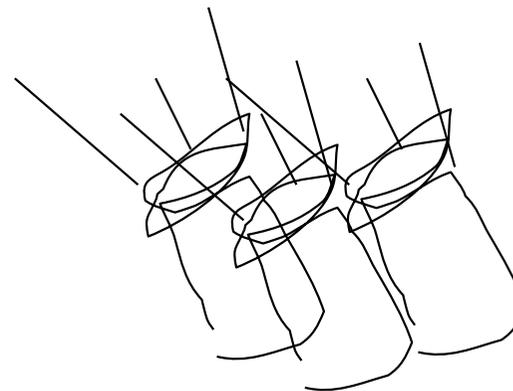
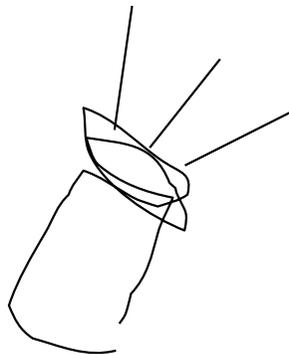
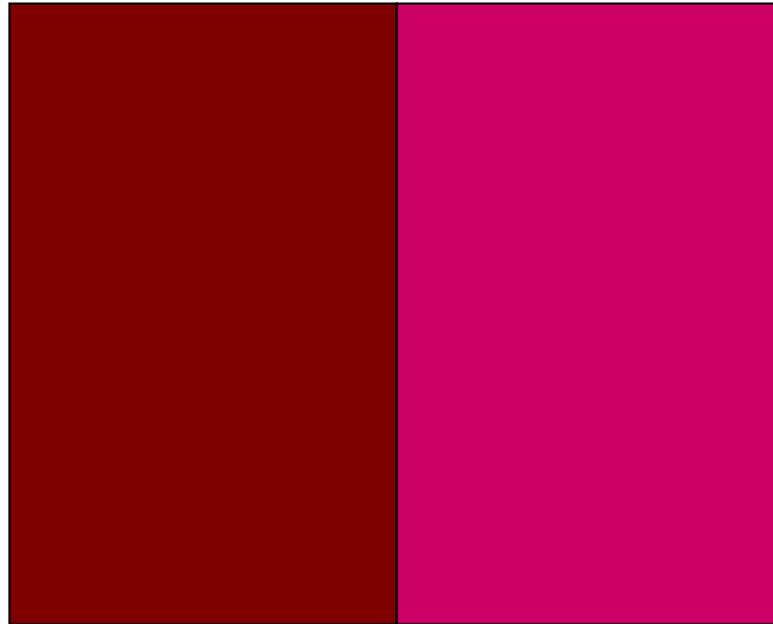
Quantità di primari necessaria per ottenere la corrispondenza



Color matching – esperimento 2

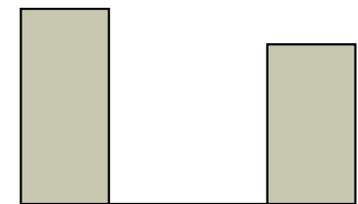
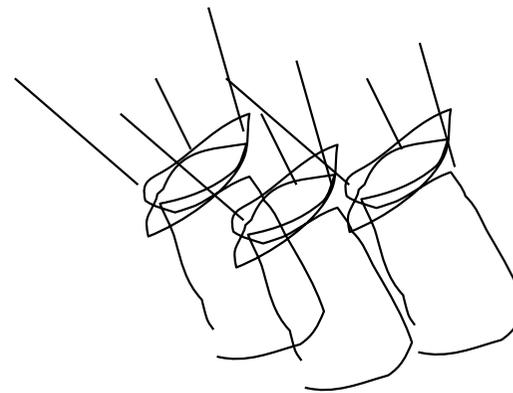
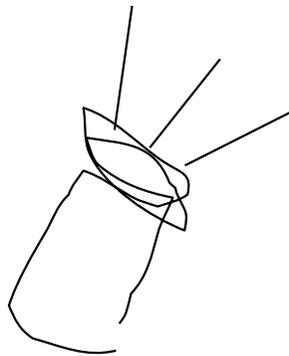
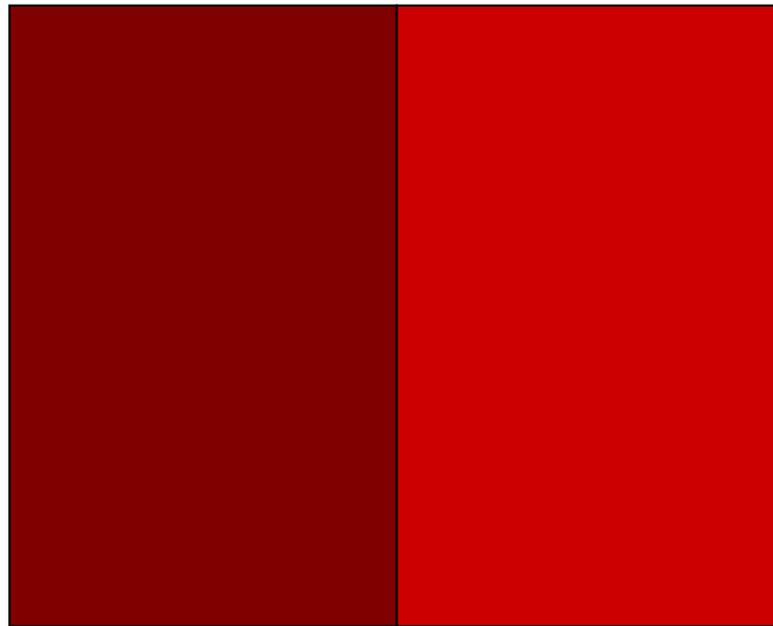


Color matching – esperimento 2



p_1 p_2 p_{341}

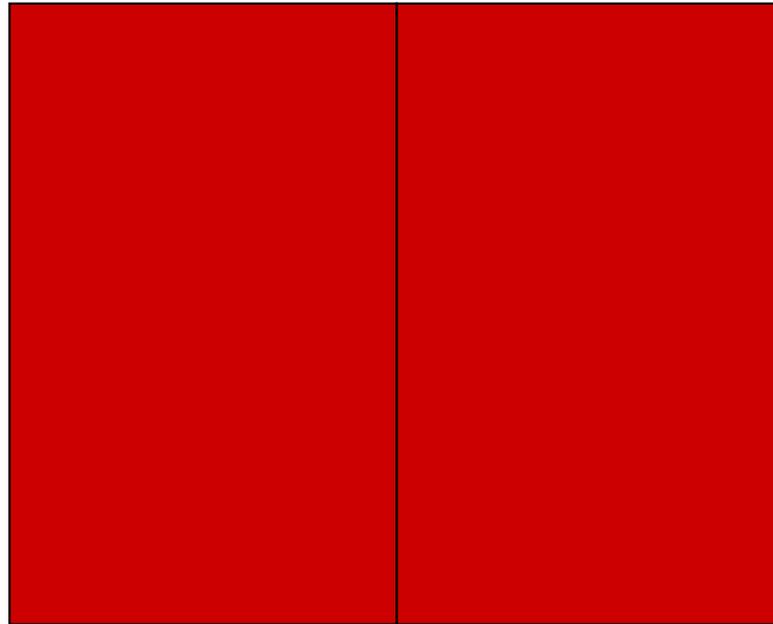
Color matching - esperimento 2



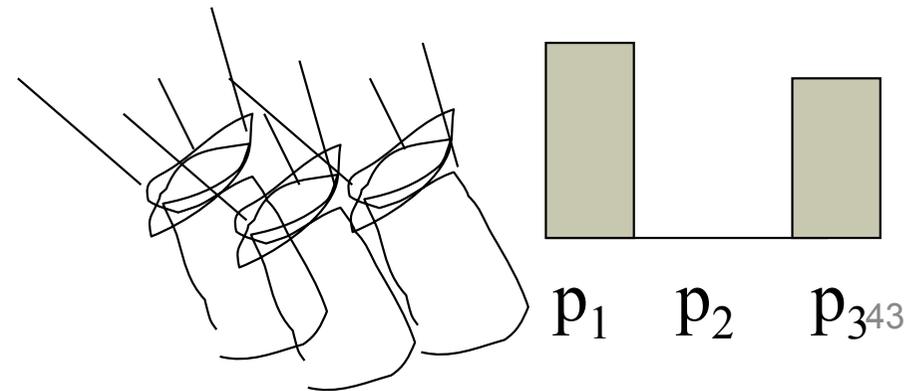
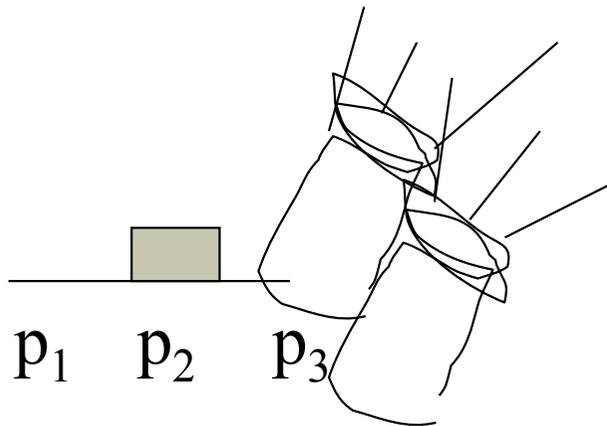
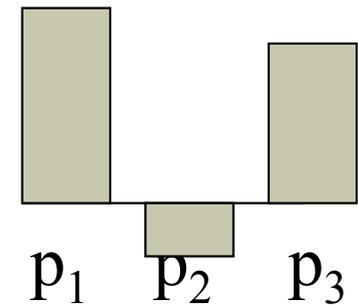
p_1 p_2 $p_{3^{42}}$

Color matching - esperimento 2

p_2 è una quantità negativa, nel senso che deve essere aggiunto allo stimolo test e non ai primari per ottenere il matching



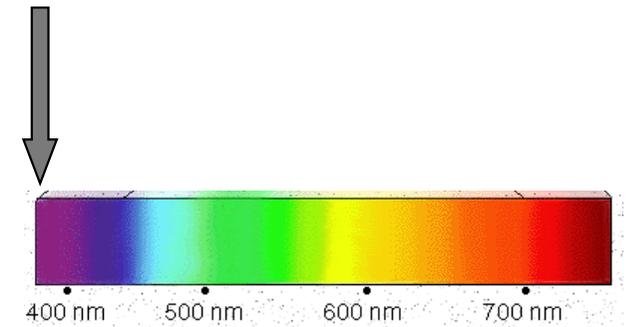
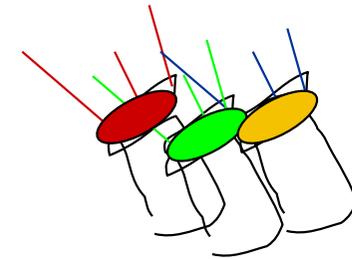
Quantità di primari necessaria per il matching



Calcolo del match tra colori

1. Dati i primari
2. Stimare le loro *color matching functions*:

match dei tre primari con tutte le luci monocromatiche (una per ogni lunghezza d'onda).



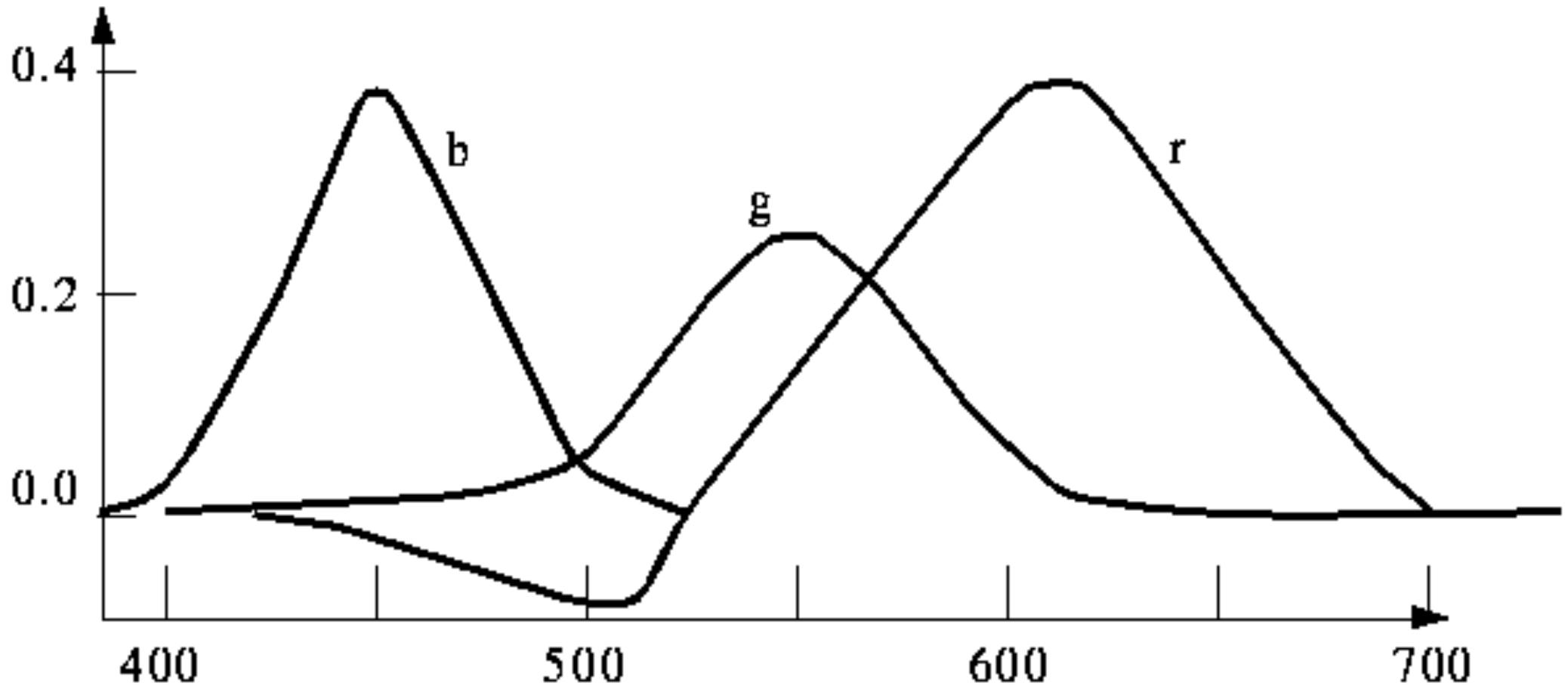
$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_1(\lambda_1) \\ c_2(\lambda_1) \\ c_3(\lambda_1) \end{pmatrix}$$

Leggi di Grassman

- Se due luci corrispondono con gli stessi pesi, allora corrispondono anche tra di loro :
 - Suppose $A = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$ and $B = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$. Then $A = B$.
- Se scaliamo la luce test, anche i match devono essere scalati della stessa quantità:
 - Suppose $A = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$.
Then $kA = (ku_1) P_1 + (ku_2) P_2 + (ku_3) P_3$.
- Se misceliamo due luci test, allora la miscela dei loro matches corrisponderà al risultato (superposition):
 - Suppose $A = u_1 P_1 + u_2 P_2 + u_3 P_3$ and $B = v_1 P_1 + v_2 P_2 + v_3 P_3$. Then $A + B = (u_1 + v_1) P_1 + (u_2 + v_2) P_2 + (u_3 + v_3) P_3$.

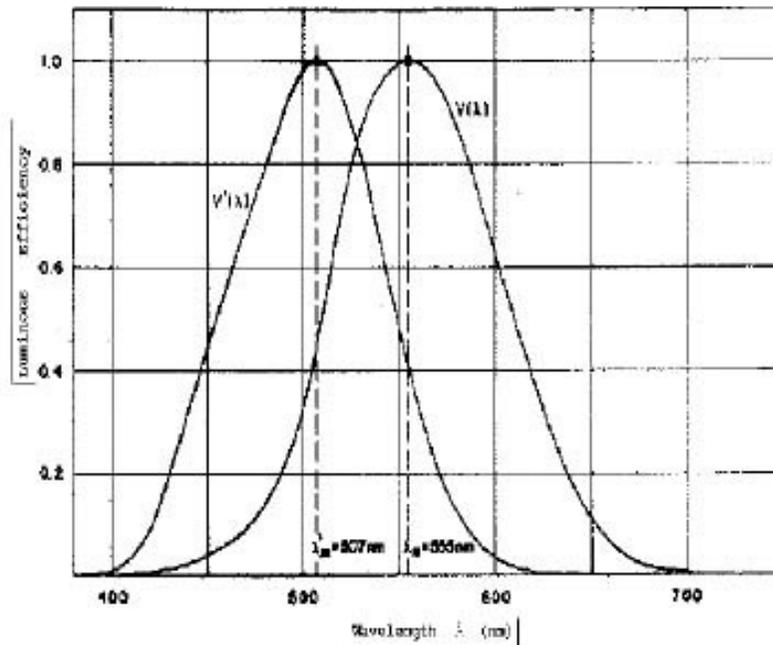
NB: QUI “=” significa “corrisponde a”.

Color Matching functions: Osservatore colorimetrico standard



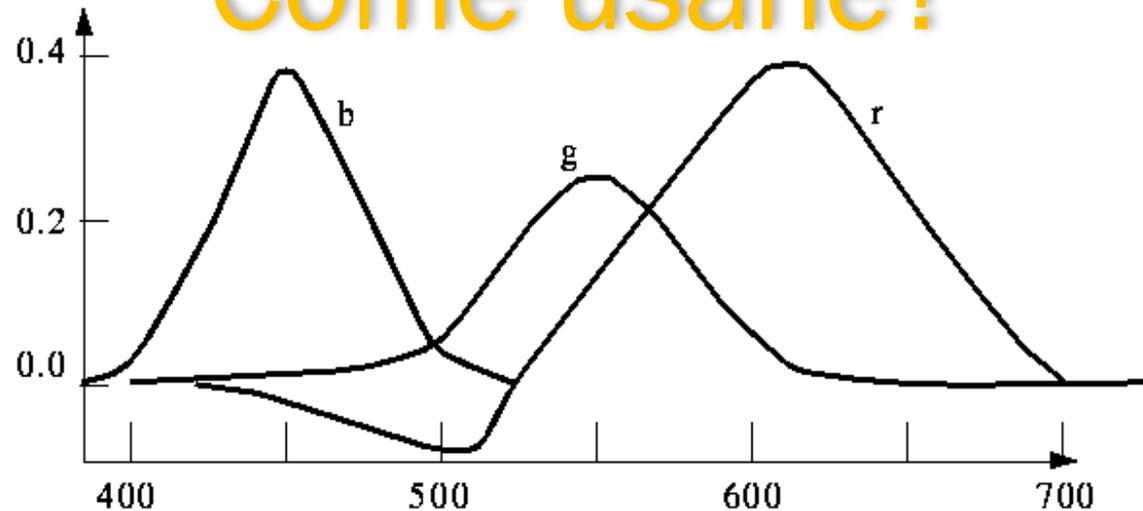
Osservatore fotometrico standard

- Funzione di sensibilità spettrale in condizioni di visibilità fotopica e scotopica



A parità di potenza, gli stimoli vengono percepiti più o meno luminosi in funzione della lunghezza d'onda.

Color Matching functions: Come usarle?



Dato un arbitrario stimolo colore \underline{Q} ,
con distribuzione spettrale di potenza radiante
 $\{P_Q(\lambda)d\lambda\}$ avremo la terna corrispondente:

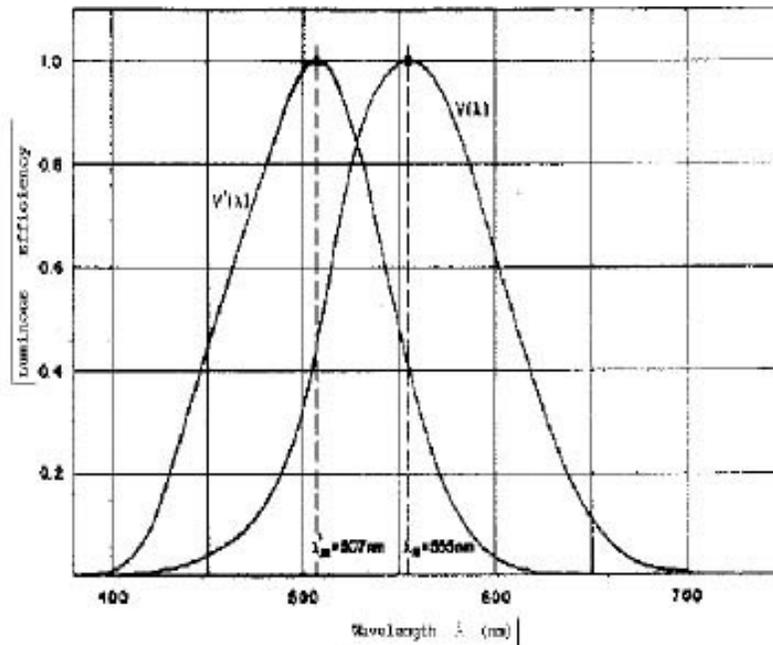
$$R_Q = \int P_Q(\lambda) r(\lambda) d\lambda ;$$

$$G_Q = \int P_Q(\lambda) g(\lambda) d\lambda ;$$

$$B_Q = \int P_Q(\lambda) b(\lambda) d\lambda$$

Osservatore fotometrico standard

- Funzione di sensibilità spettrale in condizioni di visibilità fotopica e scotopica



A parità di potenza, gli stimoli vengono percepiti più o meno luminosi in funzione della lunghezza d'onda.

- Luminanza: $L_v = K_m \int P(\lambda) V(\lambda) d\lambda$

Stimoli metamerici

- Se un osservatore trova una corrispondenza → uguale sollecitazione dei ricettori da parte dei due stimoli.
- Ma le luci che danno un match percettivo possono essere fisicamente diverse
 - Luce-Match: combinazione di primari
 - Luce-Test: qualsiasi luce
- **Stimoli metamerici (Metamers):**
coppie di luci con corrispondenza percettiva ma non fisica

Calcolo della corrispondenza tra colori

- Perché è utile fare il matching tra un qualsiasi colore e i primari?
 - Colorare una confezione Kodak con l'esatto giallo della Kodak.
 - Stampare fedelmente il colore della pelle di una persona.
 - Matching tra Colori nel mondo, sui monitor e stampati



SPAZI COLORE

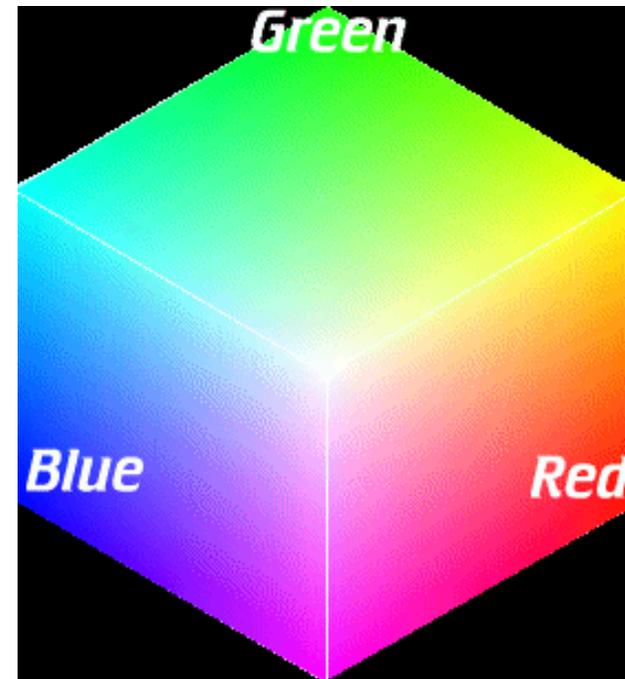
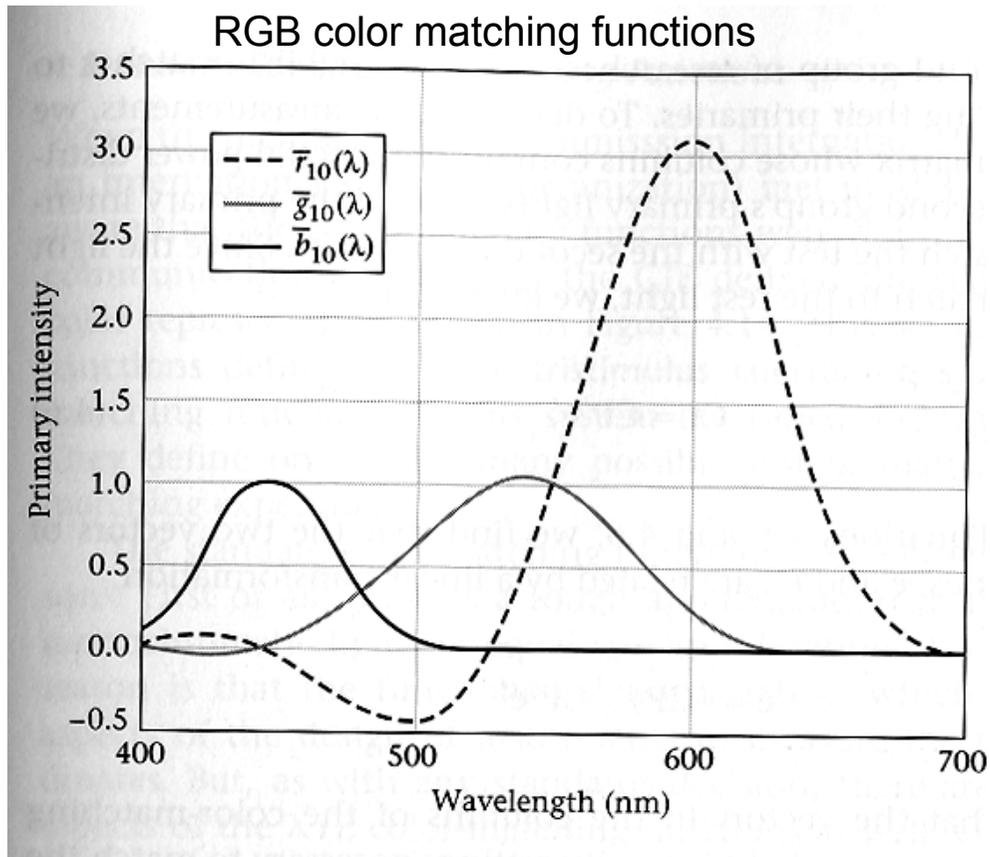
On Fundamentals of Multimedia, and Slides

Spazi colori Standard

- Esempi di spazi colore...
 - dipendenti dai dispositivi: RGB, CMY
 - Indipendenti dai dispositivi: CIE XYZ
- Esempi di spazi colore uniformi
 - CIE Lab
 - CIE Luv
- Esempio di spazio colore non lineare
 - HSV

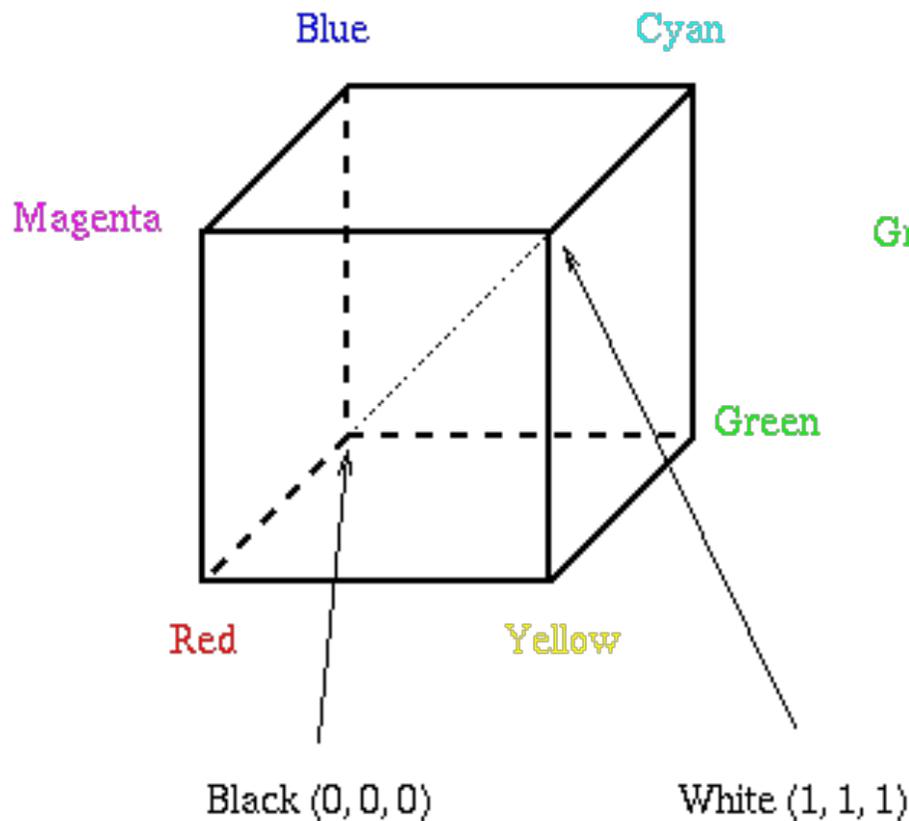
Spazio colore RGB

- Ideale per i dispositivi (es. monitor)
- Non ideale per la percezione

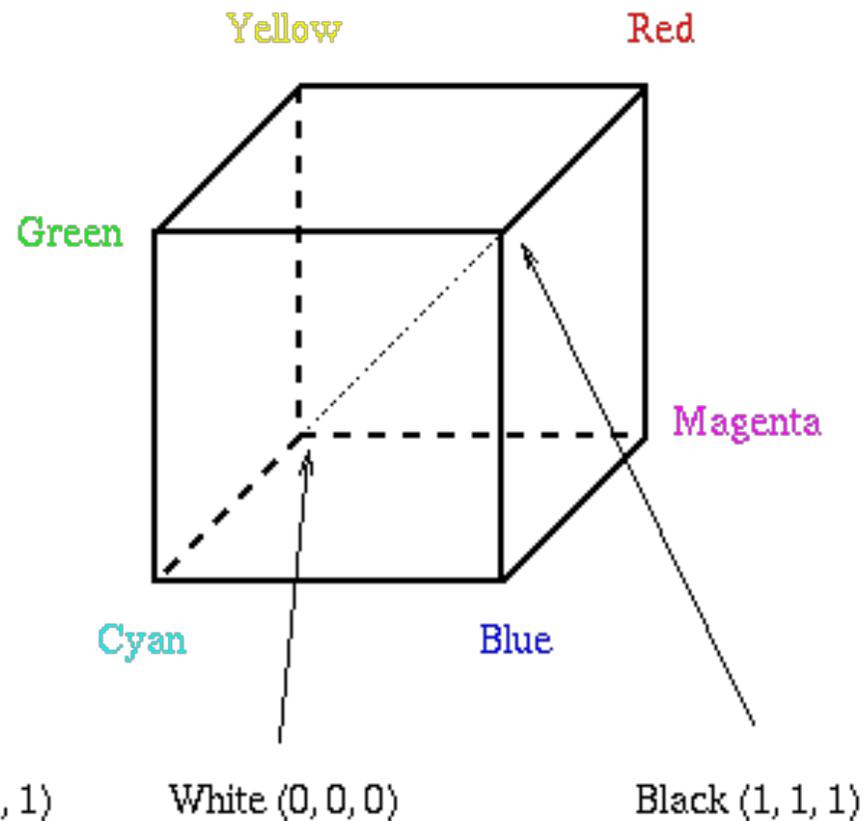


Spazi dipendenti dai dispositivi

Obiettivo: permettere una rappresentazione dei colori riproducibili dal dispositivo



The RGB Cube



The CMY Cube

Immagine a colori

- Array 2D di terne di valori



○ ⇒ Esempio di terna RGB: (2,5,255)

Spazio colore CIE XYZ

- Svantaggio dello spazio colore RGB: ha dei coefficienti negativi \Rightarrow Spazio con coefficienti solo positivi: XYZ (Stimoli colore immaginari)
- Y approssima la luminosità

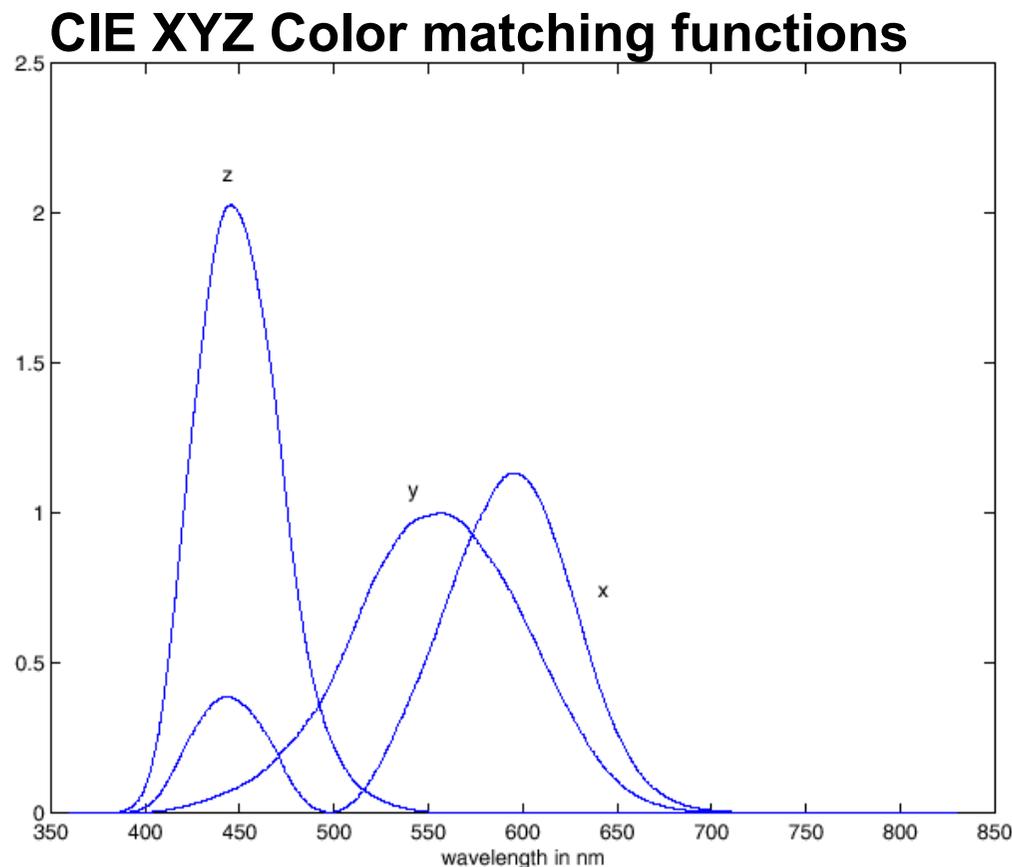
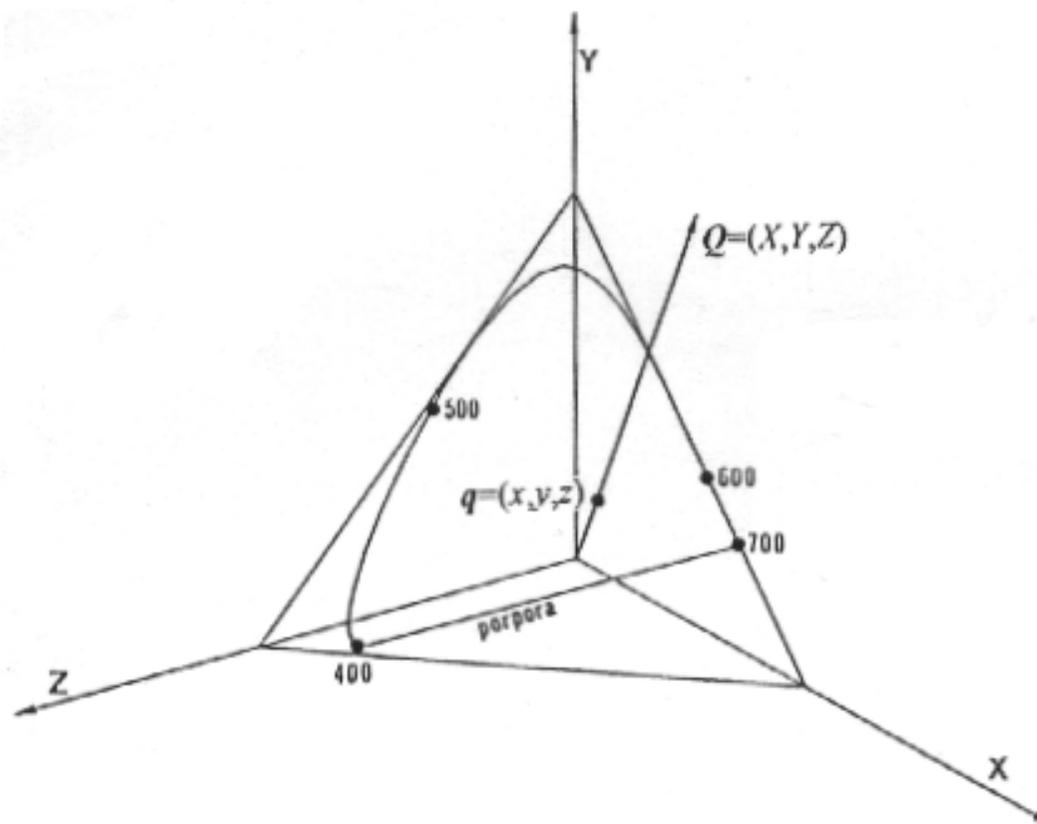
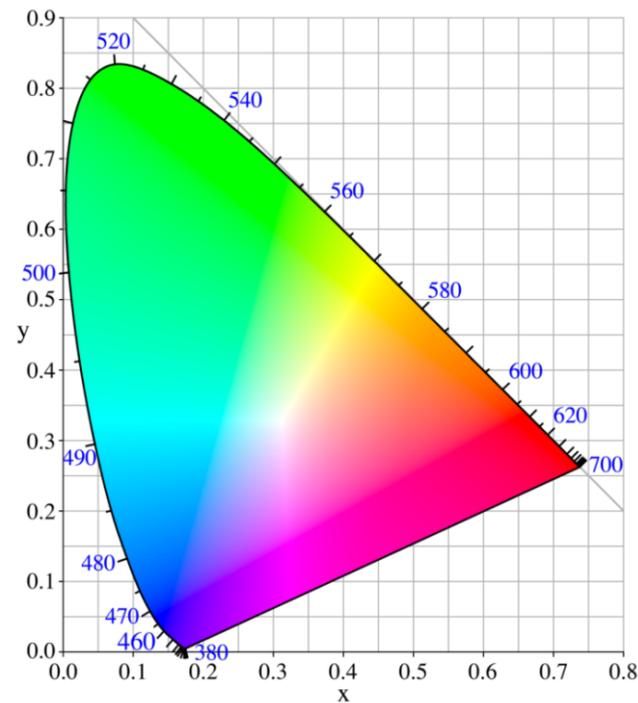
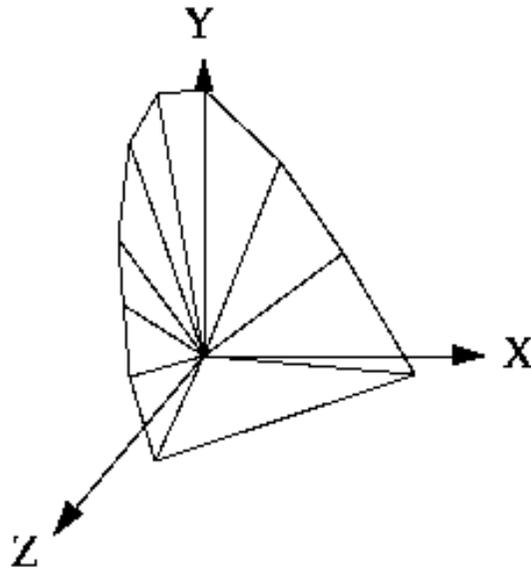


Diagramma di cromaticità

- alle volte interessa solo la direzione del vettore cromatico \underline{Q} , e non la potenza.
- si usa l'intersezione tra \underline{Q} e il piano $X+Y+Z=1$



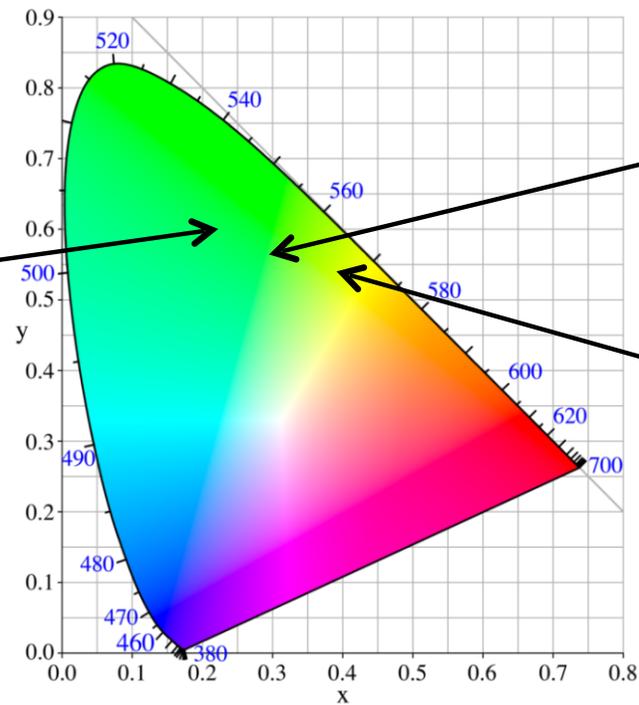
Spazio colore CIE XYZ



- Tutti i colori visibili sono rappresentabili da una terna compresa nel cono rappresentato nella prima figura
- Considerando il piano $X+Y+Z=1$, si ottiene il *diagramma di cromaticità CIE-xy* (seconda figura)
- Lungo il contorno della figura si hanno i colori puri

Distanze negli spazi colore

- Sono percettivamente significative le distanze tra punti nello spazio colore?

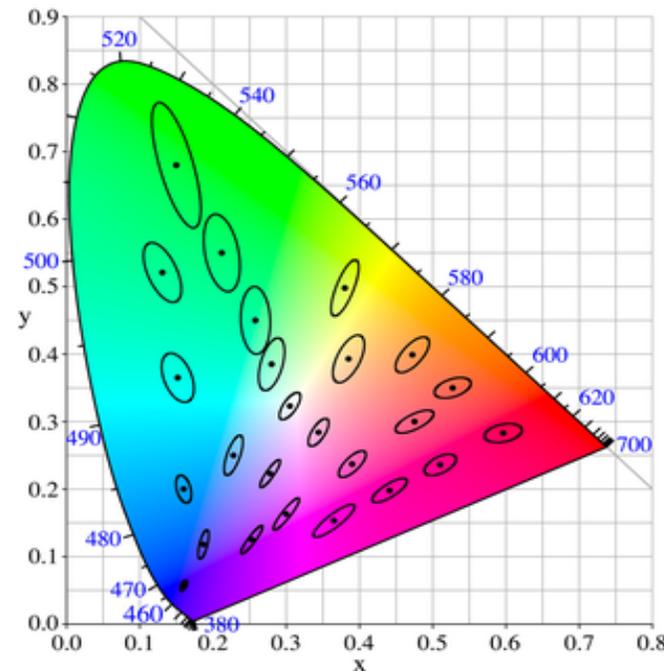


Distanze negli spazi colore

- Non necessariamente: CIE XYZ è uno spazio colore NON-uniforme → la distanza spaziale tra le coordinate non è un buon indicatore della distanza percettiva tra i colori

Ellissi:

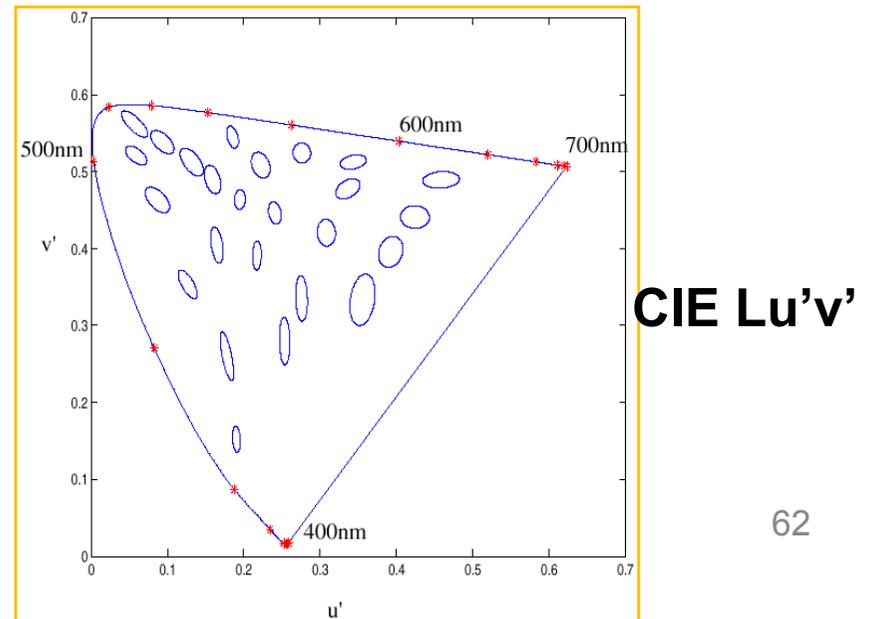
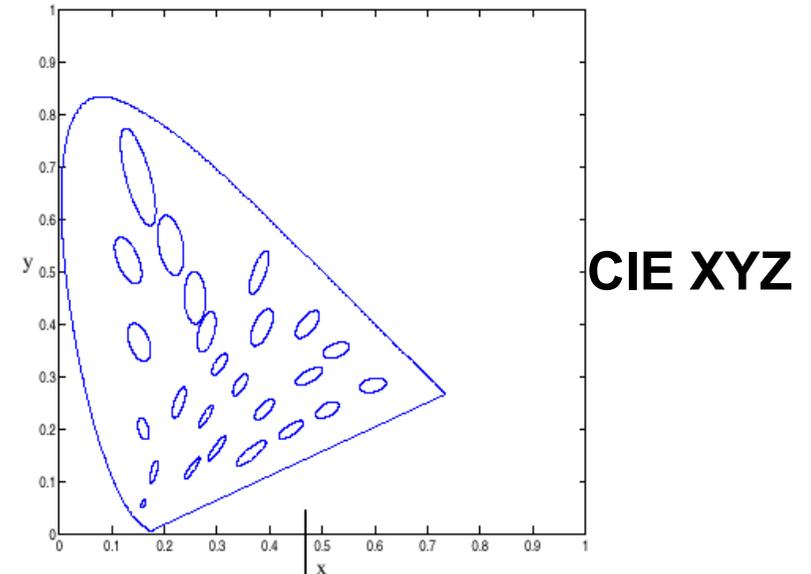
luogo dei colori “appena distinguibili” rispetto al colore del punto centrale



Spazi colori Uniformi

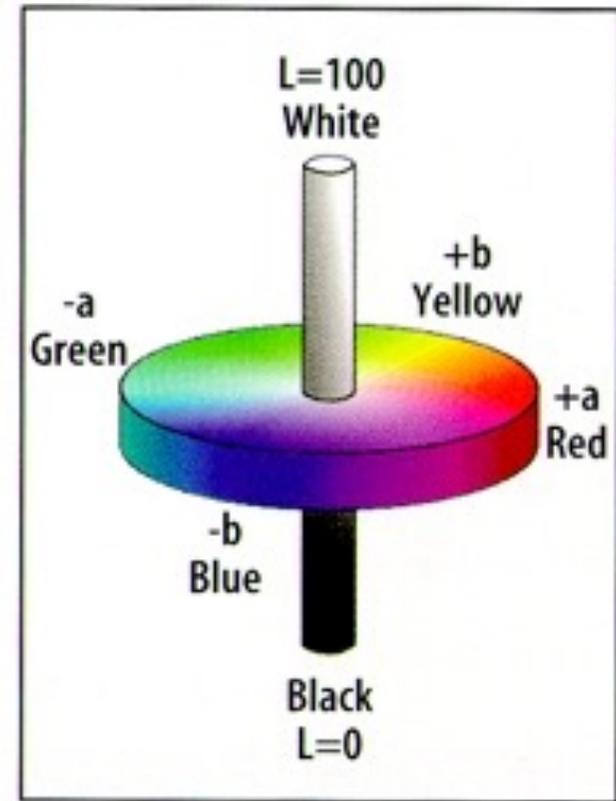
- Rimappano lo spazio colore XYZ in modo tale che le distanze siano percettivamente significative

- Esempi:
 - CIE Lu'v'
 - CIE Lab



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

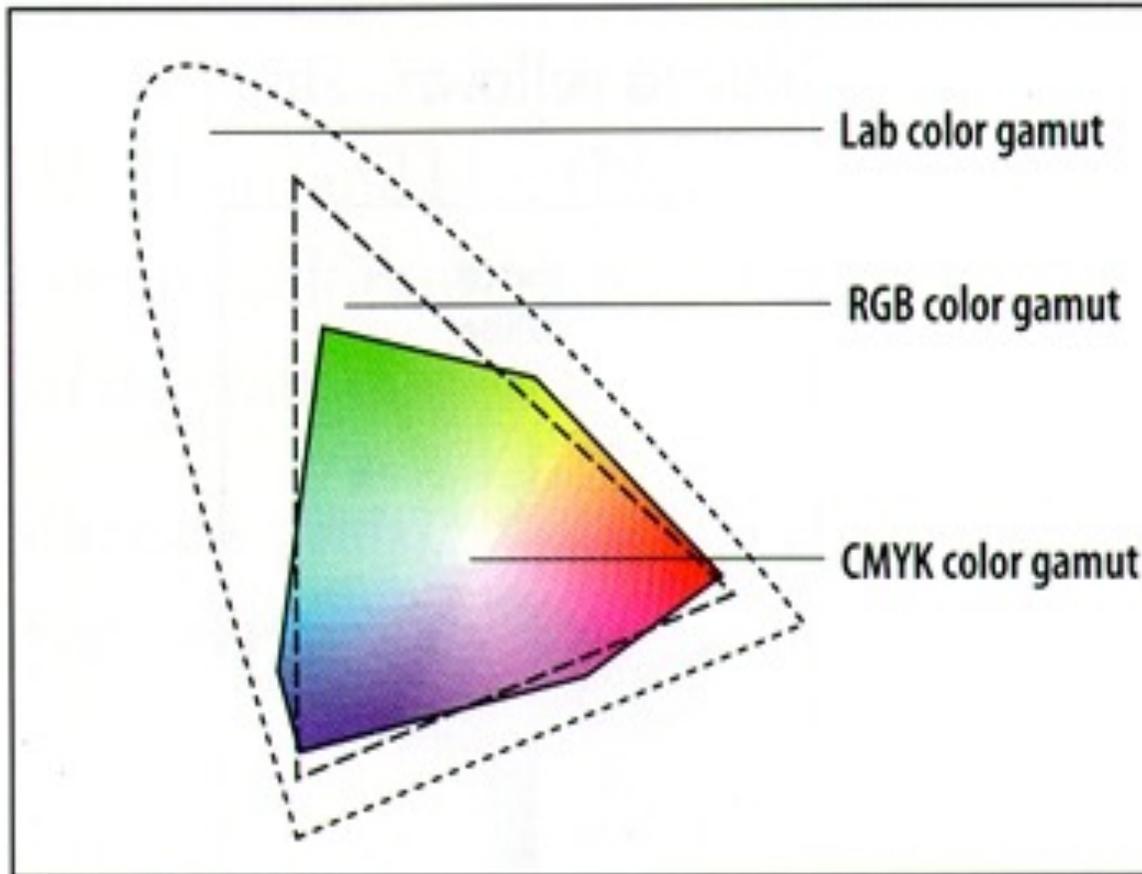
- Luminanza: L^*
- Crominanza:
 - a^* : varia tra verde e rosso
 - b^* : varia tra blu e giallo



Lab model

Gamma colori

Def: la GAMMA dei colori è l'insieme di colori che possono essere riprodotti usando i tre primari



- La **Gamma Lab** copre tutti i colori nello spettro visibile
- La **Gamma RGB** è minore quindi alcuni colori (es giallo puro) non possono essere visti a monitor
- La **Gamma CMY** è la più piccola, anche se non strettamente compresa nella gamma RGB

Modello colore del Video:YCbCr

- Usato inizialmente per il video analogico PAL, ed ora anche per il video digitale CCIR 601

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ Cb &= B - Y \\ Cr &= R - Y \end{aligned}$$

Modelli HSI e HLS

Svantaggio dello spazio colore RGB di un monitor:

difficoltà di interpretazione dei parametri che definiscono un colore; non è infatti intuibile, noti i parametri, il colore corrispondente.

Ciò determina una difficoltà di utilizzo interattivo dello spazio, per specificare un determinato colore. Il problema nasce dal fatto che lo spazio RGB è orientato all'hardware

Serve un mezzo che permetta di descrivere i colori in un modo più vicino alla naturale caratterizzazione dei colori da parte dell'uomo.

Modello HSV (HSI)

- Non lineare
- Riflette la topologia dei colori codificando la tinta (hue) come un angolo
- **Hue**: “Il colore del colore”
- **Saturation**: misura della purezza del colore
- **Value or Intensity**: misura della luminosità del colore

