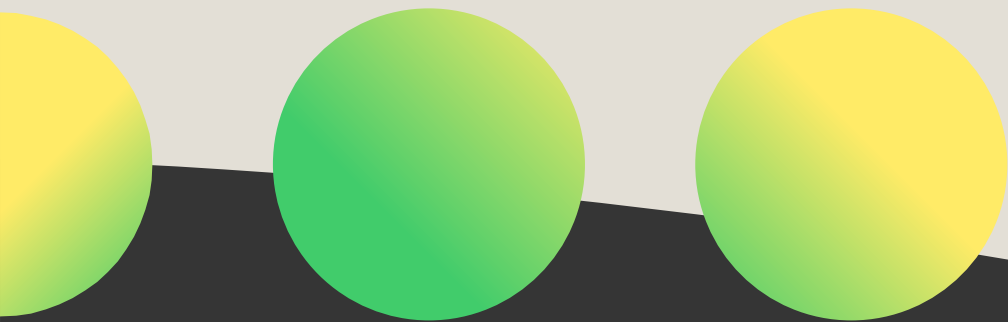


# E tu cosa vedi ?

Una brevissima introduzione alla fisica dei colori

# Prima di tutto, cos'è il colore?

Il colore è una **sensazione soggettiva**. Si **genera** nel nostro cervello grazie al nostro **occhio** che è in grado di captare **onde elettromagnetiche**.






# Quindi per capire il colore ...

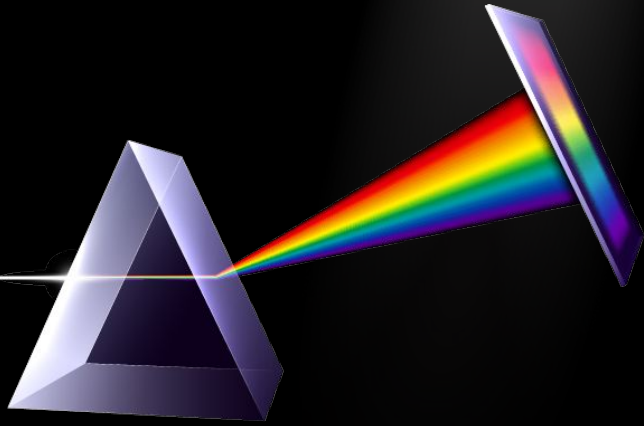
## La luce

Cioè capire **COSA** e  
**COME** arriva ai nostri  
occhi quando guardiamo.

## L'occhio e il cervello

Cioè come noi  
**RACCOGLIAMO**  
ed **ELABORIAMO**  
la luce.





# La luce

Una delle (tante) cose di cui capiamo poco.. Un po' onda, un po' particella..

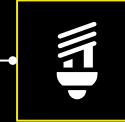
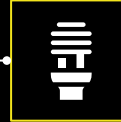
# Le origini

13.8 miliardi di anni fa

**Big Bang**

1 milione di anni fa

**Uso del fuoco**



**Il Sole nasce**

4.5 miliardi di anni fa

**Culti del Sole**

Presenti in tutte le civiltà antiche

# La Filosofia

## Filosofia della Grecia antica

Iniziano a distinguersi due concetti

### Raggio visuale

Che “parte” dall’occhio  
e permette di vedere



### Luce esterna

Come conglomerato  
della luce del Sole

# Le prime teorie

**'600 e '700**

Modello **emissivo** o **corpuscolare**

Alcuni corpi **irraggiano**, cioè **emettono** particelle materiali.

Il **raggio luminoso**, che **esiste fisicamente**, coincide con la traiettoria delle particelle

Per il **soggetto vedente** il fenomeno è **immissivo**, cioè il raggio entra nell'occhio

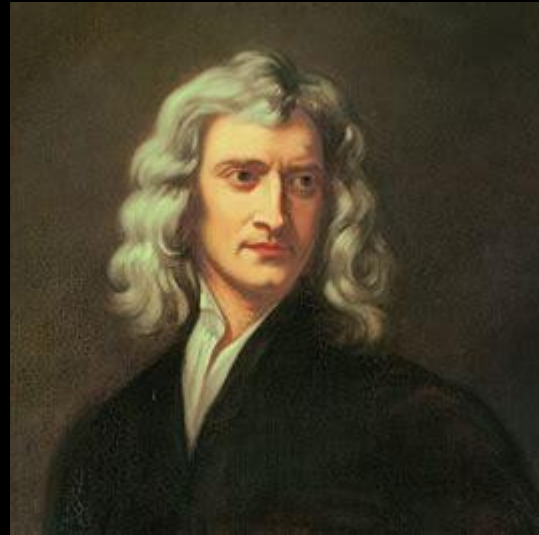


Antecedenti antichi: Epicuro e Lucrezio

# Le prime teorie

'600 e '700

Modello **emissivo** o corpuscolare





# Le prime teorie

'600 e '700

Modello **emissivo** o **corpuscolare**




Prova a misurare la velocità della luce  
con l'esperimento delle due lanterne  
(simile all'eco)





# Le prime teorie

“Voglio che due piglino un lume per uno, il quale, tenendolo dentro lanterna o altro ricetta possano andar coprendo e scoprendo, con l’interposizione della mano, alla vista del compagno, e che, ponendosi l’uno incontro all’altro in distanza di poche braccia, vadano addestrandosi nello scoprire ed occultare il lor lume alla vista del compagno, sì che quando l’uno vede il lume dell’altro, immediatamente scuopra il suo; la qual corrispondenza, dopo alcune risposte fattesi scambievolmente, verrà loro talmente aggiustata, che, senza sensibile svario, alla scoperta dell’uno risponderà immediatamente la scoperta dell’altro, sì che quando l’uno scuopre il suo lume, vedrà nell’istesso tempo comparire alla sua vista il lume dell’altro. Aggiustata cotal pratica in questa piccolissima distanza, pongansi i due medesimi compagni con due simili lumi in lontananza di due o tre miglia, e tornando di notte a far l’istessa esperienza, vadano osservando attentamente se le risposte delle loro scoperte ed occultazioni seguono secondo l’istesso tenore che facevano da vicino; che seguendo, si potrà assai sicuramente concludere, l’espansion del lume essere istantanea: ché quando ella ricercasse tempo, in una lontananza di tre miglia, che importano sei per l’andata d’un lume e venuta dell’altro, la dimora dovrebbe esser assai osservabile. E quando si volesse far tal osservazione in distanze maggiori, cioè di otto o dieci miglia, potremmo servirci del telescopio...”



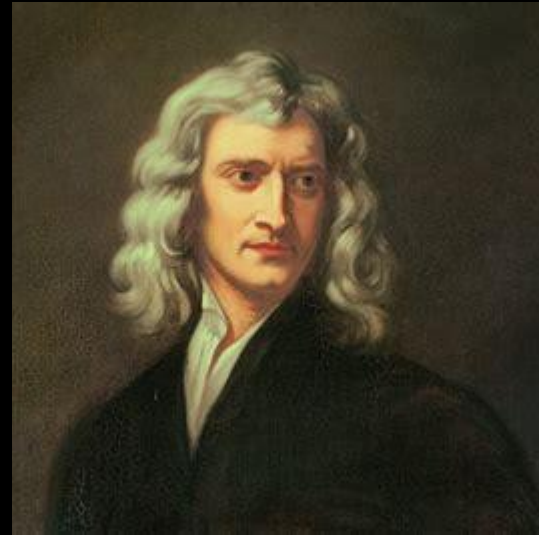
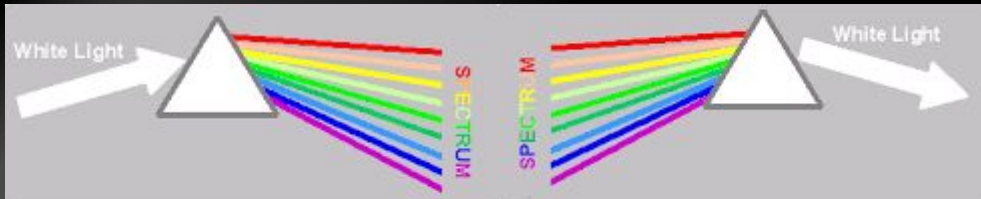
# Le prime teorie

**'600 e '700**

Modello **emissivo** o **corpuscolare**

Scompone una luce **emessa** da una sorgente di luce bianca nelle varie componenti ottenendo “sette colori primari” che poi ricomposti danno nuovamente la luce bianca.

(violetto, indaco, blu, verde, giallo, arancio, rosso)



# Le prime teorie

**'600 e '700**

Modello **ondulatorio** - Cartesio

La **luce** è un'onda che si **propaga** con fronte d'onda sferico dalle sorgenti. Il "raggio" con cui si descrive geometricamente è il raggio di propagazione dell'onda.

Tutto lo spazio è permeato dall'**etere**: un fluido rarefatto, elastico, invisibile, intangibile e privo di massa **attraverso il quale si propaga** l'onda luminosa.



# Le prime teorie

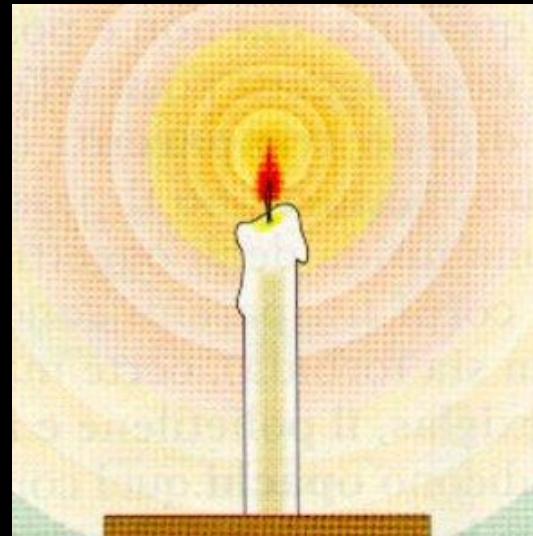
**'600 e '700**

Modello **ondulatorio** - Cartesio

La **luce** è un'onda che si **propaga** con fronte d'onda sferico dalle sorgenti. Il "raggio" con cui si descrive geometricamente è il raggio di propagazione dell'onda.

Tutto lo spazio è permeato dall'**etere**: un fluido rarefatto, elastico, invisibile, intangibile e privo di massa **attraverso il quale si propaga** l'onda luminosa.

**SPOILER: NON ESISTE**



# Le prime teorie

**'600 e '700**

Modello **ondulatorio** - Cartesio

La **luce** è un'onda che si **propaga** con fronte d'onda sferico dalle sorgenti. Il "raggio" con cui si descrive geometricamente è il raggio di propagazione dell'onda.

Tutto lo spazio è permeato dall'**etere**: un fluido rarefatto, elastico, invisibile, intangibile e privo di massa **attraverso il quale si propaga** l'onda luminosa.

Anche perchè, non lo vedi, non lo tocchi, non ha massa, non è elastico, non esercita forze o interagisce con nulla...





# Le prime teorie

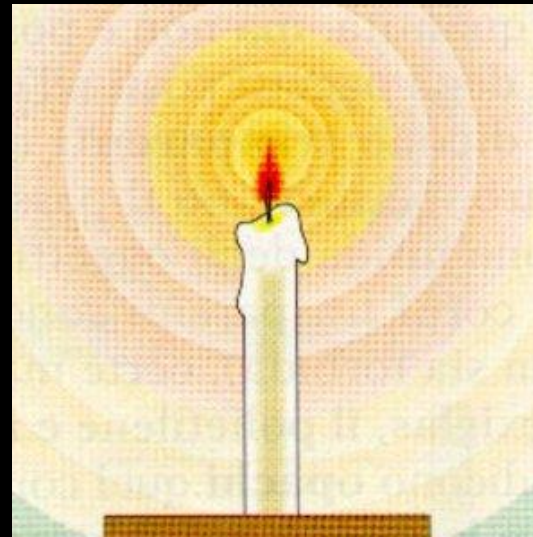
**'600 e '700**

Modello **ondulatorio** - Cartesio

La **luce** è un'onda che si **propaga** con fronte d'onda sferico dalle sorgenti. Il "raggio" con cui si descrive geometricamente è il raggio di propagazione dell'onda.

Tutto lo spazio è permeato dall'**etere**: un fluido rarefatto, elastico, invisibile, intangibile e privo di massa **attraverso il quale si propaga** l'onda luminosa.

Che poi le cose sono complesse e si deve aspettare il '900 per accettare modelli senza etere... ma vabbè, andiamo oltre





# Qualcosa di piú moderno

**‘800 – le onde EM**

(Si inizia a capire anche come è fatto l’occhio)

Con Maxwell tutta la fisica legata a: **luce**, campi elettrici, campi magnetici, elettroni fermi, elettroni in moto (corrente elettrica) viene condensata in 4 equazioni:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

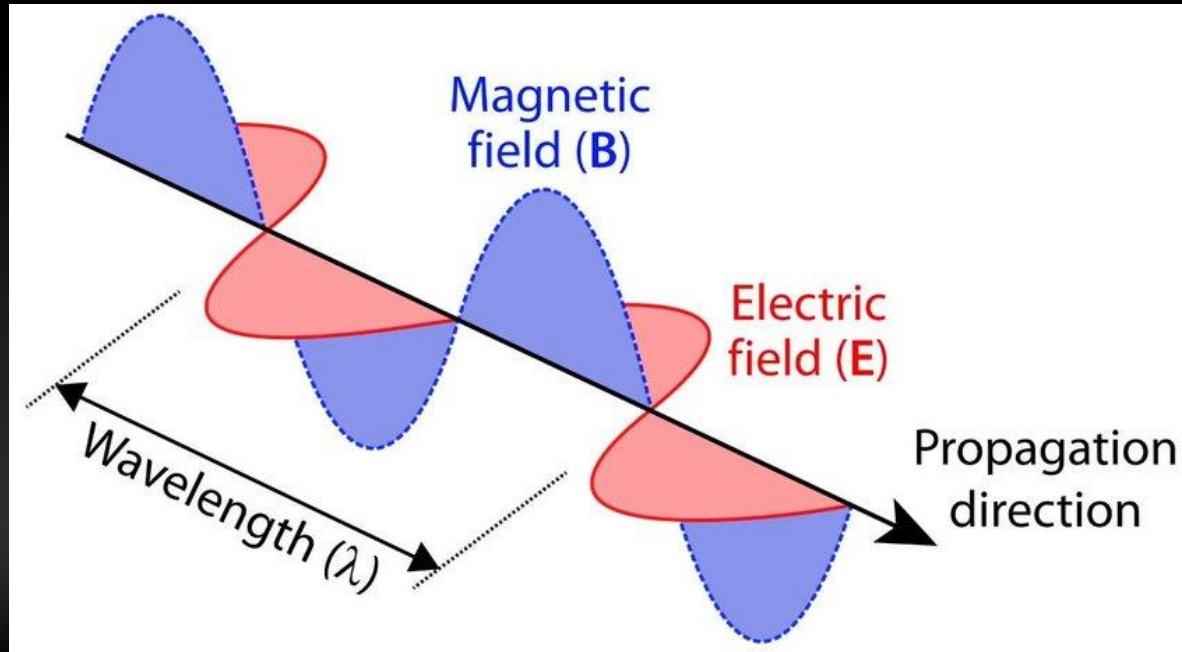
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$



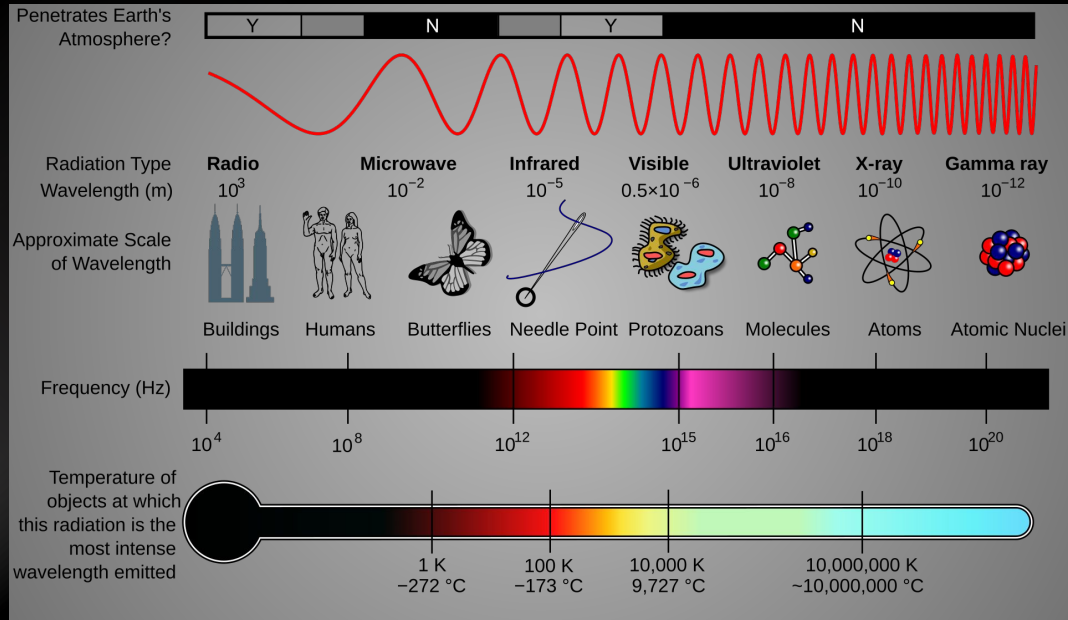

# Qualcosa di piú moderno

La natura della luce: da Maxwell in poi



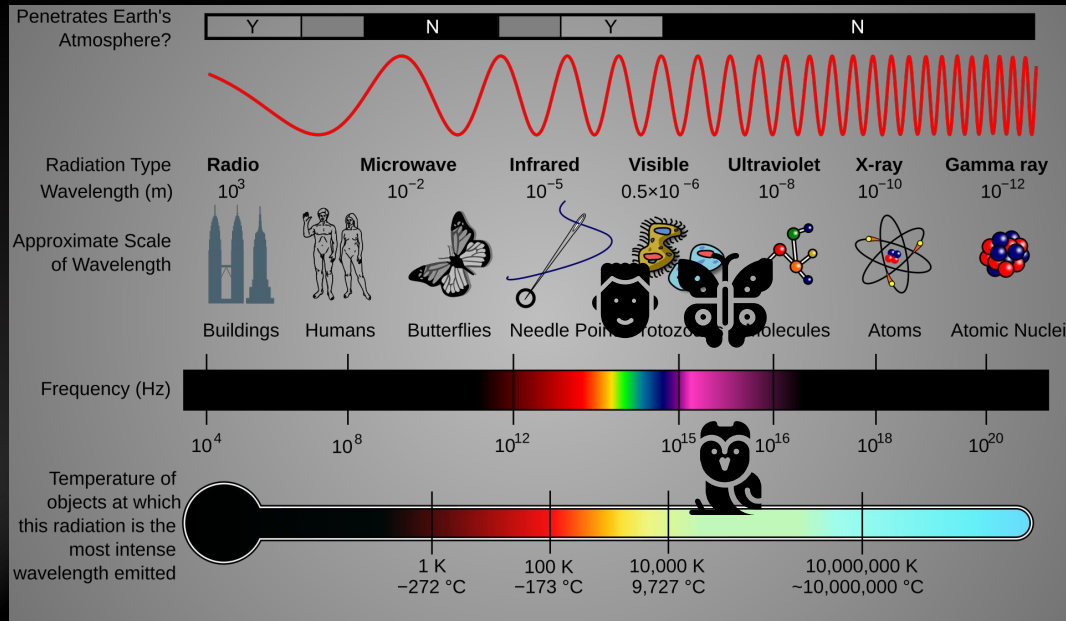
# Qualcosa di piú moderno

## La natura della luce: da Maxwell in poi



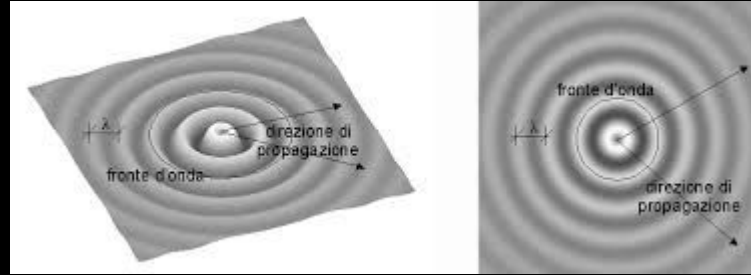
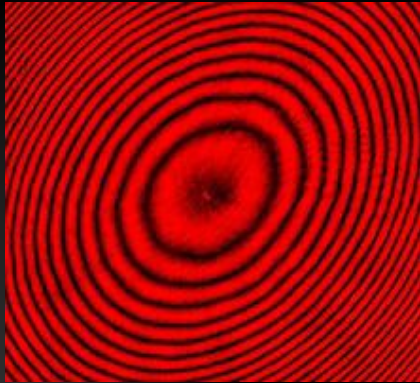
# Qualcosa di piú moderno

## La natura della luce: da Maxwell in poi



# Qualcosa di piú moderno

La natura della luce: da Maxwell in poi



# Qualcosa di piú moderno

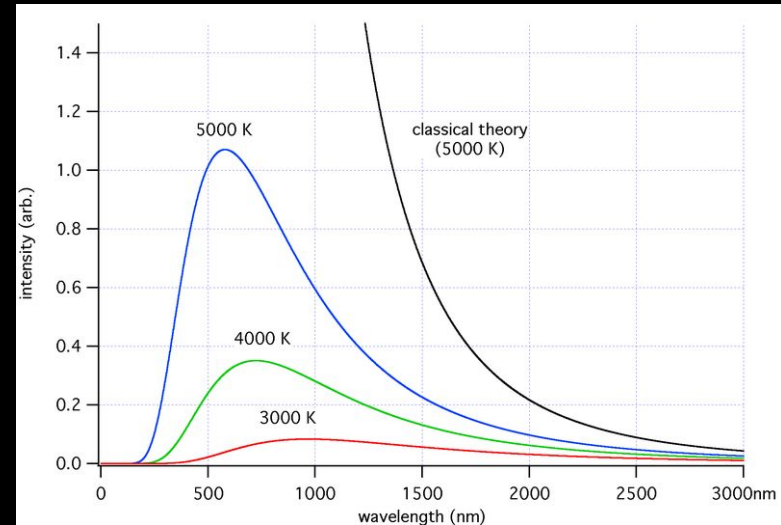
## '900.. ancora corpuscoli

La luce è composta da particelle. Se la frequenza della luce è " $\nu$ " allora la sua energia è  $E=h\nu$

Questa descrizione permetteva di risolvere alcuni problemi presenti nella teoria ondulatoria come l'emissione dei corpi neri

Previsione teorica

I quanti di luce:  $E=h\nu$



# Qualcosa di piú moderno

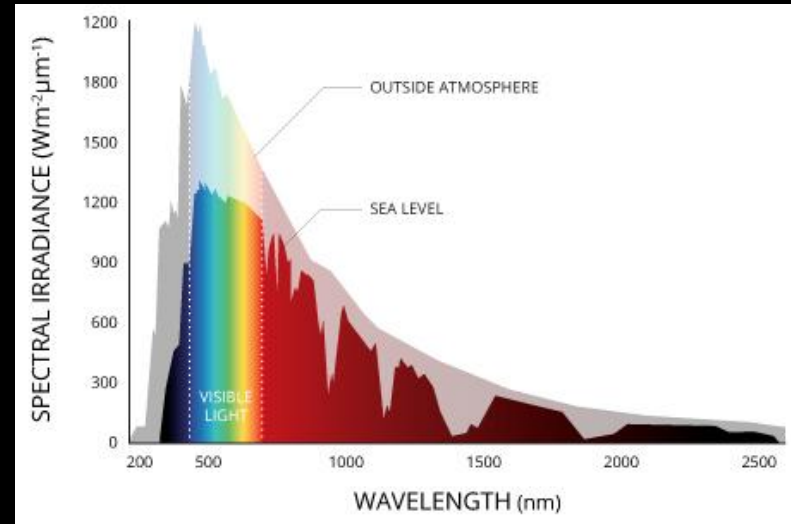
## '900.. ancora corpuscoli

La luce è composta da particelle. Se la frequenza della luce è “ $\nu$ ” allora la sua energia è  $E=h\nu$

Questa descrizione permetteva di risolvere alcuni problemi presenti nella teoria ondulatoria come l'emissione dei corpi neri

Spettro reale

I quanti di luce:  $E=h\nu$



# Qualcosa di piú moderno

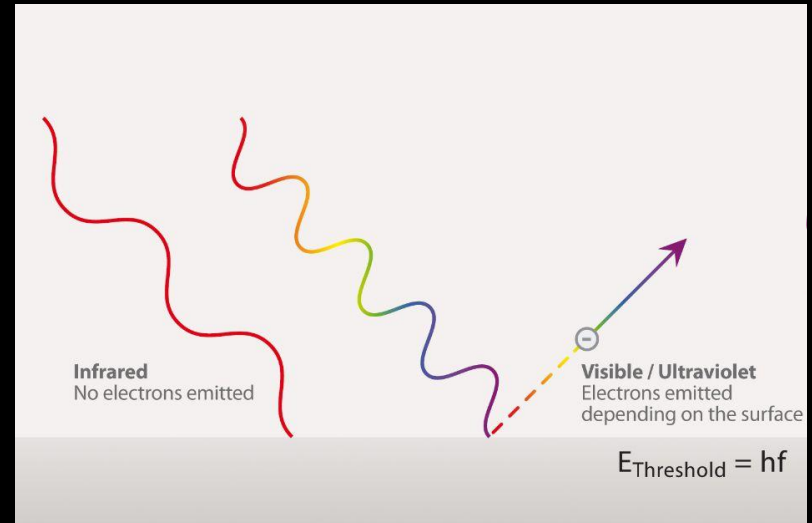
## '900.. ancora corpuscoli

La luce è composta da particelle. Se la frequenza della luce è “ $\nu$ ” allora la sua energia è  $E=h\nu$

Questa descrizione permetteva di risolvere alcuni problemi presenti nella teoria ondulatoria come l'effetto fotoelettrico

Spettro reale

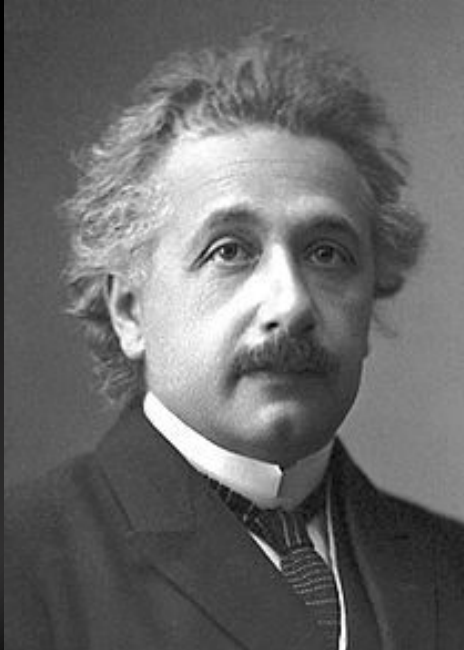
I quanti di luce:  $E=h\nu$



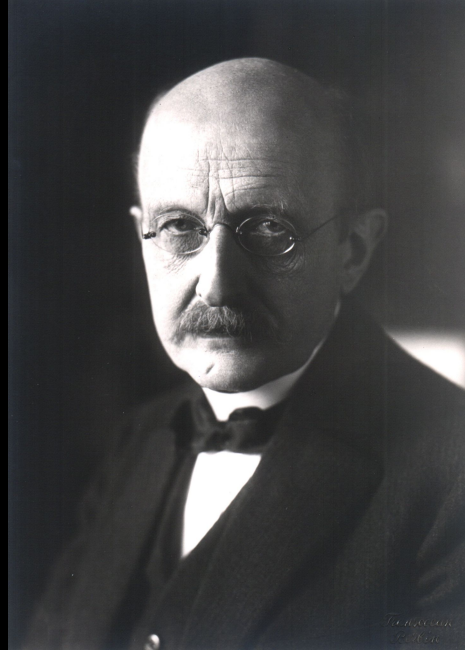


# Qualcosa di piú moderno

'900.. ancora corpuscoli

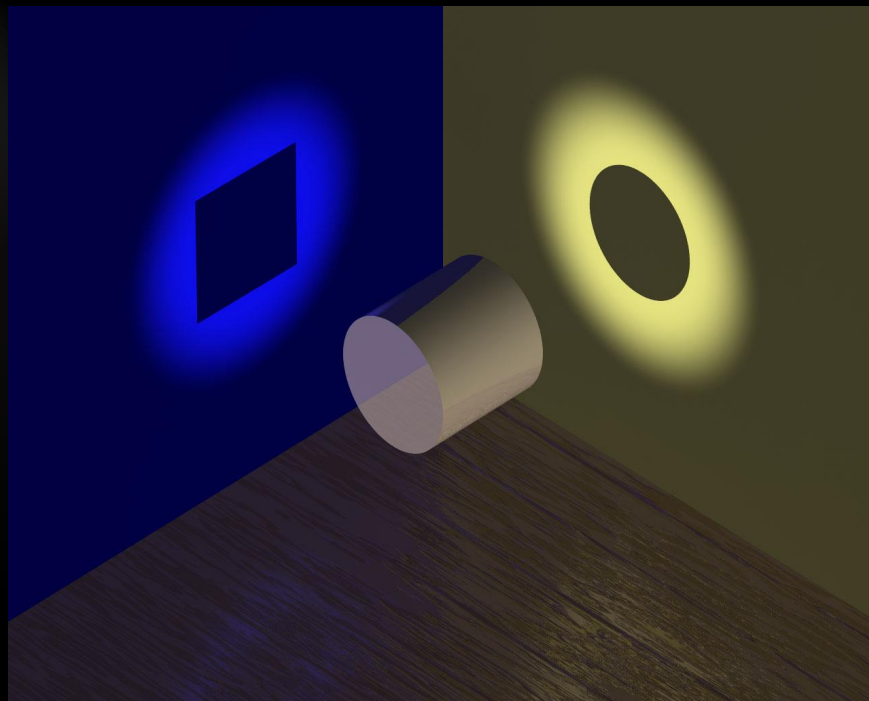


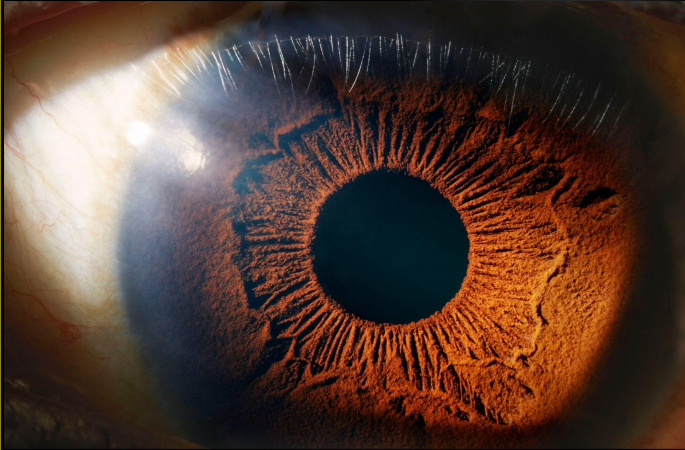
I quanti di luce:  $E=h\nu$





Quindi ?



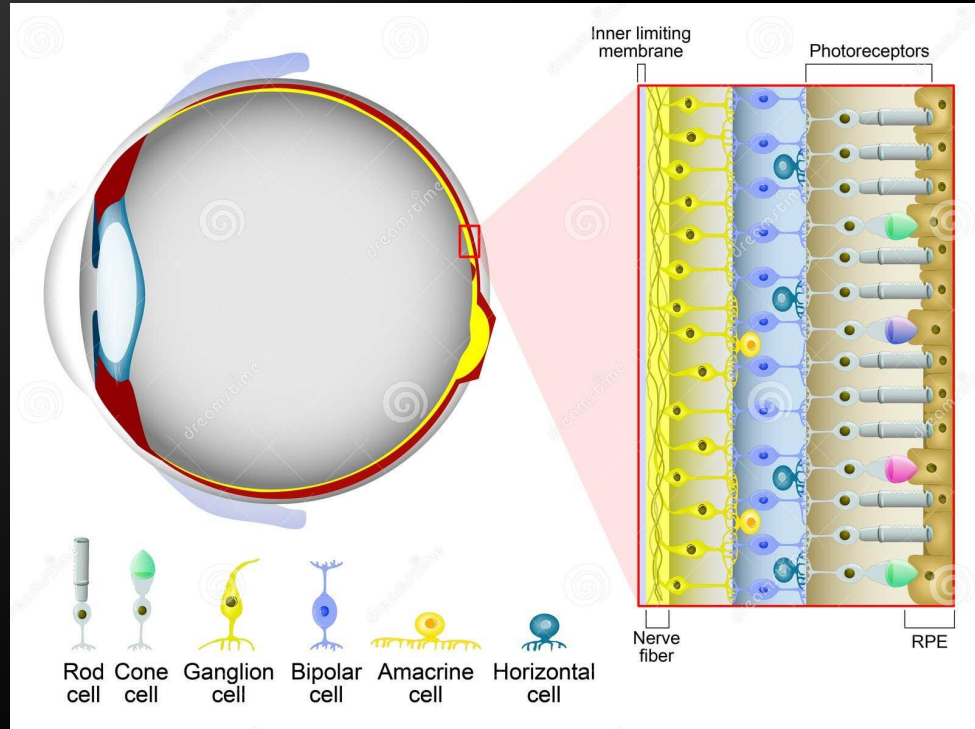


# L'occhio

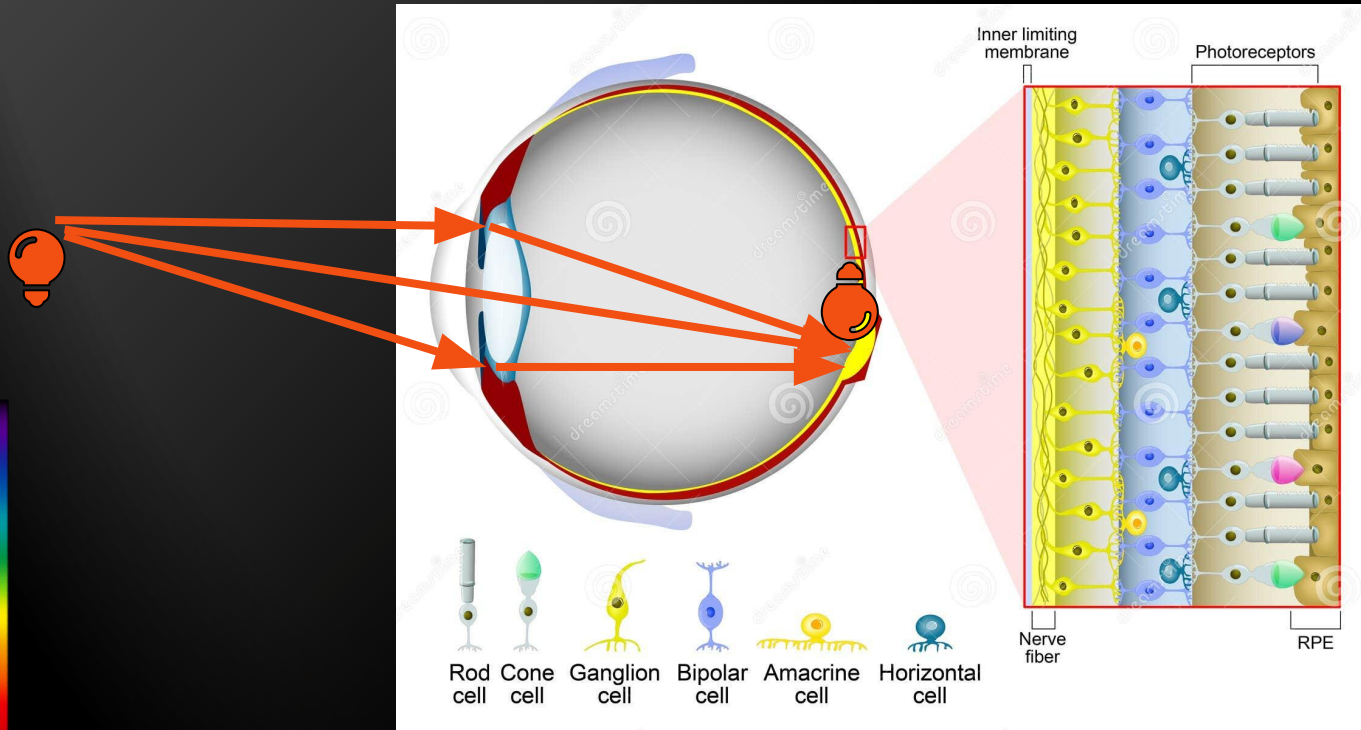
Il sensore che ci permette di captare la luce



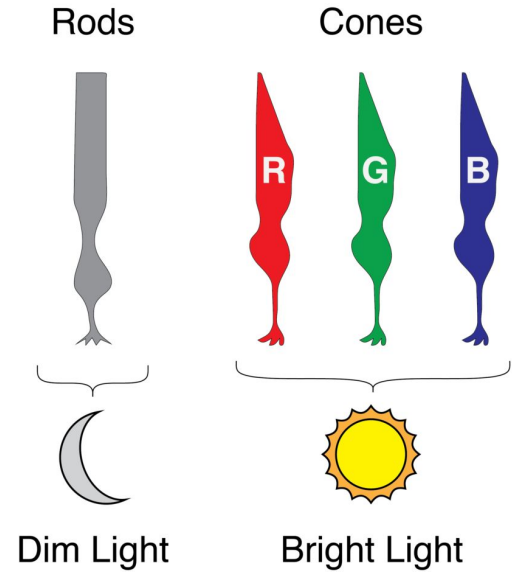
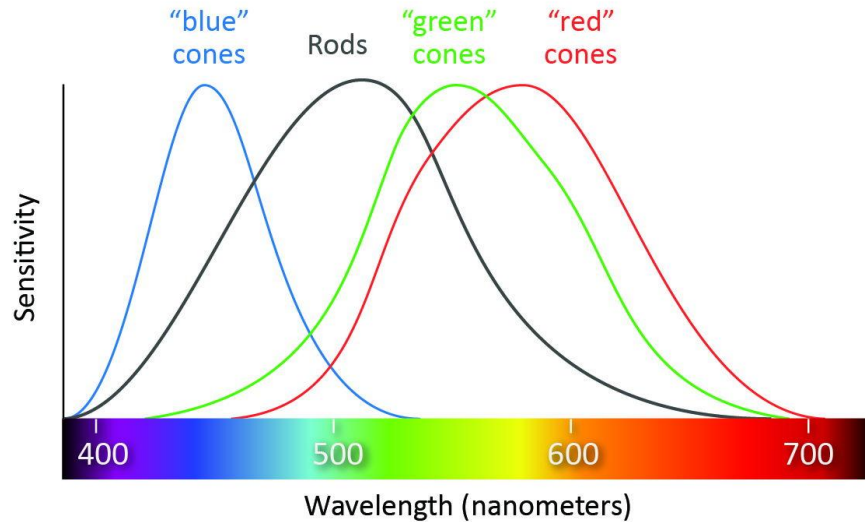
# Come funziona l'occhio



# Come funziona l'occhio

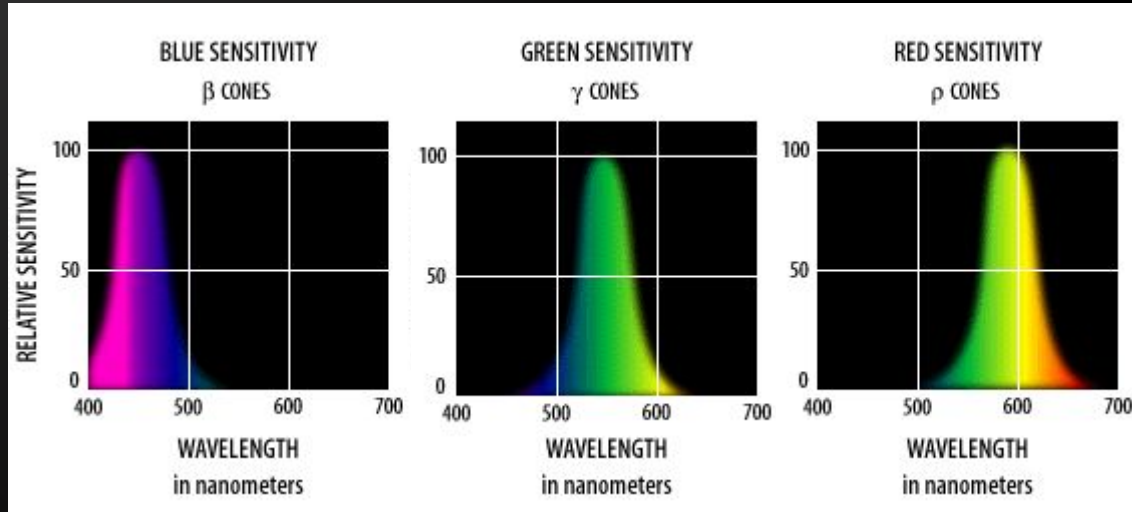


# Come funziona l'occhio



# Come funziona l'occhio

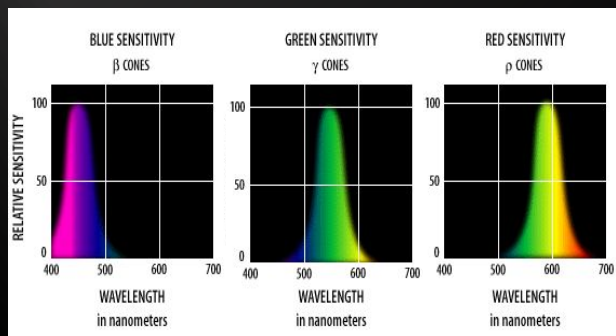
Ogni tipo di cono viene stimolato da una certa  $\lambda$



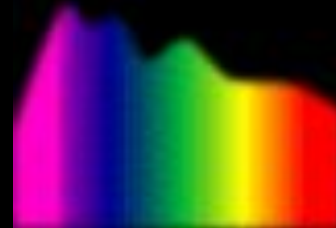


# Come funziona l'occhio

Ogni tipo di cono viene stimolato da una certa  $\lambda$



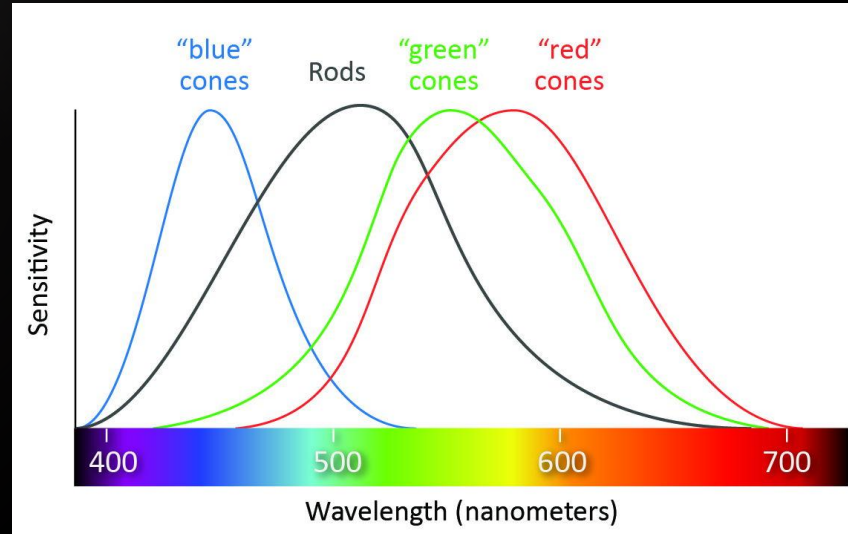
Si ok e quindi ?  
A te cosa cambia se ci  
sono 3 cono proprio  
su quei colori invece  
che un UNICO CONO  
CHE LI LEGGE TUTTI ?



# Come funziona l'occhio

## Si può verificare il fenomeno del Color Matching

- Quando guardiamo della luce **verde** si *accende* il cono relativo al verde;
- Quando guardiamo della luce **rossa** si *accende* il cono relativo al rosso;
- Quando guardiamo della luce **blu** si *accende* il cono relativo al blu;





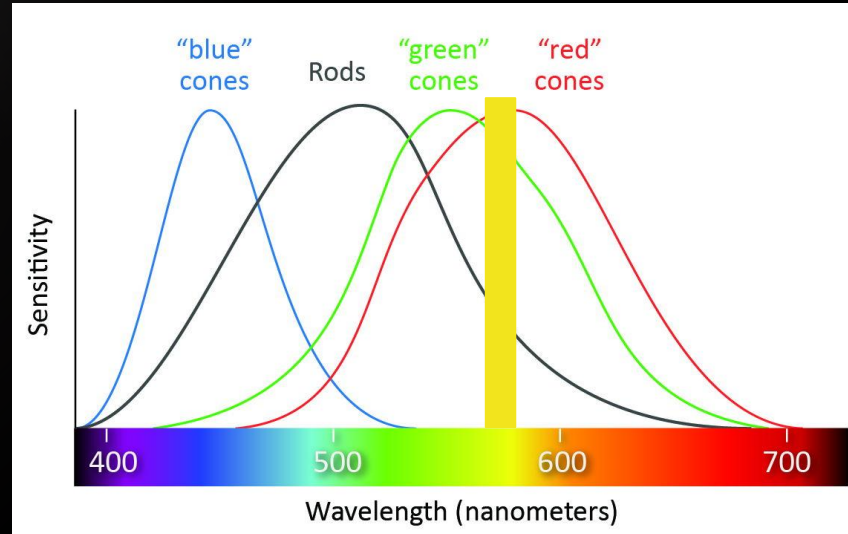
# Come funziona l'occhio

## Si può verificare il fenomeno del Color Matching

- Quando guardiamo della luce **gialla** ?

In questo caso si accenderanno due coni diversi:

- Il cono **verde**
- Il cono **rosso**



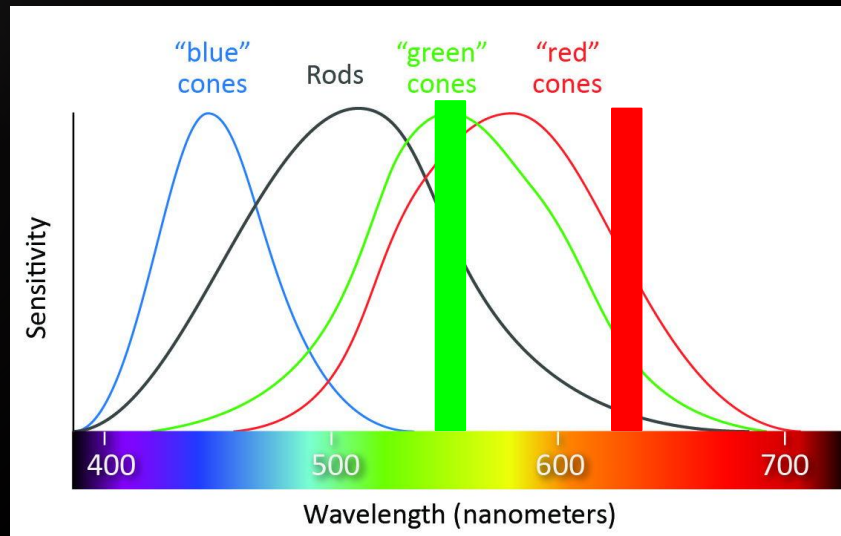
# Come funziona l'occhio

## Si può verificare il fenomeno del Color Matching

- Quando guardiamo CONTEMPORANEAMENTE una luce **verde** ed una luce **rossa** ?

In questo caso si accenderanno due coni diversi:

- Il cono **verde**
- Il cono **rosso**



# Come funziona l'occhio

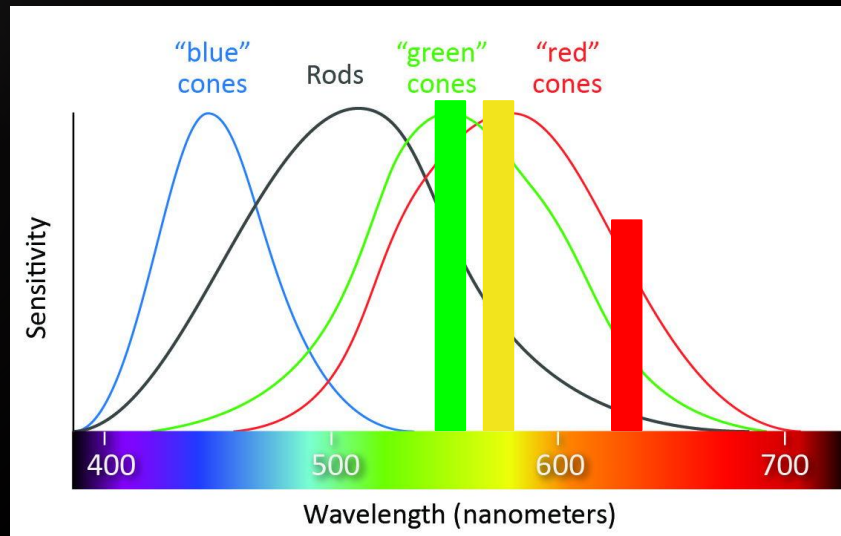
## Si può verificare il fenomeno del Color Matching

- Quando guardiamo CONTEMPORANEAMENTE una luce **verde** ed una luce **rossa** ?

In questo caso si accenderanno due coni diversi:

- Il cono **verde**
- Il cono **rosso**

Quindi è come se guardassimo della luce **gialla**






# Quindi per capire il colore ...

## La luce

Cioè capire **COSA** e  
**COME** arriva ai nostri  
occhi quando guardiamo.

## L'occhio e il cervello

Cioè come noi  
**RACCOGLIAMO**  
ed **ELABORIAMO**  
la luce.





# Quindi per capire il colore ...



## La luce

Cioè capire **COSA** e  
**COME** arriva ai nostri  
occhi quando guardiamo.



## L'occhio e il cervello

Cioè come noi  
**RACCOGLIAMO**  
ed **ELABORIAMO**  
la luce.





# Quindi per capire il colore ...

**La luce**



**L'occhio e  
il cervello**

Cioè capire **COSA** e  
**COME** arriva ai nostri  
occhi quando guardiamo.

Cioè come noi  
**RACCOGLIAMO**  
ed **ELABORIAMO**  
la luce.



# Come può arrivare la luce al nostro occhio ?

- 1) **Puó arrivare direttamente da una o piú sorgenti luminose**

**Sorgenti  
luminose**

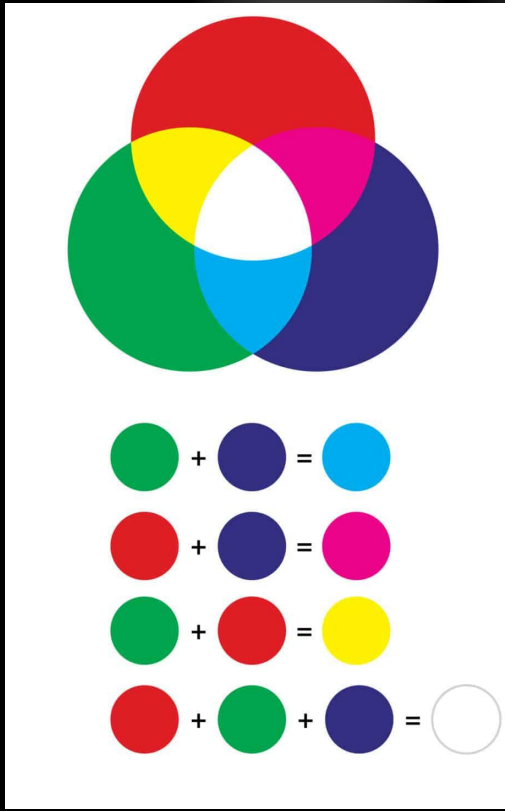


**Occhio**



In questo caso il colore percepito è dato dalla SOMMA degli stimoli dati dalle sorgenti.

Per comporre il colore totale si usa la SINTESI ADDITIVA



# La sintesi ADDITIVA dei colori



# La sintesi ADDITIVA dei colori





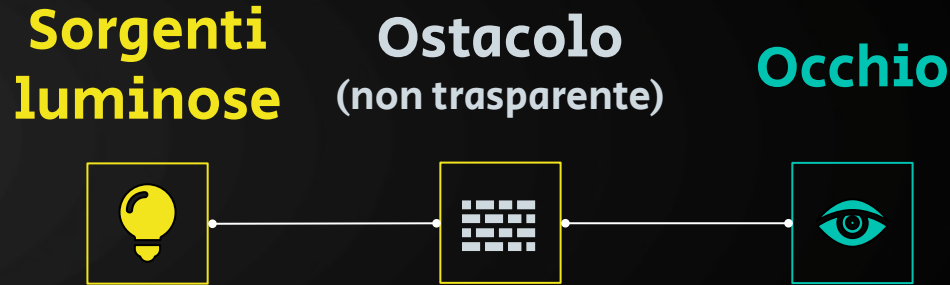
# La sintesi ADDITIVA dei colori

# La sintesi ADDITIVA dei colori



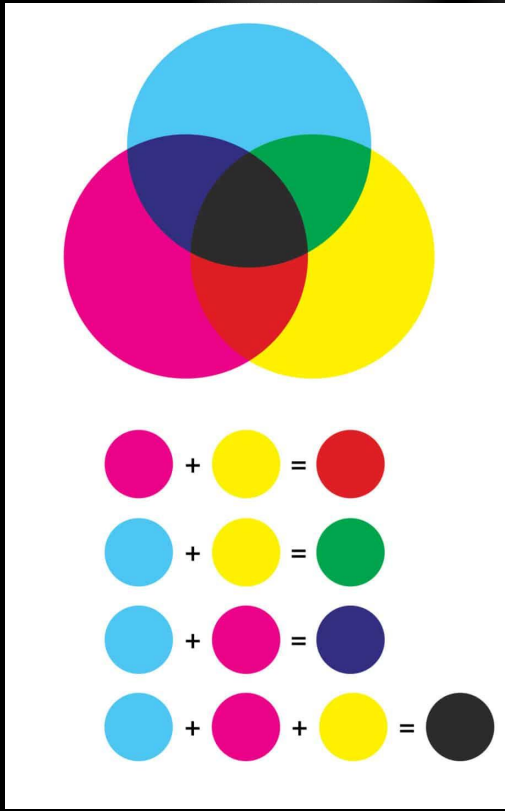
# Come può arrivare la luce al nostro occhio ?

## 2) Può incontrare ostacoli durante il tragitto



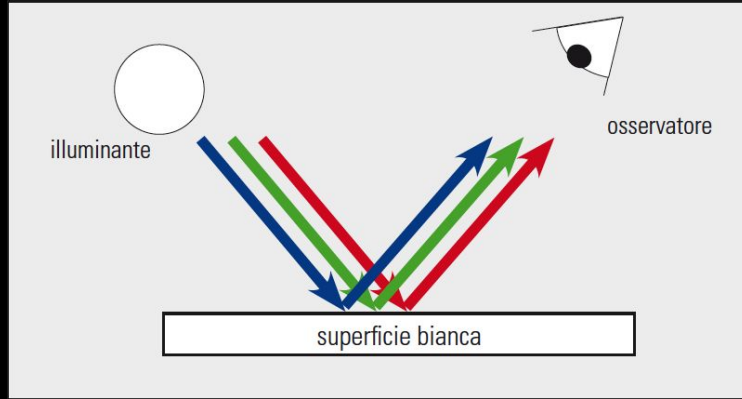
In questo caso dalle sorgenti devo SOTTRARRE i colori che vengono ASSORBITI dall'ostacolo.  
Al mio occhio arriveranno solo i colori che “avanzano”.

Per comporre il colore totale si usa la SINTESI SOTTRATTIVA



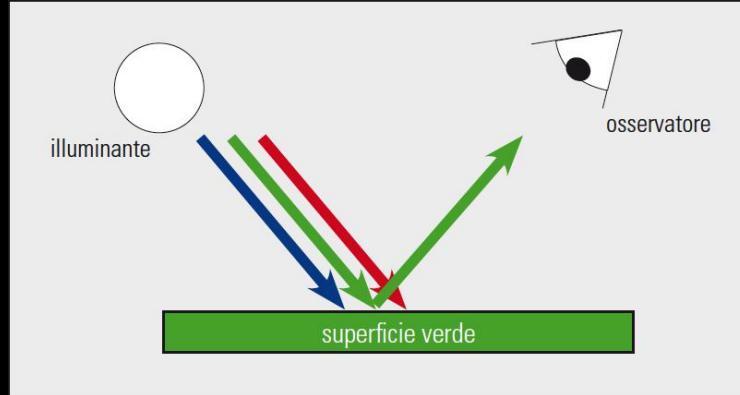
# La sintesi SOTTRATTIVA dei colori

Facciamo un esempio con un foglio di carta



# La sintesi SOTTRATTIVA dei colori

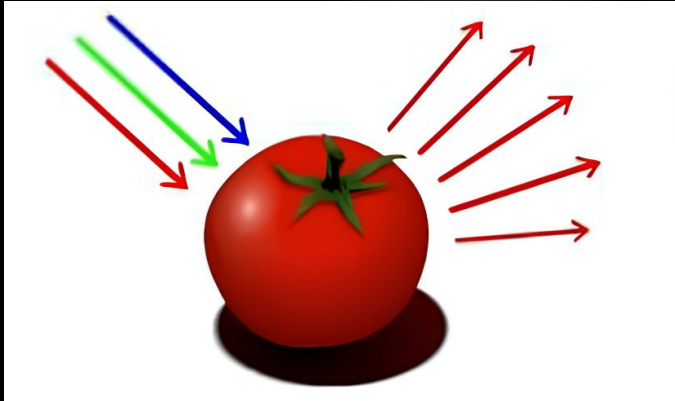
Facciamo un esempio con un foglio di carta



# La sintesi SOTTRATTIVA dei colori



Si possono fare altri esempi



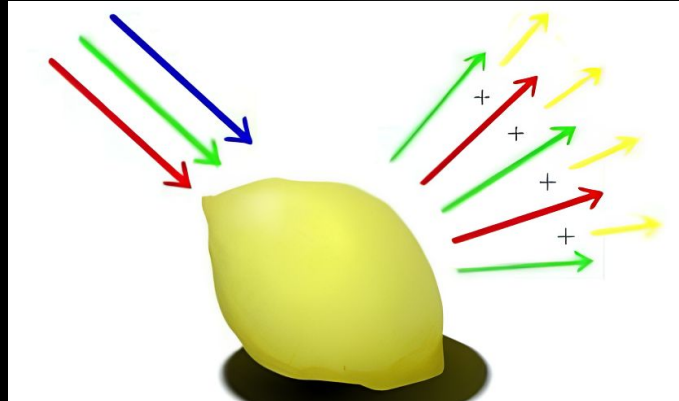
# La sintesi SOTTRATTIVA dei colori







Si possono fare altri esempi



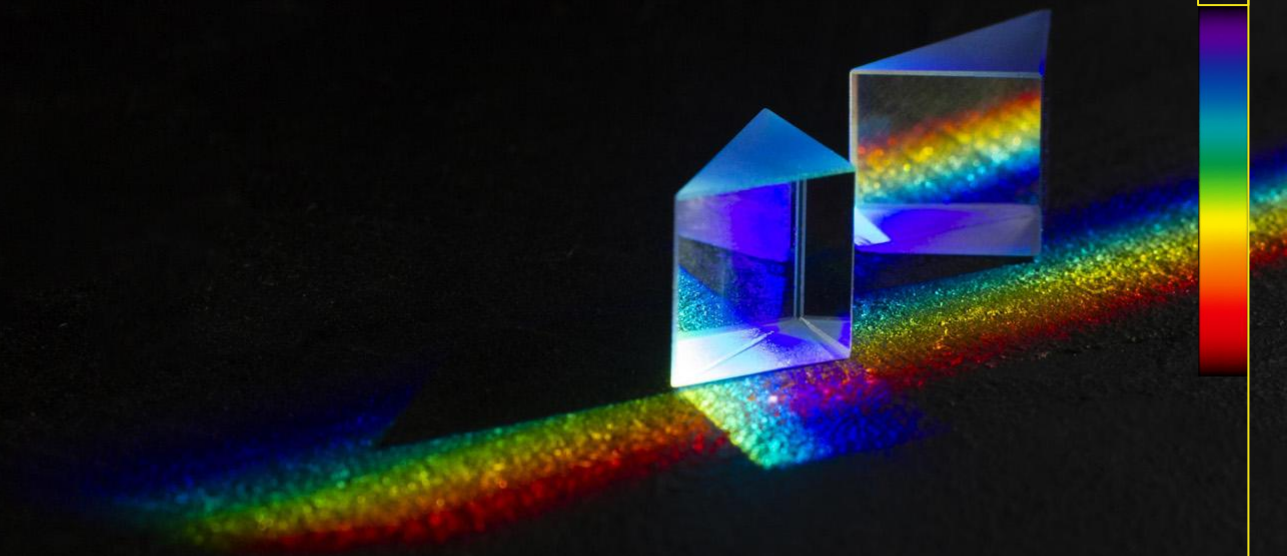
# La sintesi SOTTRATTIVA dei colori

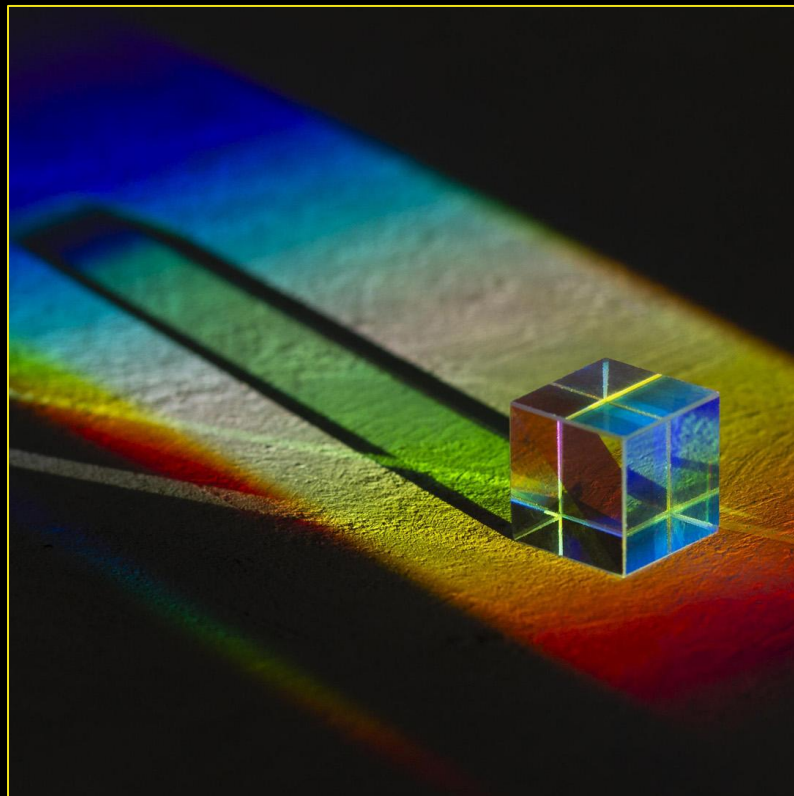


# Come può arrivare la luce al nostro occhio ?

**Nella realtà delle cose questi due modi si combinano...  
dando luogo a quello che noi vediamo del mondo**







# Fonti principali

## Documenti

- <https://learn.genetics.utah.edu/content/senses/vision/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum)
- LE FORZE DI LEGAME TRA GLI ATOMI: UNA FANTASIA SENILE DI GALILEO ANDREA FROVA. Dipartimento di Fisica, Università di Roma 'La Sapienza'

## Simulazioni

- <https://www.geogebra.org/m/SjGyuKNs>
- [https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_all.html)
- <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Light-and-Color/RGB-Color-Addition/RGB-Color-Addition-Interactive>