

Come vediamo i colori?

Un apparato visivo che consente di vedere i colori costa perché implica di tradurre lunghezze d'onda diverse in risposte neurali diverse



Noi vediamo margherite bianche nell'erba verde, le mucche vedono margherite bianche tra l'erba gialla e le api erba gialla tra sgargianti margherite verdazzurre

Come vediamo i colori?

Gli oggetti non sono colorati. Il colore è un'esperienza puramente soggettiva che dipende da:

- la luce che gli oggetti riflettono
- le proprietà visive dell'apparato visivo di chi guarda

Il prisma di Newton

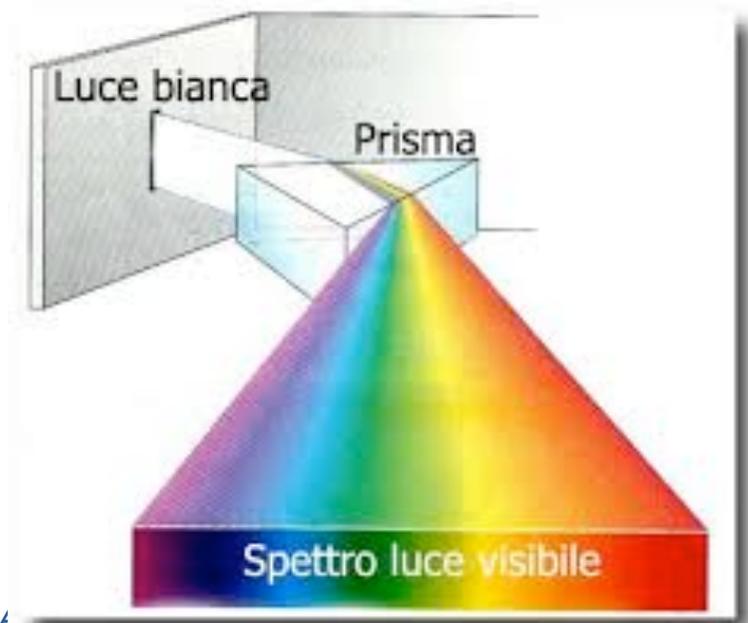
Quando la luce del sole illumina un oggetto si hanno tre possibilità:

- tutto lo spettro viene riflesso (oggetto bianco)
- tutto lo spettro viene assorbito (oggetto nero)
- una parte dello spettro viene riflessa ed una parte assorbita (l'oggetto del colore della luce riflessa)

che cos'è il colore

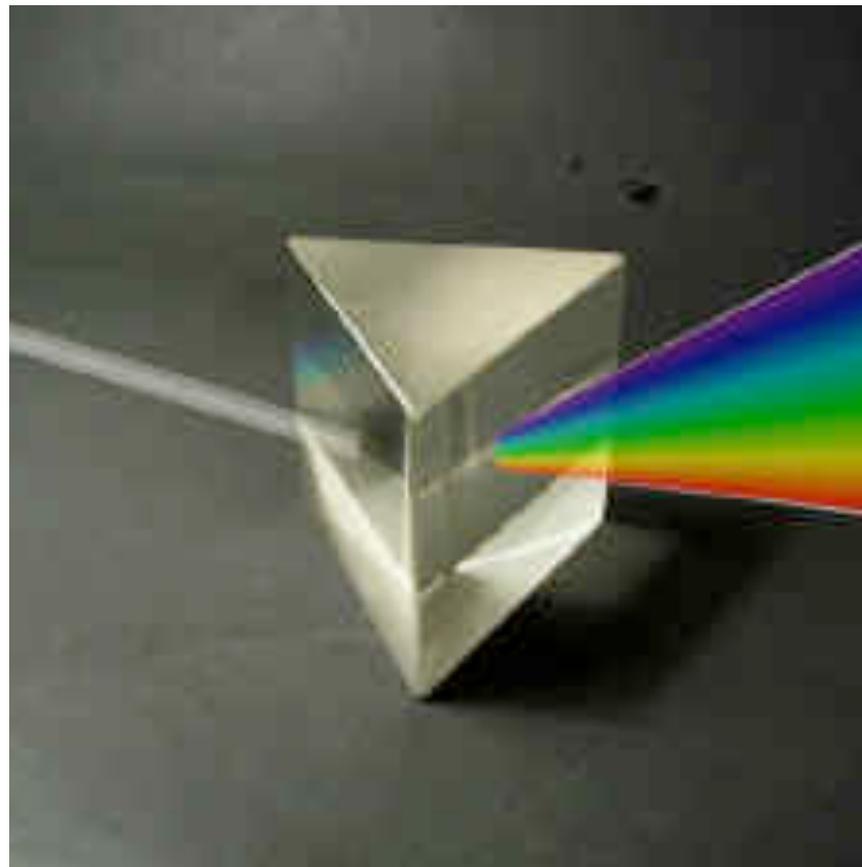
il primo a intuire che gli oggetti non sono colorati fu Isaac Newton nel 1666.

per provarlo, Newton fece in modo che un sottile fascio di luce solare attraversasse un prisma di vetro.



che cos'è il colore

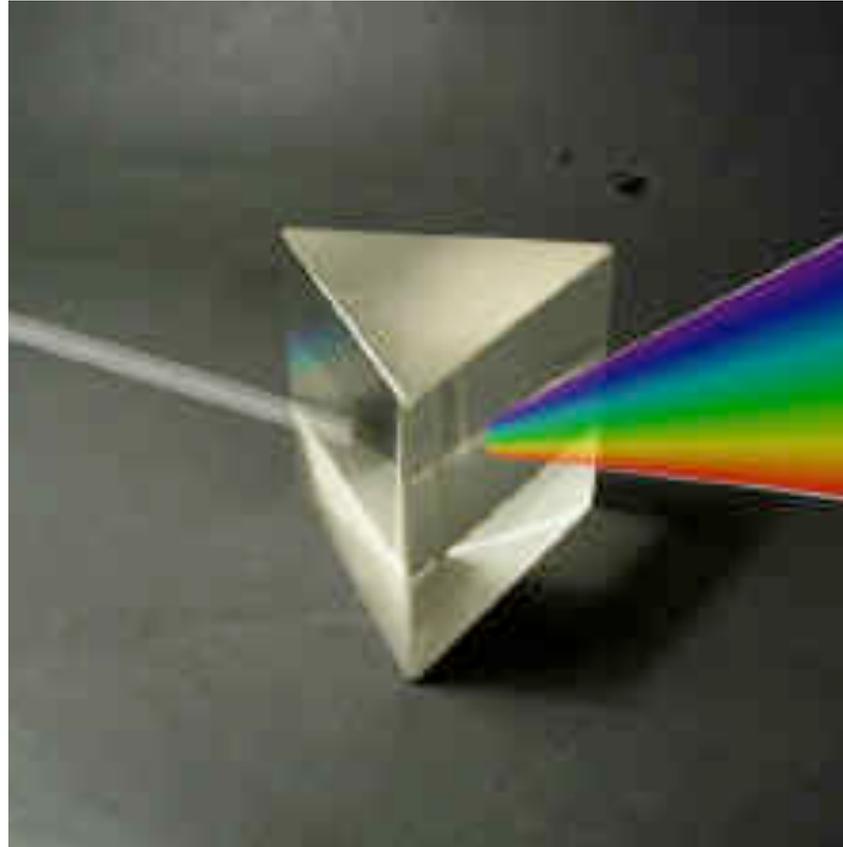
uscendo dal prisma, la luce si scomponeva a formare un arcobaleno di colori, o spettro.



© PAOLA BRESSAN, *IL COLORE DELLA LUNA*. LATERZA, 2007

che cos'è il colore

Newton ne dedusse che la luce del sole (detta anche luce bianca) non è pura, ma composta di colori diversi.

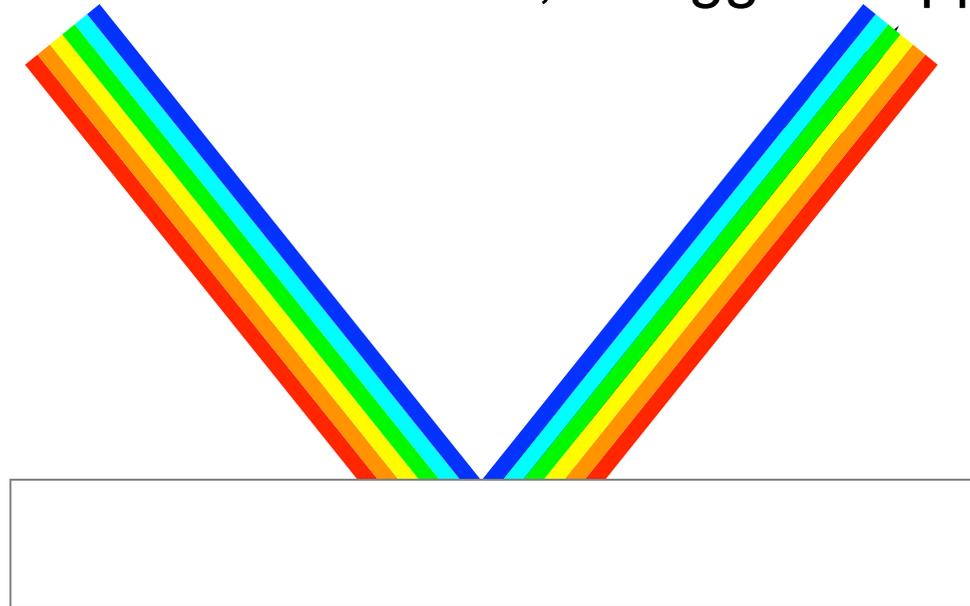


© PAOLA BRESSAN, *IL COLORE DELLA LUNA*. LATERZA, 2007

che cos'è il colore

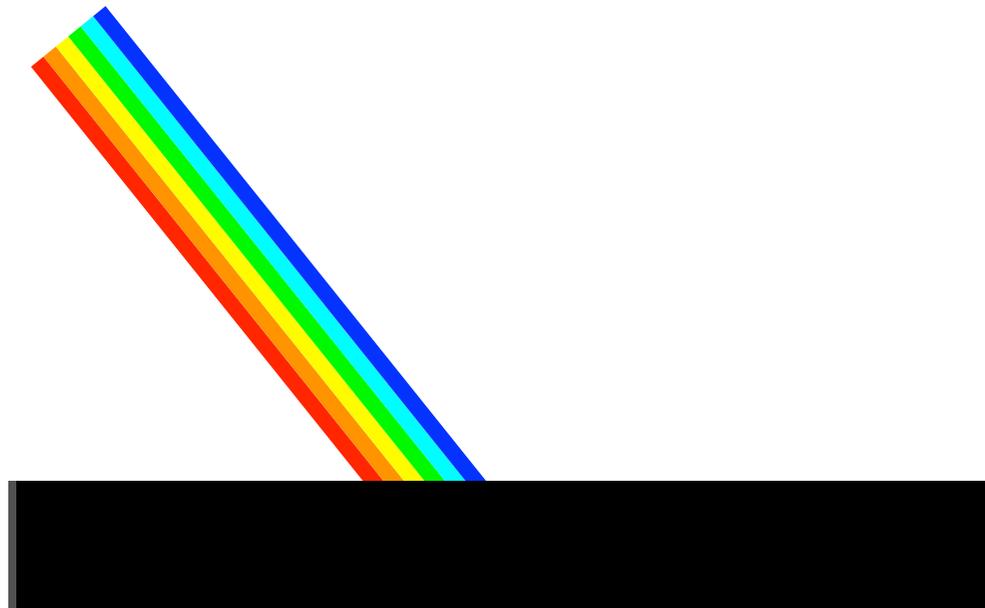
quando la luce bianca (che “contiene” l'intero spettro) illumina un oggetto, si danno tre casi:

1. tutto lo spettro viene **riflesso**, e l'oggetto appare bianco



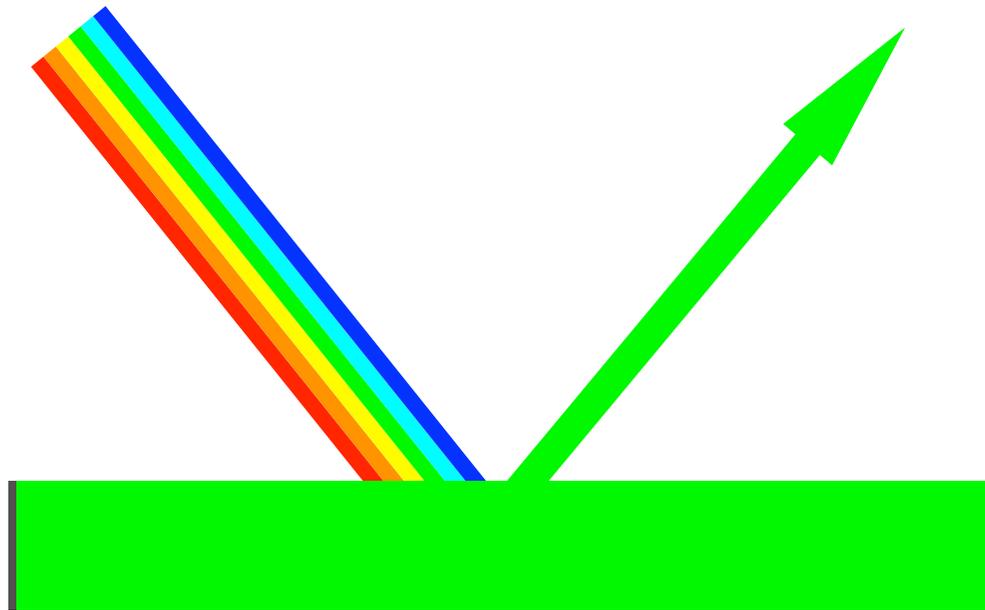
che cos'è il colore

2. tutto lo spettro viene **assorbito**, e l'oggetto appare nero



che cos'è il colore

3. una parte dello spettro viene assorbita e l'altra parte viene riflessa, e l'oggetto appare del colore della luce riflessa.

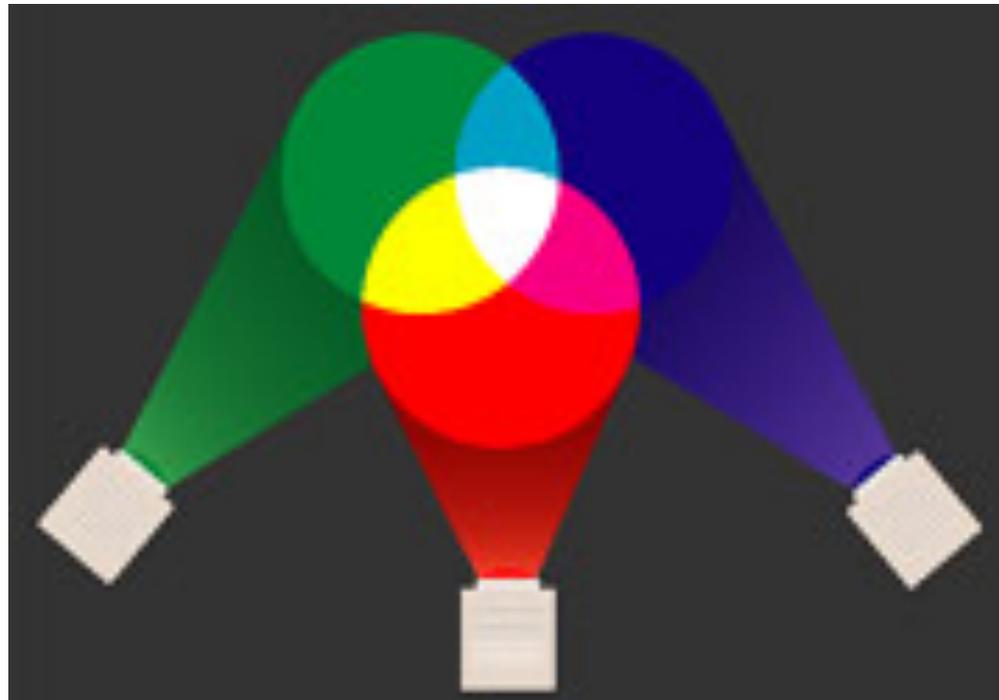


che cos'è il colore: mescolanza additiva

i colori "primari" della luce bianca sono rosso, verde e blu.

la somma di questi tre colori dà il bianco;

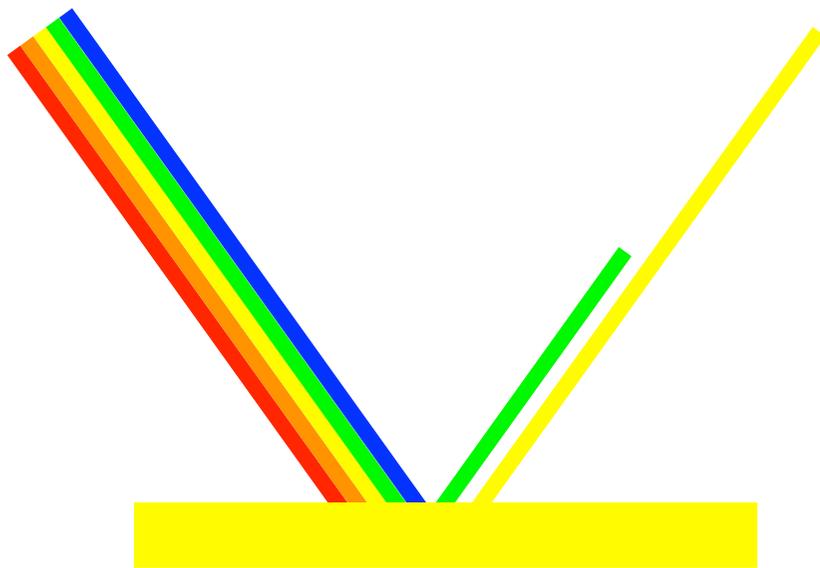
l'assenza di tutti e tre questi colori dà il nero.



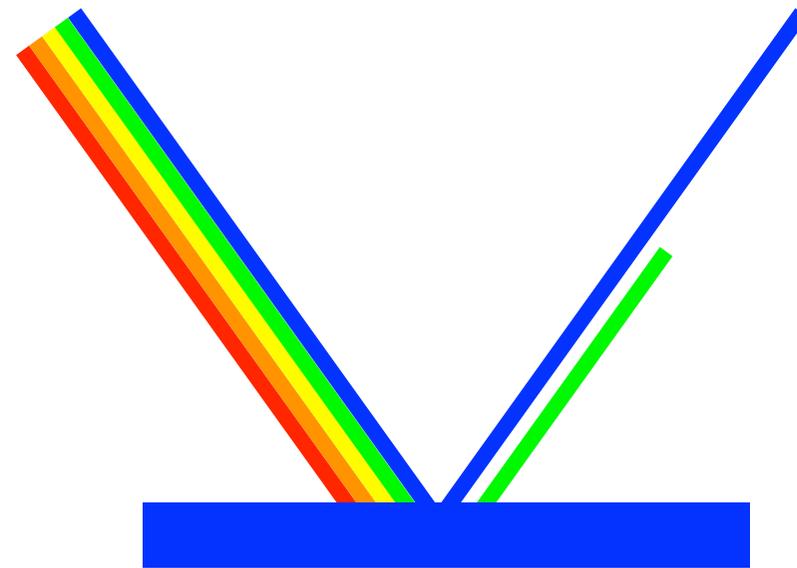
che cos'è il colore: mescolanza sottrattiva

a differenza delle luci, i pigmenti danno origine a una mescolanza sottrattiva, perché assorbono (“sottraggono”) parte della luce che li colpisce.

che cos'è il colore: mescolanza sottrattiva
mescolare giallo e blu dà verde, perché...



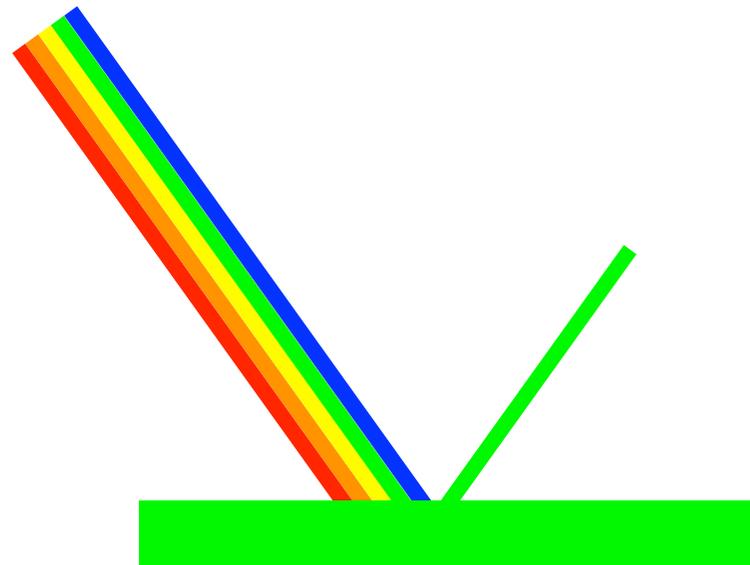
pigmento giallo



pigmento blu

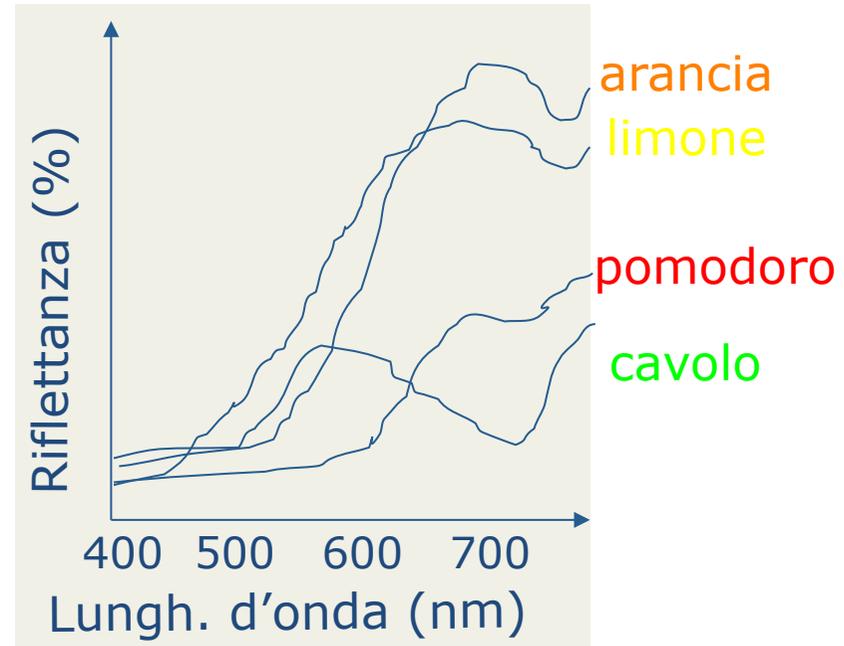
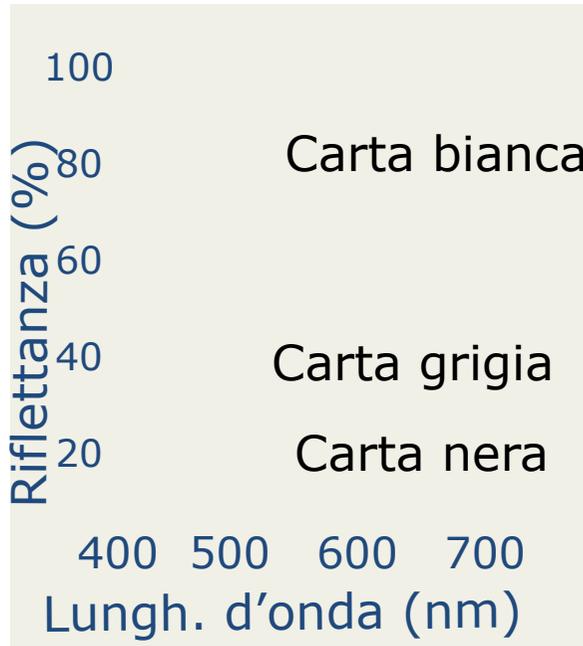
che cos'è il colore: mescolanza sottrattiva

... solo il verde viene riflesso da entrambi.



pigmento giallo + pigmento blu

Come vediamo i colori?



ATTENZIONE: Quando parliamo di colore della luce riflessa non dobbiamo pensare che i raggi luminosi siano di per sé colorati... (sono come le onde radio e i raggi X!) **Il colore è legato alla capacità di certi raggi di creare determinate reazioni nel nostro sistema nervoso.**

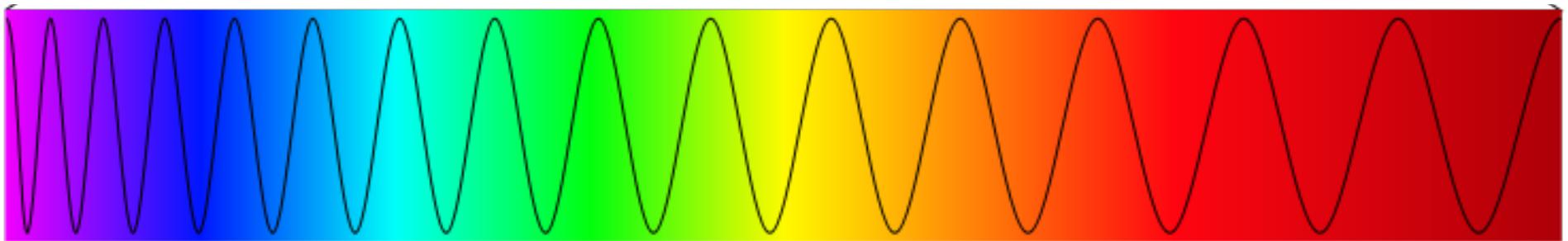
come si differenziano i colori

i colori si differenziano l'uno dall'altro sulla base di tre caratteristiche distinte.

1. **tinta**: la qualità che permette di distinguere il verde dal rosso, dal giallo, dal blu eccetera.



la grandezza fisica corrispondente alla tinta è la lunghezza d'onda.

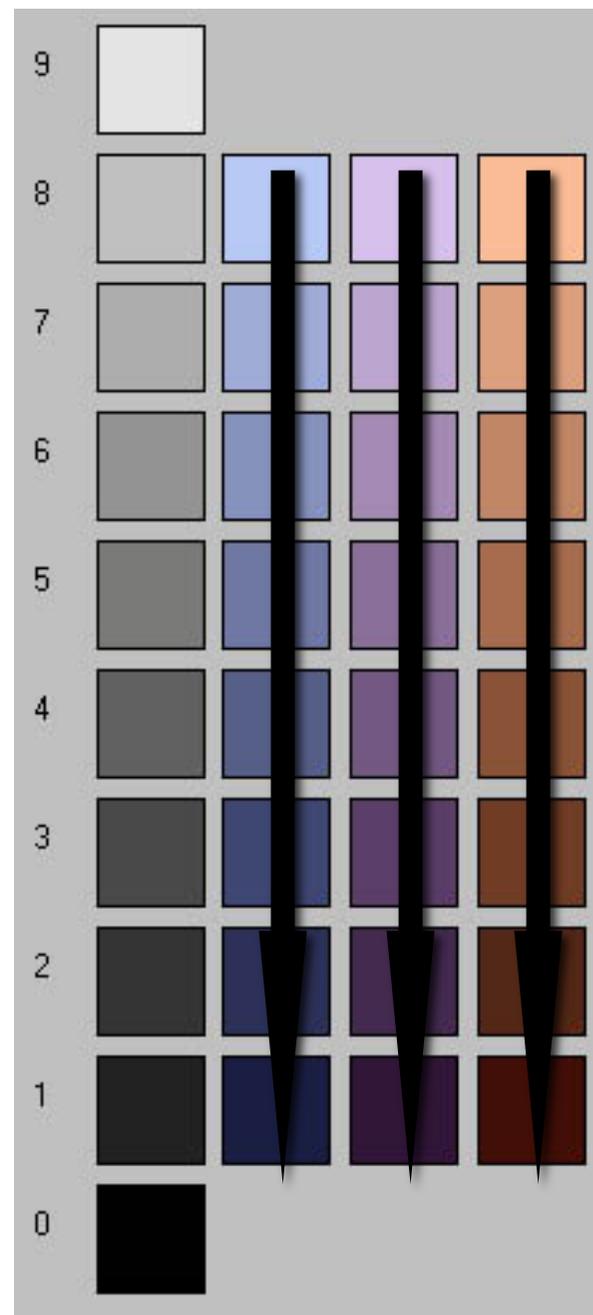


come si differenziano i colori

2. **chiarezza**: quanto il colore è chiaro o scuro.

la grandezza fisica corrispondente alla chiarezza è la quantità di luce riflessa.

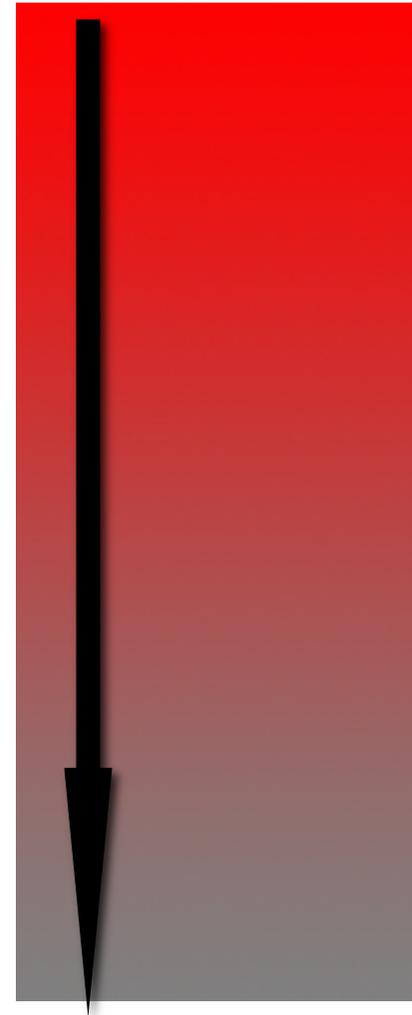
ciascuno di questi tre colori diminuisce in chiarezza dall'alto verso il basso.



come si differenziano i colori

3. **saturatione**: quanto il colore è vivido (intenso, puro) o pallido (sbiadito, scolorito).

questo rosso diminuisce in saturazione dall'alto verso il basso.



che cos'è il colore

ecco come un
fiore appare a noi

e come lo stesso
fiore appare a
un'ape (che vede
l'ultravioletto)

qual è allora il
VERO colore del
fiore?



che cos'è il colore

il fatto che uno stesso oggetto appaia in tinte diverse a creature diverse mostra che questa domanda non ha senso.

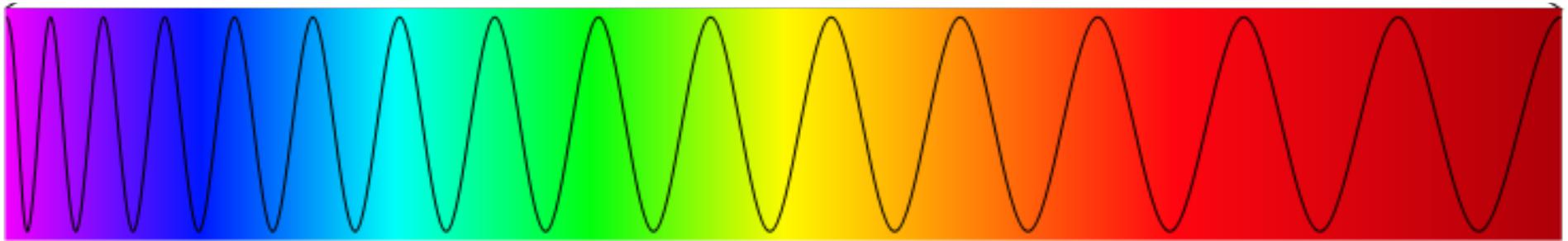
gli oggetti non sono colorati

il colore è un'esperienza soggettiva che dipende da due cose:

1. la luce che gli oggetti riflettono
2. il sistema visivo di chi guarda

le basi fisiologiche: introduzione

l'esperienza del colore è collegata a una proprietà fisica della luce: la lunghezza d'onda.

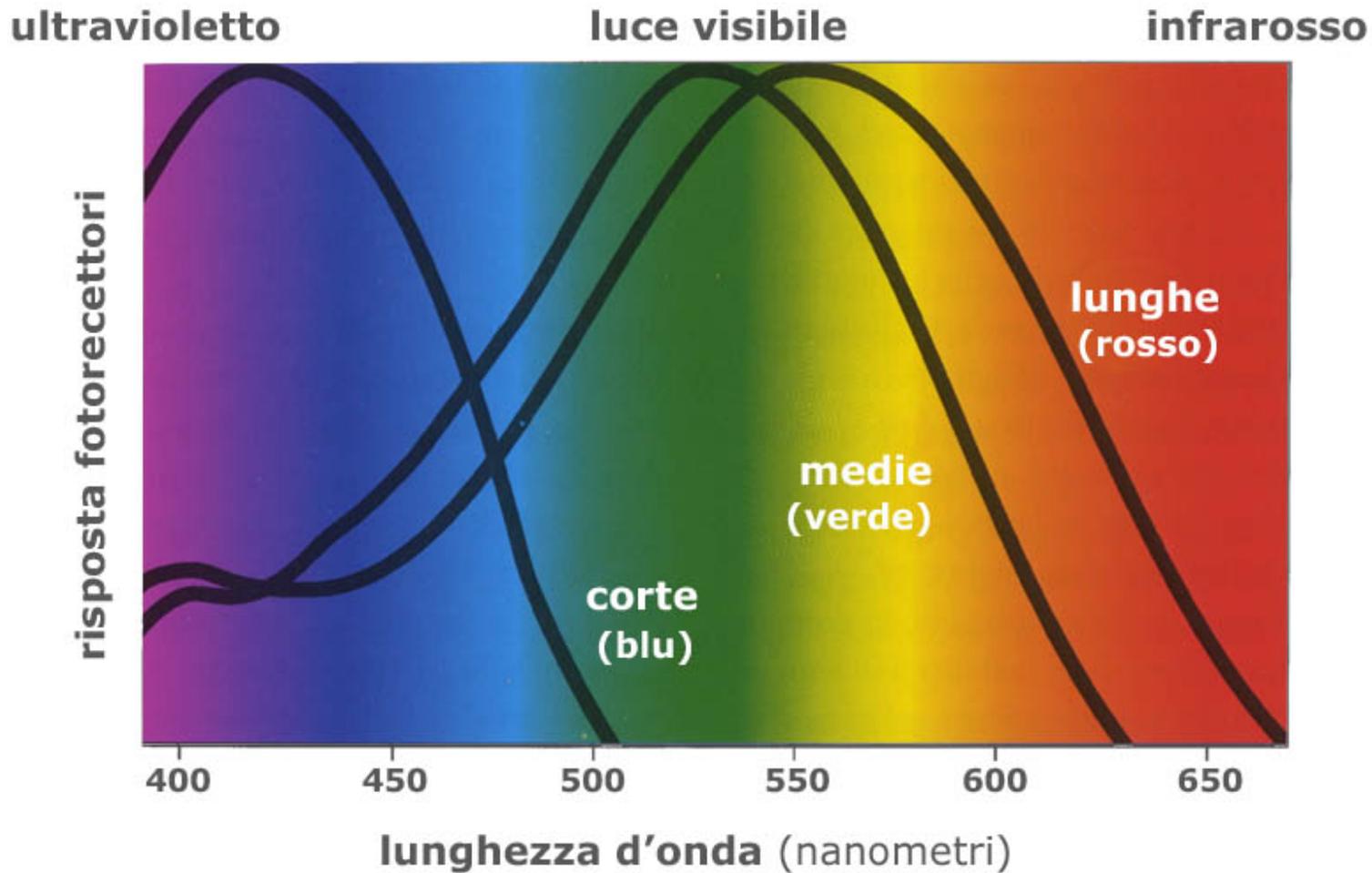


se l'occhio rispondesse in modo identico a tutte le lunghezze d'onda, il mondo apparirebbe in bianco e nero.

il problema è quindi quello di tradurre lunghezze d'onda diverse in risposte neurali diverse.

le basi fisiologiche: i coni

la nostra retina contiene **tre** tipi di fotorecettori (i coni) sensibili alla lunghezza d'onda.



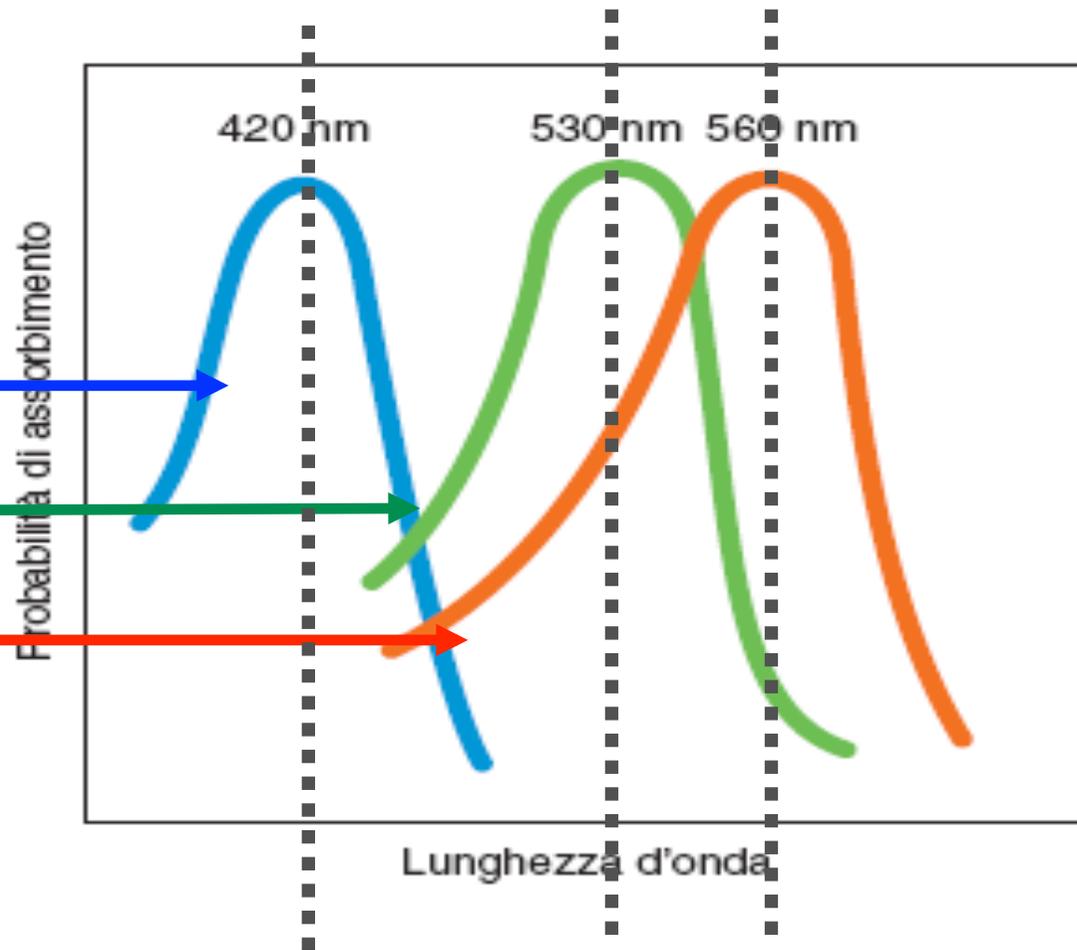
le basi fisiologiche: i coni

pur rispondendo
tutti a un'ampia
porzione dello spettro,
i tre tipi di cono danno
una risposta massima
alle **lunghezze
d'onda...**

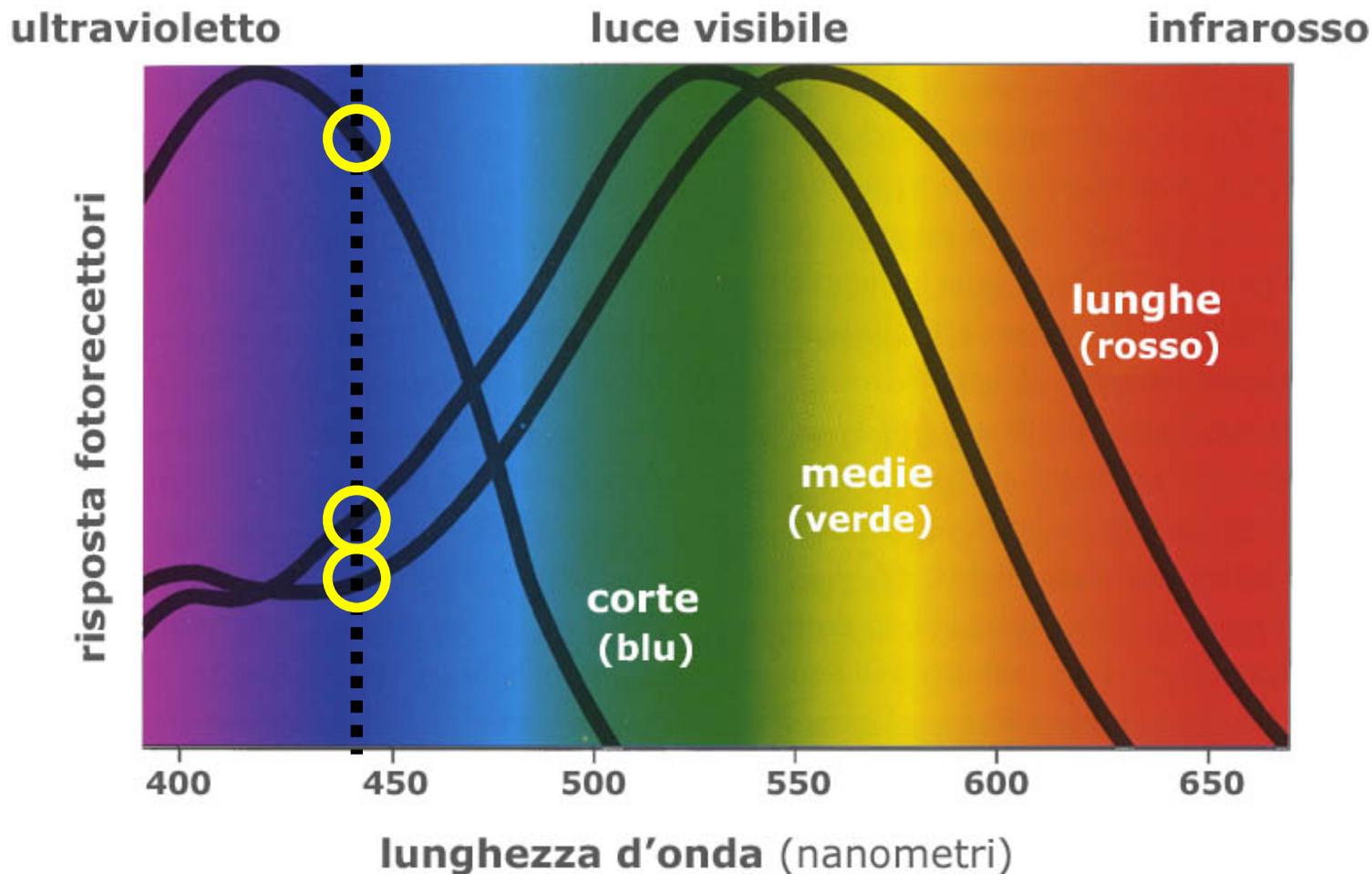
corte
(coni "blu")

medie
(coni "verdi")

lunghe
(coni "rossi")



le basi fisiologiche: i coni
le curve di sensibilità dei coni sono parzialmente
sovrapposte, per cui una data lunghezza d'onda stimola i tre
coni in modo differente.



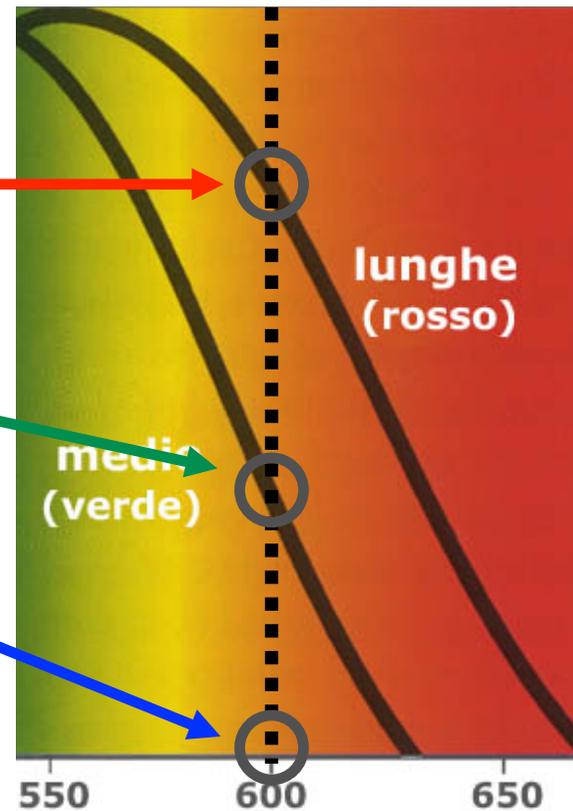
le basi fisiologiche: i coni

al cervello arriva quindi una tripletta di segnali,
e il rapporto fra i tre segnali specifica un certo colore.

ad esempio, una luce che provochi

- una risposta **vigorosa**
nei **coni “rossi”**
- una risposta **media**
nei **coni “verdi”**
- **nessuna** risposta
nei **coni “blu”**

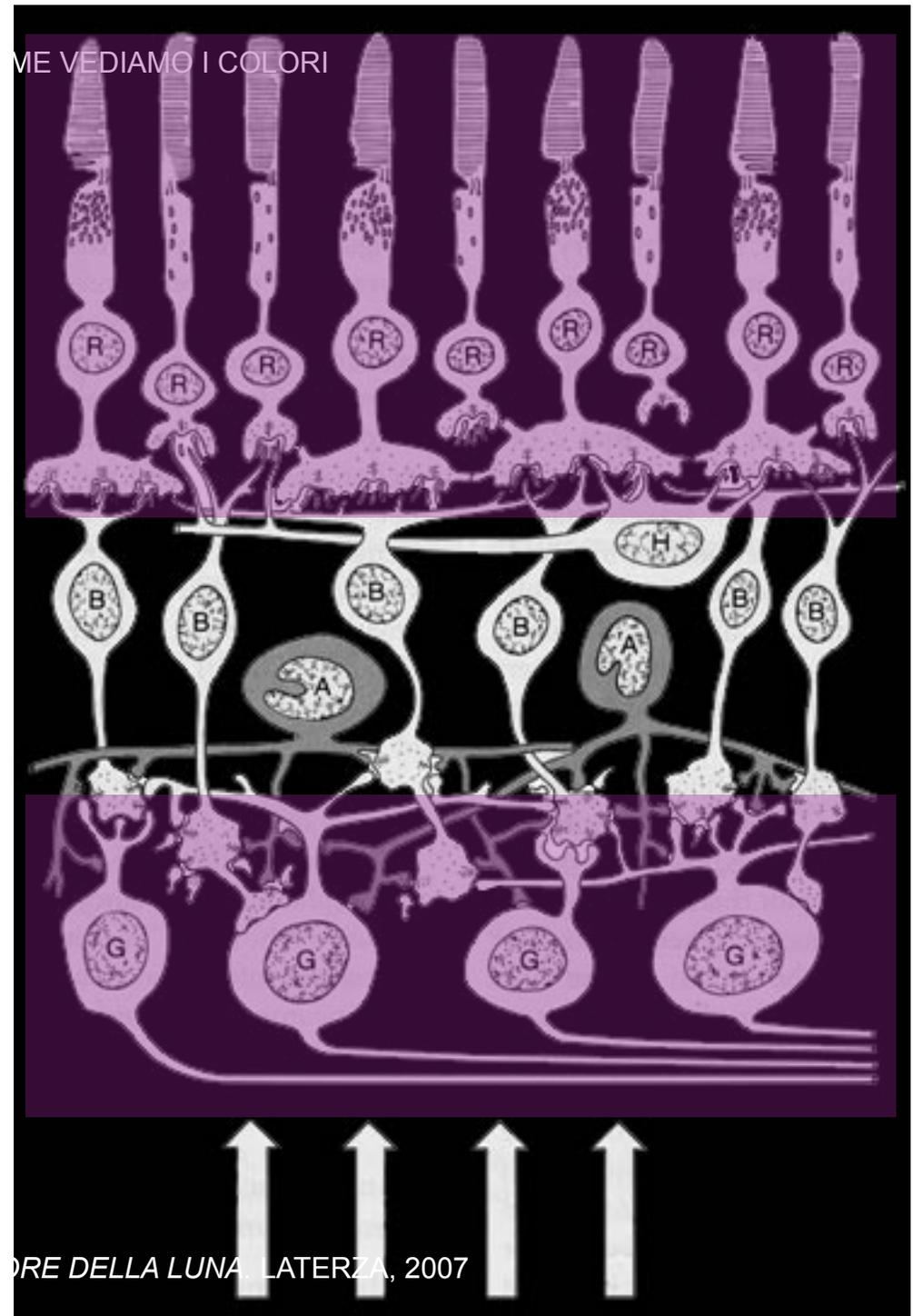
verrà vista come **arancione**.



le basi fisiologiche: oltre i coni

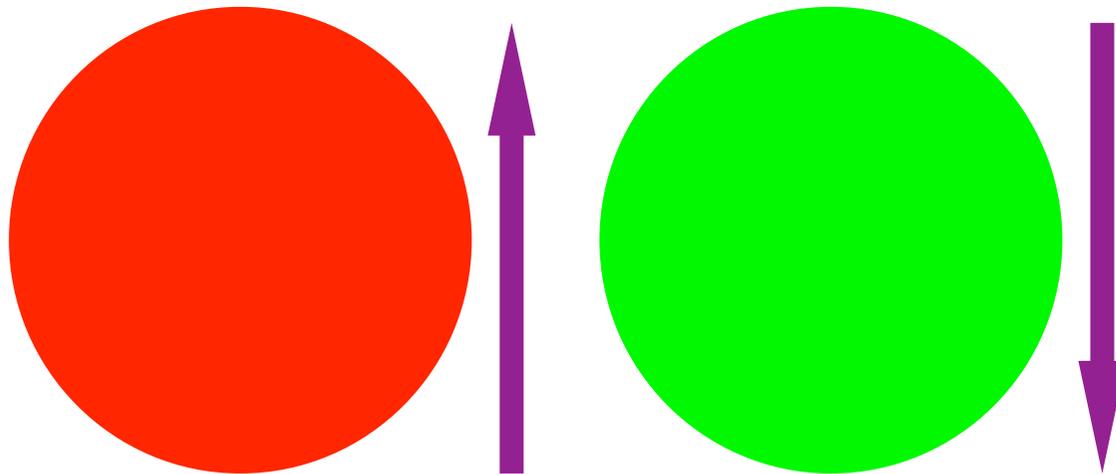
ai livelli successivi del sistema visivo, i messaggi provenienti dai fotorecettori

vengono organizzati e rielaborati. questa attività di organizzazione ha inizio già nelle cellule gangliari della retina.



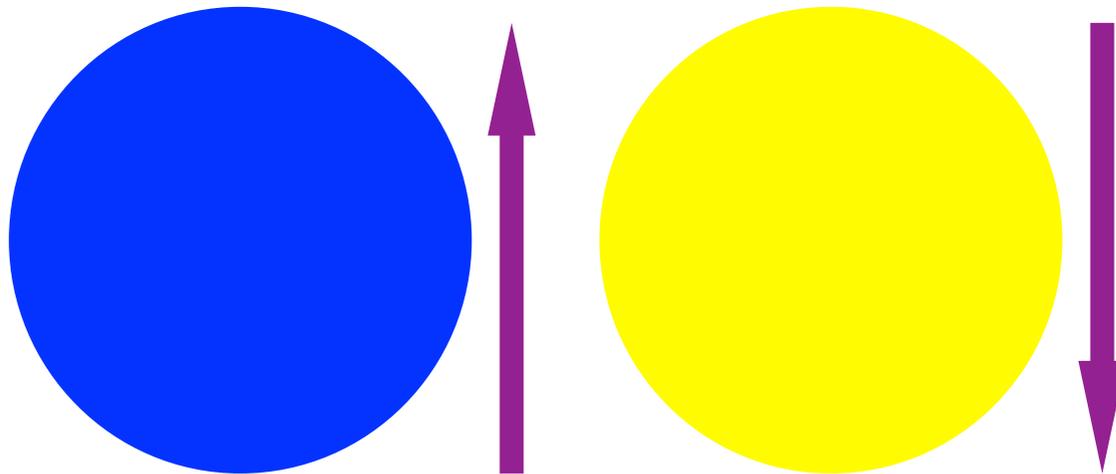
le basi fisiologiche: le cellule antagonistiche

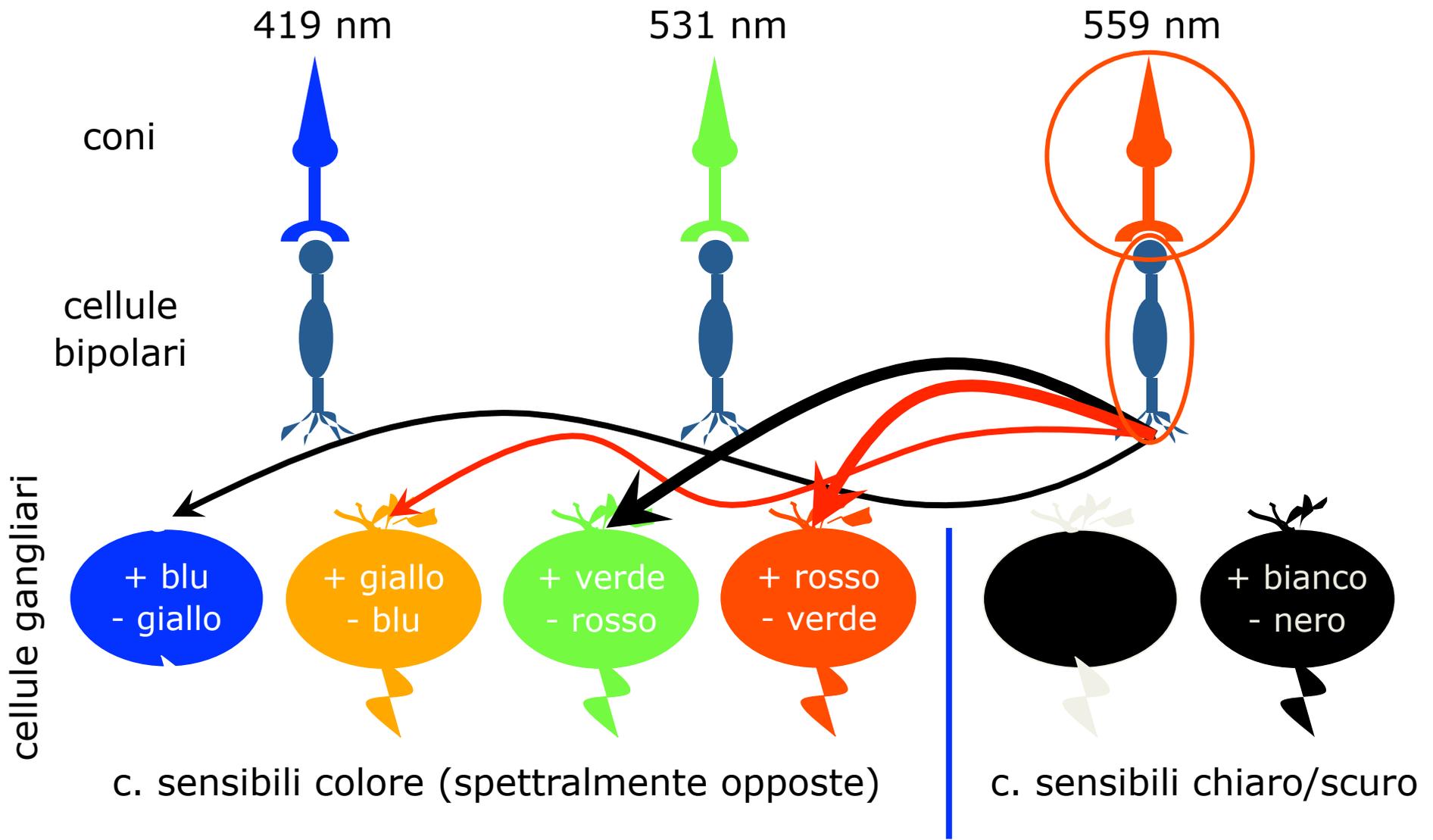
alcune cellule gangliari vengono attivate dal rosso
e inibite dal verde
o viceversa (**sistema rosso-verde**)...



le basi fisiologiche: le cellule antagonistiche

altre cellule gangliari vengono attivate dal blu
e inibite dal giallo
o viceversa (**sistema giallo-blu**).

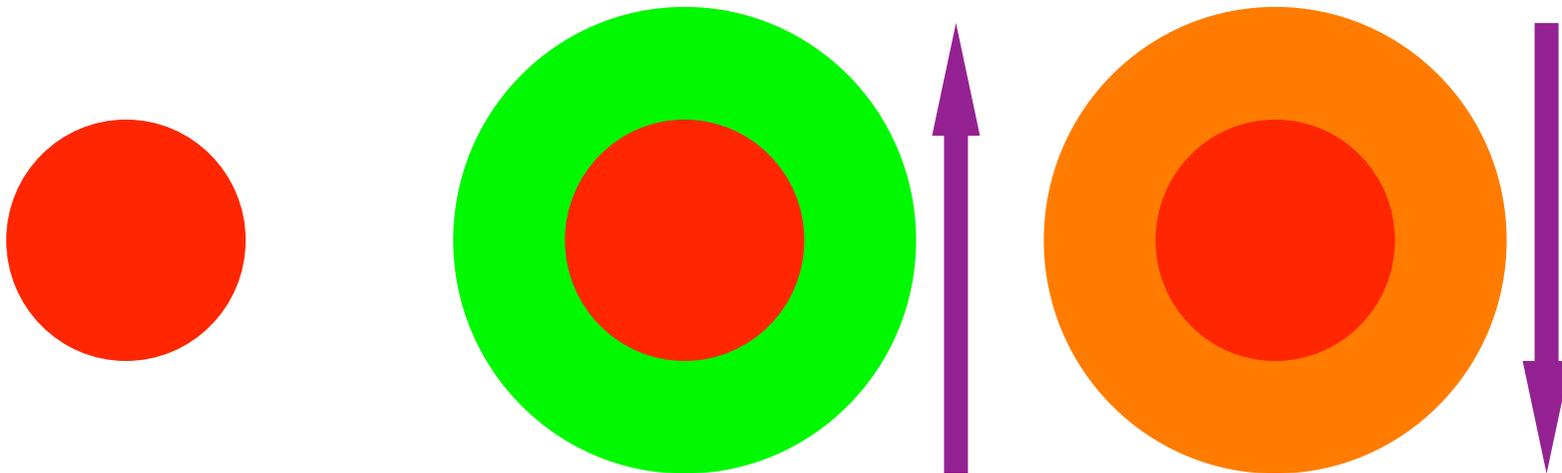




le basi fisiologiche: le cellule antagonistiche

le cellule della corteccia visiva hanno proprietà ancora più complesse. qui una cellula che risponda vigorosamente alla presenza di un dischetto rosso

- **aumenta** ulteriormente la propria attività se attorno al dischetto rosso c'è un anello verde
- ma la **diminuisce** se attorno al dischetto rosso c'è un anello rosso.



le basi fisiologiche: le cellule antagonistiche

possiamo ora capire come mai il rosso appaia tanto più vivace quando sta su sfondo verde che quando sta su sfondo rosso.

le cellule che rispondono a dischi rossi su sfondo verde sono le più comuni nella corteccia visiva della scimmia.

è probabile che vi sia una ragione funzionale: le scimmie hanno soprattutto bisogno di vedere frutti rossastri contro uno sfondo di fogliame verde.

perché vediamo a colori

si pensa che, nei primati, l'evoluzione del sistema rosso-verde (che ci differenzia dagli altri mammiferi) sia stata guidata dalla necessità di individuare facilmente

bacche e frutti (rossi o arancio) contro lo sfondo verde della vegetazione...



perché vediamo a colori

e le foglie più tenere e nutrienti, quelle nuove (rosse in molte piante africane), che senza il sistema rosso-verde è impossibile distinguere dalle foglie verdi.



perché vediamo a colori

ecco come appaiono i frutti rossi:

a chi non ha il sistema rosso-verde (ad esempio i cani e le api)

e a chi ce l'ha (ad esempio noi e gli uccelli)



perché vediamo a colori

insomma, vediamo a colori perché in un mondo colorato è più facile trovar da mangiare che in un mondo in bianco e nero.

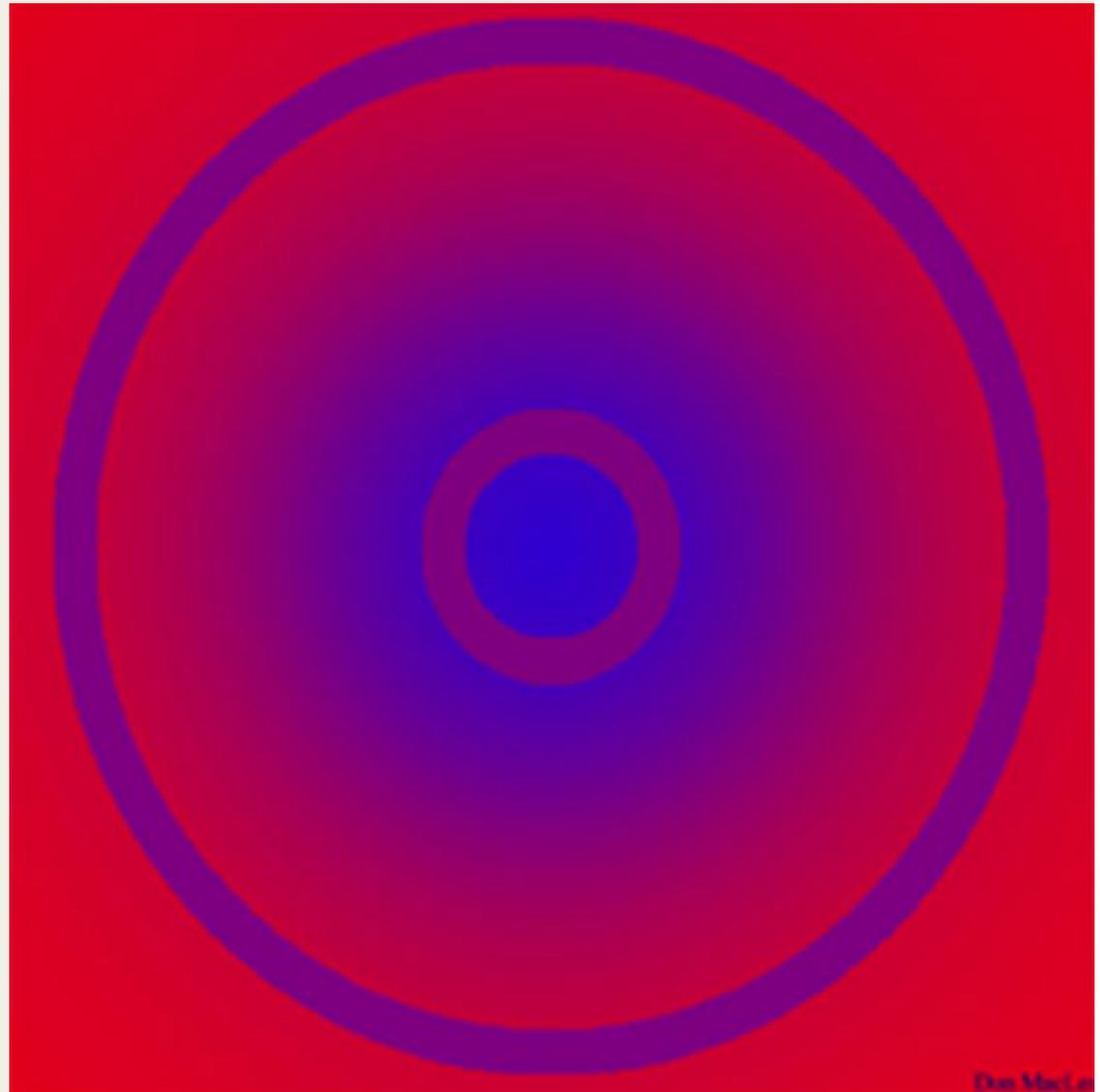


come vediamo i colori

fisicamente, questi due anelli hanno lo stesso colore.

l'anello piccolo appare rossastro perché si trova su sfondo blu;

l'anello grande appare bluastro perché si trova su sfondo rosso.

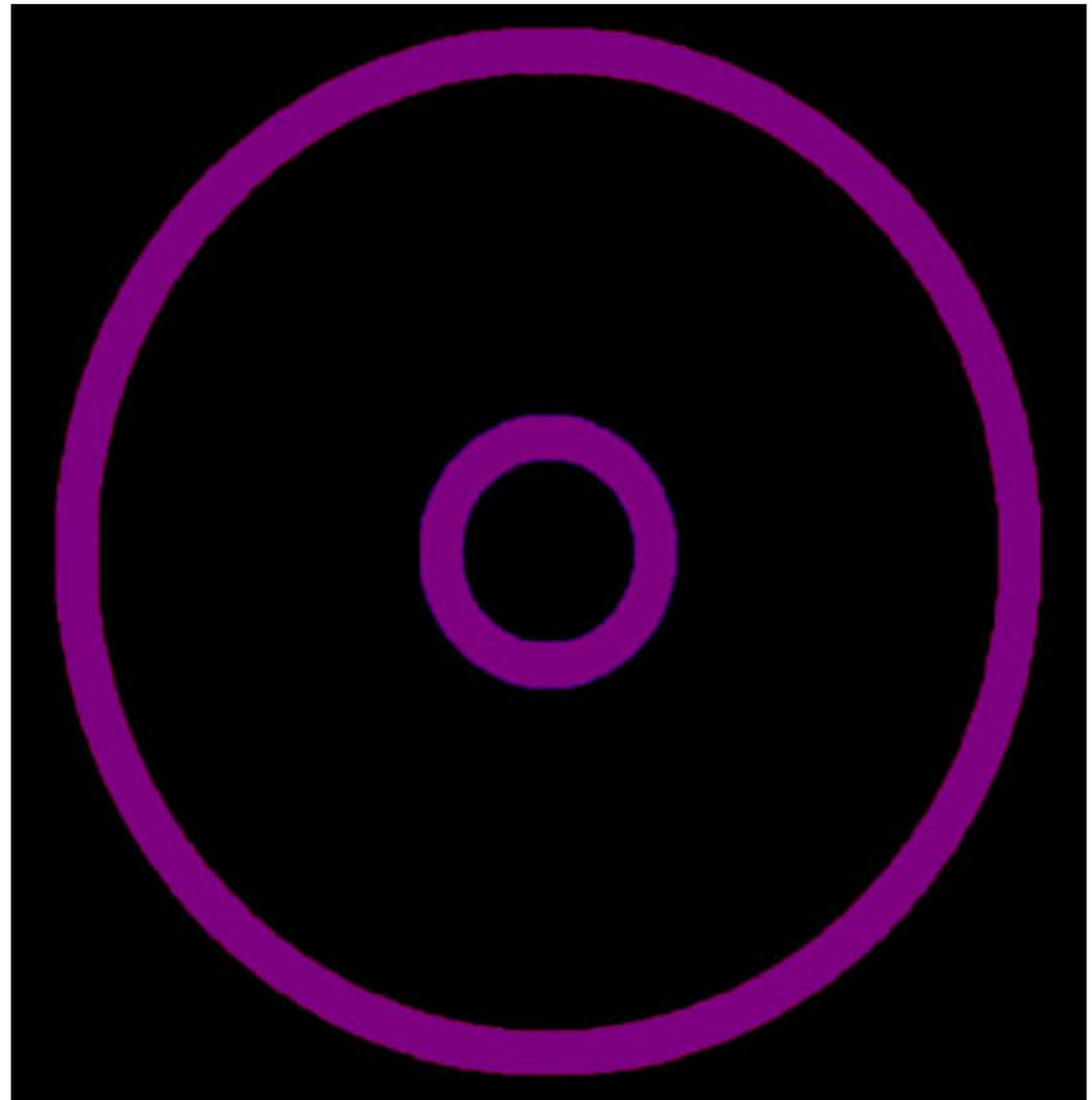


come vediamo i colori

fisicamente, questi due anelli hanno lo stesso colore.

l'anello piccolo appare rossastro perché si trova su sfondo blu;

l'anello grande appare bluastro perché si trova su sfondo rosso.



come vediamo i colori

fisicamente, questi due anelli hanno lo stesso colore.

l'anello piccolo appare rossastro perché si trova su sfondo blu;

l'anello grande appare bluastro perché si trova su sfondo rosso.

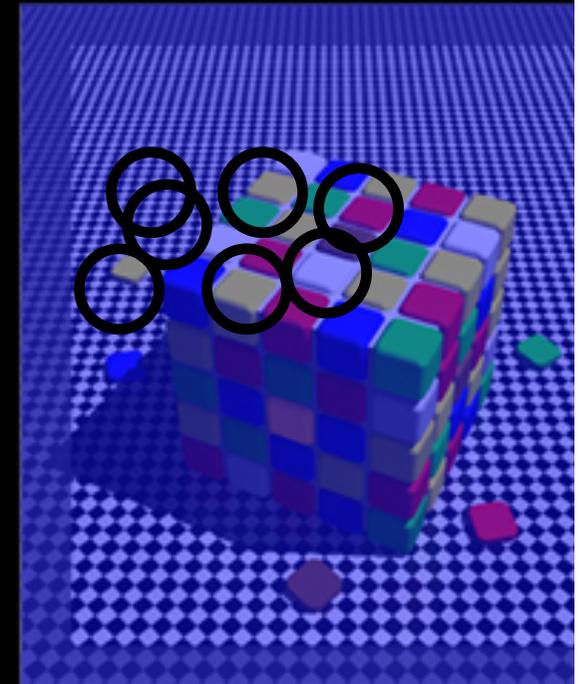
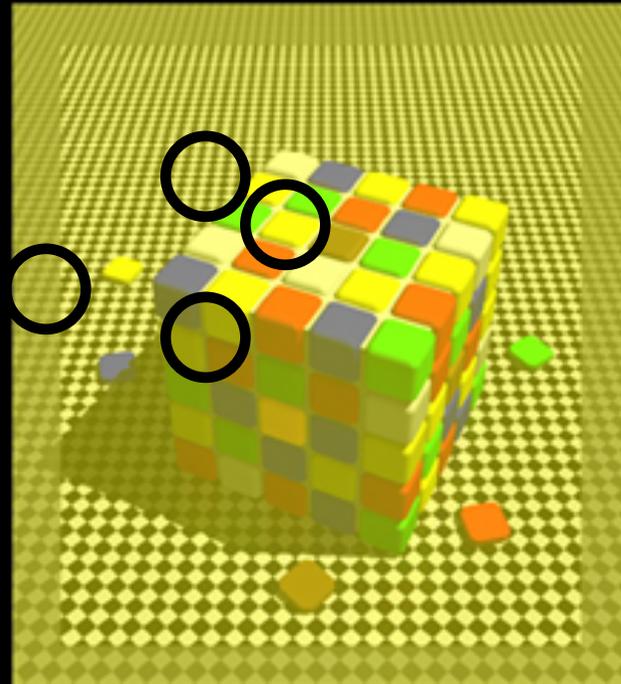
l'esaltazione della differenza fra i colori di due superfici vicine si chiama contrasto.



come vediamo i colori: contrasto

le mattonelle
“BLU” sulla
faccia superiore
del cubo di
sinistra

sono identiche
alle mattonelle
“GIALLE” sulla
faccia superiore
del cubo di
destra.

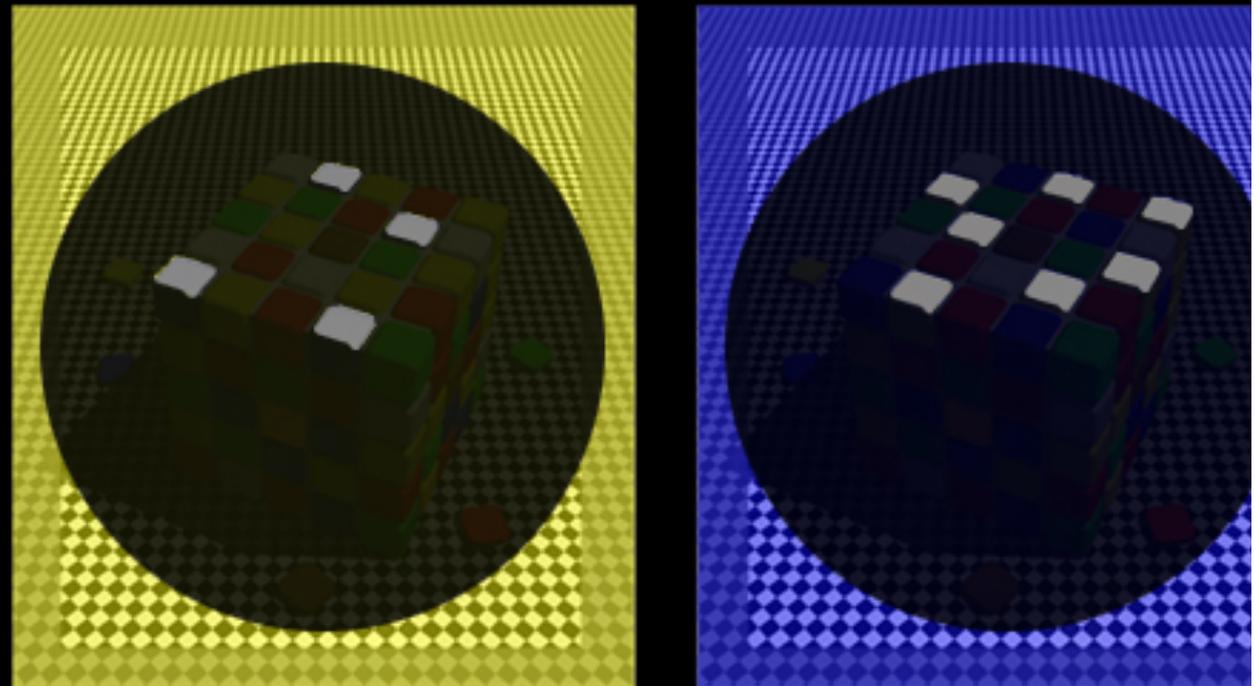


come vediamo i colori: contrasto

tutte queste
mattonelle sono
fisicamente
GRIGIE,

come possiamo
controllare
nascondendo i
colori vicini.

anche questo è
un effetto di
contrasto.

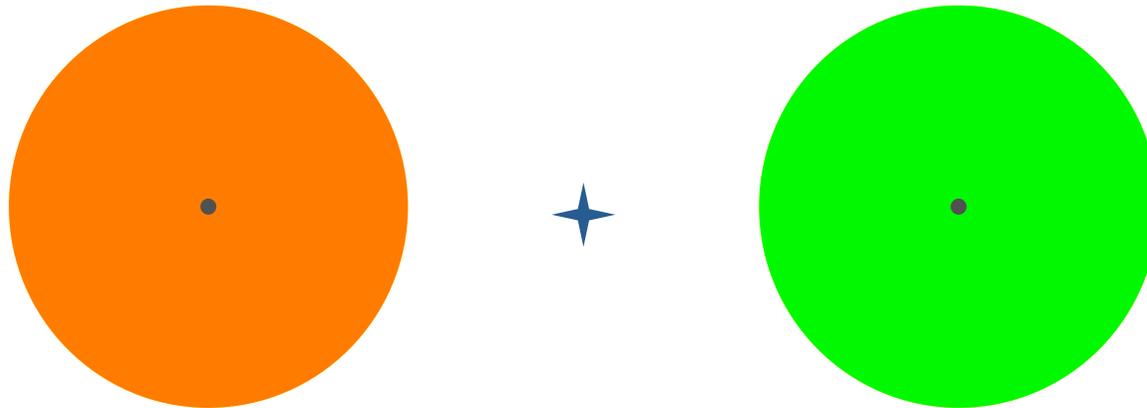


come vediamo i colori: adattamento

fissate la crocetta bianca fra il disco arancio e quello verde per una decina di secondi almeno.

alla pressione di un tasto, i due dischi verranno sostituiti da due dischi gialli.

i due dischi gialli appaiono identici?

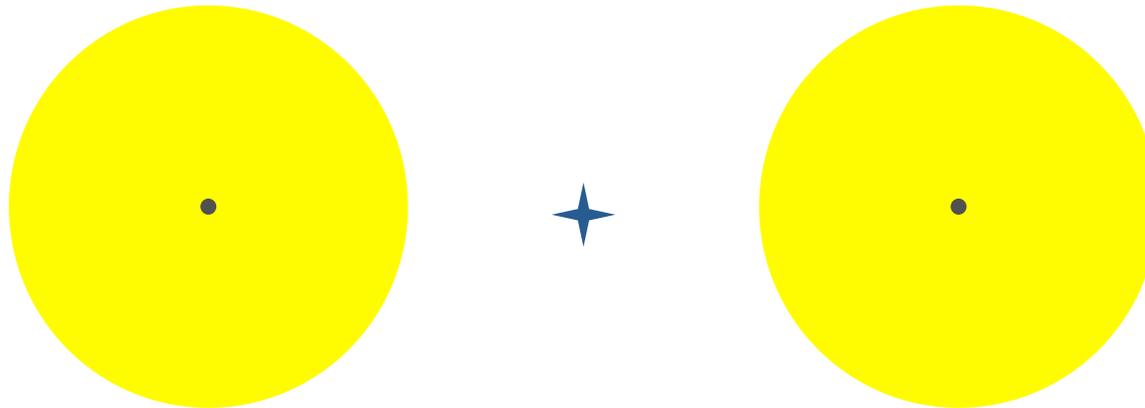


come vediamo i colori: adattamento

per un attimo,

il disco giallo a sinistra (preceduto dal disco **arancio**) è apparso verdolino.

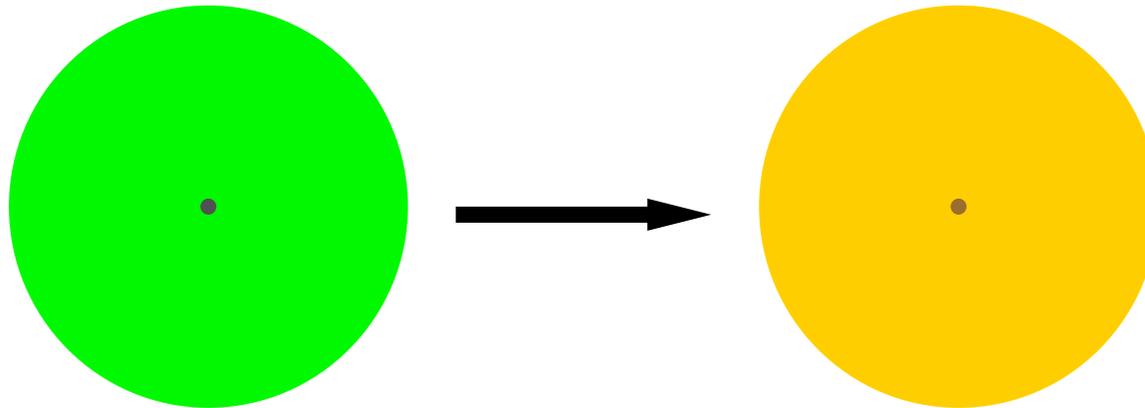
il disco giallo a destra (preceduto dal disco **verde**) è apparso aranciato.



come vediamo i colori: adattamento

questo è un esempio di adattamento, ovvero di diminuzione della sensibilità a un dato stimolo in seguito a una esposizione prolungata a quello stimolo.

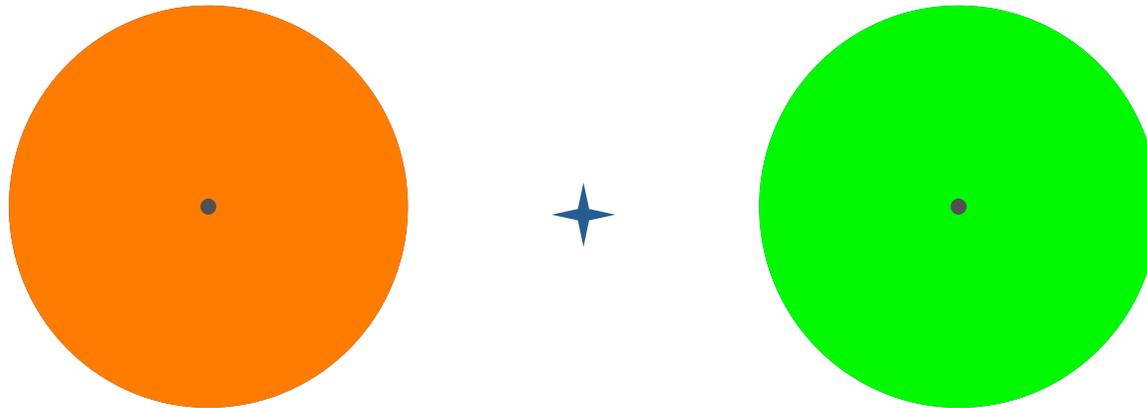
l'adattamento al disco verde ha diminuito la vostra sensibilità al verde; il giallo appare ora meno verde (e più rosso), quindi aranciato.



come vediamo i colori: immagini consecutive

l'adattamento è alla base del fenomeno delle immagini consecutive.

fissate la crocetta bianca per una ventina di secondi. alla pressione di un tasto, comparirà uno sfondo neutro (acromatico). continuate a fissare la crocetta.



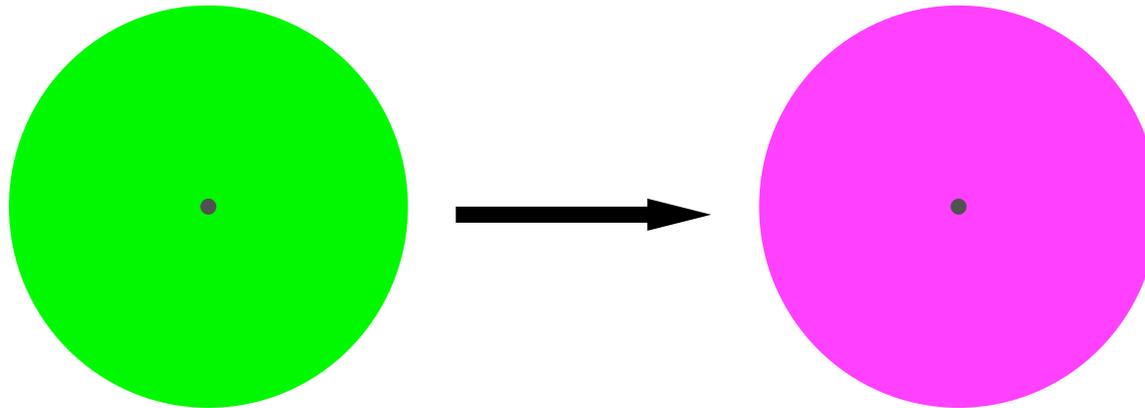
come vediamo i colori: immagini consecutive



come vediamo i colori: immagini consecutive

l'adattamento al disco verde ha causato la comparsa di un disco rosato:

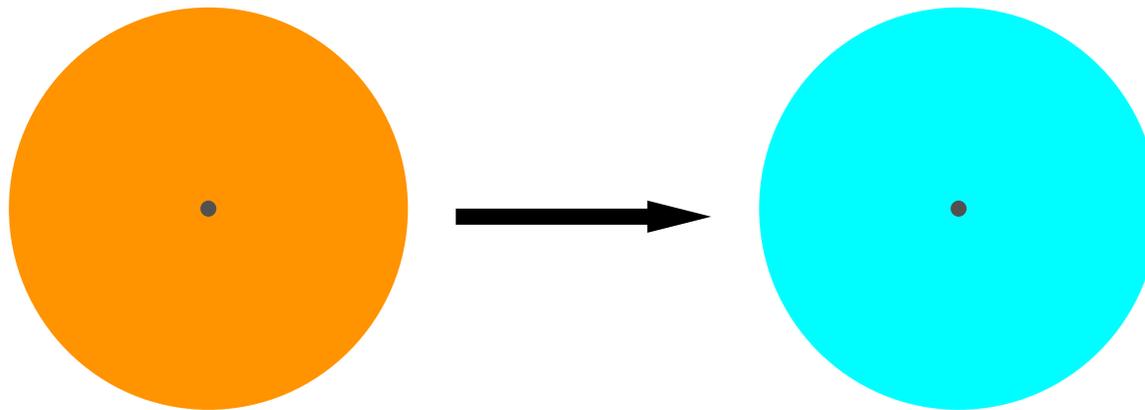
diciamo che questo particolare rosa è il complementare di questo particolare verde.



come vediamo i colori: immagini consecutive

l'adattamento al disco arancio ha causato la comparsa di un disco azzurrino:

diciamo che questo particolare azzurro è il complementare di questo particolare arancio.



come vediamo i colori: immagini consecutive

l'adattamento a un colore produce un'immagine consecutiva del colore complementare.

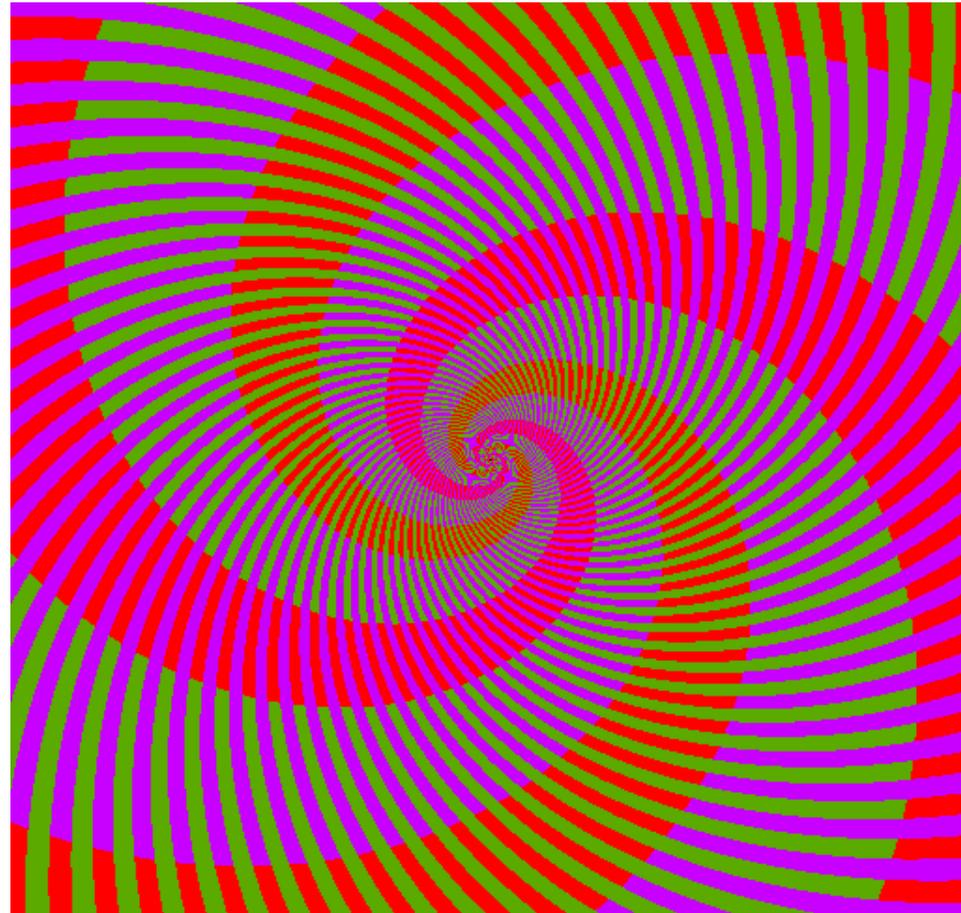
l'adattamento al **verde** produce un'immagine consecutiva **rossastra**, perché sbilancia il sistema rosso-verde.

l'adattamento al **giallo** produce un'immagine consecutiva **bluastro**, perché sbilancia il sistema giallo-blu.

come vediamo i colori: assimilazione

in presenza di linee sottili, la differenza fra i colori di due superfici vicine non viene aumentata, ma ridotta.

qui il rosso aranciato e il rosso magenta sono in realtà identici...



... come
possiamo
dimostrare
cancellando gli
altri colori.



... come
possiamo
dimostrare
cancellando gli
altri colori.

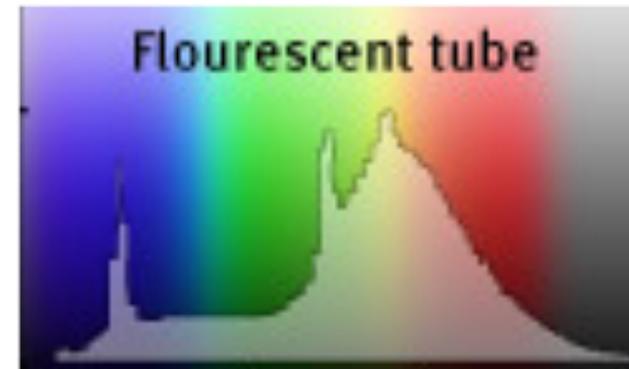
questo effetto si
chiama
assimilazione.



costanza di colore

il colore di un oggetto dipende dalla gamma di lunghezze d'onda che l'oggetto riflette, ma questa dipende a sua volta dalla gamma di lunghezze d'onda che lo illumina.

questo è lo spettro riflesso da un pezzo di carta bianca sotto una luce al neon



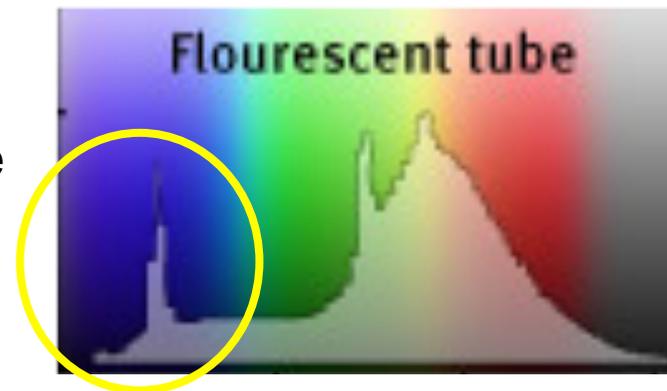
e sotto una comune lampadina al tungsteno.



costanza di colore

i due spettri non sono uguali.

ad esempio, la carta bianca riflette molte più lunghezze d'onda corte (blu) sotto la luce al neon

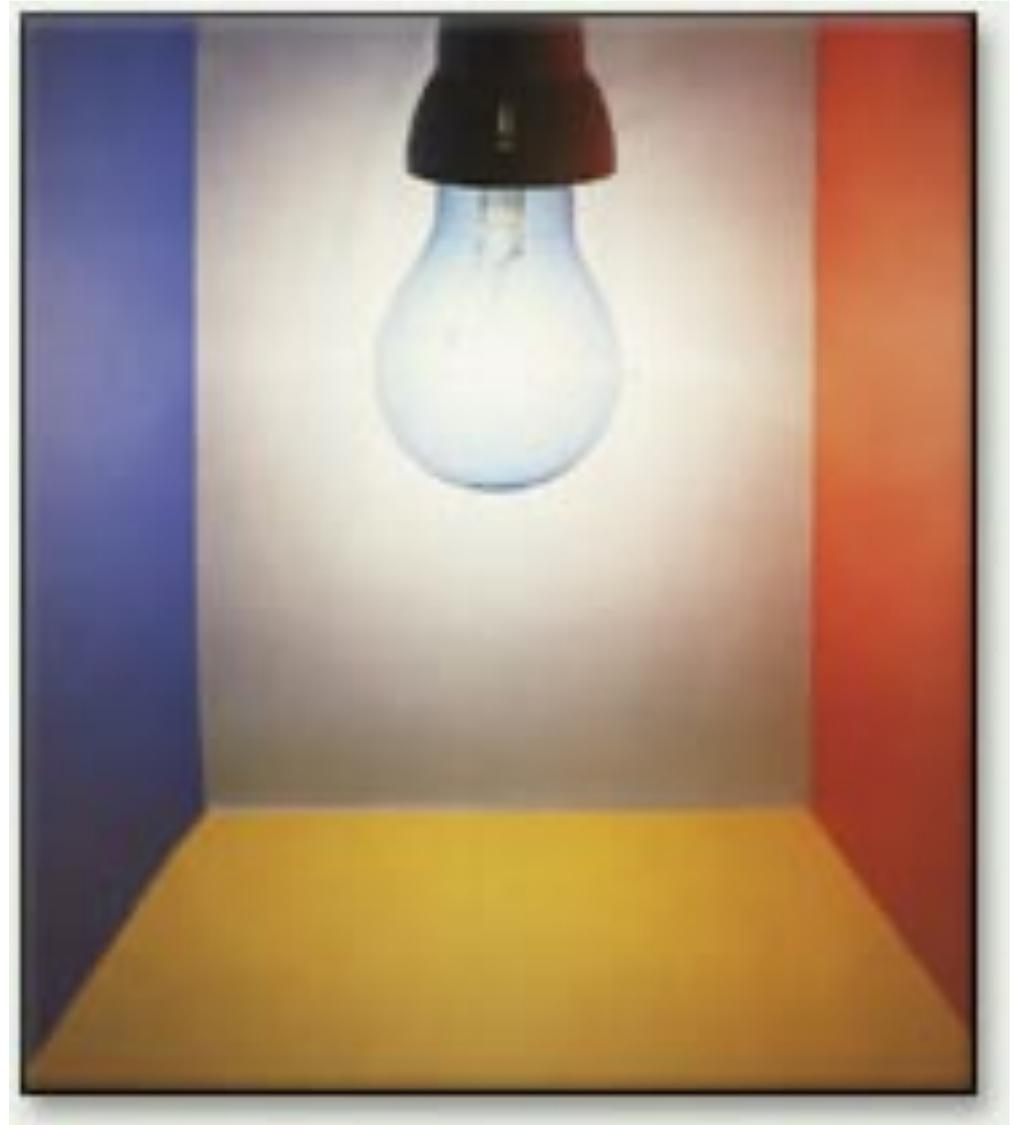


che sotto la lampadina al tungsteno.



costanza di colore

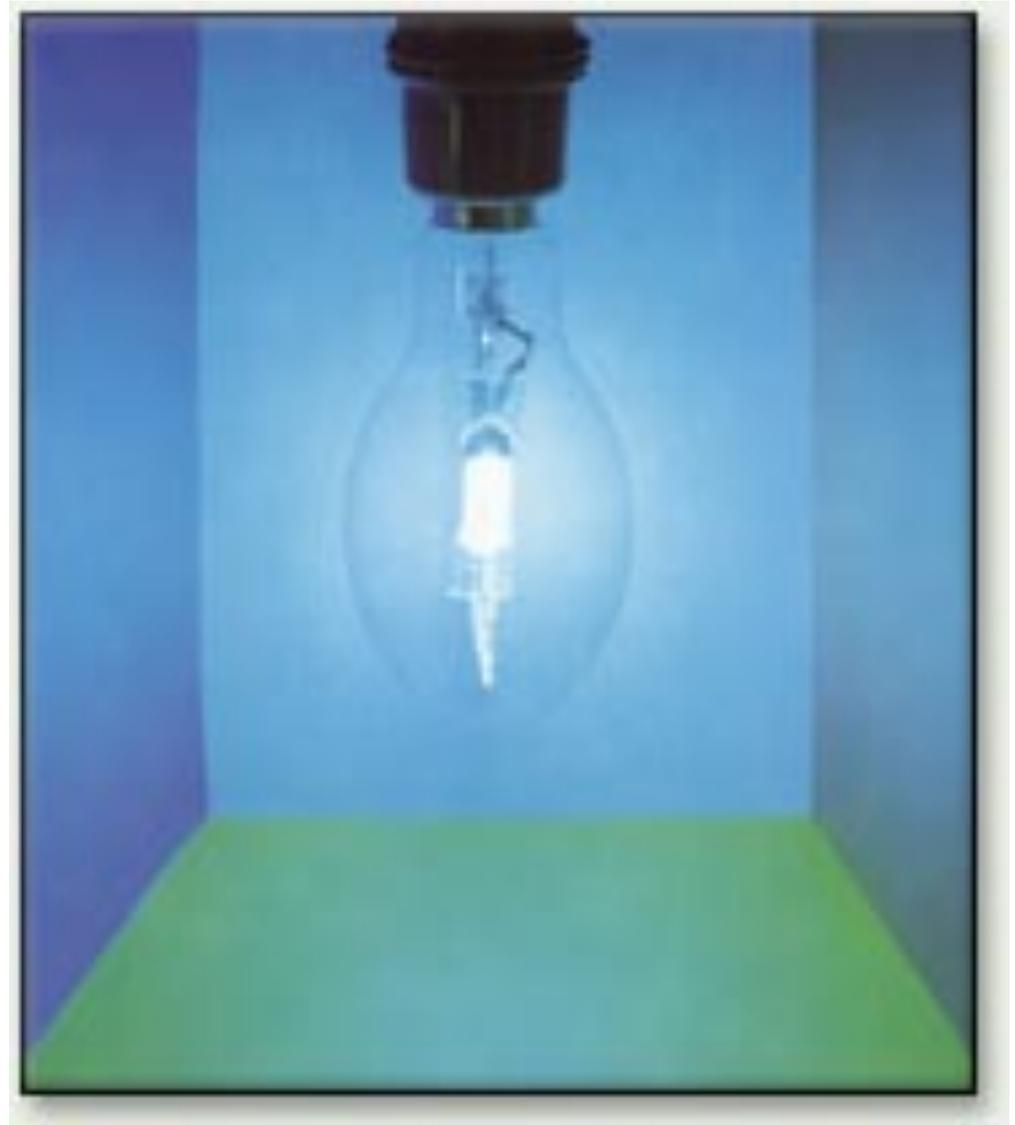
la parete sul fondo appare
bianca alla luce di una
lampada che simula la luce del
giorno



costanza di colore

la parete sul fondo appare
bianca alla luce di una
lampada che simula la luce del
giorno

azzurra alla luce di una
lampada al mercurio



costanza di colore

la parete sul fondo appare
bianca alla luce di una
lampada che simula la luce del
giorno

azzurra alla luce di una
lampada al mercurio

viola alla luce di una lampada al
sodio, come quelle degli stadi



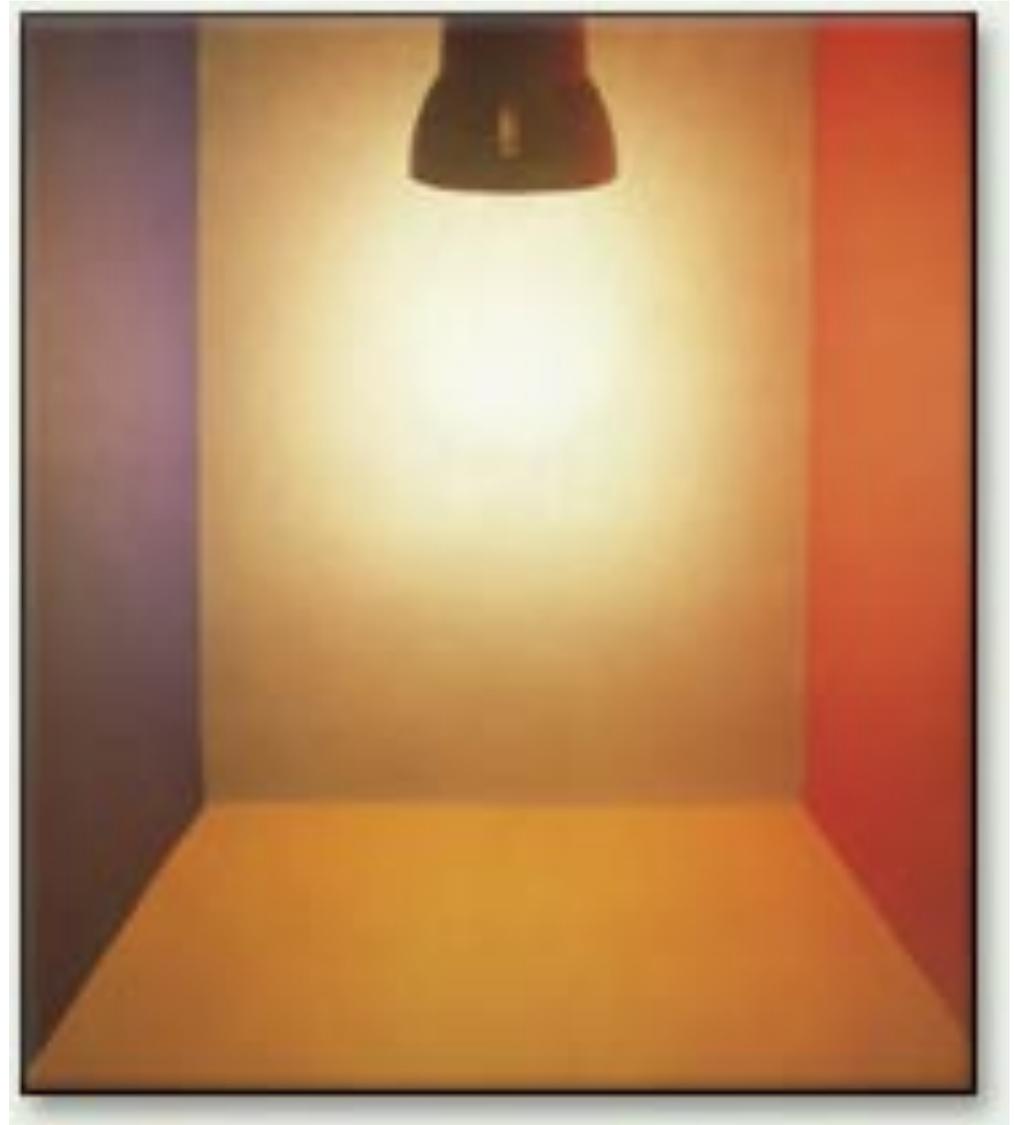
costanza di colore

la parete sul fondo appare
bianca alla luce di una
lampada che simula la luce del
giorno

azzurra alla luce di una
lampada al mercurio

viola alla luce di una lampada al
sodio, come quelle degli stadi

e arancione alla luce di una
comune lampadina al
tungsteno.



costanza di colore

eppure normalmente non ci accorgiamo di questi cambiamenti: sotto luci diverse, la carta rimane bianca, le foglie verdi e i pomodori rossi.

il fenomeno per cui il colore delle cose tende a rimanere costante nonostante cambi la composizione spettrale della luce che le illumina è detto costanza di colore.

la costanza di colore è dovuta soprattutto al fatto che il rapporto spettrale fra i diversi oggetti della scena rimane lo stesso quando la luce cambia.

anomalie nella visione dei colori

in alcune persone i coni del rosso o quelli del verde sono inattivi. in questo caso il sistema rosso-verde non funziona, e il mondo appare in sfumature di giallo e blu.

questo disturbo, detto discromatopsia (o daltonismo) ha una base genetica, ed è molto comune nei maschi: 1 uomo su 12 è daltonico.

anomalie nella visione dei colori

ecco come la stessa scena appare

a un individuo con normale
visione dei colori
(sinistra)

a un individuo
daltonico
(destra)

anomalie nella visione dei colori



anomalie nella visione dei colori

il fiore del trifoglio (magenta) riflette rosso e blu



un daltonico percepisce solo la componente blu

anomalie nella visione dei colori

la vegetazione (verde) riflette verde e giallo



un daltonico percepisce solo la componente gialla
(NB: il marrone è un giallo scuro)