

ELISABETTA BALDANZI

CNR ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

# La percezione del colore

Che cosa è il colore? Tutti gli esseri viventi  
percepiscono gli stessi colori?



# *Sommario della presentazione*

Cos'è il colore?

Sistema visivo dell'essere umano

Come vedono gli animali il colore

Alterazioni e patologia per la percezione del colore

Perché è importante misurare la percezione del colore?

Test per la percezione del colore

“

PAROLE SU CUI RIFLETTERE

Il colore degli oggetti non esiste

KJKJ

03

# *Come possiamo percepire i colori?*

QUALI SONO LE CONDIZIONI  
ESSENZIALI?



# *Da cosa dipende il colore che vediamo?*

- Dal tipo di luce
- Dalle proprietà dell'oggetto illuminato
- Dal soggetto che osserva, a quale specie appartiene
- Dal contesto in cui è inserito l'oggetto
- Dalle caratteristiche del sistema visivo del singolo soggetto



# *Da cosa dipende il colore che vediamo?*

- **Dal tipo di luce**
- Dalle proprietà dell'oggetto illuminato
- Dal soggetto che osserva, a quale specie appartiene
- Dal contesto in cui è inserito l'oggetto
- Dalle caratteristiche del sistema visivo del singolo soggetto





Fonte IGuzzini.it  
Foto L'Ultima Cena di Leonardo da Vinci  
prima del nuovo impianto di  
illuminazione

















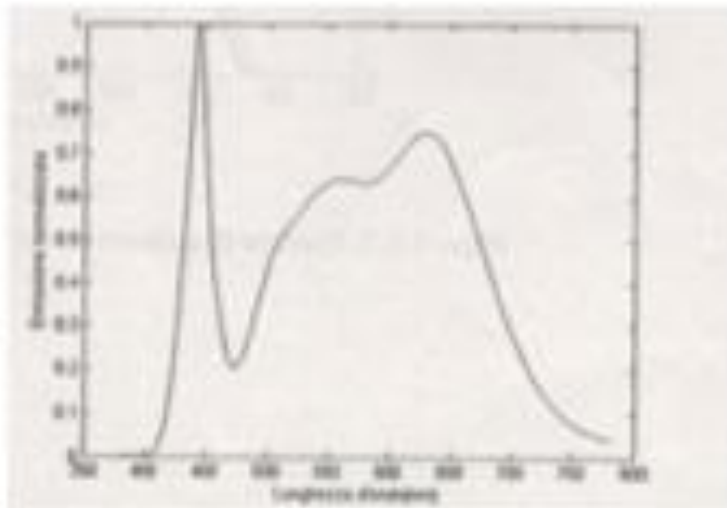




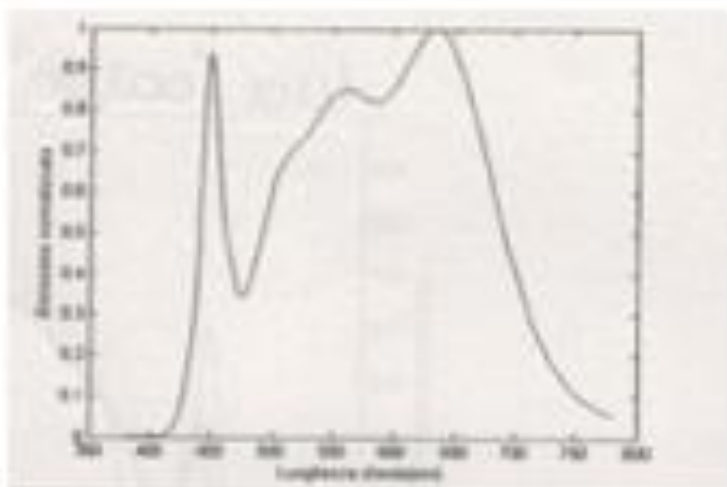




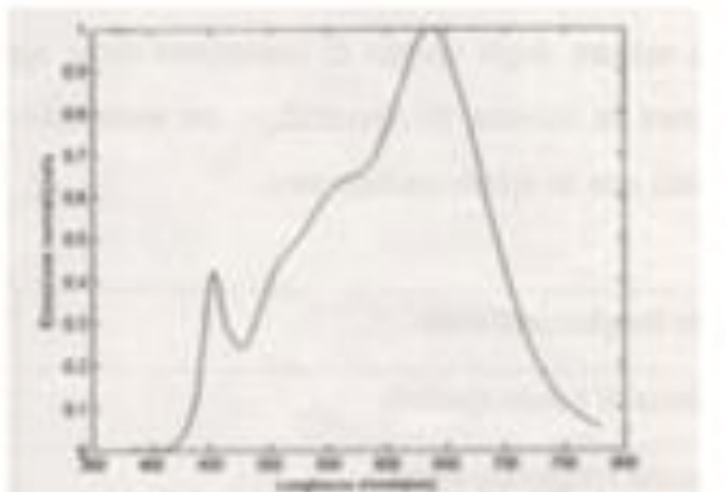




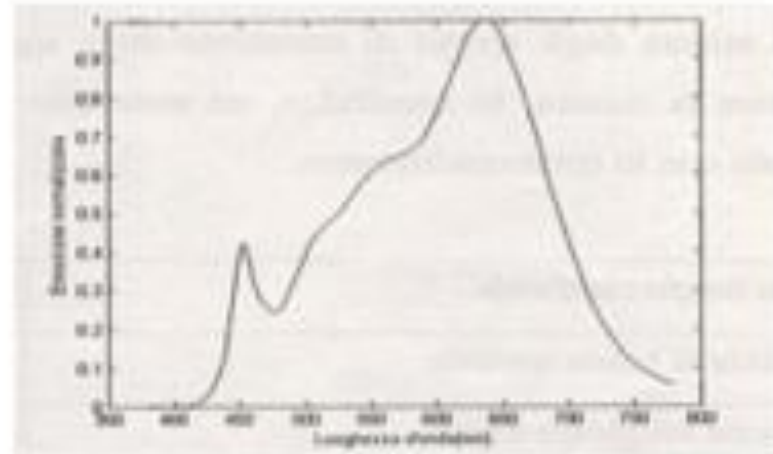
Spettro di emissione normalizzata VividB 4200 K



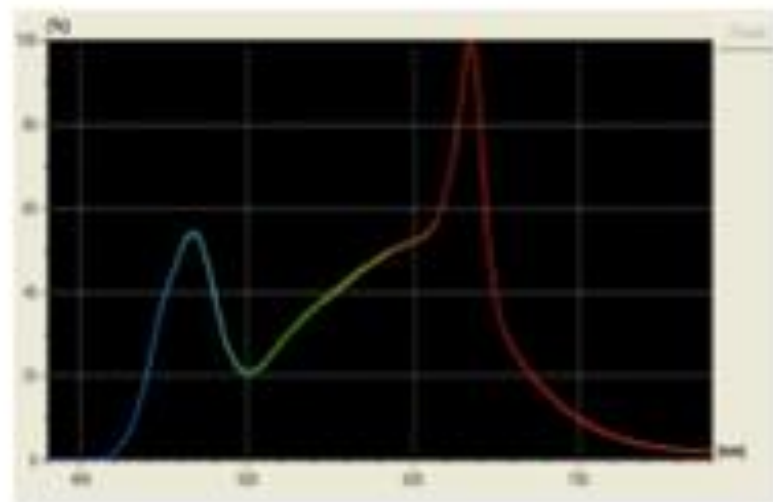
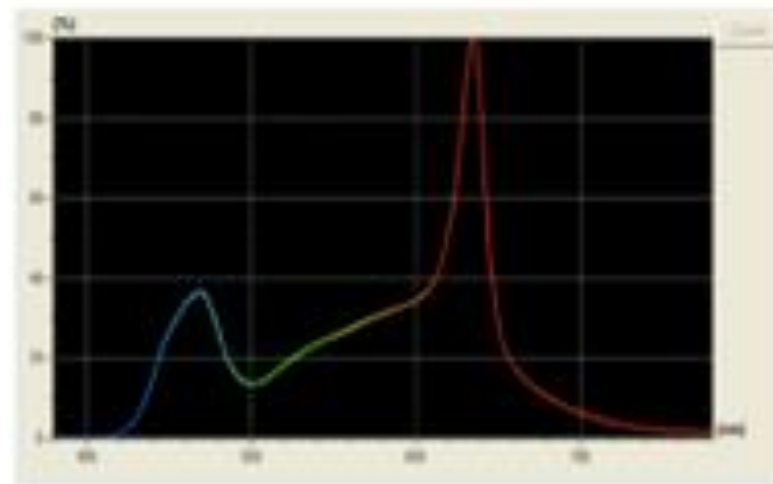
Spettro di emissione normalizzata R<sub>9</sub> 4000 K



Spettro di emissione normalizzata R<sub>9</sub> 3000 K



Spettro di emissione normalizzata  $R_{a98}$  3000 K





Botticelli,  
L'incoronazione della Vergine.

LED STD (sx) e  
LED Vivid WP (dx)



Botticelli,  
L'incoronazione della Vergine.

LED STD (sx) e  
LED Vivid WP (dx)



Ghirlandaio,  
Sposalizio mistico di Santa Caterina,

LED STD (sx) e  
LED VividWP (dx)



Ghirlandaio,  
Sposalizio mistico di Santa Caterina,

LED STD (sx) e  
LED VividWP (dx)



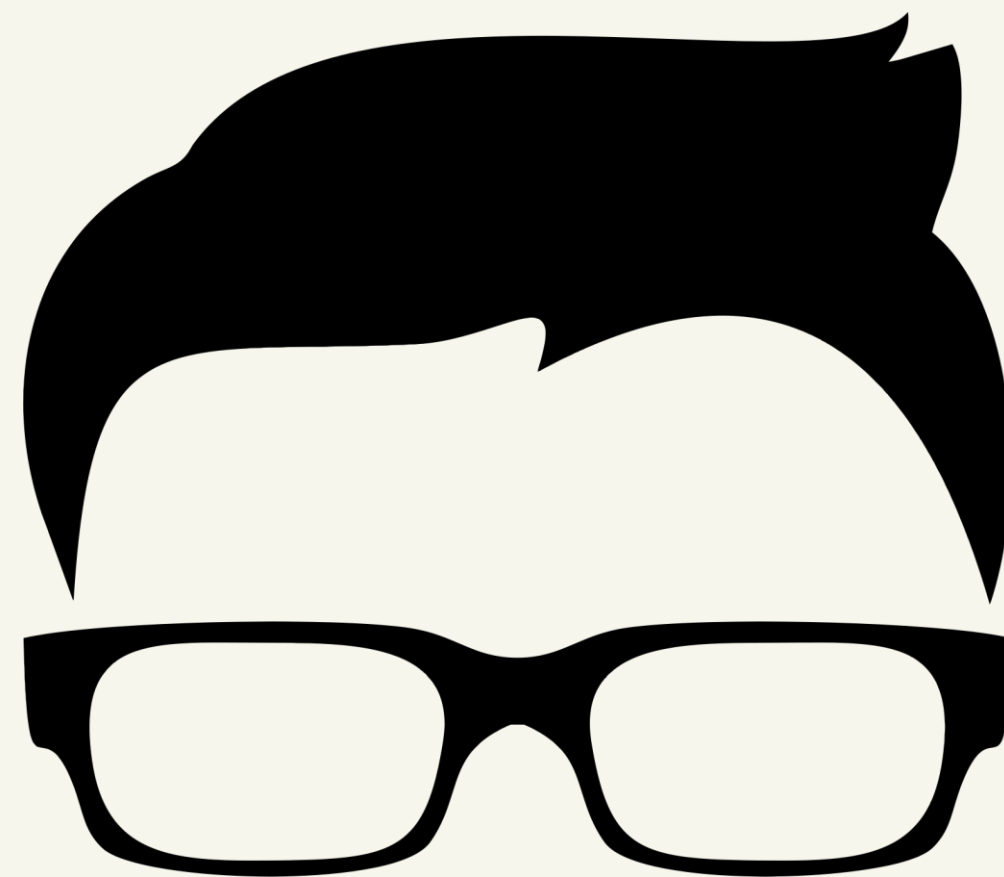
# *Da cosa dipende il colore che vediamo?*

- Dal tipo di luce
- **Dalle proprietà dell'oggetto illuminato**
- Dal soggetto che osserva, a quale specie appartiene
- Dal contesto in cui è inserito l'oggetto
- Dalle caratteristiche del sistema visivo del singolo soggetto



# *Da cosa dipende il colore che vediamo?*

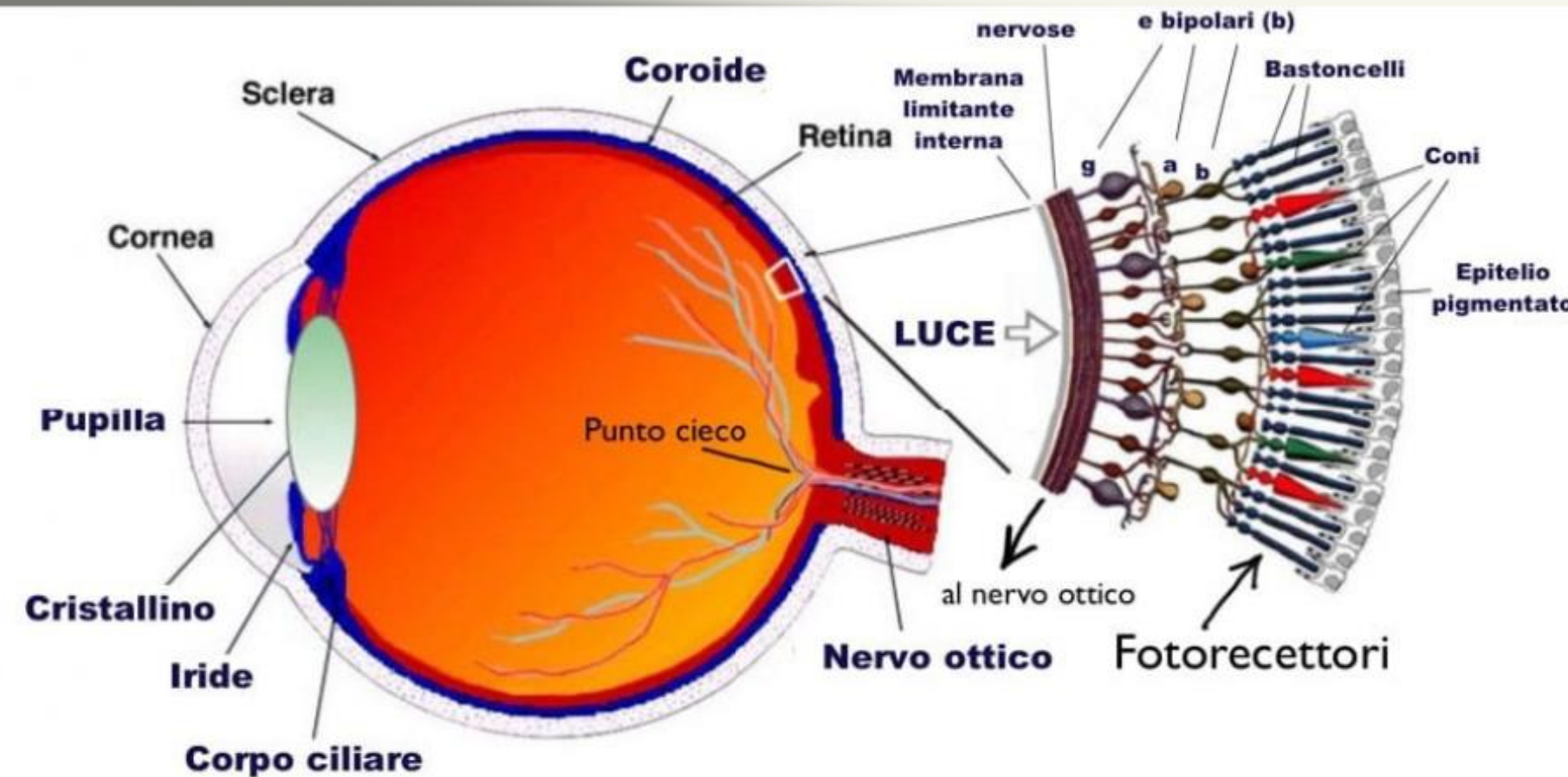
- Dal tipo di luce
- Dalle proprietà dell'oggetto illuminato
- **Dal soggetto che osserva, a quale specie appartiene**
- Dal contesto in cui è inserito l'oggetto
- Dalle caratteristiche del sistema visivo del singolo soggetto



# *Come funziona il sistema visivo dell'essere umano?*

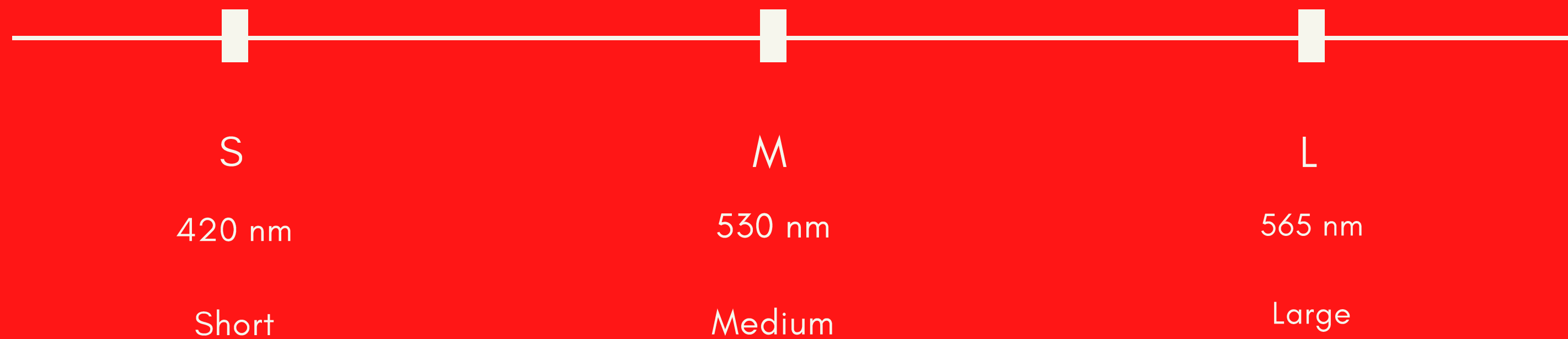
COME FA L'ESSERE UMANO A PERCEPIRE I COLORI

Dipende tutto dal nostrosistema visivo



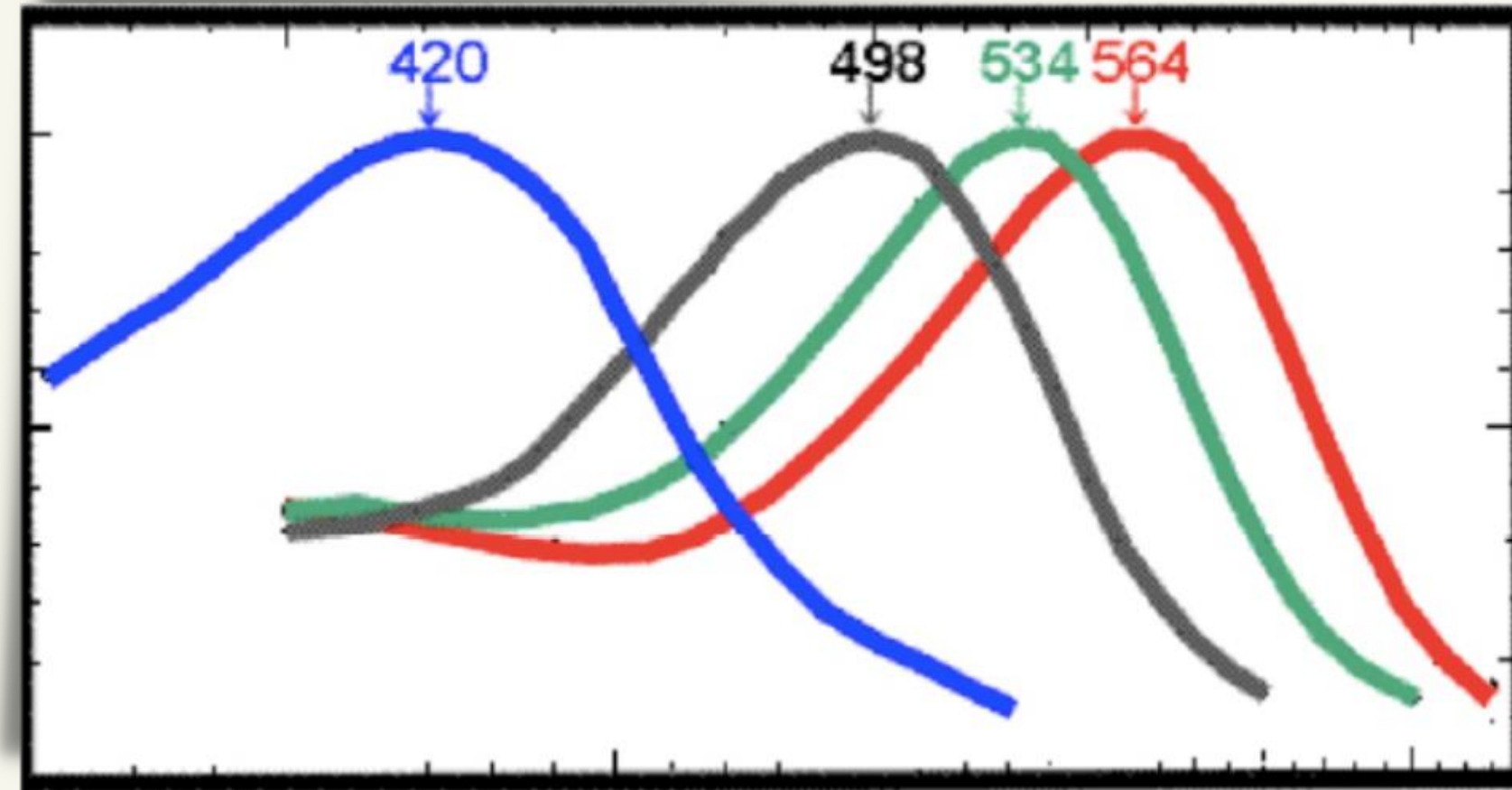
# *Tre tipi di coni*

CIASCUNO CON UN PICCO DI SENSIBILITÀ SU SPECIFICHE LUNGHEZZE D'ONDA



*Come funziona il  
sistema visivo  
dell'essere  
umano?*

PRINCIPIO DI UNIVARIANZA DI  
RUSHTON



*Tutti gli animali vedono i colori allo stesso modo?*

DIPENDE DALLA STRUTTURA DELL'OCCHIO E DEL SISTEMA VISIVO



# *Numero di fotorecettori*

CANI, GATTI, MUCCHE

2 tipi di cono

ESSERE UMANO, SCIMMIA

3 tipi di cono

UCCELLI, INSETTI, RETTILI

4 tipi di cono



# *Mantis shrimps*

CANOCCHIA PAVONE

12 tipi di coni





## CANE

- Visione dicromatica
- campo visivo  $240^\circ$  invece di  $180^\circ$
- Vede bene da vicino ma oltre 5 metri vista confusa
- vedono molto bene i movimenti 50 cicli/sec invece che 20-30 cicli/sec
- La vista del cane dipende anche dalla razza

Byosiere, S.-E., Chouinard, P.A., Howell, T.J., and P.C. Bennett. 2018. What do dogs (*Canis familiaris*) see? A review of vision in dogs and implications for cognition research. *Psychonomic Bulletin & Review* 25(5):1798-1813.



## GATTO

- Visione dicromatica
- campo visivo 200° invece di 180°
- Miope, vede distintamente da 10 a 75 cm
- buona visione notturna
- Il suo occhio possiede come uno specchio riflettente al suo interno

Meyer, Donald R., Raymond C. Miles, and Philburn Ratoosh. "Absence of color vision in cat." *Journal of Neurophysiology* 17.3 (1954): 289-294.

## CAVALLO

- dominante grigio giallastra
- campo visivo 350° invece di 180°
- occhio fatto per vedere da lontano
- vede bene sia l'ostacolo davanti a sé che i movimenti del cavaliere

Carroll, Joseph, et al. "Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse." *Journal of Vision* 1.2 (2001): 2-2.



## MUCCA

- Scarsa sensibilità ai colori
- campo visivo 330° invece di 180°
- posizione laterale degli occhi
- non perfetta visione binoculare

Jacobs, Gerald H., JESS F. DEEGAN, and J. A. Y. Neitz. "Photopigment basis for dichromatic color vision in cows, goats, and sheep." *Visual neuroscience* 15.3 (1998): 581-584.

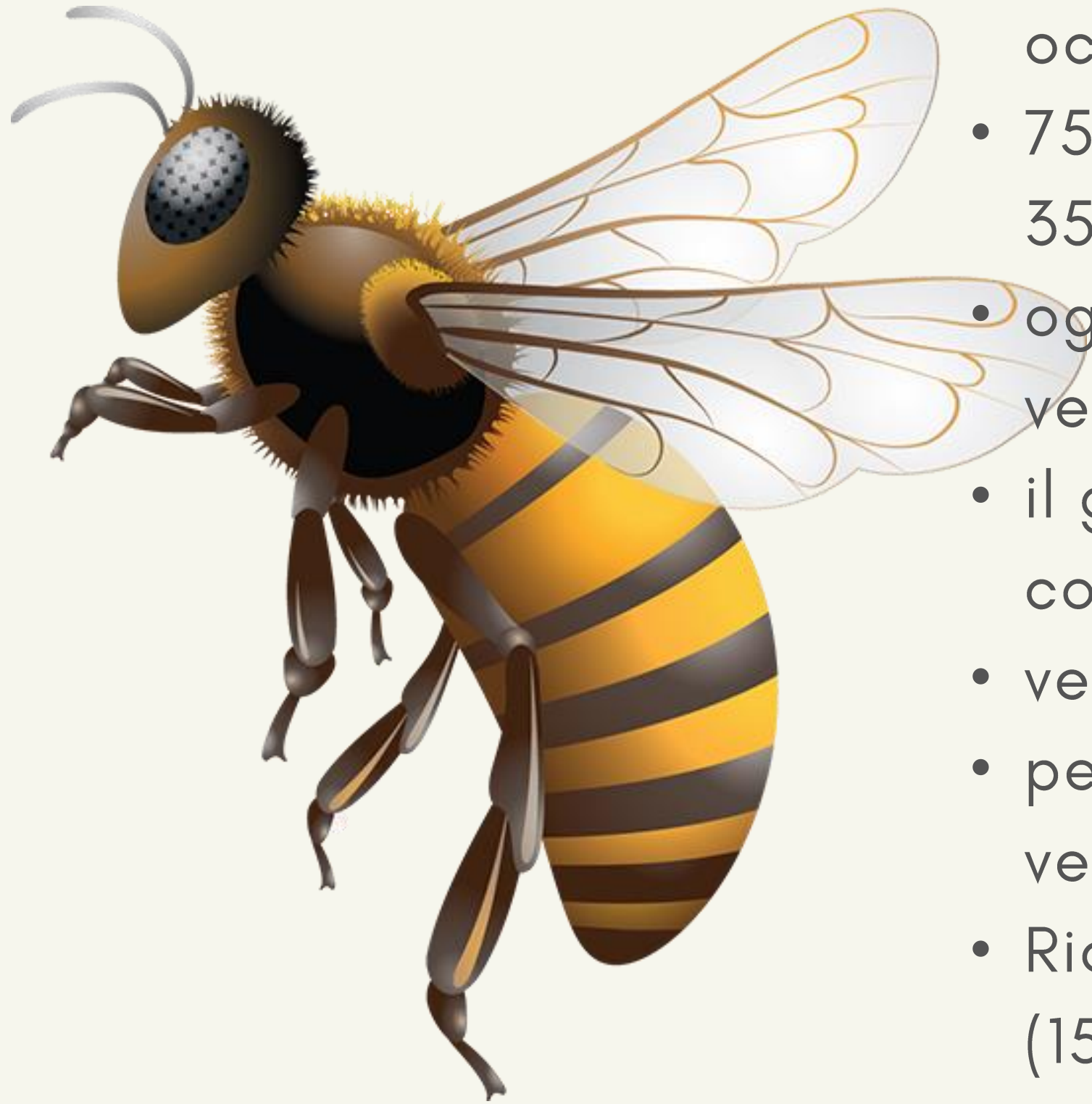


## AQUILA

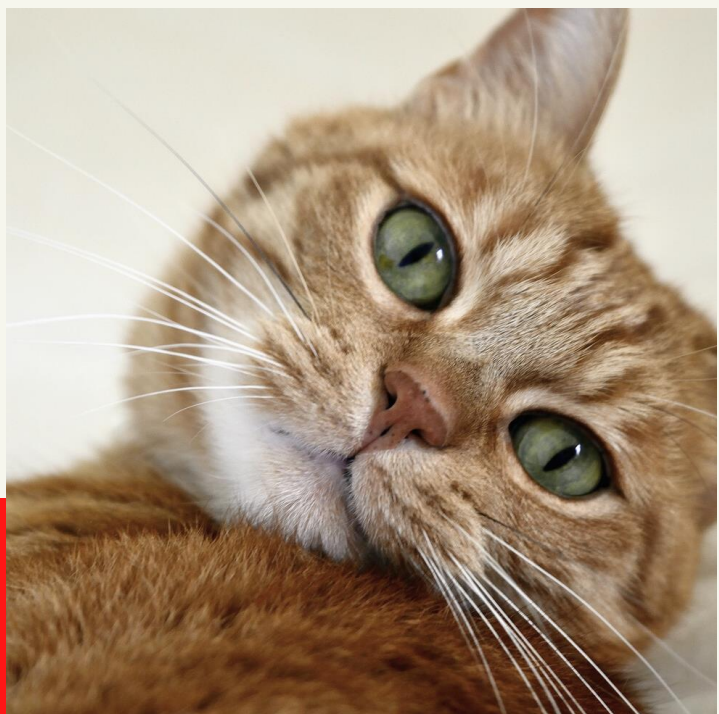
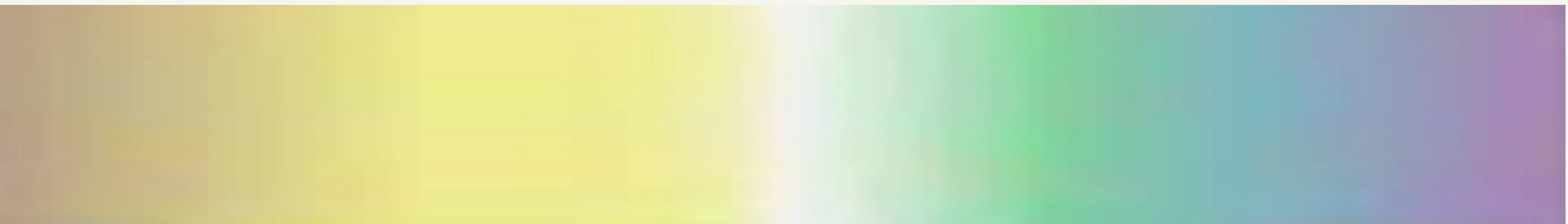
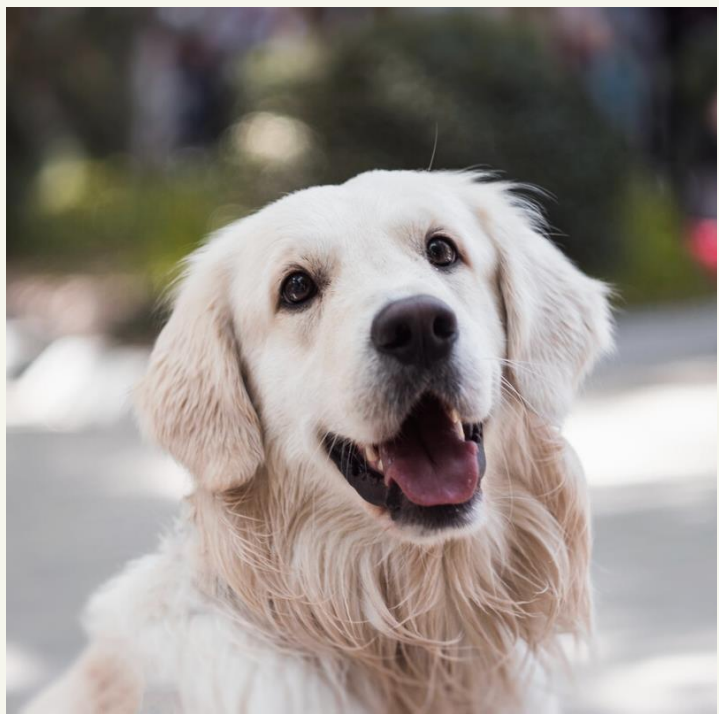
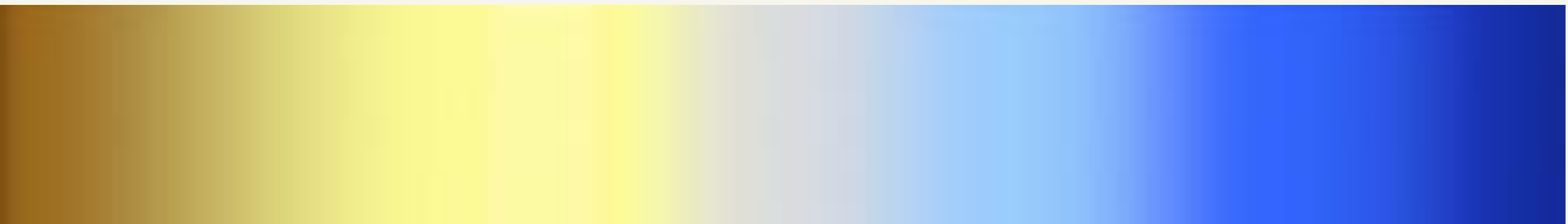
- vede tutti i colori che vede l'uomo più l'UV
- Tre aree visive: anteriore binoculare, destra e sinistra utili per vedere da vicino
- campo visivo di 240°

Ödeen, Anders, and Olle Håstad. "Complex distribution of avian color vision systems revealed by sequencing the SWS1 opsin from total DNA." *Molecular biology and evolution* 20.6 (2003): 855-861.

# APE



- occhi composti da tre mini occhi chiamati ocelli
- 7500 faccette i maschi, 4500 l'operaia e 3500 la regina
- ogni faccetta contiene cellule sensibili al verde, al blu, all'UV ma non al rosso
- il giallo, l'arancione e il rosso si confondono
- vede meno distintamente rispetto all'uomo
- percepisce forme semplici e meglio figure verticali
- Riconosce fino a 300 immagini al secondo (15 volte più dell'uomo)





# Come vedono gli animali?

Esempi indicativi di percezione visiva relativa al campo visivo



# *Tutti gli uomini vedono i colori allo stesso modo?*

DIPENDE DAL SISTEMA VISIVO

Non tutti gli esseri umani hanno lo stesso sistema visivo

# Presenza dei coni sulla retina

NON TUTTI GLI ESSERI UMANI HANNO LO  
STESSO NUMERO DI CONI PER CIASCUNA  
TIPOLOGIA

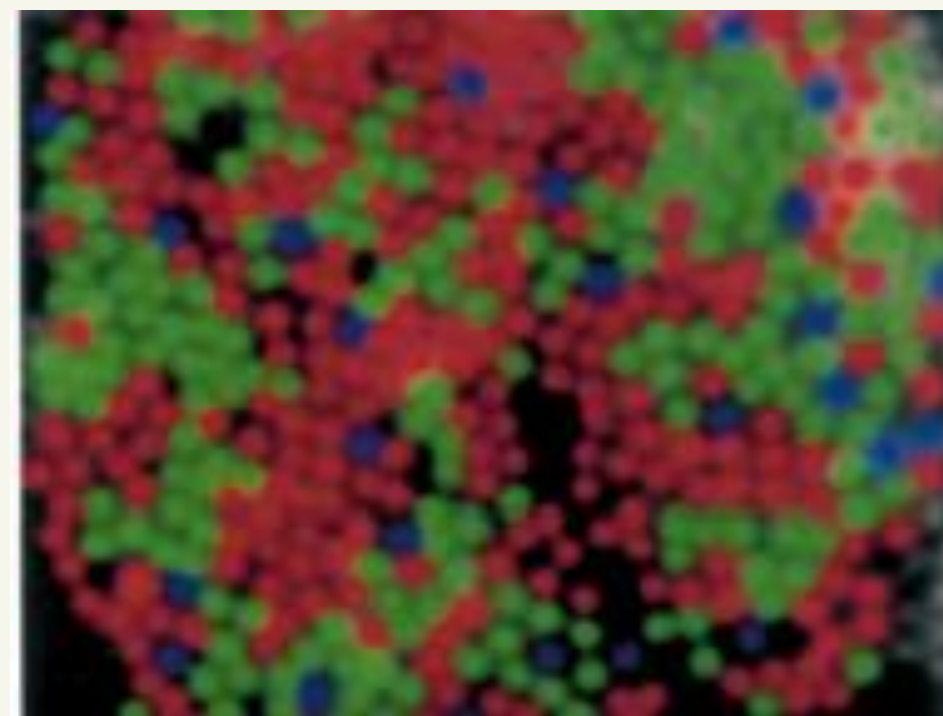
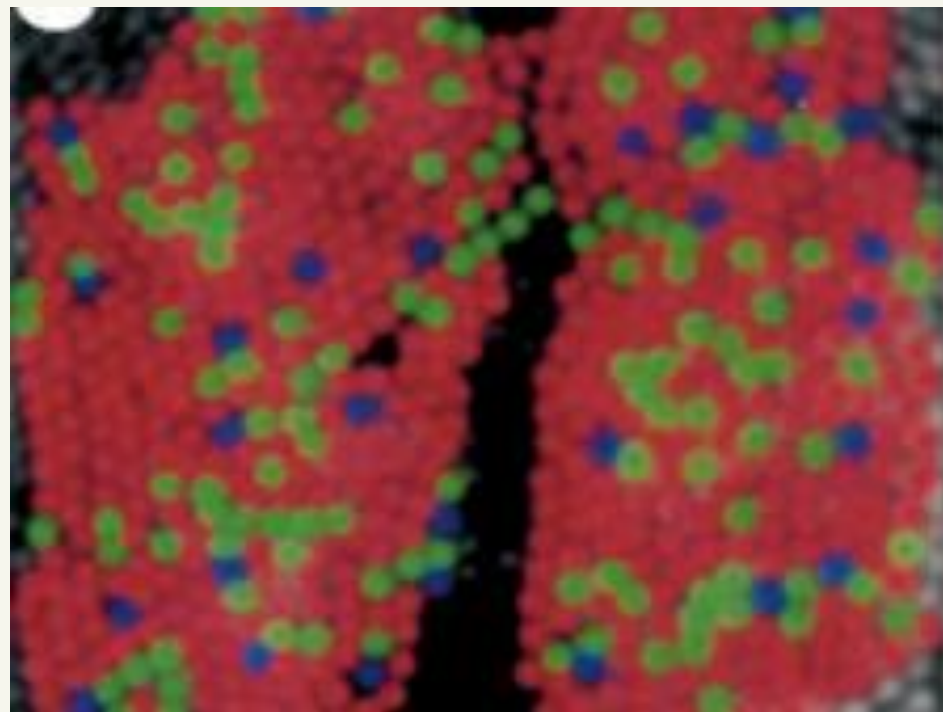
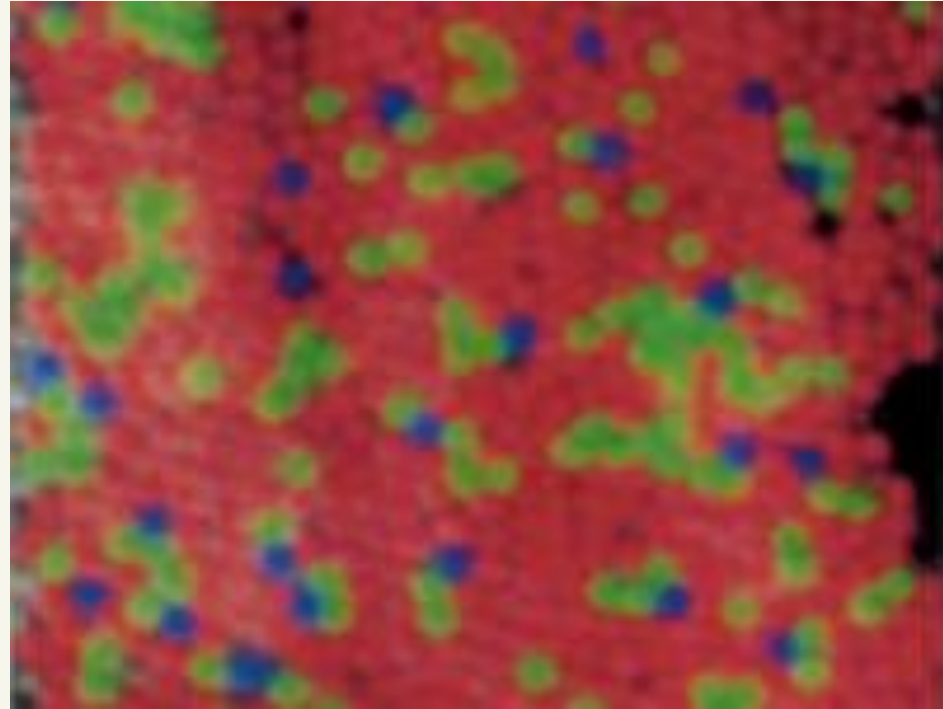


fig. 2 L 75.8% M 20.0% S 4.2% L:M=3.79

FIG. 3 L 50.6% M 44.2% S 5.2% L:M=1.15

Roorda e Williams Nature 397, 520 (1999)

# *Alterazioni nella percezione del colore*

## **MONOCROMATISMO**

non sono disponibili coni o solo uno di essi

## **DICROMATISMO**

sono presenti solo due diversi tipi di coni

## **TRICROMATISMO**

sono presenti tutti e tre i tipi di coni ma con picchi di sensibilità spostati per uno di loro

1

2

3

Normal vision



Deuteranopia



Protanopia



Tritanopia



# Anomalie

## PROTAN

DISTURBI NEL ROSSO

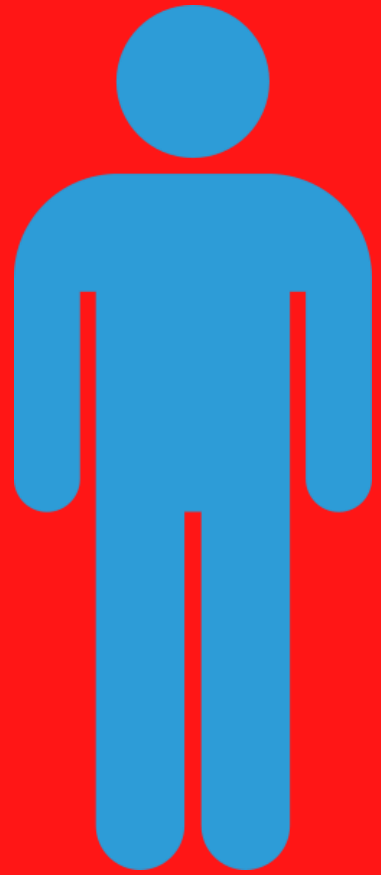
## DEUTAN

DISTURBI NEL VERDE

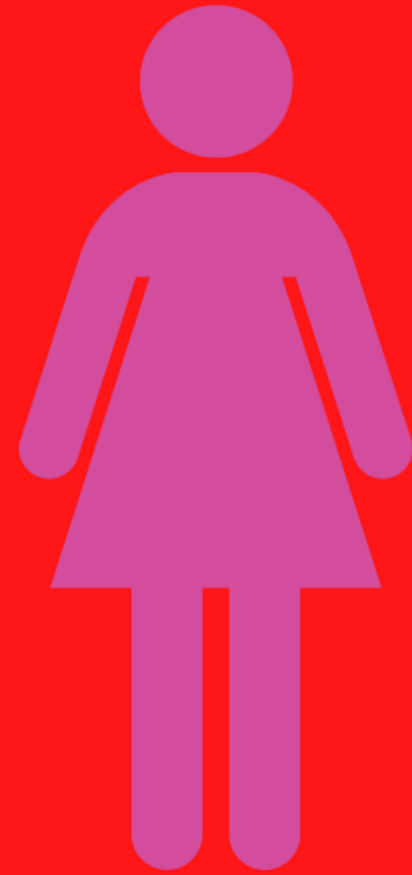
## PROTAN

DISTURBI NEL BLU

IL DALTONISMO È UN TRATTO  
RECESSIVO CODIFICATO SUL  
CROMOSOMA X



8% MAN



0,5% WOMAN



# Test

## PERCEZIONE CROMATICA

- TEST DI ISHIARA
- FARNSWORTH MUNSELL D-15 E 100 HUE
- CITY UNIVERSITY COLORE TEST CUCT
- ANOMALOSCOPIO DI NAGEL



# *Test per la percezione del colore*

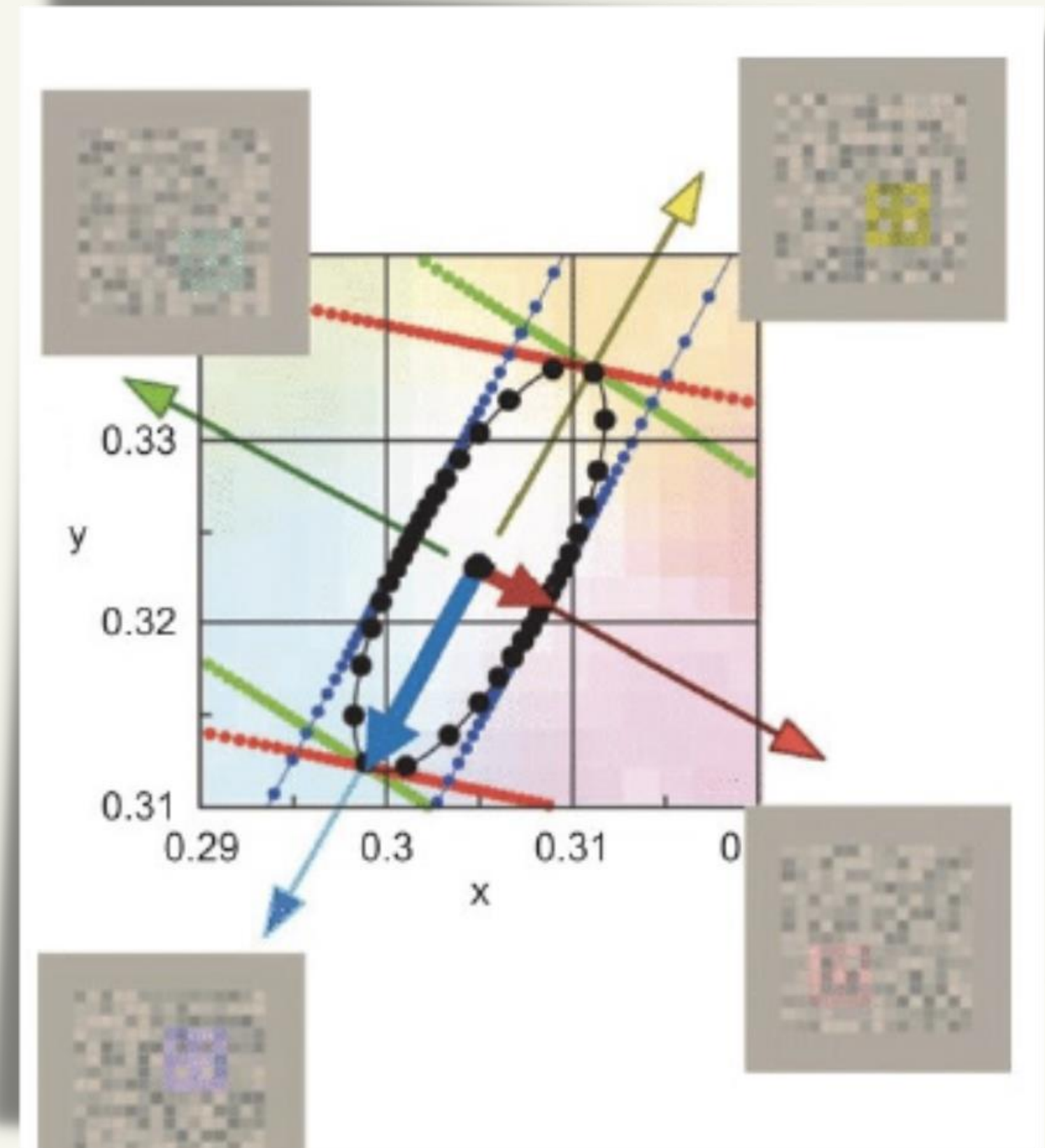
CITY UNIVERSITY, LONDON

PROF. JOHN BARBUR

Professor of Optics & Visual Science and  
Director of the Applied Vision Research  
Centre at City University London

CAD TEST

Consente di misurare le performance visive  
con precisione e dettagli relativi al tipo di  
deficit



# Perché è impotante misurare il colore

- **EFFETTI PER LA VITA QUOTIDIANA**  
Ricadute correlate alla percezione visiva
- **MOTIVI PROFESSIONALI**  
Alcune tipologie di lavori richiedono una certificazione
- **MOTIVI DI SALUTE**  
Diagnosi preventiva e non invasiva di determinate malattie (Alzheimer, diabete, ...)
- **CONTROLLO DELLE PERFORMANCE VISIVE**  
Check up medico



*Grazie per l'attenzione*

citazione

Elisabetta Baldanzi



## Percezione del colore

**Relatore:**

Alessandro Farini

**Evento:**

Light and Optics in Optometry



Alessandro Farini

Istituto Nazionale di Ottica-CNR

<https://viola.ino.cnr.it/>

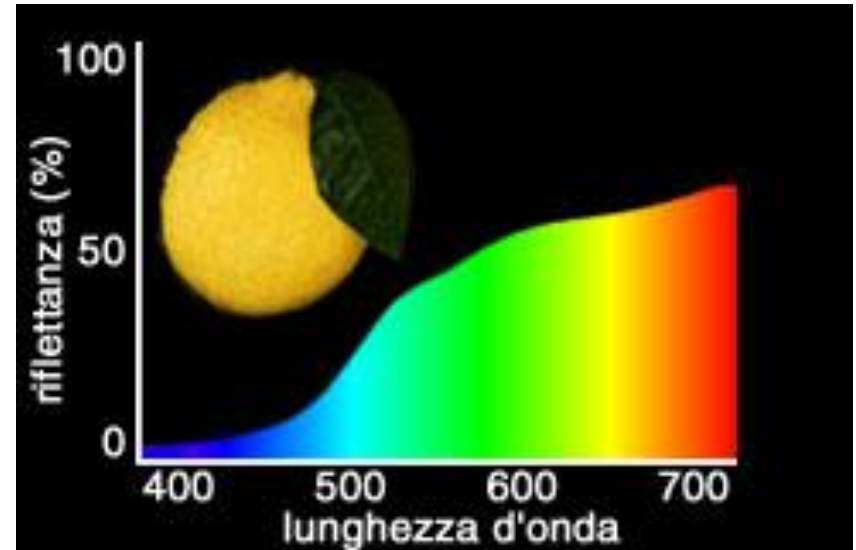
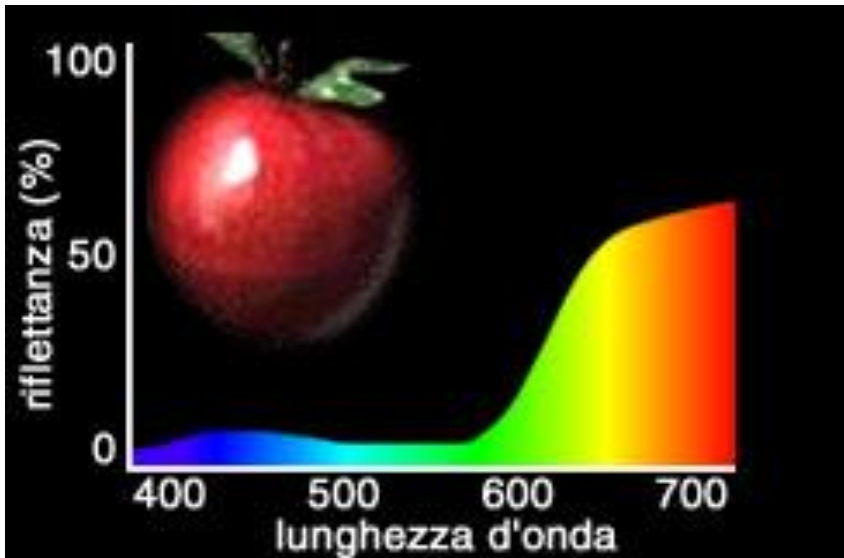
[alessandro.farini@ino.cnr.it](mailto:alessandro.farini@ino.cnr.it)

[twitter.com/alefarini](https://twitter.com/alefarini)

[www.facebook.com/alessandro.farini](https://www.facebook.com/alessandro.farini)

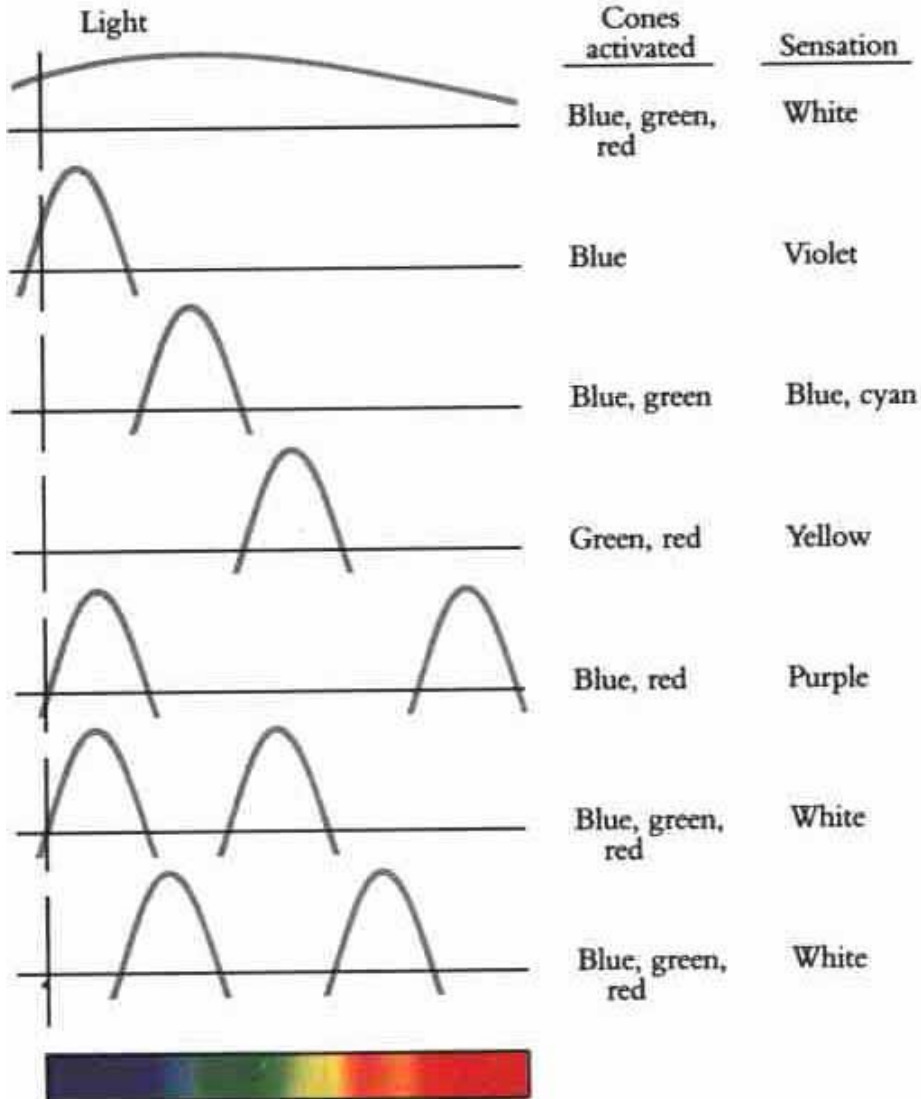
[instagram.com/opticalreader](https://www.instagram.com/opticalreader)

# Come misurare il colore



Ma noi non “vediamo” mai questo spettro!

# Stessa percezione, diverso spettro



La sensazione di bianco può essere dovuta a uno spettro continuo, ma anche addirittura a due radiazioni colorate

Non è vero che il bianco è la somma di tutti i colori

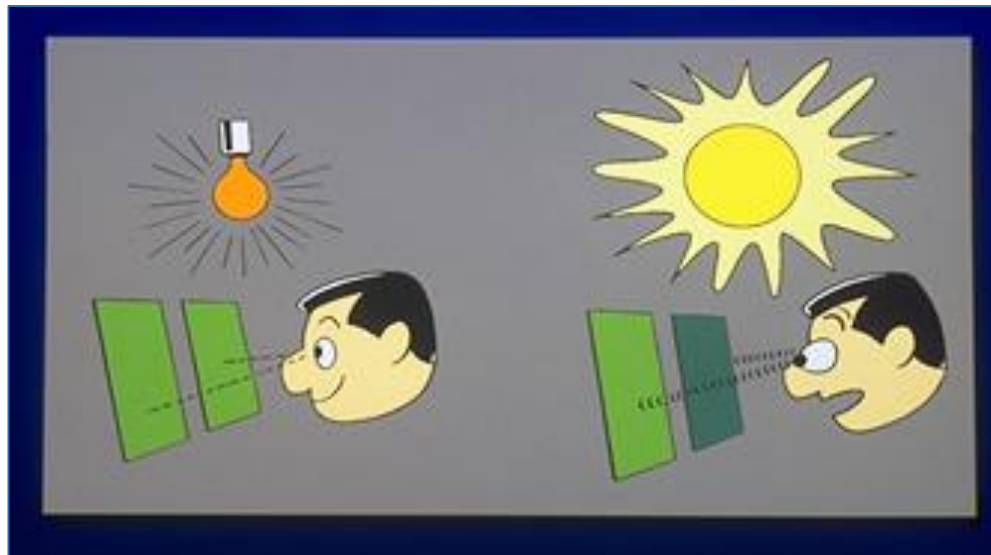
E' vero che la somma di tutti i colori è bianco

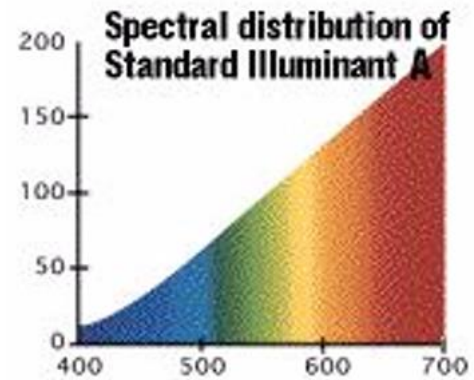
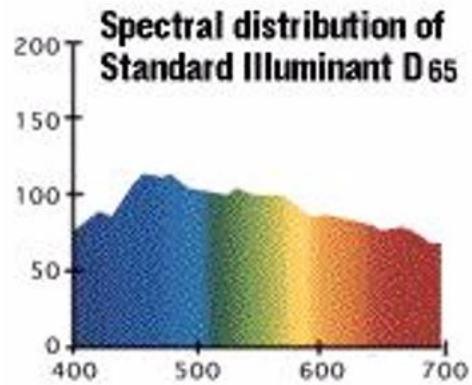
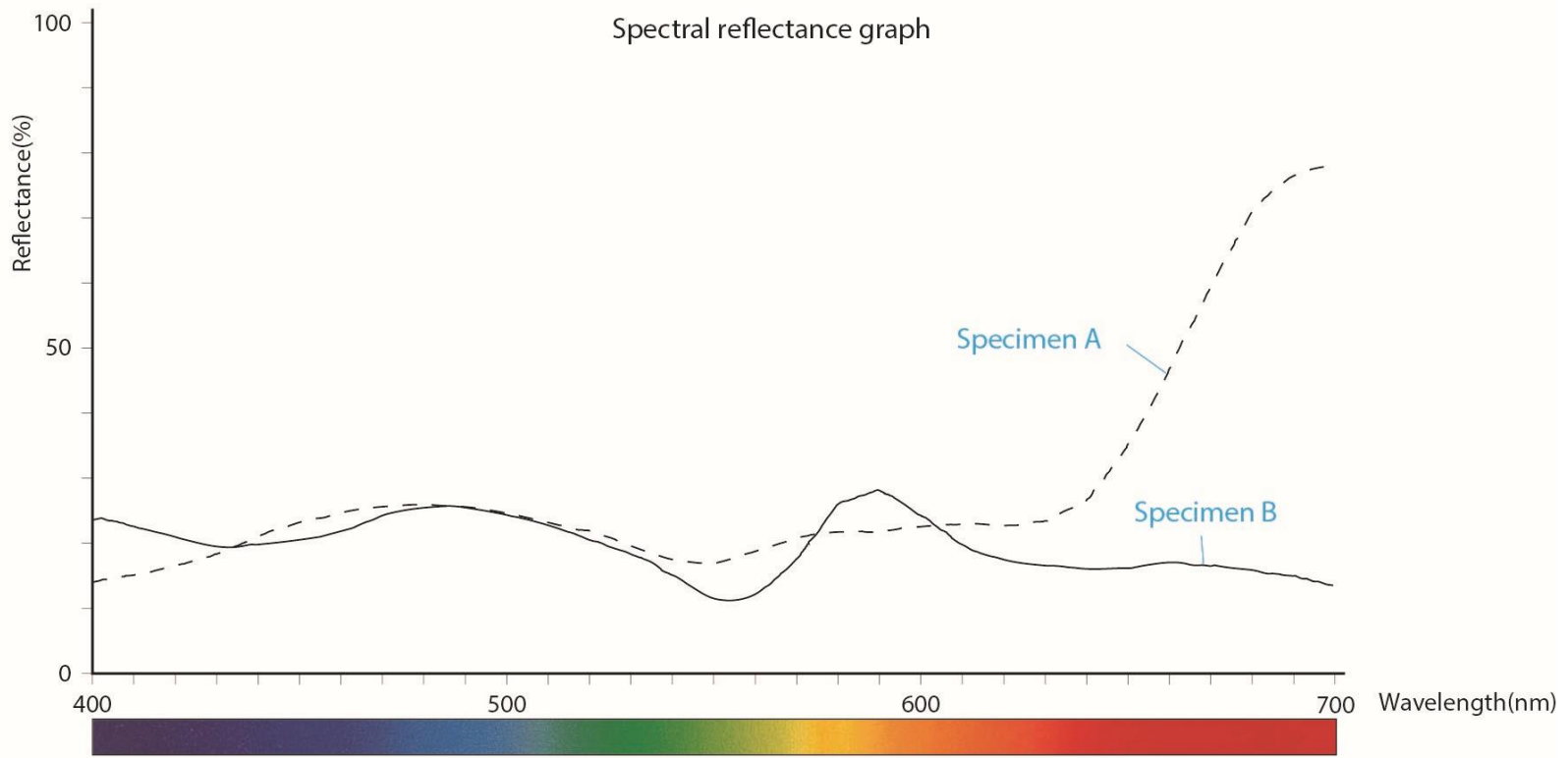
Ma il bianco di uno spettro continuo è come l'altro bianco?

# Il metamerismo

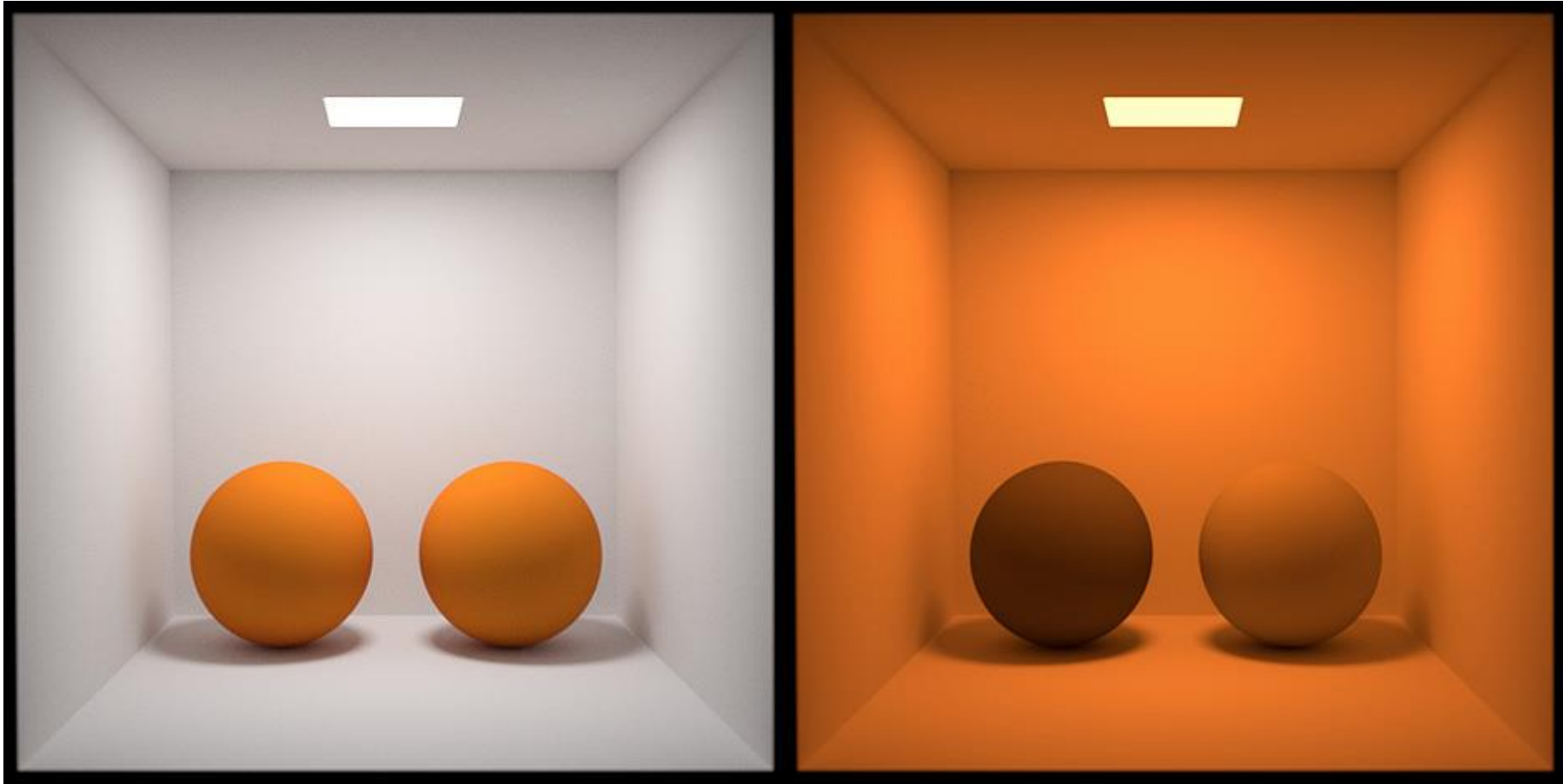


- Due colori che sembrano gli stessi ma che hanno differenti energie in funzione della lunghezza d'onda si chiamano metamericici





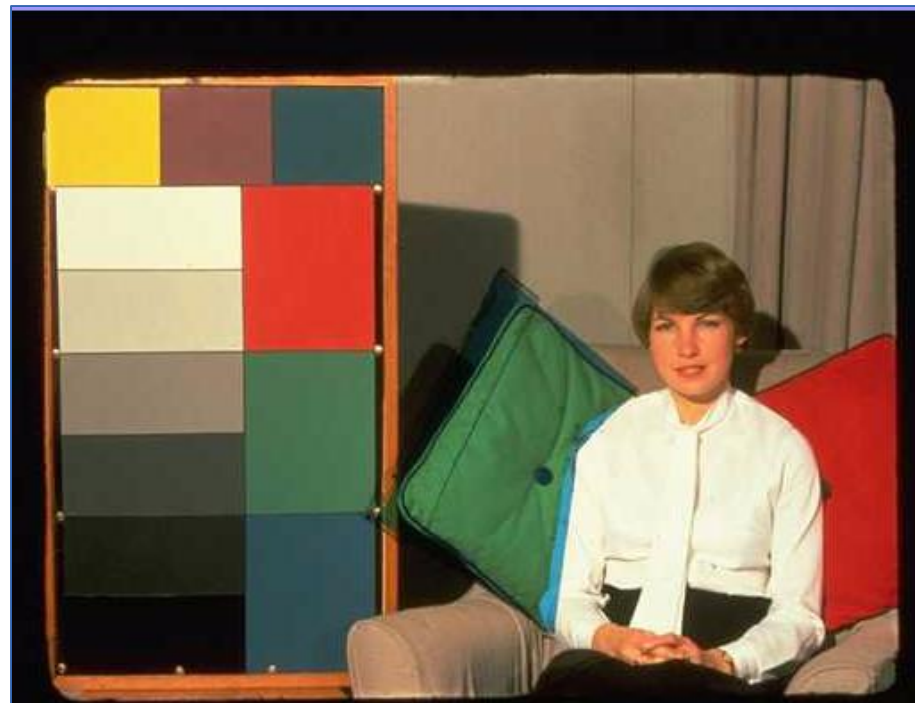
# Example of metameric colors



<http://www.eclat-digital.com/wp-content/uploads/2013/02/metamers-slider.jpg>



# La costanza del colore



# La costanza del colore 2

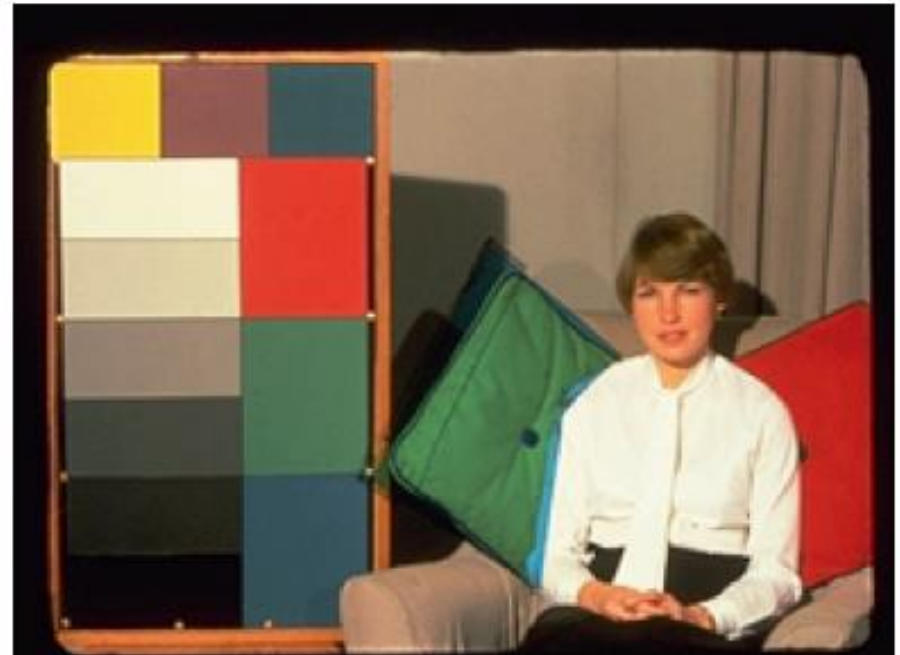


RGB come valore attuale, 8-bit

R	246
G	167
B	9

ACER AL702

Dimensioni apertura

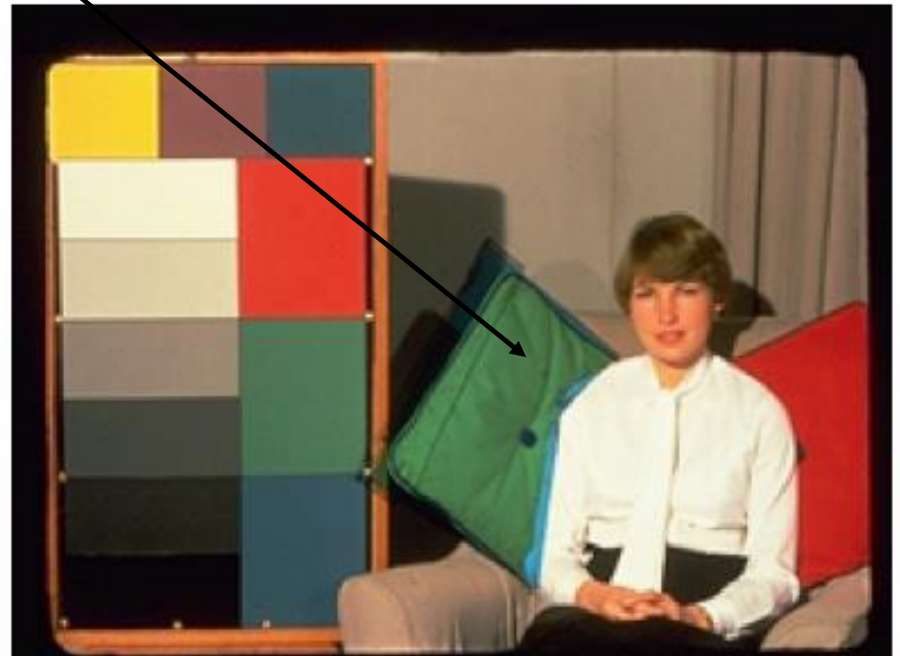
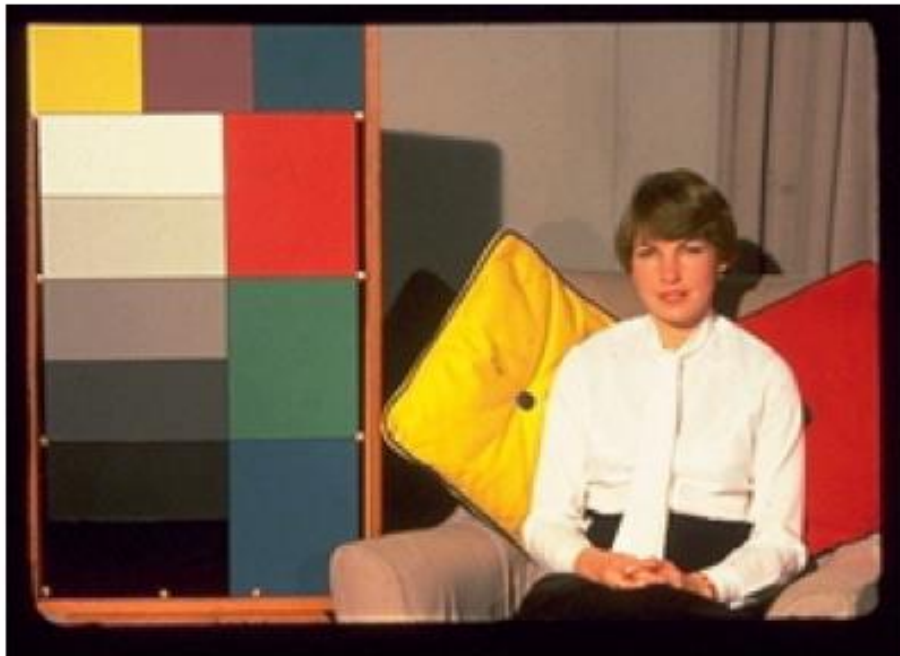


RGB come valore attuale, 8-bit

R	52
G	97
B	53

ACER AL702

Dimensioni apertura

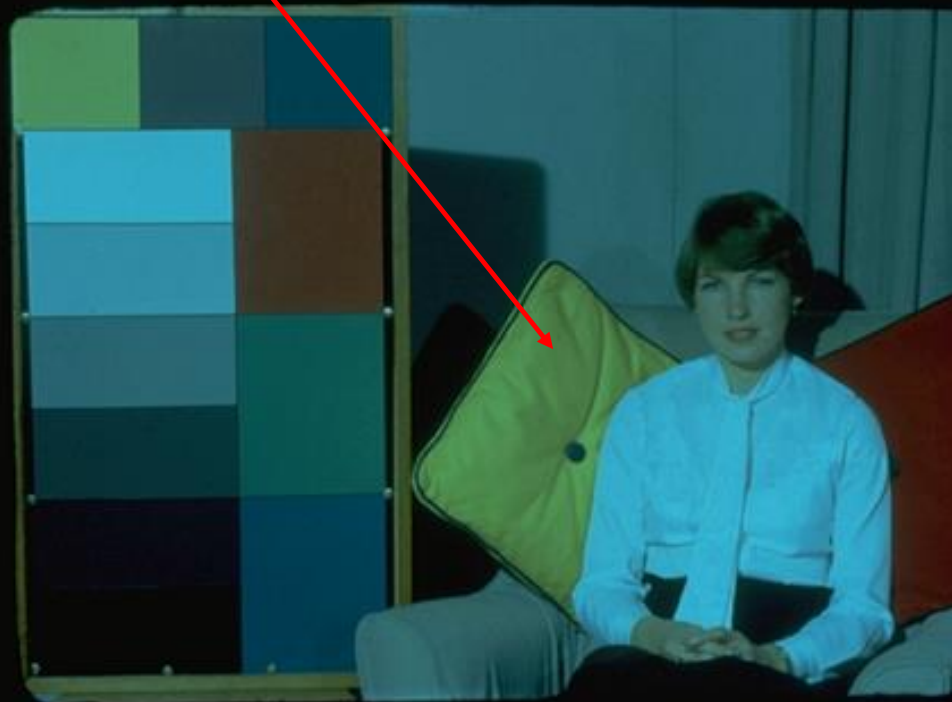


RGB come valore attuale, 8-bit

R	48
G	101
B	46

ACER AL702

Dimensioni apertura



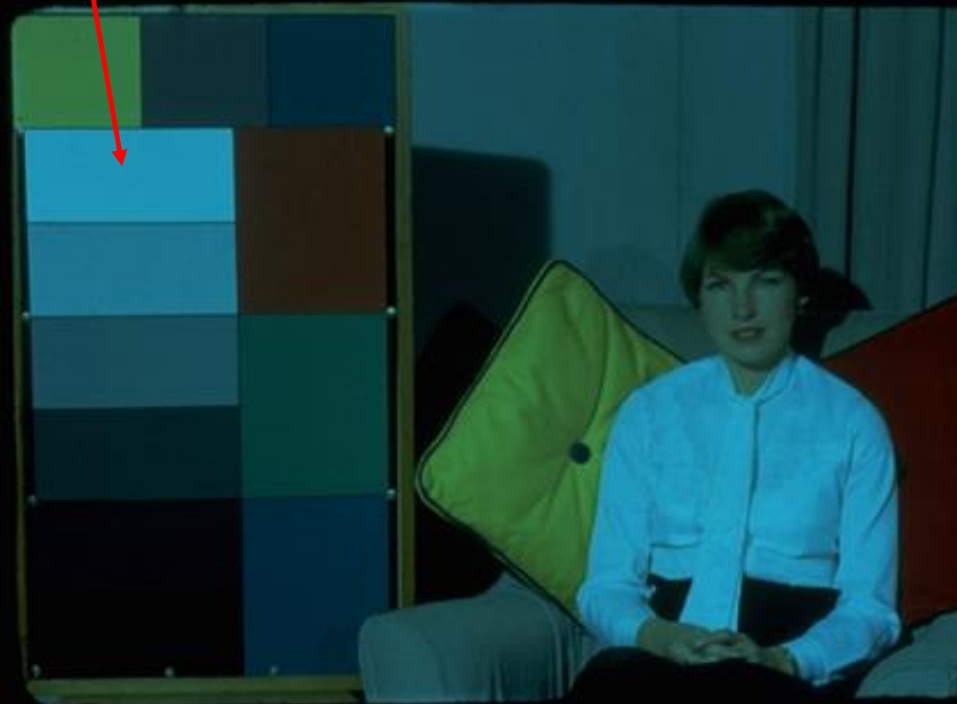
Si tratta di un evidente verde

RGB come valore attuale, 8-bit

R	28
G	147
B	181

ACER AL702

Dimensioni apertura



Difficile credere sia un azzurro così intenso

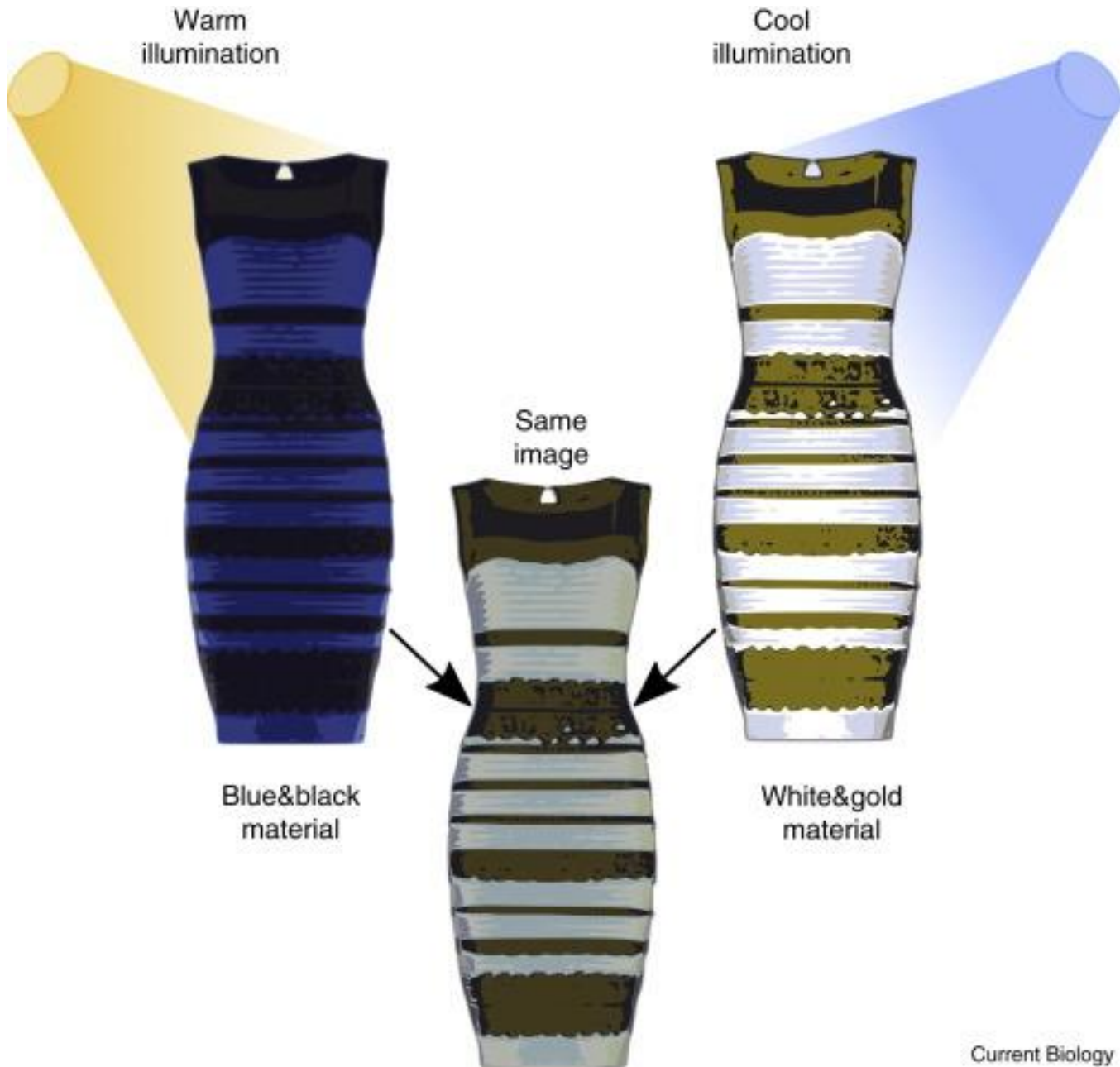
# La costanza del colore



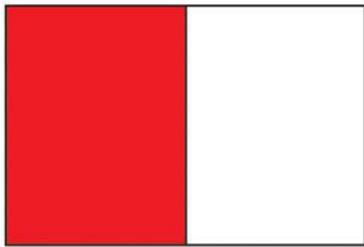
#thedress  
March 2015



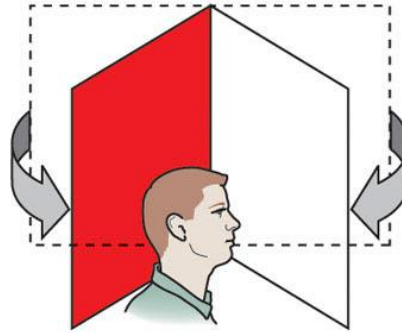




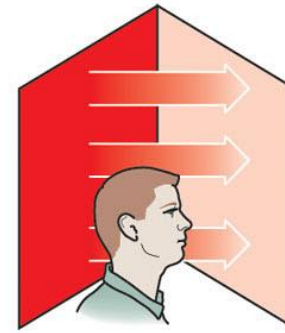
# Bloj, Kersten, and Hurlbert Experiment



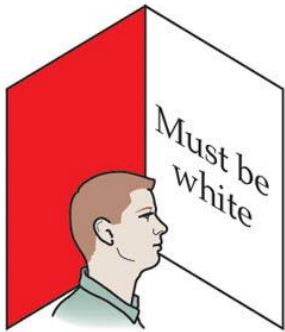
1. Start with a card half red, half white.



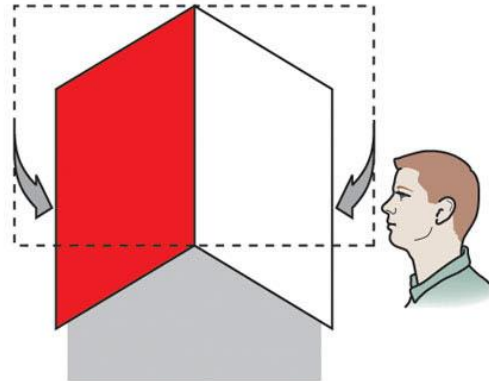
2. Fold it so that red faces white.



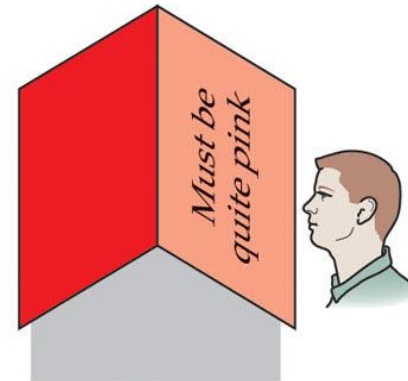
3. Light reflects from red onto white.



4. The visual system "knows" about the reflection and knows to discount it.

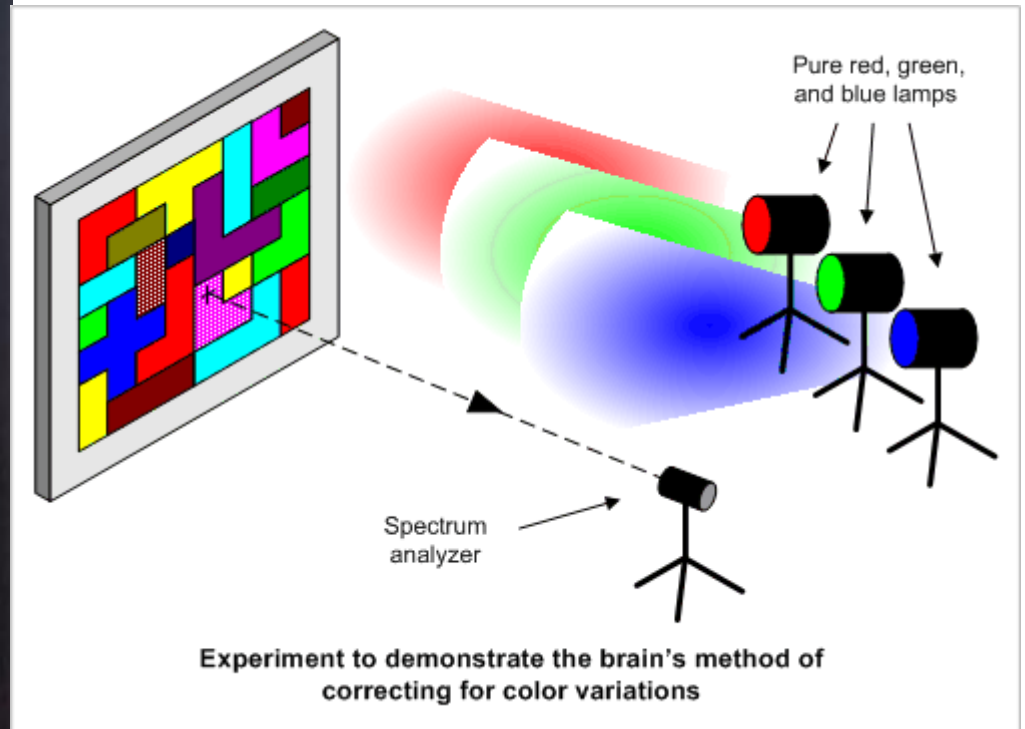


5. Now, fool the visual system into thinking the card is folded like a roof.



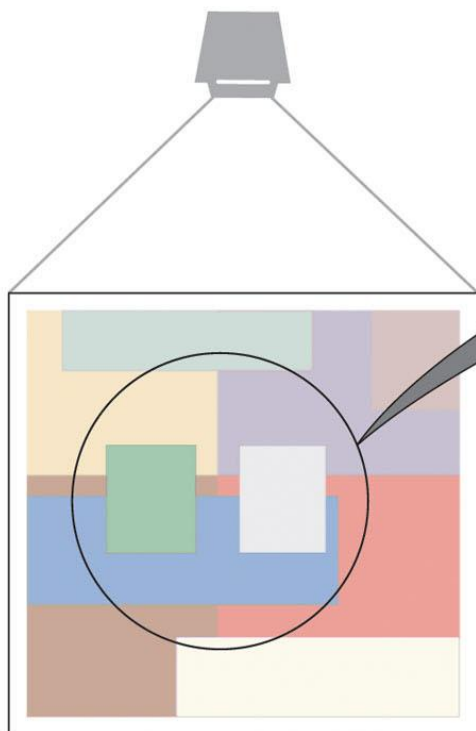
6. Without the reflection explanation, the white side now looks quite pink.

# L'esperimento successivo di McCann e Benton

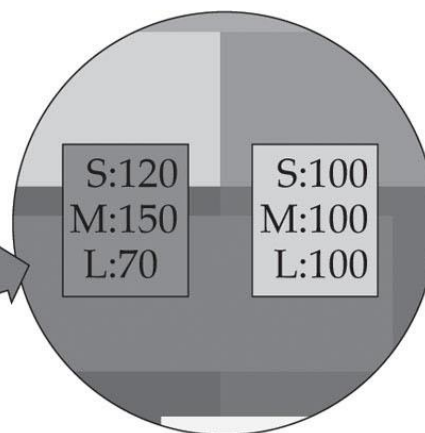


# Esperimento di McCann, McKee, and Taylor

1. Take a collection of color patches under a "white" light.



2. The "gray" patch excites S-, M-, and L-cones equally.



3. The gray patch looks gray, and the green patch looks green.

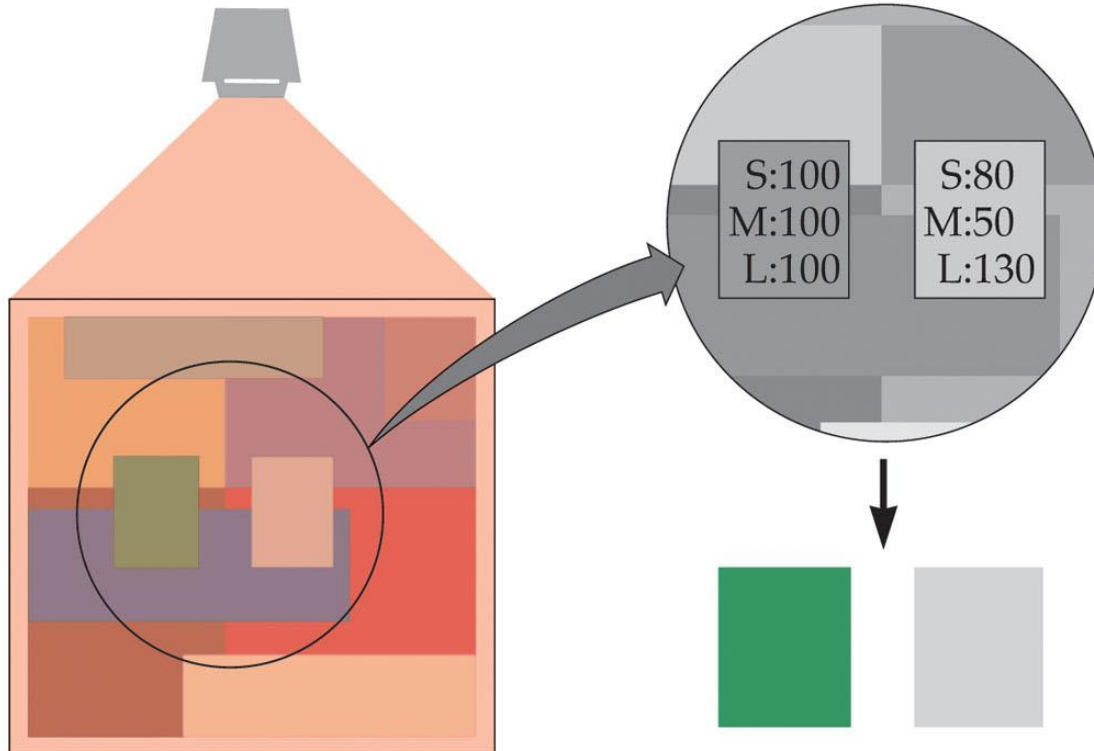


# McCann, McKee, and Taylor Experiment

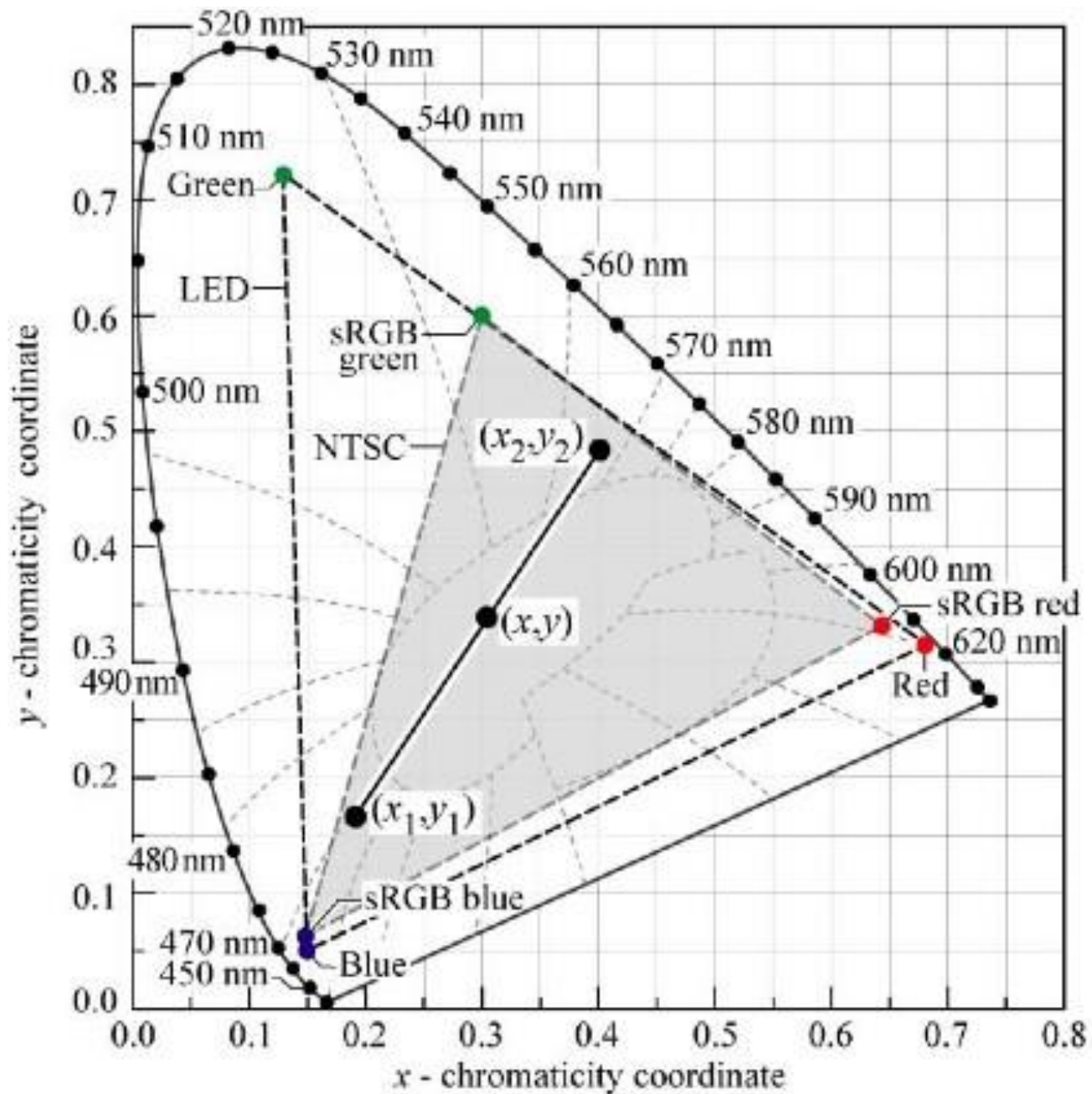


4. Change the illuminant to a reddish light.

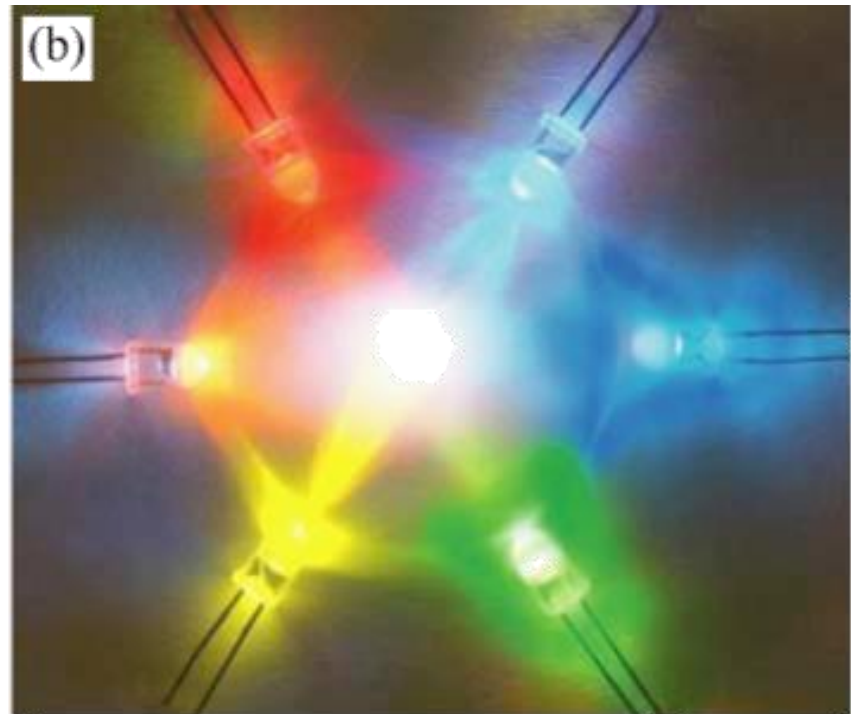
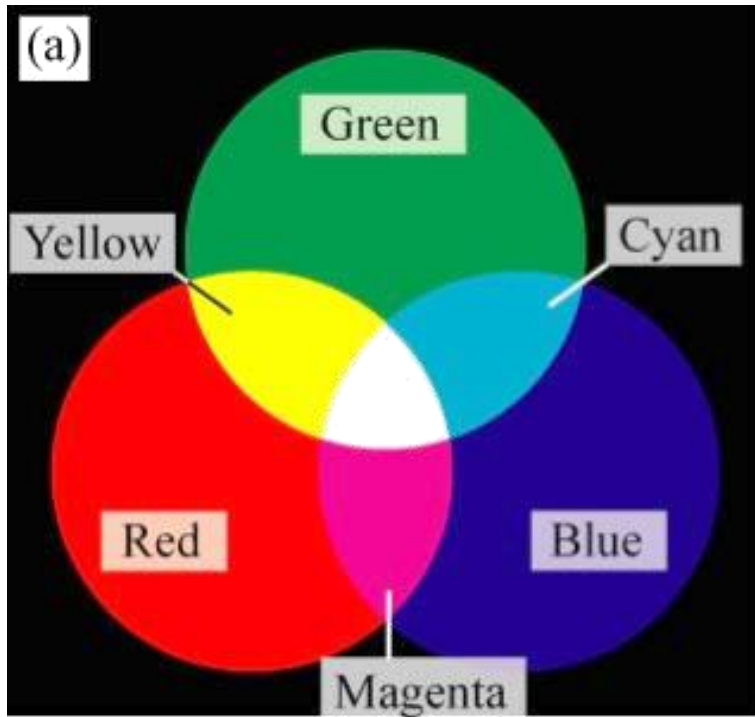
5. Now, what was the “green” patch excites S-, M-, and L-cones equally.



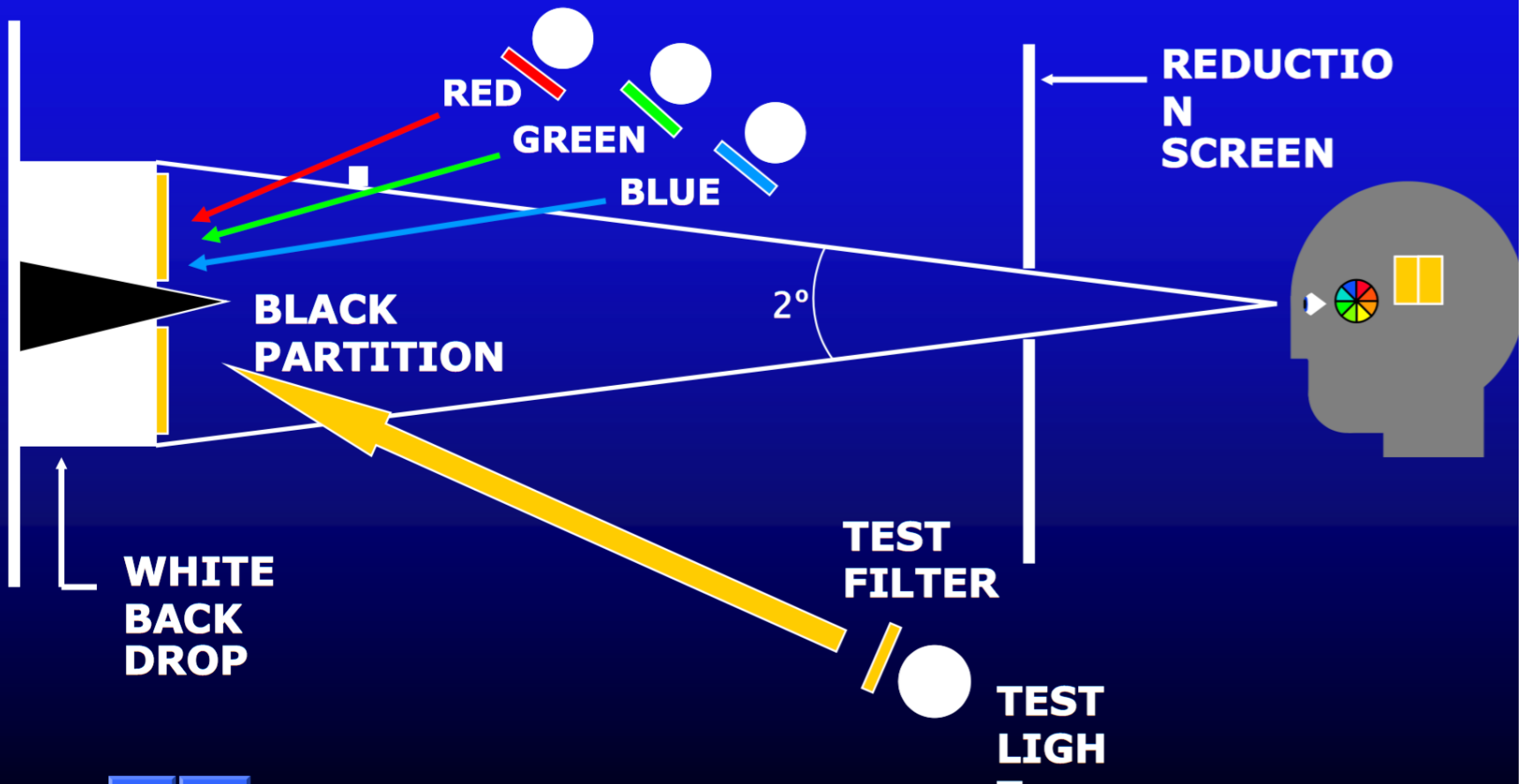
6. The gray patch still looks gray, and the green patch still looks green.



# Sintesi additiva

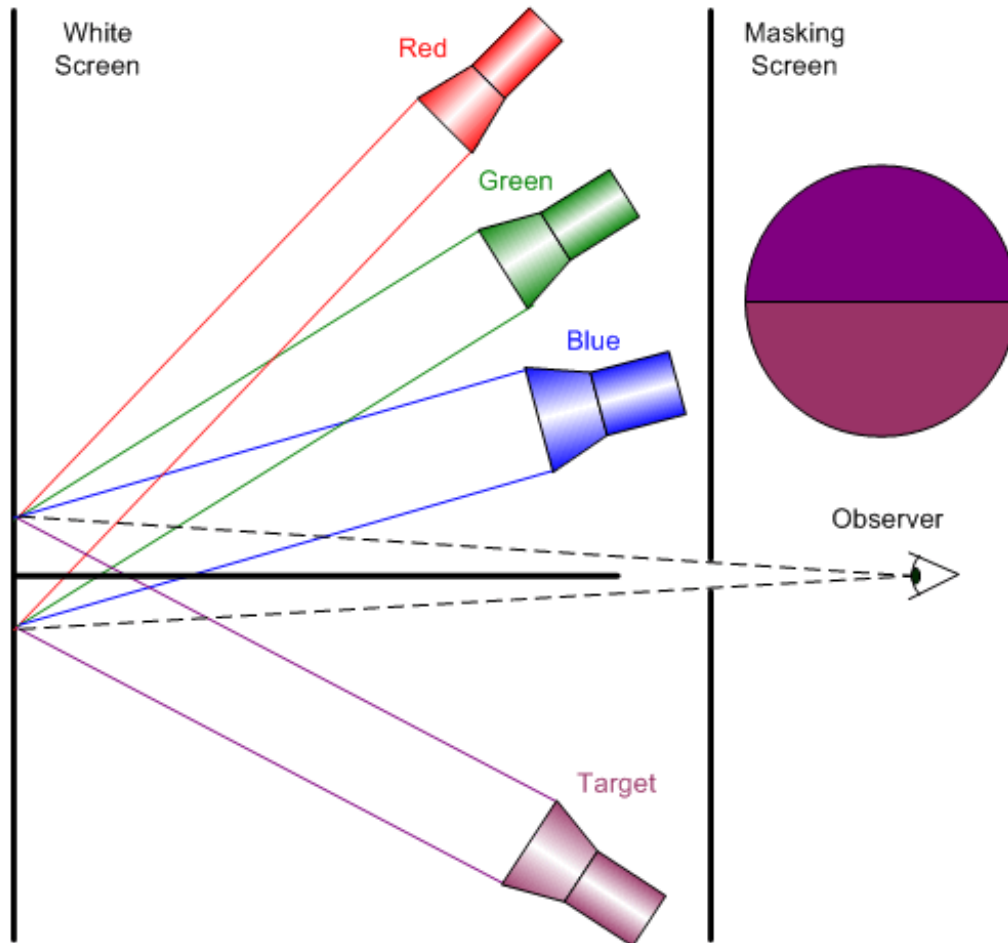


# Determination of Standard Colorimetric Observer



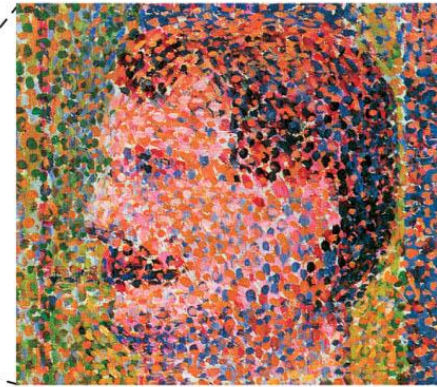
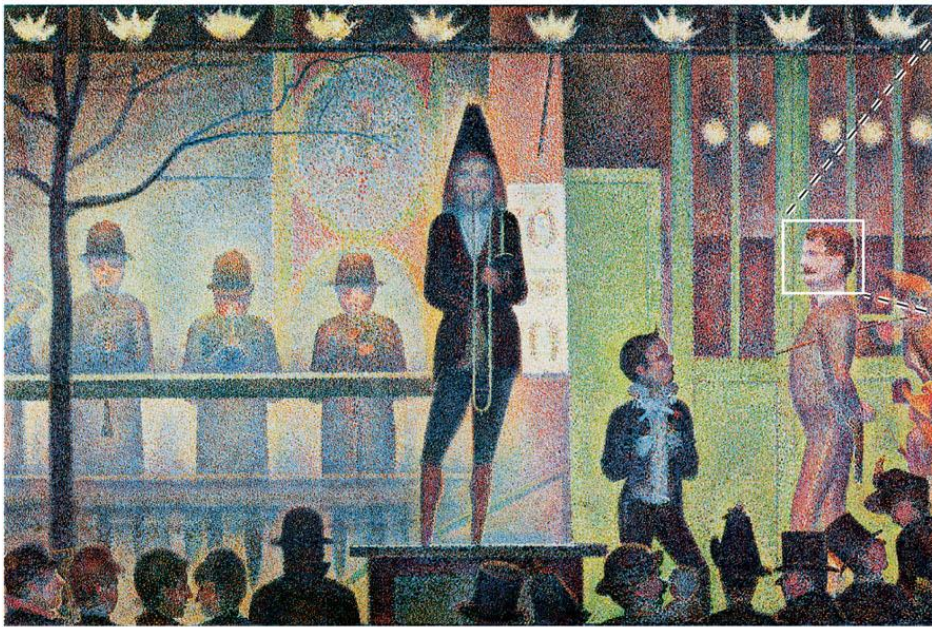


# Color matching experiment



# Sintesi additiva con la pittura

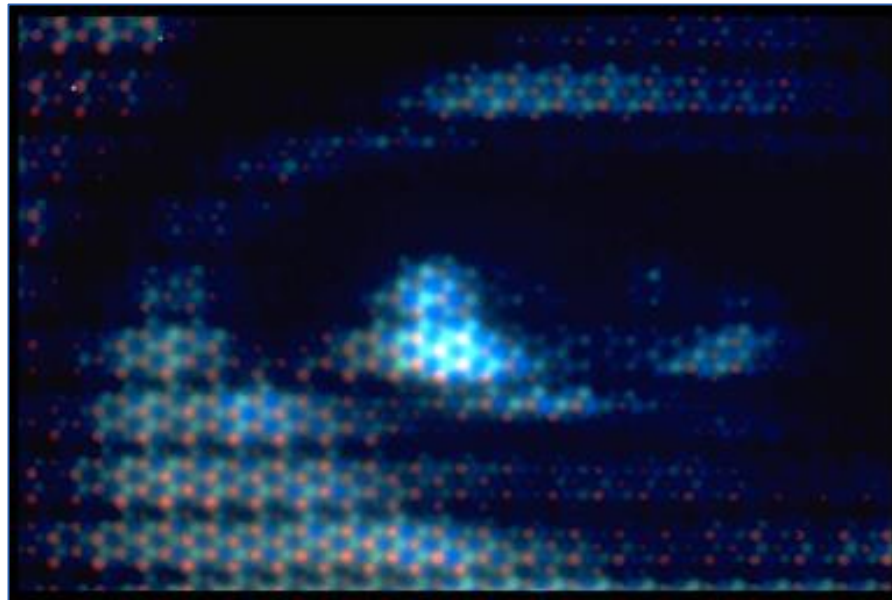
Seurat: La Parade



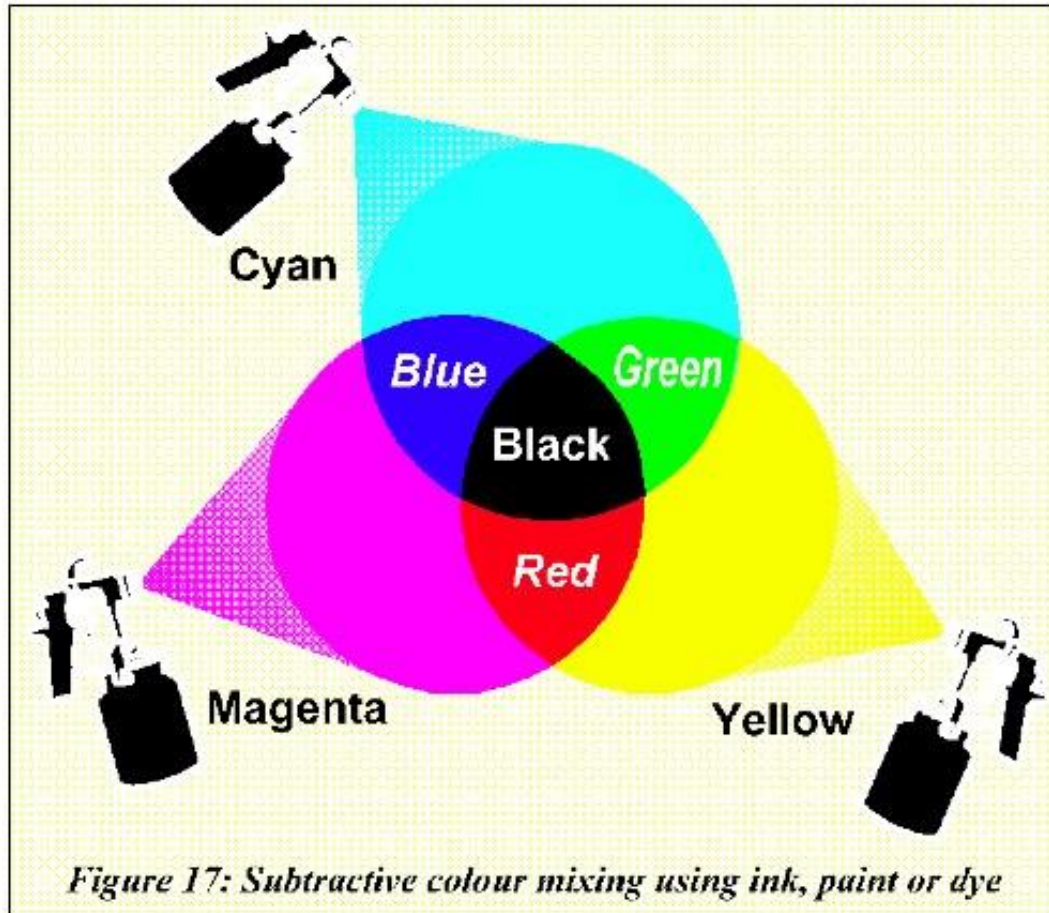
Visto da vicino il volto dell'uomo è formato da tanti punti di colore innaturale per una faccia

# Rosso, verde, blu

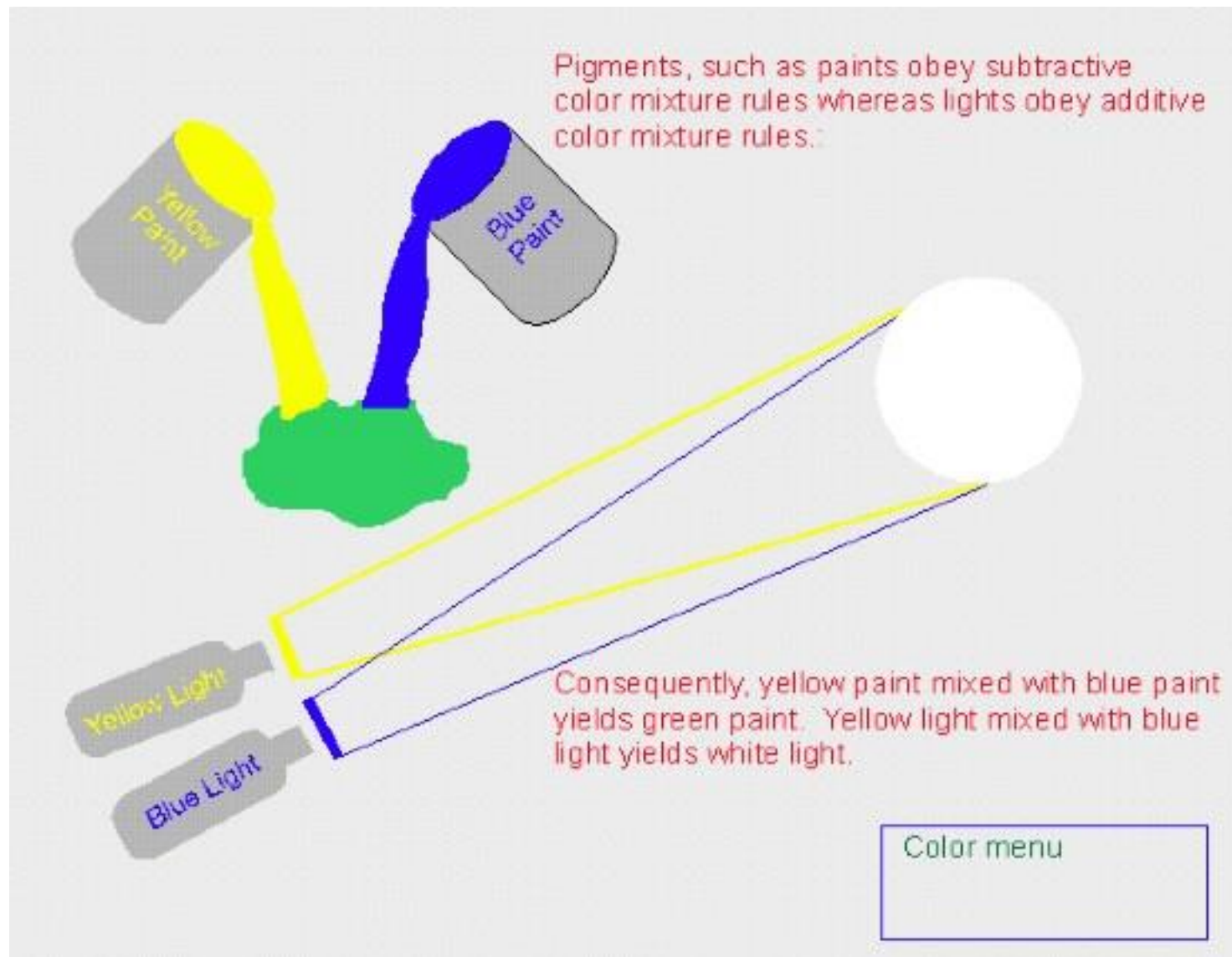
- Le terne primarie sono tantissime: rosso, verde e blu è quella che permette di ottenere il maggior numero di colori solo per via additiva



# Sintesi sottrattiva



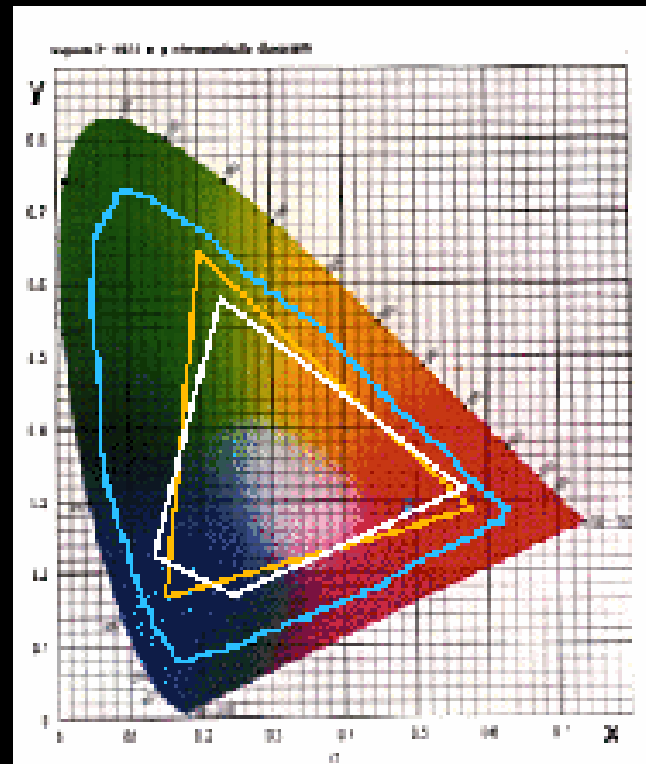
# Differenza tra sintesi additiva e sottrattiva



# Differenze di resa cromatica

## CIE 1931 xy chromaticity diagram

*Commission Internationale de l'Éclairage*



Film

Monitor

Printing

Press

# Character independence



$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$422.1 \pm 0.4$	$440.3 \pm 0.3$

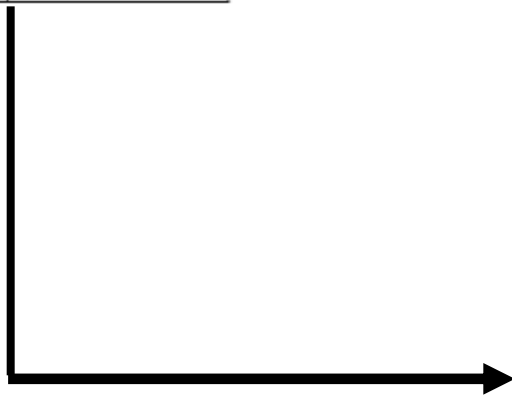
*Redmi note 7*

$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$458.0 \pm 0.4$	$453.7 \pm 0.4$

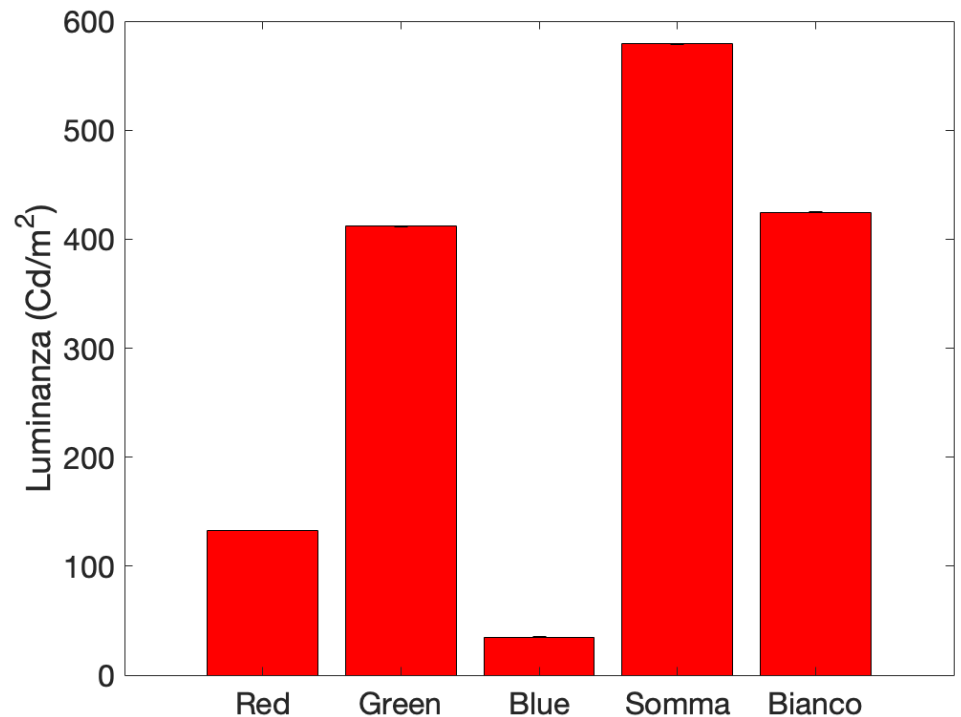
*Huawei p9 lite*

$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$579.2 \pm 0.6$	$424.5 \pm 0.4$

*Samsung note 8*



*Luminanza per gli stimoli rosso, verde, blu, somma dei tre stimoli e bianco del **Samsung note 8**: l'errore sperimentale, in questa figura e nelle successive, non è quasi mai apprezzabile a causa delle dimensioni ridotte*



$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$471.8 \pm 0.5$	$311.2 \pm 0.3$

*Samsung galaxy s8*

$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$441,4 \pm 0,4$	$516,4 \pm 0,5$

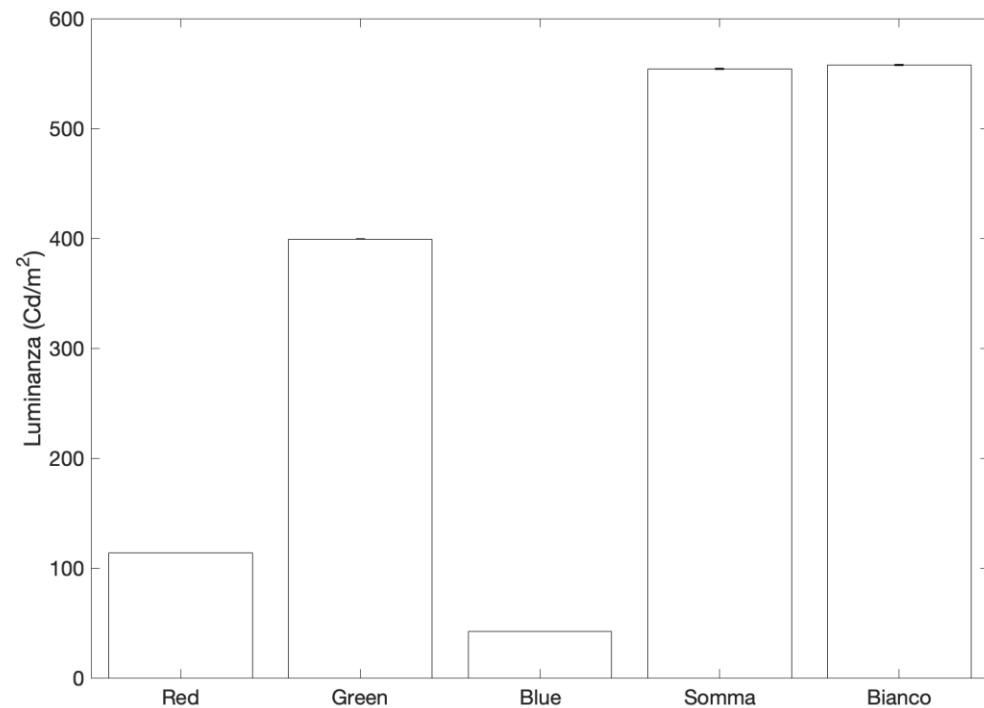
*Lg G5*

$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$554.4 \pm 0.6$	$557.1 \pm 0.6$

*iPhone 6s*



*Luminanza per gli stimoli rosso,  
verde, blu, somma dei tre stimoli  
e bianco dell'iPhone 6s*







$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$401.7 \pm 0.4$	$402.8 \pm 0.4$

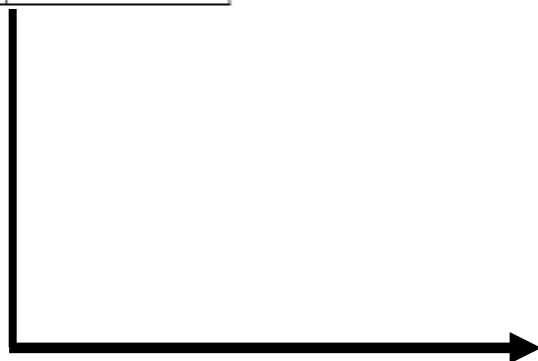
*iPad air*

$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$555.4 \pm 0.6$	$561.1 \pm 0.6$

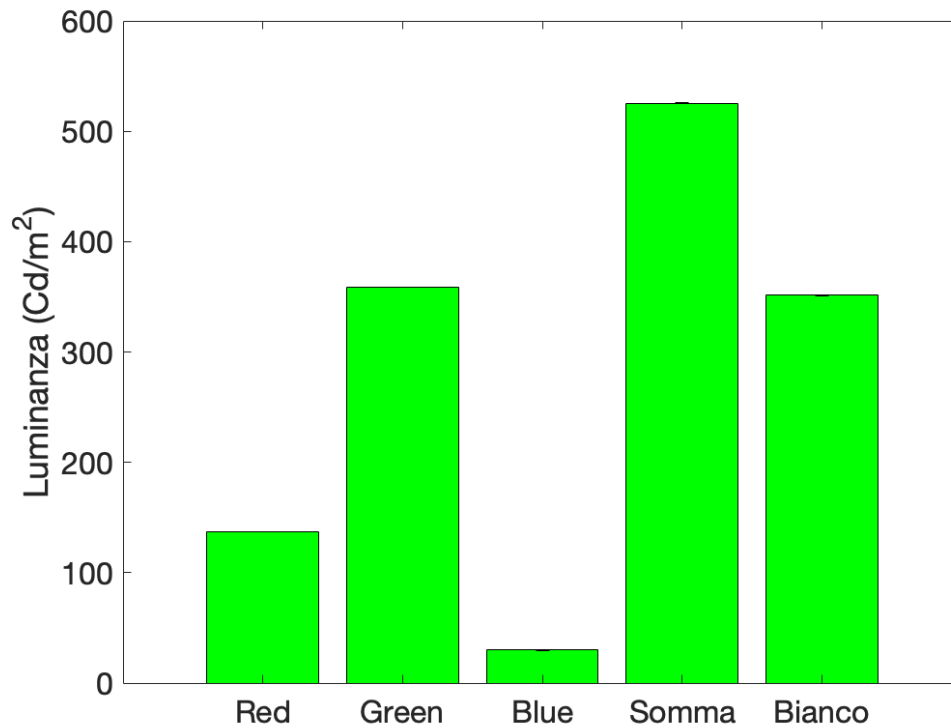
*iPhone Xs*

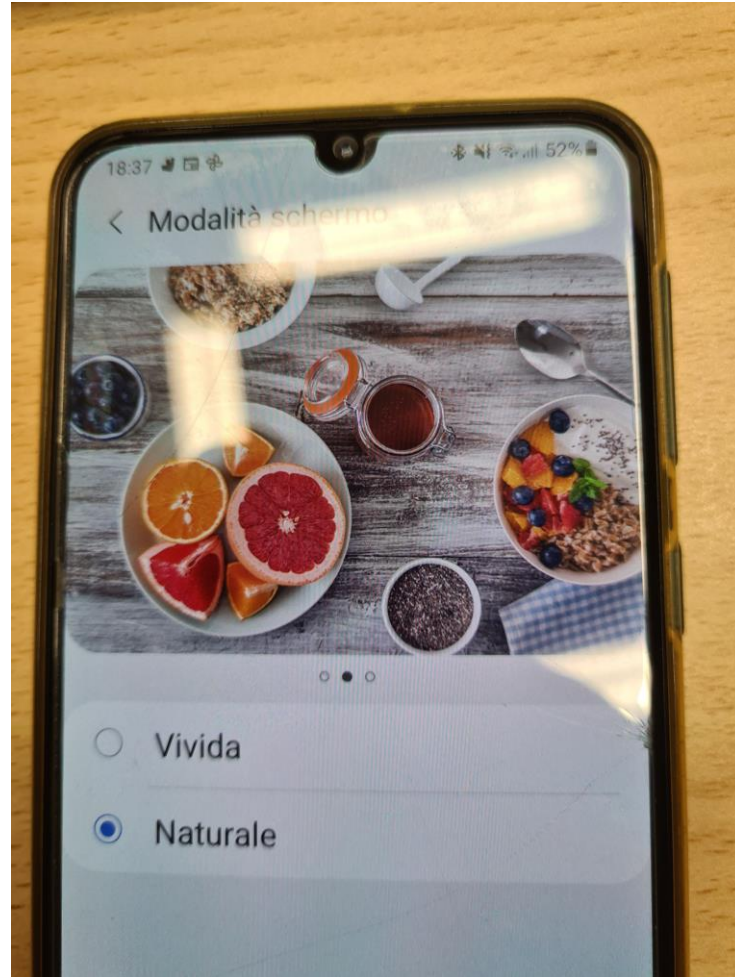
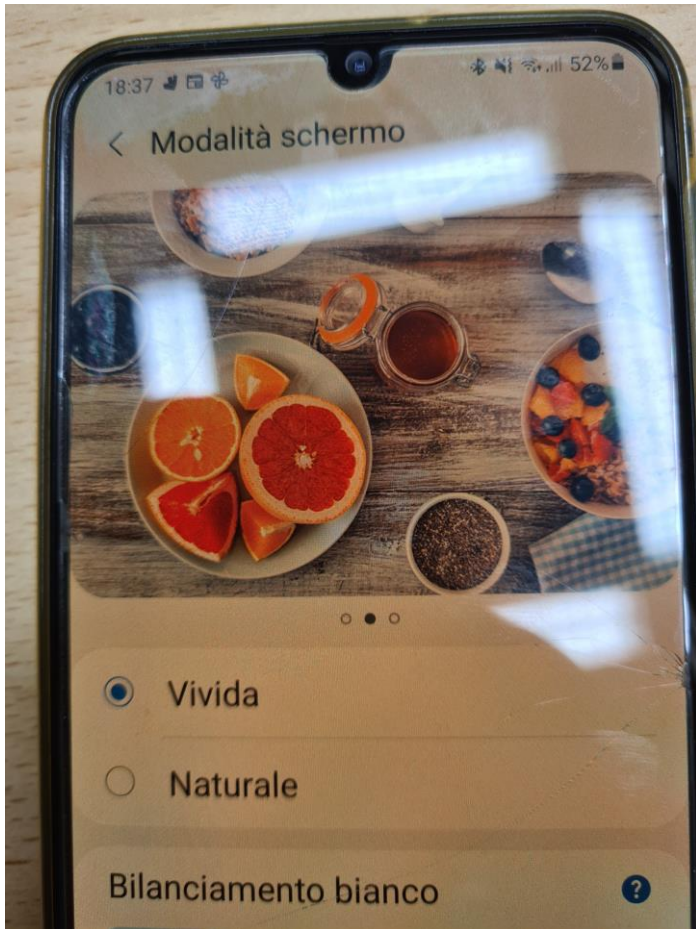
$L_r + L_v + L_b$	$L_w$
$525.3 \pm 0.5$	$351.3 \pm 0.4$

*Samsung galaxy A7*



Luminanza per gli stimoli rosso, verde, blu, somma dei tre stimoli e bianco del **Samsung galaxy A7**





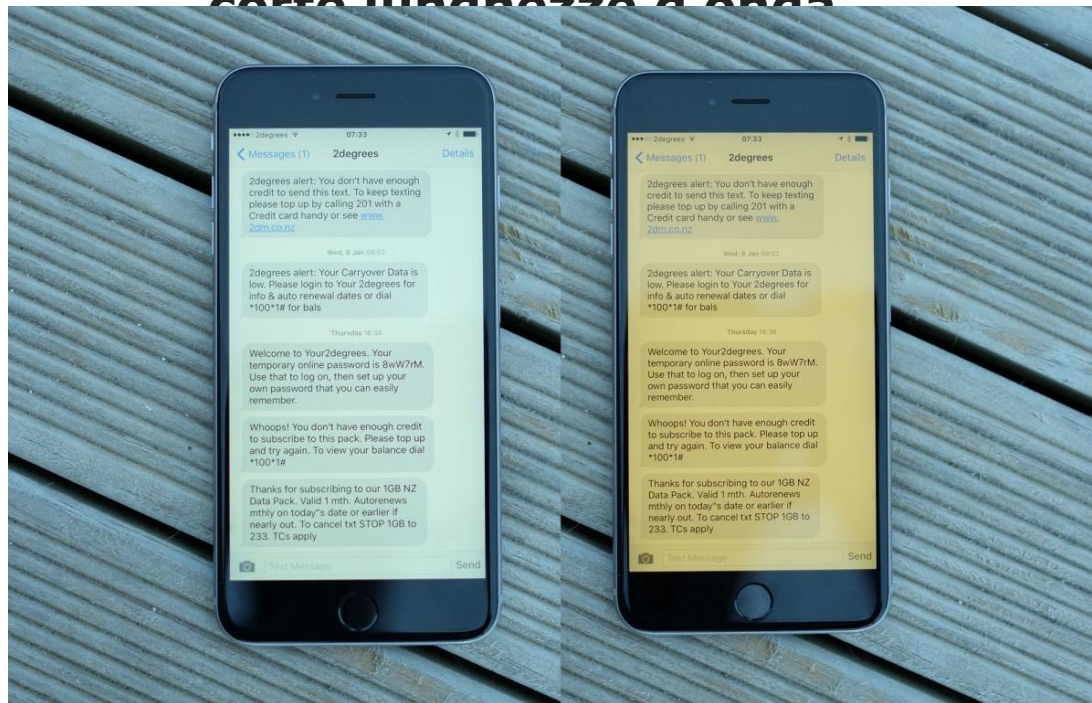
## Night Shift: un rimedio contro la *luce blu*



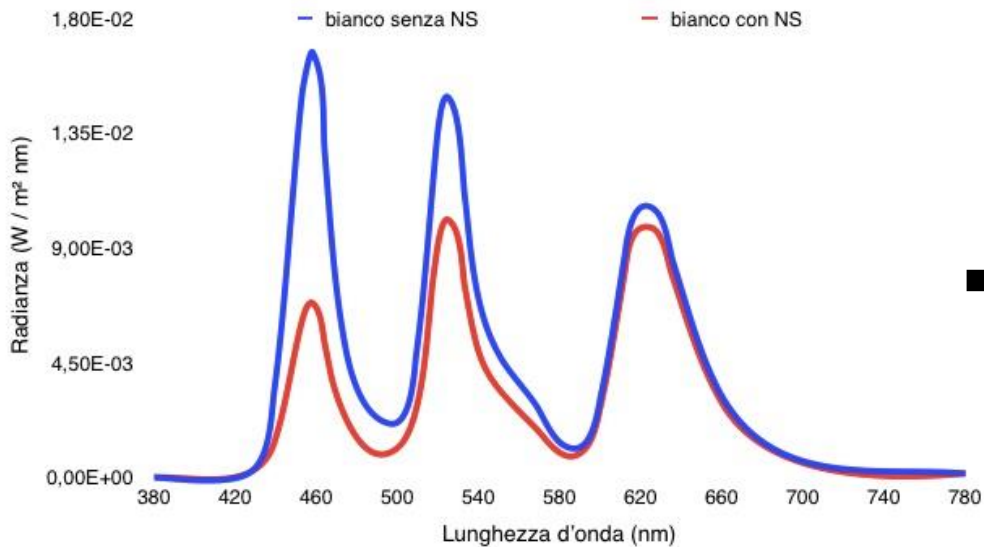
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

L'esposizione eccessiva alla luce blu nelle ore serali può provocare **disturbi nel ritmo sonno-veglia.**

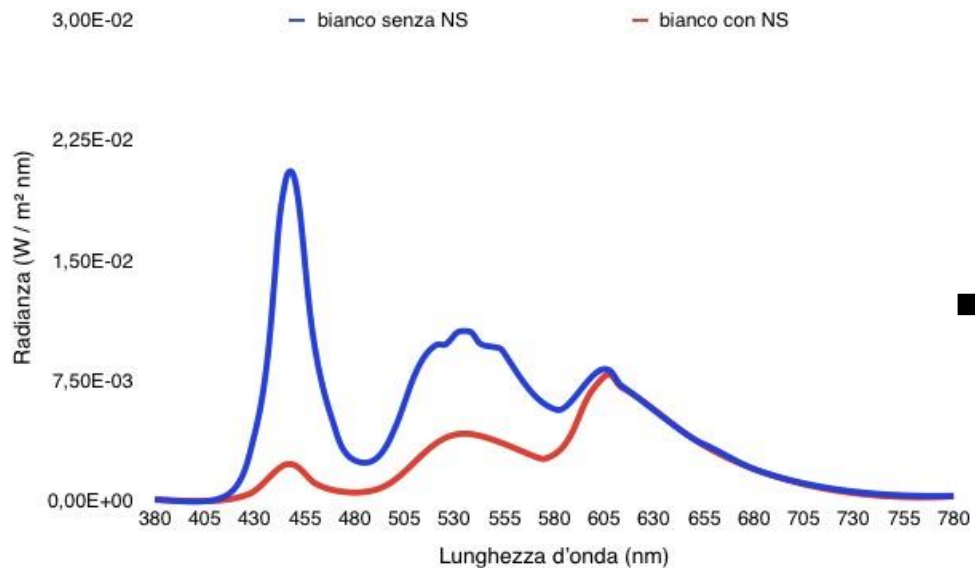
La **funzione NS** regola automaticamente il bilanciamento cromatico dello schermo, **riducendo l'emissione delle** certe lunghezze d'onda.



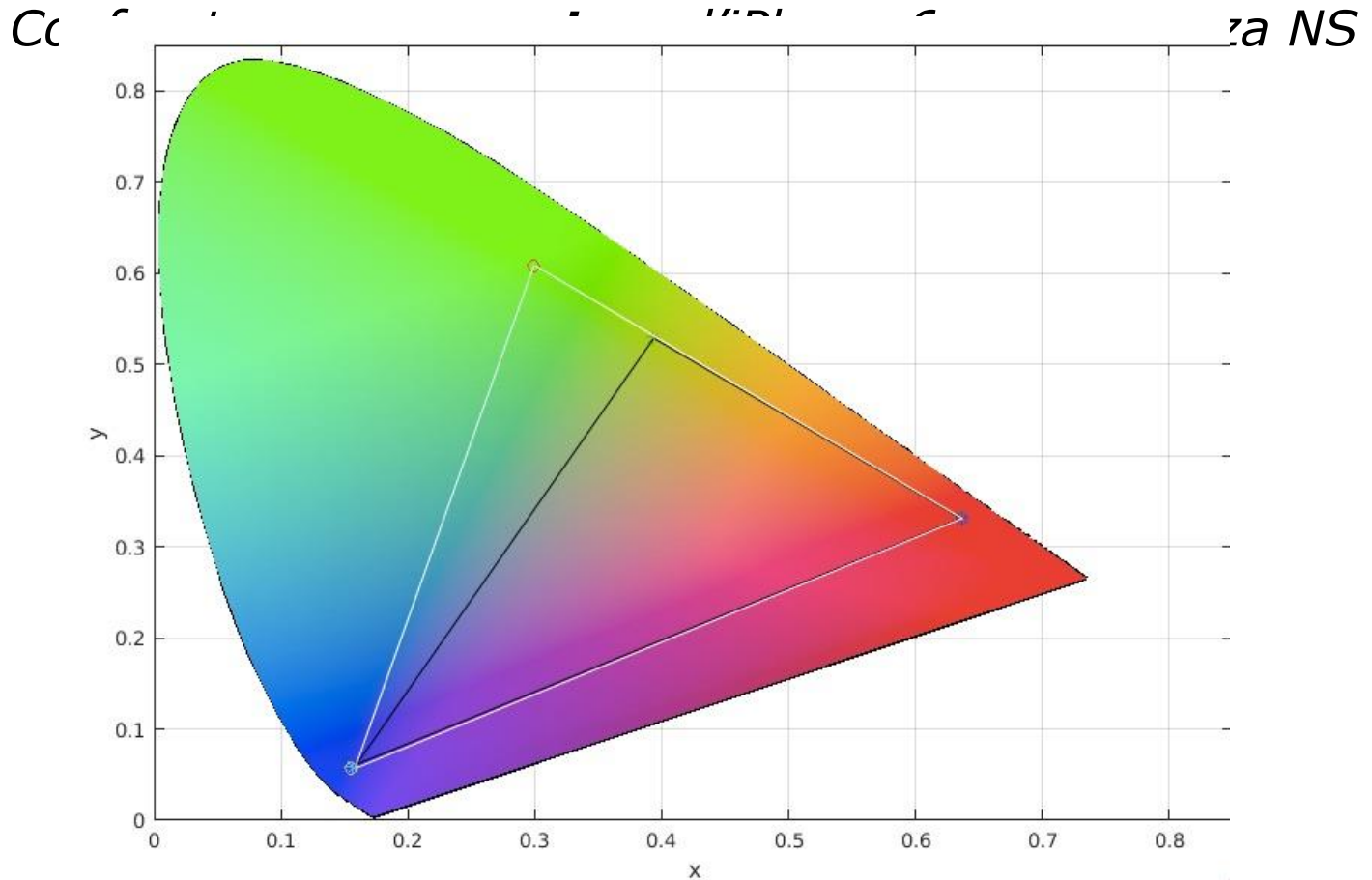
L'effetto finale è uno schermo dalle tonalità più calde.



Spettro di emissione **con e senza NS**  
del **Samsung note 8**



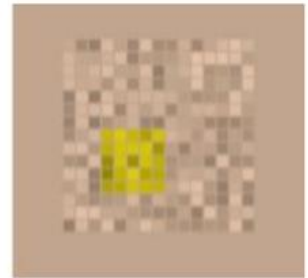
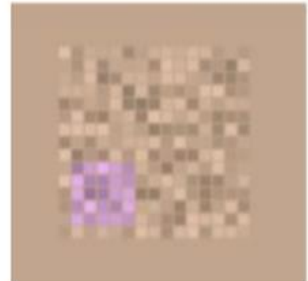
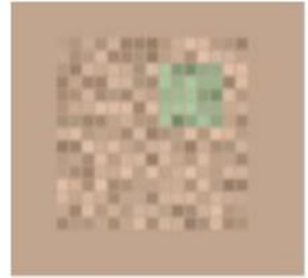
Spettro di emissione **con e senza NS**  
dell'**iPhone 6s**



*Triangolo in bianco: area gamut senza NS*  
*Triangolo in nero: area gamut con NS*

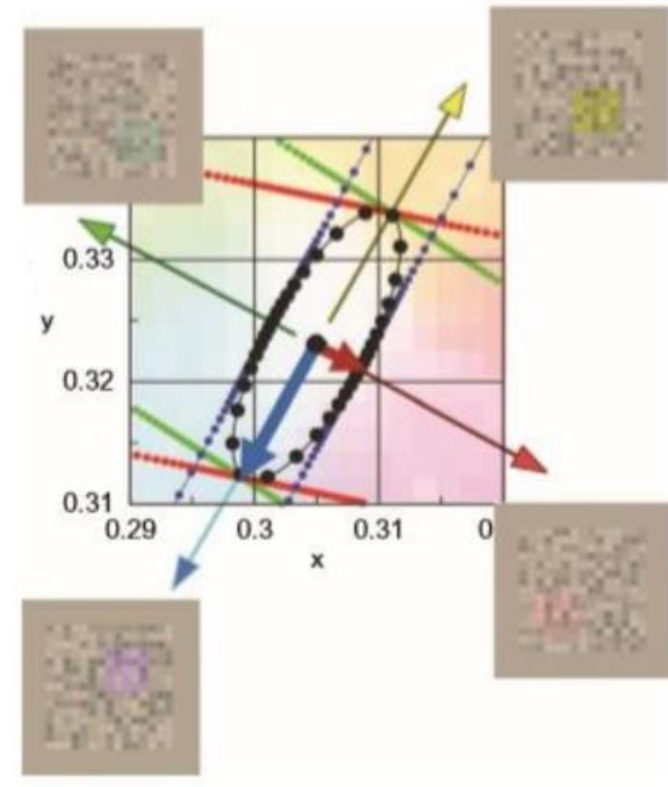
# CAD Test (1)

- Rumore di sfondo che varia nel tempo
- Stimolo colorato, movimento diagonale
- Sfondo e stimolo con la stessa luminanza
- Four - Alternative Forced Choice
- Individua anomalie percezione colore



# CAD Test (2)

- Spostamenti su asse YB, segnale solo su coni S
- Spostamenti su asse RG, segnale solo su coni L+M
- Misura soglia su canali YB e RG
- Soglia = più piccolo valore di saturazione individuabile dal soggetto
- Risultati espressi in (x,y)



# Esecuzione CAD Test

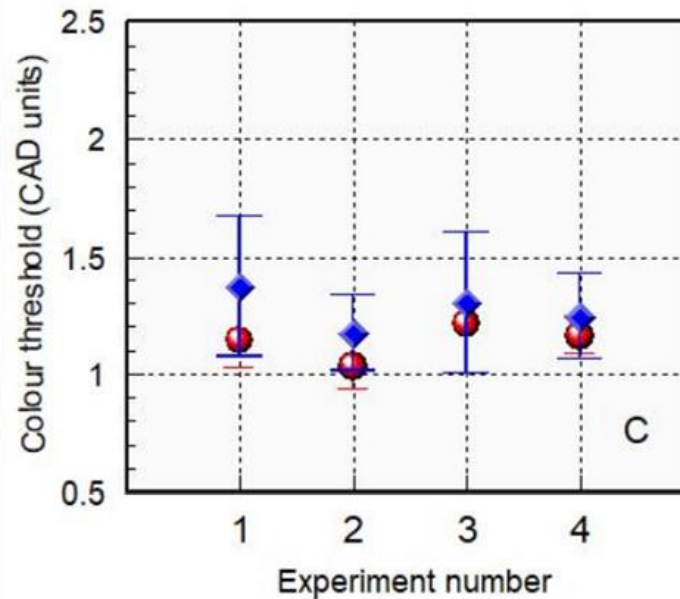
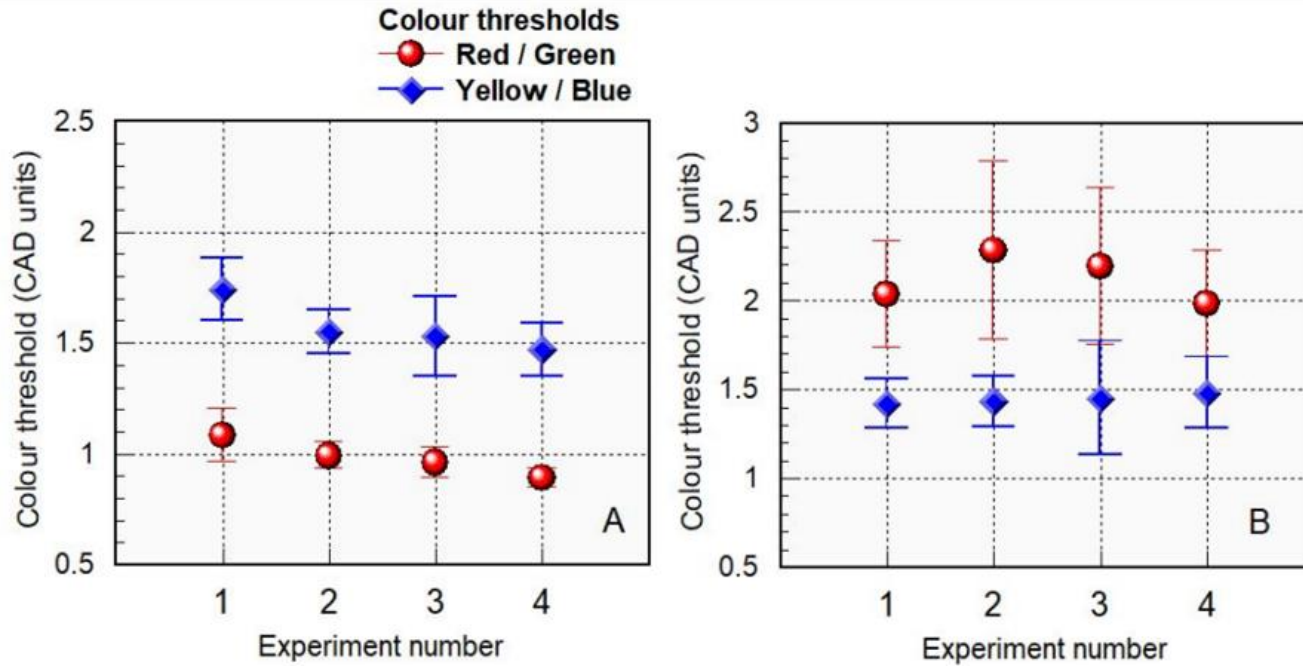
- Taratura schermo su (x,y) illuminante e/o filtro
- monocolare con AV 10/10

## Misurazioni:

1. 4 con (x,y) illuminante D65
2. 4 con (x,y) lente 1 senza indossare lente
3. 4 con (x,y) lente 4 senza indossare lente
4. 4 con (x,y) illuminante D65, indossando lente 1



# Risultati CAD Test



# Un'altra post-immagine





Alessandro Farini

Istituto Nazionale di Ottica-CNR

<https://viola.ino.cnr.it/>

[alessandro.farini@ino.cnr.it](mailto:alessandro.farini@ino.cnr.it)

[twitter.com/alefarini](https://twitter.com/alefarini)

[www.facebook.com/alessandro.farini](https://www.facebook.com/alessandro.farini)

[instagram.com/opticalreader](https://www.instagram.com/opticalreader)