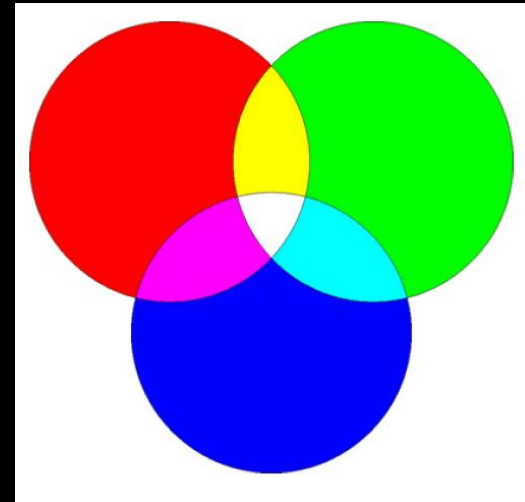
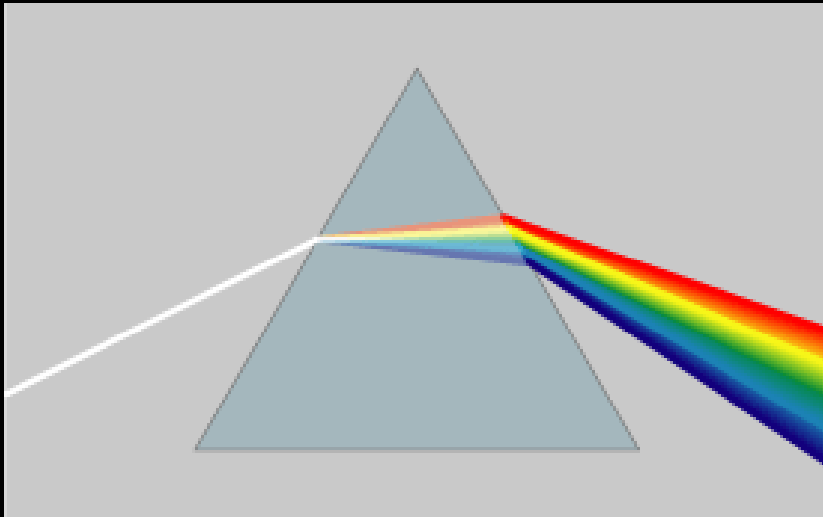


# Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico



## **Sommario**

**Prima parte** : ottica geometrica. Costruzioni con GeoGebra e osservazioni sperimentali

**Seconda parte**: occhio e colori. Osservazioni sperimentali

### **Riferimenti:**

- Feynmann: lezioni di fisica
- Diario di lezioni di ottica, Paola Falsini, classe seconda, Liceo Scientifico E. Agnoletti, Sesto Fiorentino
- Colori per dipingere, colori per vedere, Eleonora Aquilini, seminario “La chimica per l’arte”, 15/3/2013, Liceo Artistico Russoli, Pisa.
- Percorso sull’ottica e storia della luce, Tania Pascucci, liceo scientifico Enriques, Livorno
- Elementi di colorimetria, E.F. Orsega, Università Ca’ Foscari, Venezia

## Contesto

Classe quinta del liceo artistico, progetto Michelangelo  
(vecchio ordinamento)

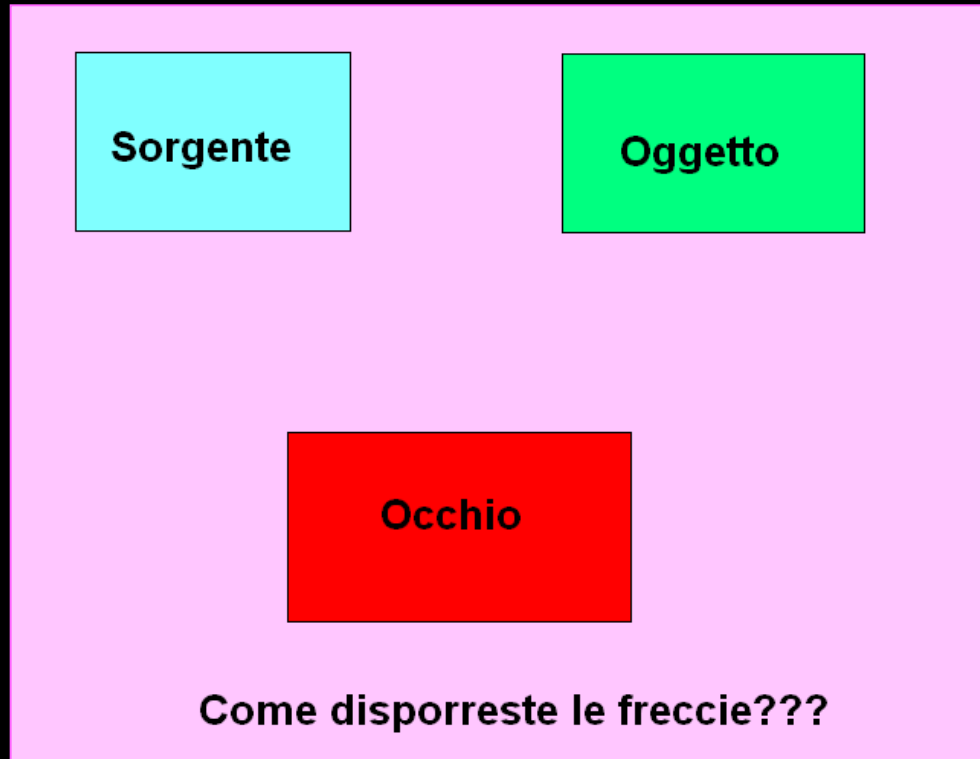
La fisica è prevista per due moduli orari di 50 minuti  
alla settimana nel triennio

Tempi di svolgimento: tre mesi nel primo quadrimestre

# PRIMA PARTE

Propagazione rettilinea.

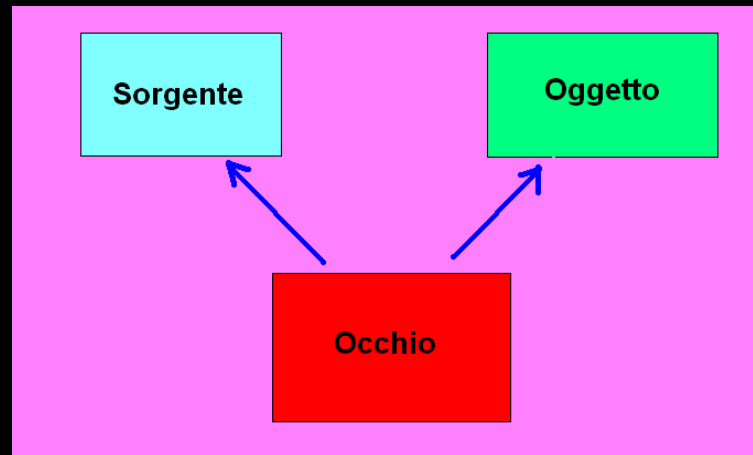
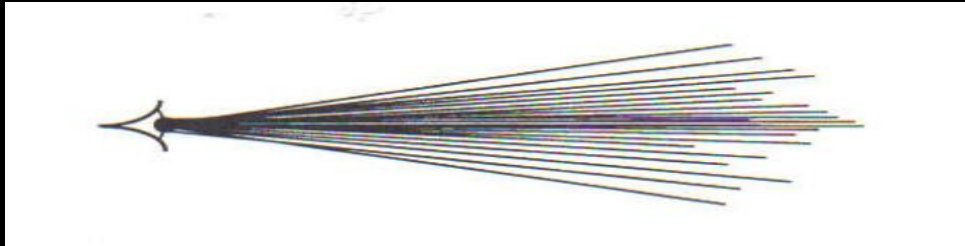
Meccanismo della visione.



Dall'occhio esce o entra qualcosa?

# CENNI DI STORIA DELLA LUCE

**Teoria emissionistica**: alcuni raggi emessi dall'occhio (detti raggi visuali), raggiungevano l'oggetto e lo catturavano (Euclide).

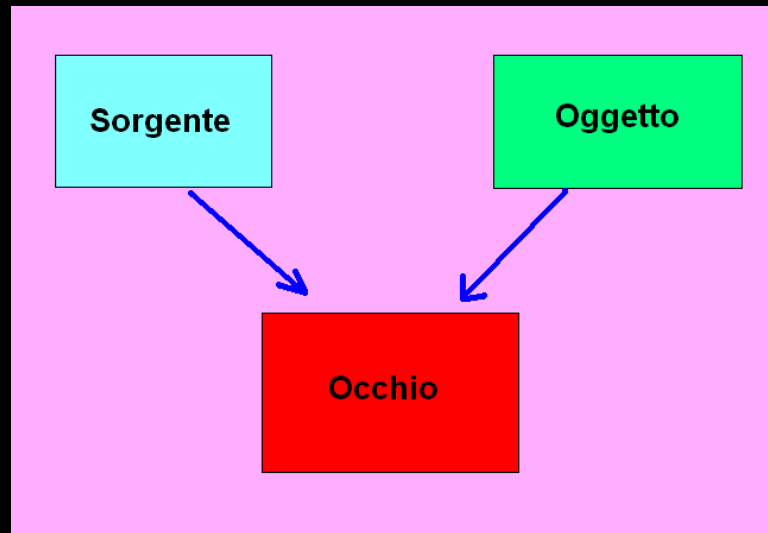


**Teoria atomista-imissionistica**: "idoli" o "simulacri" si staccano dagli oggetti ed entrano negli occhi (Democrito e gli atomisti).

Il "quid" era una specie di "scorza" che, staccandosi dal corpo e riducendosi progressivamente, si propaga in tutte le direzioni, a grandissima velocità, fino a penetrare la pupilla.

Ciò che però risultava incomprensibile era la "materia" che costituiva il "quid".

Lucrezio (nel libro IV del De Rerum Natura), parla dei simulacri.



# **Intuitivamente siamo portati a pensare ad un ruolo attivo dell'occhio**

**“Ti lancio un’occhiata”,**

**“Ti fulmino con lo sguardo”,**

**“Avere uno sguardo penetrante”.**

**“Catturare un’immagine”,**

**“Ti guardo”**

**Alhazen** (XI secolo), un esponente della scuola araba, si rese conto che, osservando il sole e poi chiudendo gli occhi, rimaneva il disco luminoso impresso per molto tempo.

L'occhio doveva quindi essere **impressionato da un agente esterno**

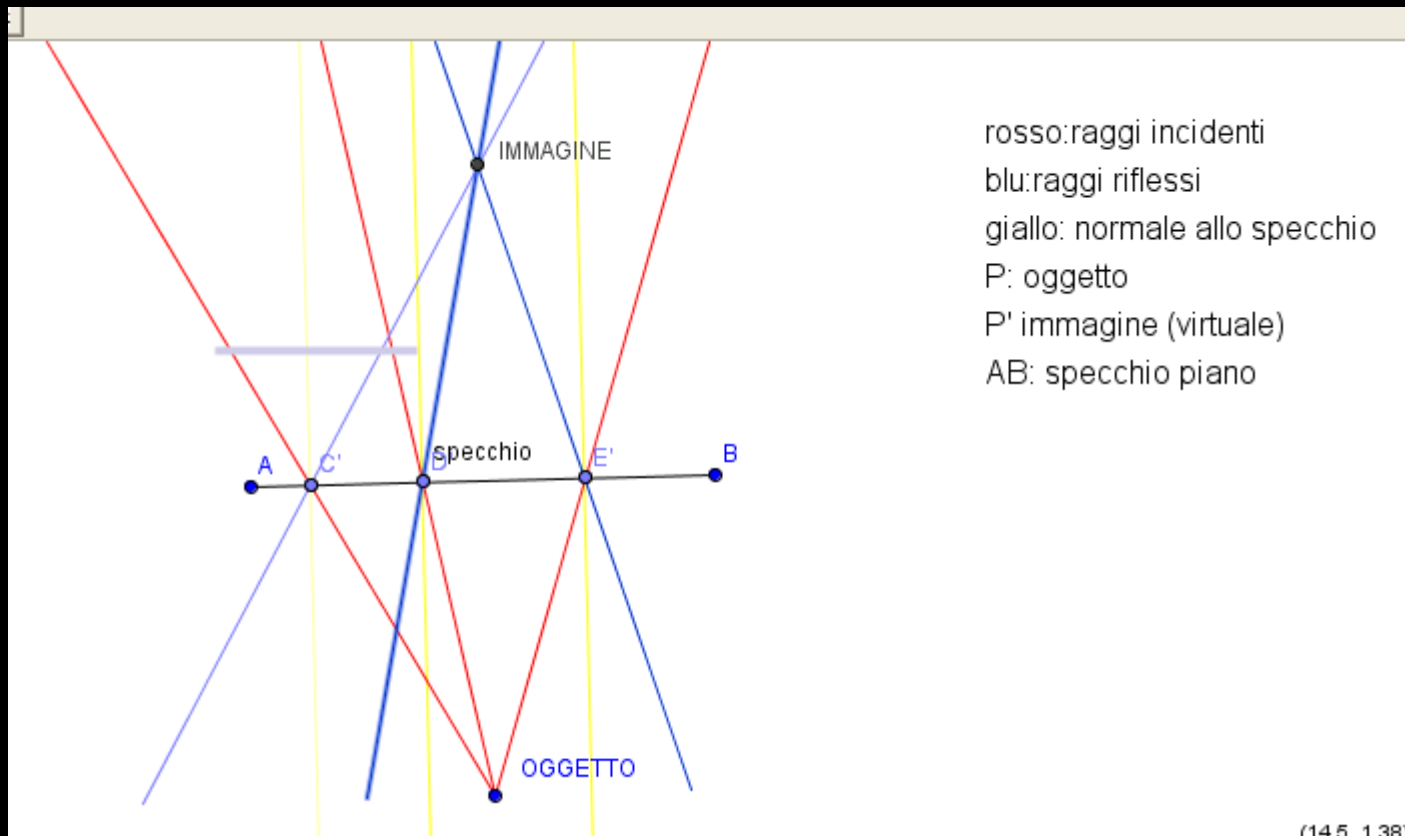
E' di quest'ultimo l'idea che ogni punto emette infiniti raggi luminosi, ma solo il cono di raggi che convergono nell'occhio determinano la visione



# COSTRUZIONI CON IL SOFTWARE GEOGEBRA

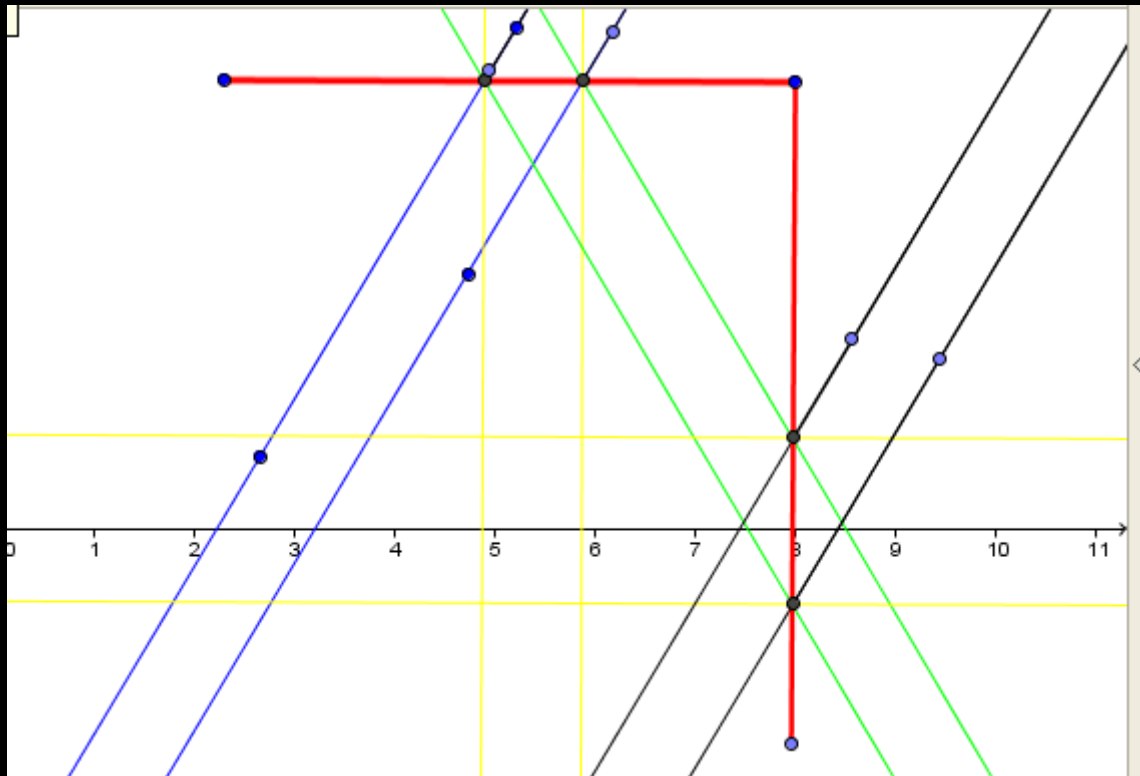
open source di matematica dinamica

- ♣ Immagine creata da uno specchio piano:  
*i prolungamenti dei raggi riflessi s'incontrano tutti in un punto di là dallo specchio*



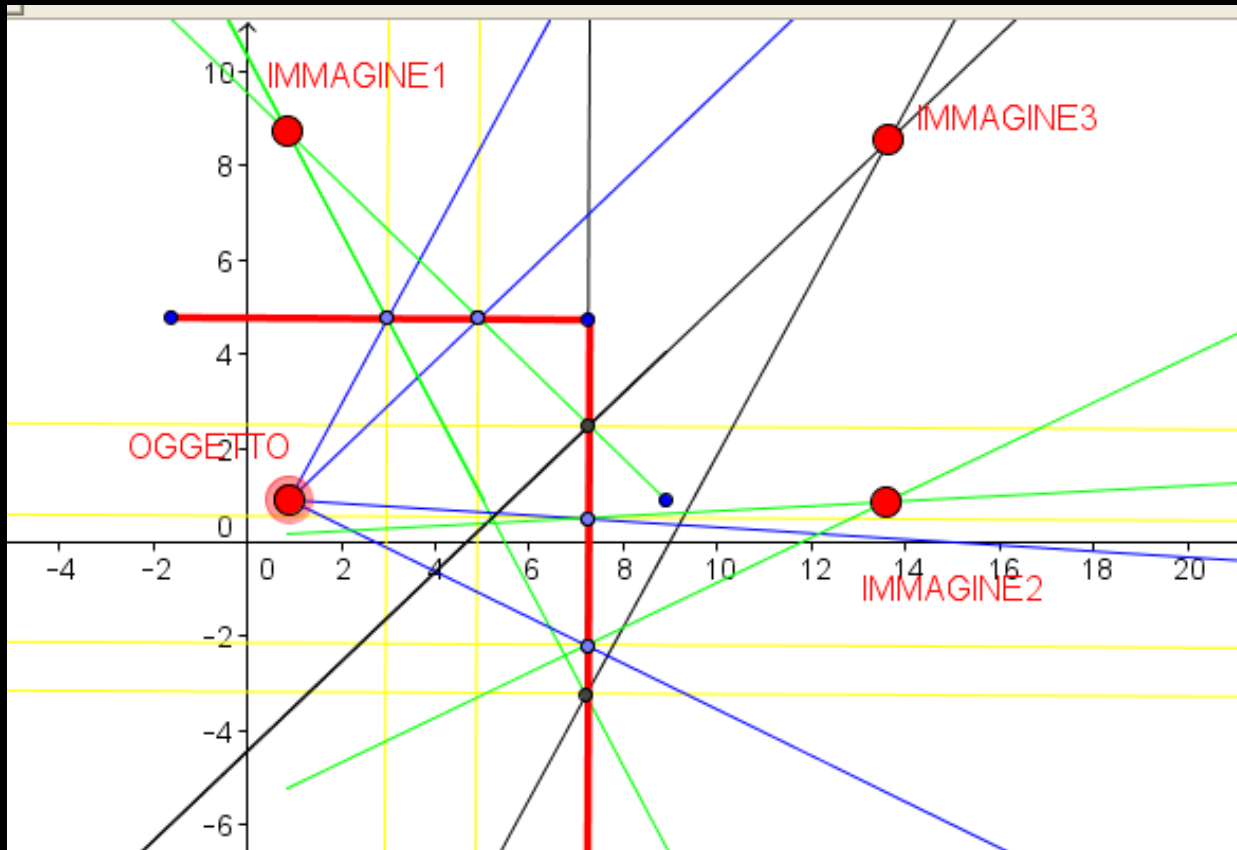
# COSTRUZIONI CON GEOGEBRA

- ♣ Costruzione dei raggi di riflessi, da due specchi perpendicolari, di alcuni raggi paralleli.



# COSTRUZIONI CON GEOGEBRA

- ♣ Costruzione delle tre immagini di un punto sorgente da parte di due specchi piani perpendicolari tra di loro.



## Determinazione delle immagini prodotte da uno stesso oggetto davanti a due specchi incidenti con angoli diversi.

Nel caso in cui l'angolo  $\alpha$  tra i due specchi è sottomultiplo di  $360^\circ$ , l'oggetto e l'osservatore sono sulla bisettrice di  $\alpha$ ,

$$n^\circ \text{ immagini} = 360^\circ / \alpha - 1$$

Quindi si ottiene:

$\alpha = 180^\circ \rightarrow 1$  immagine,  $\alpha = 120^\circ \rightarrow 2$  immagini,  $120^\circ \rightarrow 2$ ,  $\alpha = 90^\circ \rightarrow 3$ ,  $\alpha = 60^\circ \rightarrow 5$



# COSTRUZIONI CON GEOGEBRA

## Specchi sferici:

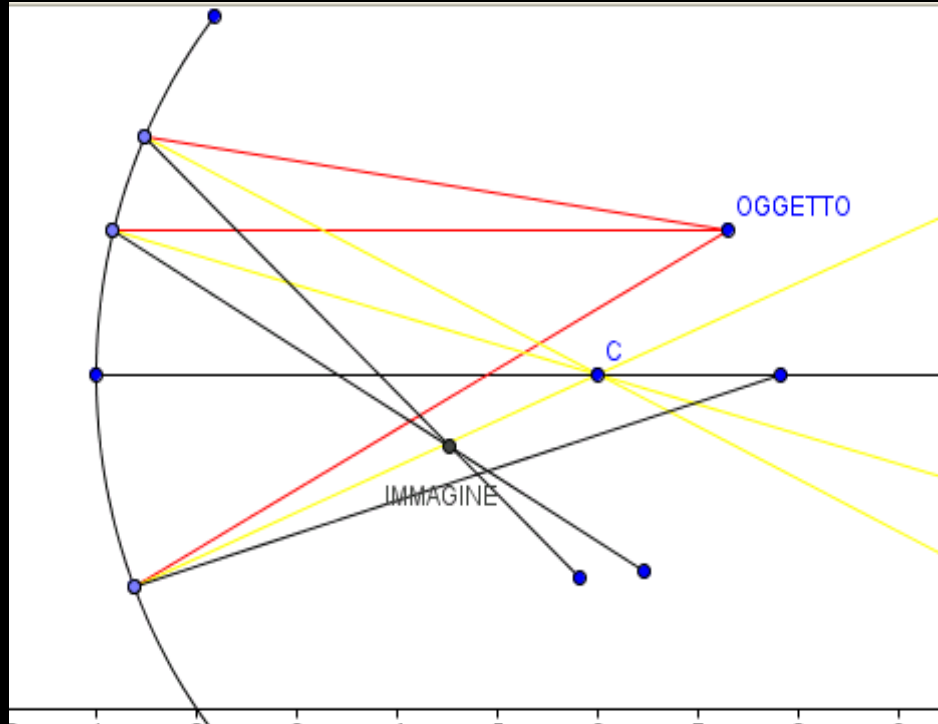
♣ Immagine di raggi incidenti paralleli all'asse ottico  
(fuoco)=  $R/2$

Si ripete la costruzione anche con raggi paralleli ma non all'asse ottico.

♣ Immagini di un oggetto in differenti posizioni rispetto al fuoco e osservazione delle corrispondenti immagini riflesse, costruzione della tabella delle caratteristiche dell'immagine riflessa rispetto alla posizione dell'oggetto.

In quali condizioni i raggi riflessi si incontrano tutti in un punto? Come possiamo ottenere che ci sia un unico punto d'incontro?

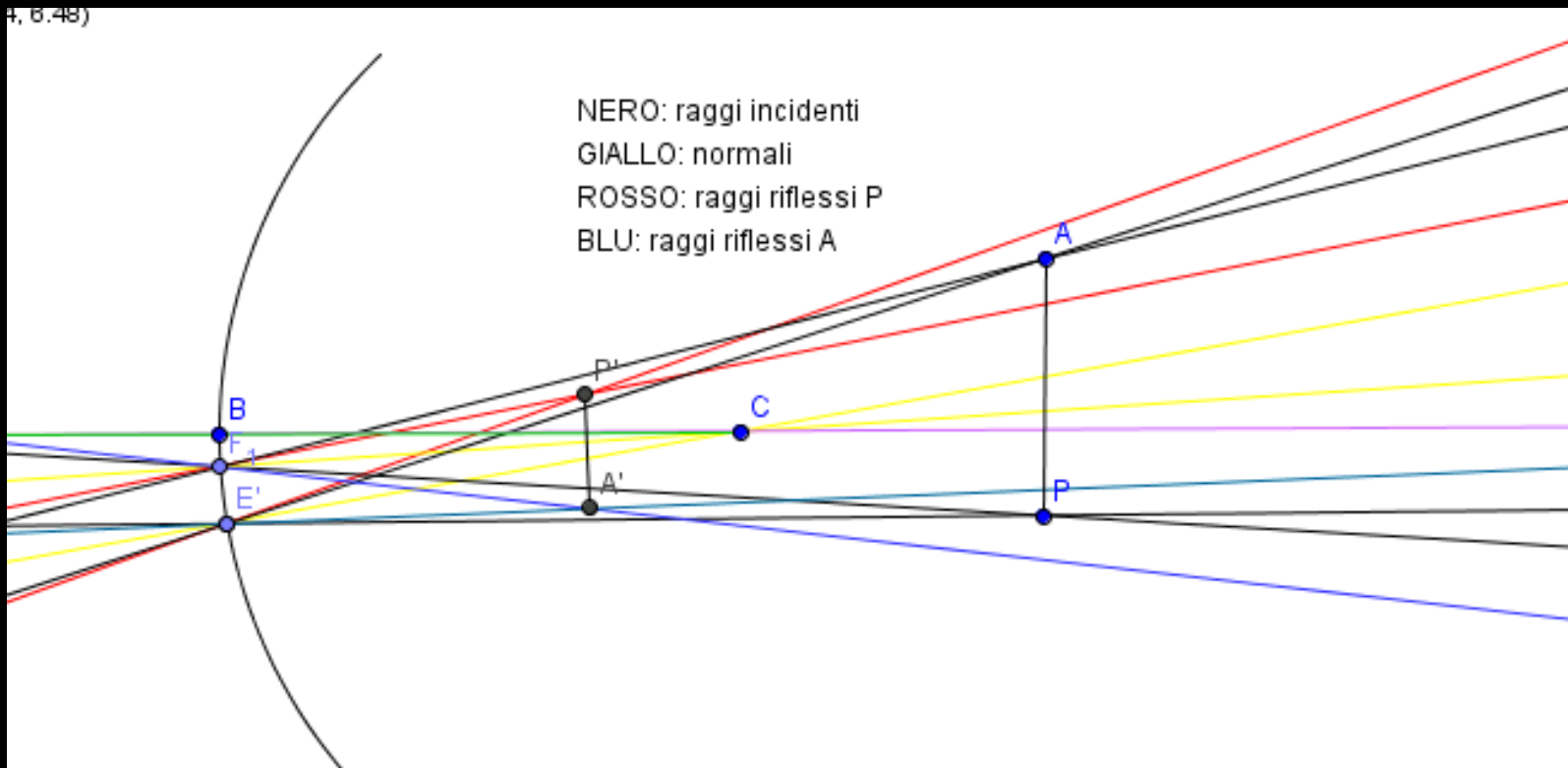
# COSTRUZIONI CON GEOGEBRA



In quali condizioni i raggi riflessi si incontrano tutti in un punto?  
Se i raggi non sono troppo angolati rispetto allo specchio ...

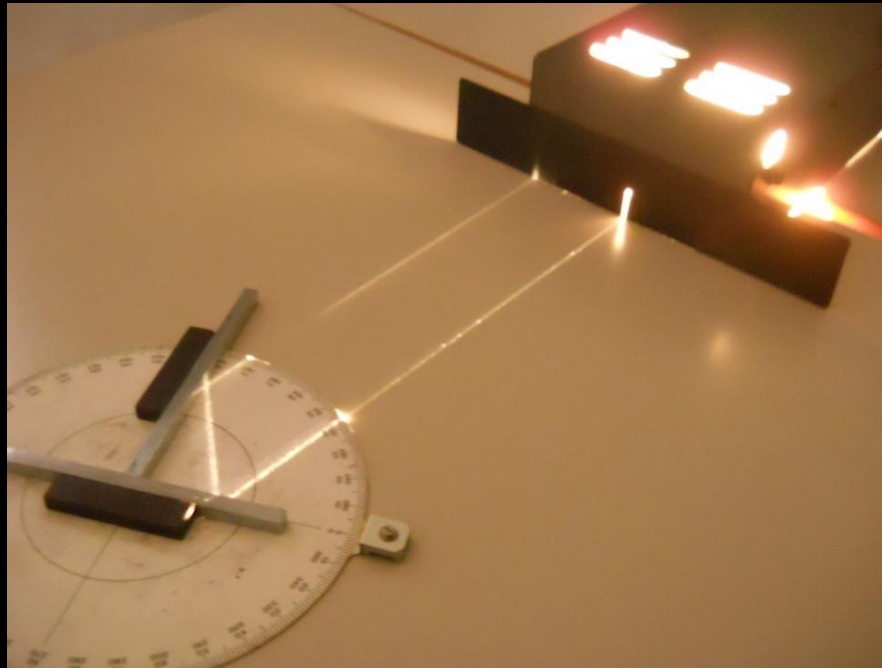
# COSTRUZIONI CON GEOGEBRA

- ♣ Immagini di un oggetto in differenti posizioni rispetto al fuoco e osservazione delle corrispondenti immagini riflesse, costruire tabella delle caratteristiche dell'immagine riflessa rispetto alla posizione dell'oggetto.



# ESPERIMENTI

- ♣ Riflessione su uno specchio piano
- ♣ Riflessione con specchi piani posti a  $90^\circ$  e riflessioni multiple su specchi paralleli.
- ♣ Fuoco di uno specchio concavo.





# RIFRAZIONE

## ESPERIMENTO

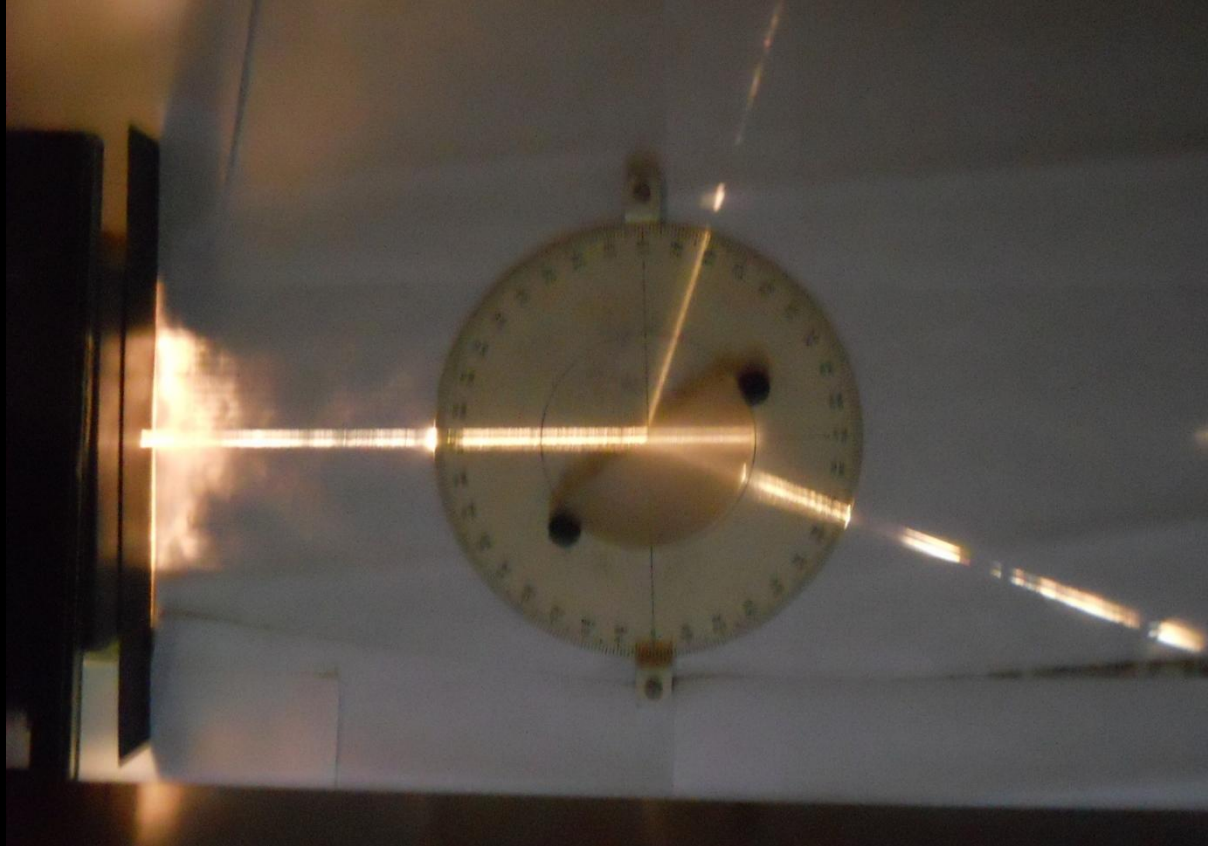
♣ si mette una moneta sul fondo di un recipiente non trasparente in modo che non sia visibile da una certa posizione fissata. Si chiede a un amico di versare acqua nel recipiente; raggiunto un certo livello la moneta sarà visibile.

## ESPERIMENTO:

- ♣ Rifrazione da un mezzo poco denso a un mezzo più denso (aria-plexiglas)
- ♣ Riflessione totale e angolo limite
- ♣ Deviazione e dispersione per rifrazione (raggio luminoso incidente su un prisma)

# RIFRAZIONE

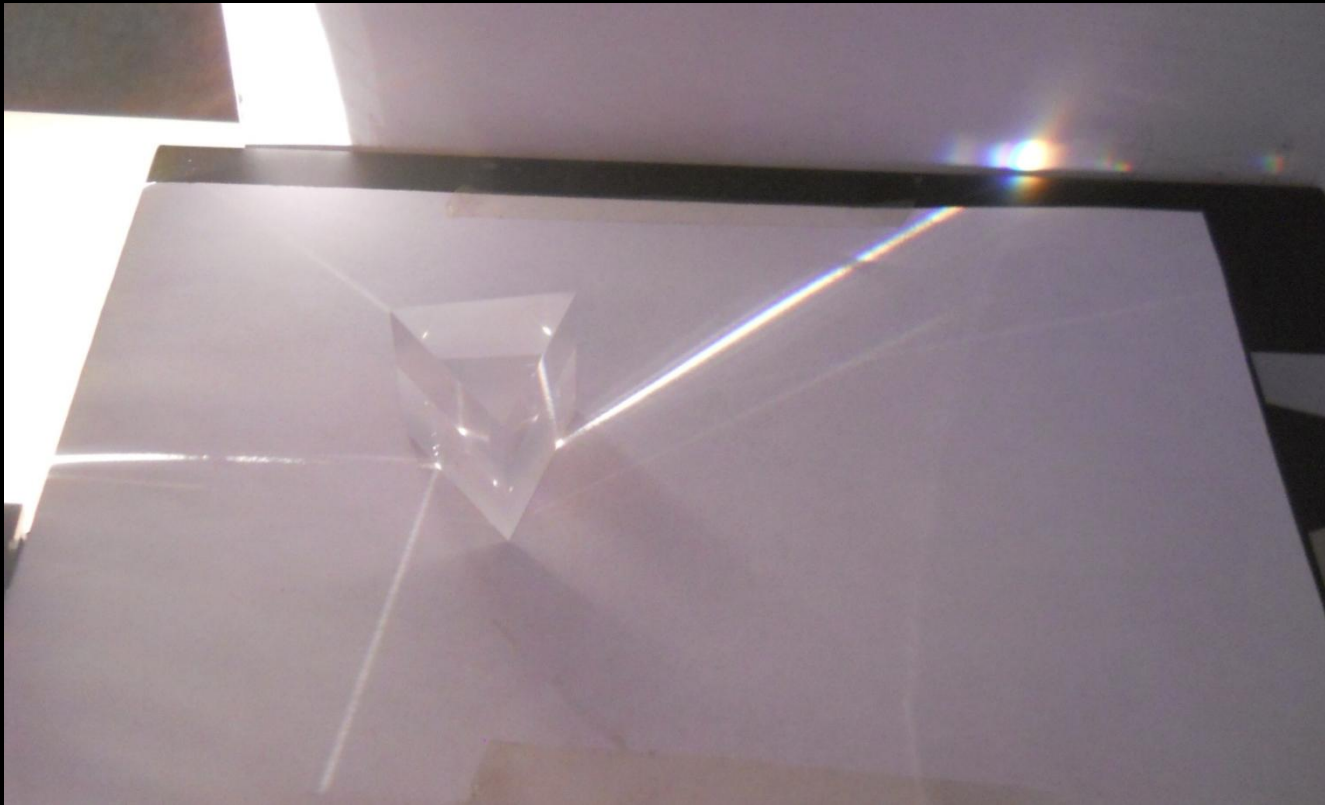
Rifrazione da un mezzo poco denso a un mezzo più denso  
(aria-plexiglas)



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014

# RIFRAZIONE

Deviazione e dispersione per rifrazione (raggio luminoso incidente su un prisma)



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014

# LENTI

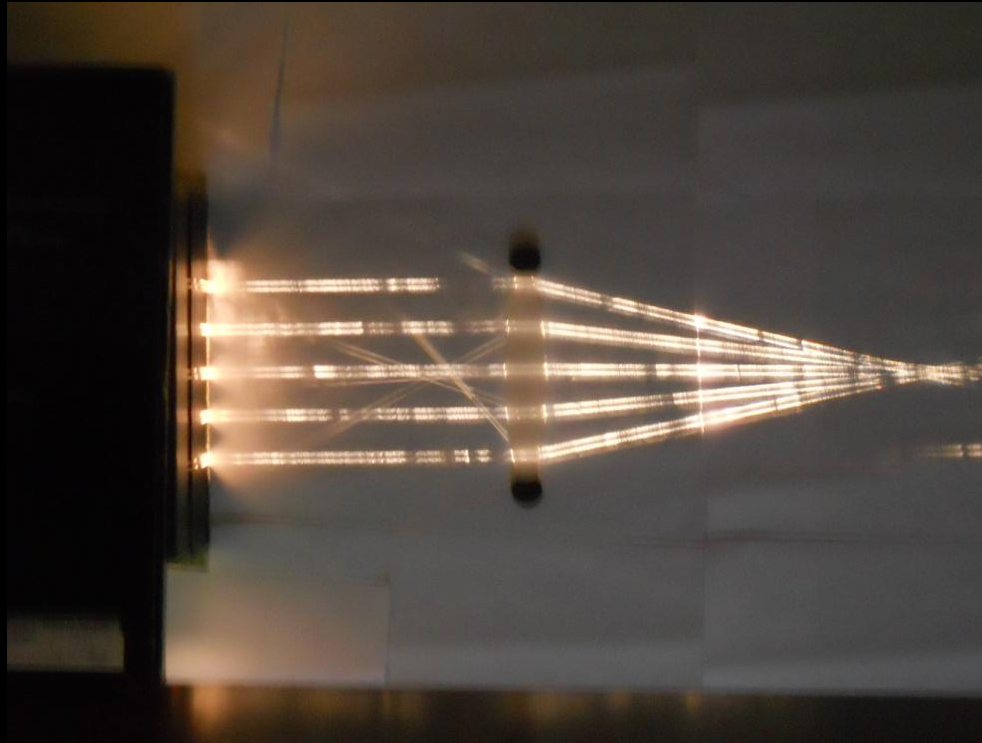
## ESPERIMENTI

- ♣ Osservazioni delle immagini prodotte da una lente convergente e divergente con il banco ottico
- ♣ Misura della distanza focale di una lente convergente con il banco ottico



# LENTI

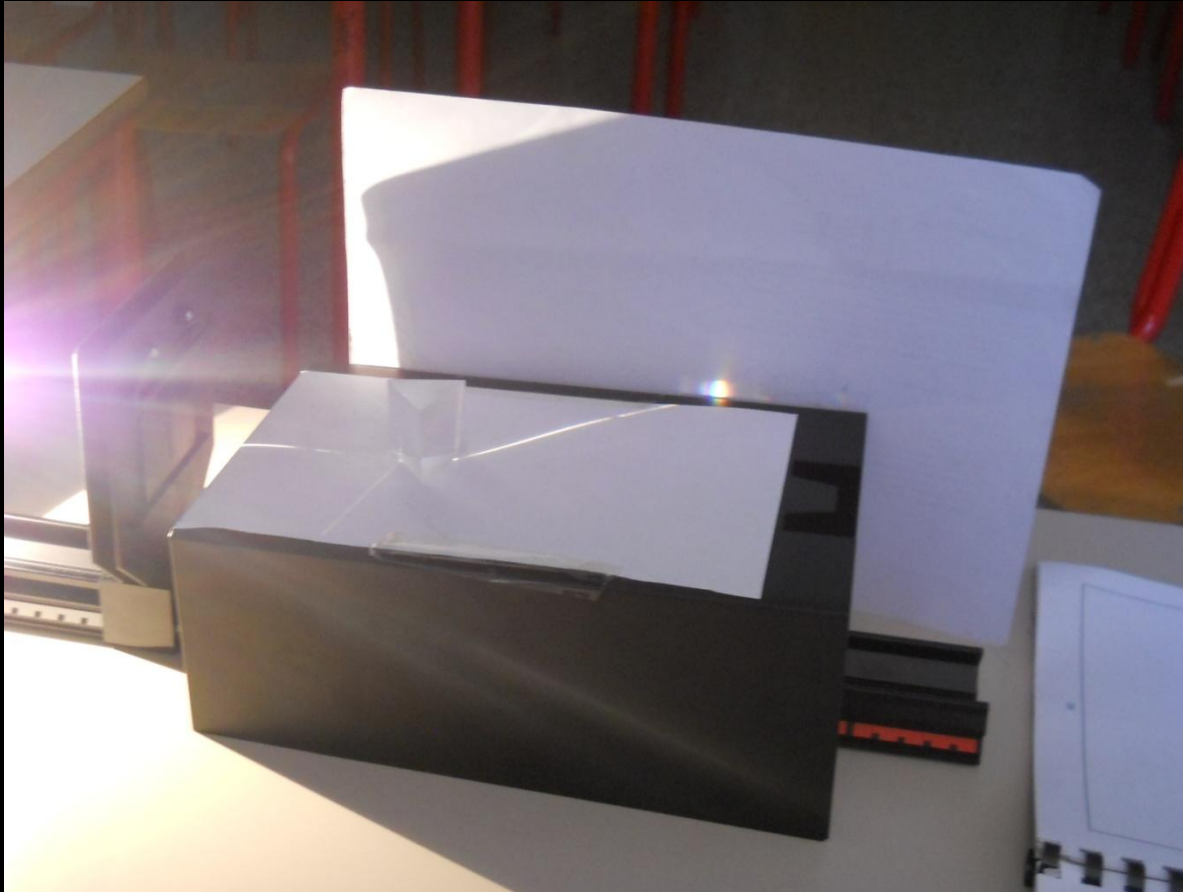
- ♣ Lente convergente: concentrazione di raggi paralleli
- ♣ Lente divergente: fuoco virtuale



# ESPERIMENTI CON IL PRISMA

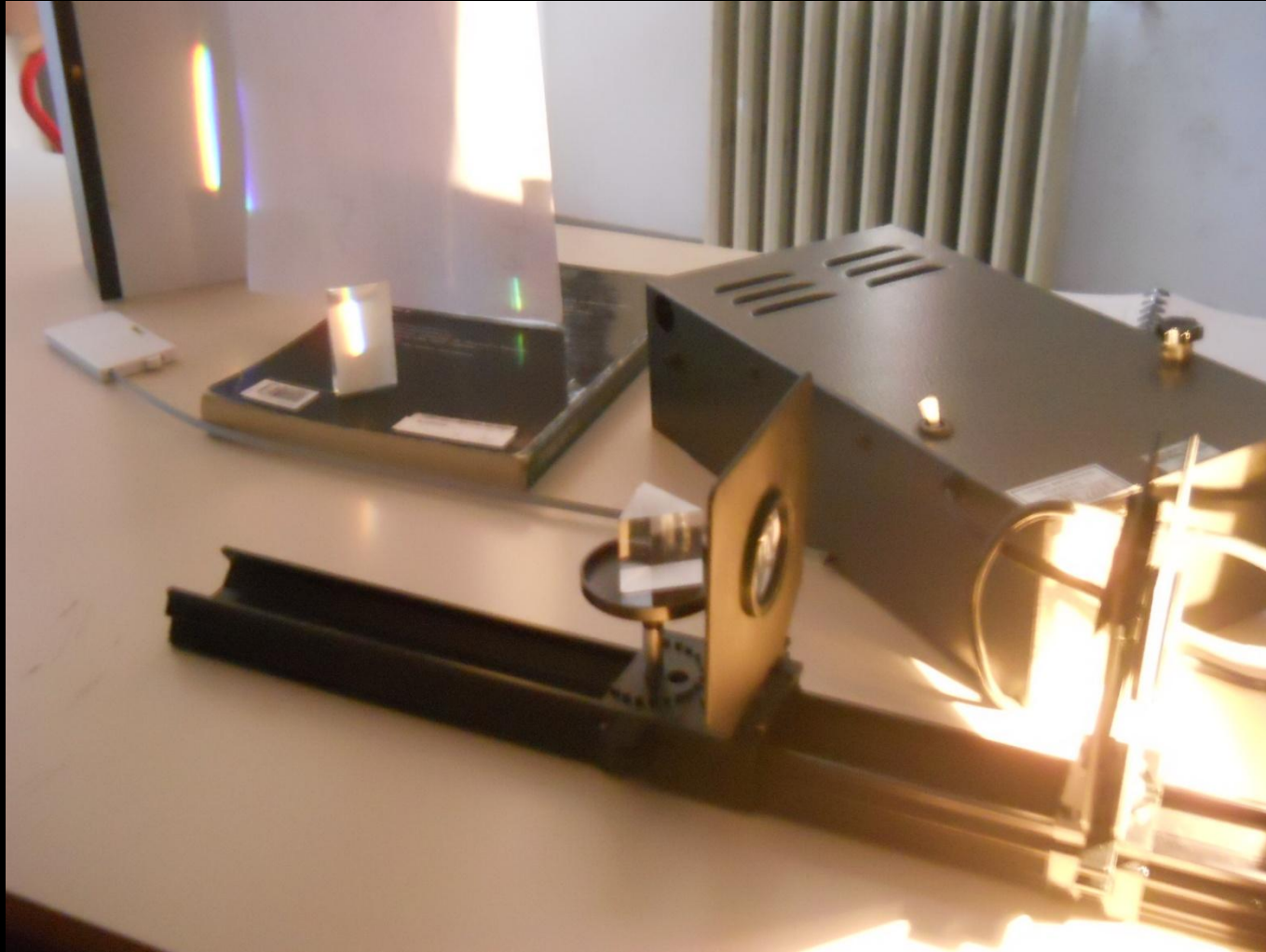
- ♣ Rifrazione e deflessione dei raggi luminosi.
- ♣ Dispersione della luce bianca e formazione dello spettro colorato
- ♣ Variazione dell'angolo deflessione del raggio luminoso con l'aumentare dell'angolo di incidenza nel prisma.
- ♣ Osservazione dell'angolo di deviazione minima in un prisma .
- ♣ Esperimento di Newton: impossibilità di scomporre ulteriormente i colori dello spettro.

# ESPERIMENTI CON IL PRISMA



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014

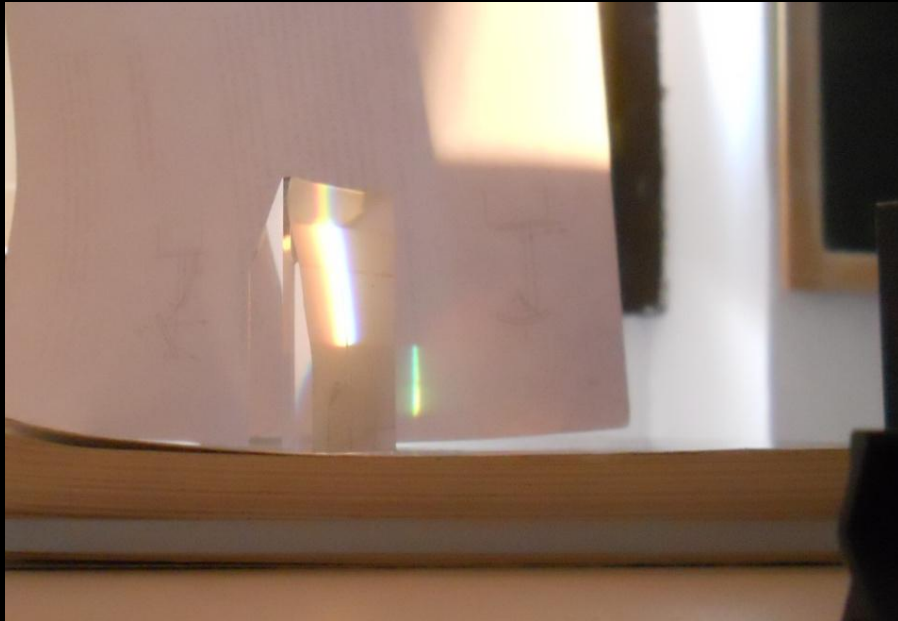
# ESPERIMENTO DI NEWTON



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014



# ESPERIMENTO DI NEWTON



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014

# SECONDA PARTE

- ♣ Teoria tricromatica
- ♣ Occhio umano e fotorecettori
- ♣ Sintesi additiva dei colori
- ♣ Sintesi sottrattiva
- ♣ I colori degli oggetti

# TEORIA TRICROMATICA

**Thomas Young** (1773 – 1829) per primo attribuì il colore alle modalità di percezione e non al mondo esterno.

La soluzione di Young fu rivoluzionaria in quanto affermava che il **tricromatismo è dovuto alla fisiologia del sistema visivo** oltre che alle diverse frequenze dei colori.

L'occhio percepisce 200 colori.

L'occhio dovrebbe disporre di almeno 200 tipi di fotorecettori.

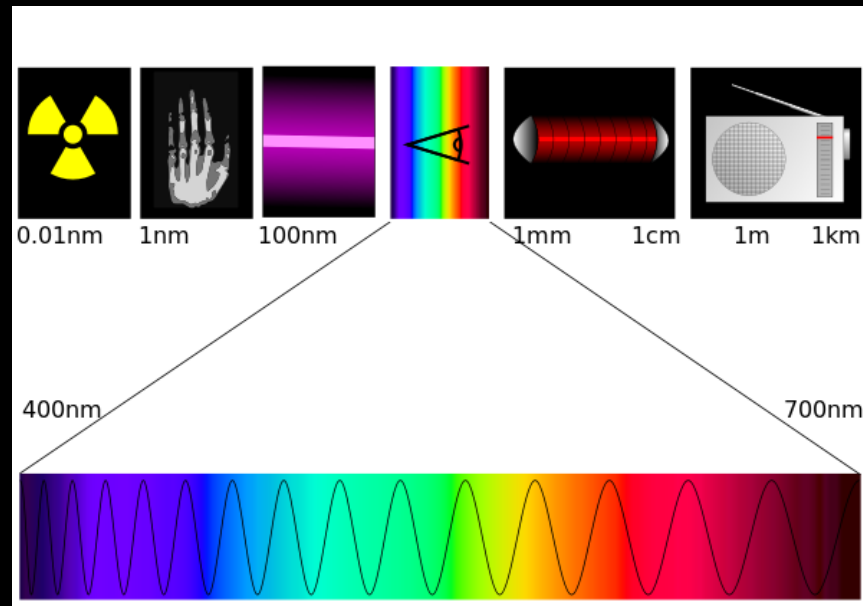
Young durante una seduta della Royal Society di Londra del 1801:

*“Diventa necessario ipotizzarne un numero limitato, per esempio, ai tre colori primari: rosso, giallo e blu”*

Le tesi di Young furono riprese da Hermann von Helmholtz.

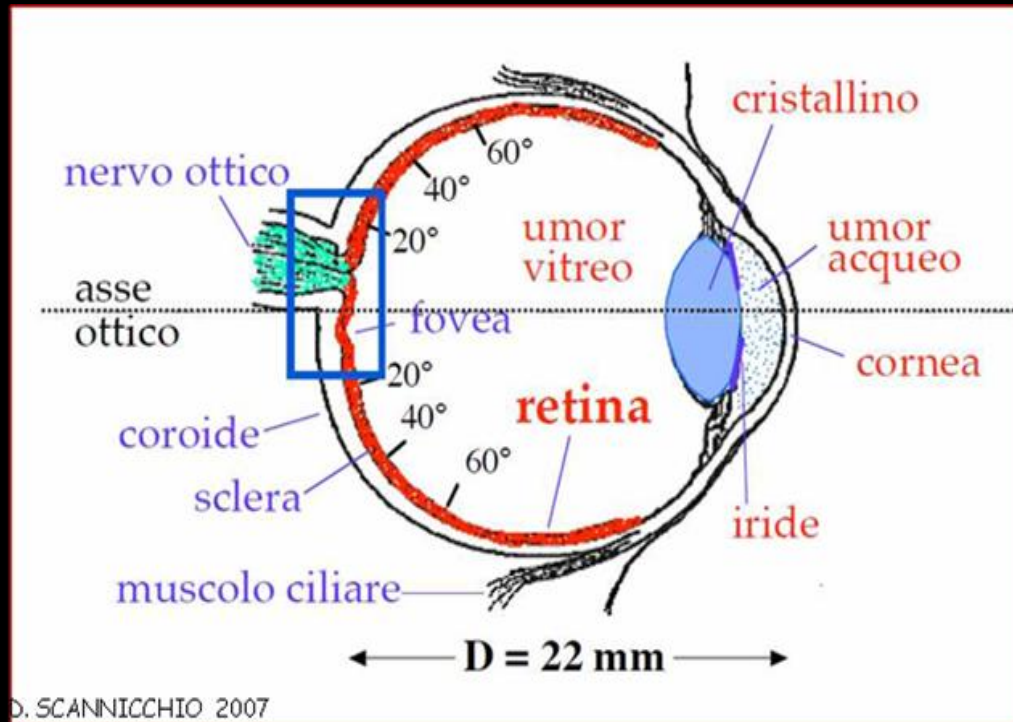
Si dovette aspettare circa un secolo, per avere la conferma sperimentale dell'esistenza di questi tre diversi tipi di recettori e delle loro specifiche sensibilità nei confronti della lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica.

# SPETTRO ELETTRMAGNETICO



COLORE	LUNGHEZZA [D'ONDA (nm)] [nm]
Violetto	380-430
Azzurro	430-470
Verde	470-520
Giallo	520-590
Arancione	590-610
Rosso	610-750

# OCCHIO UMANO



Nelle retina: più vicini alla periferia i bastoncelli, più vicini al centro i coni,

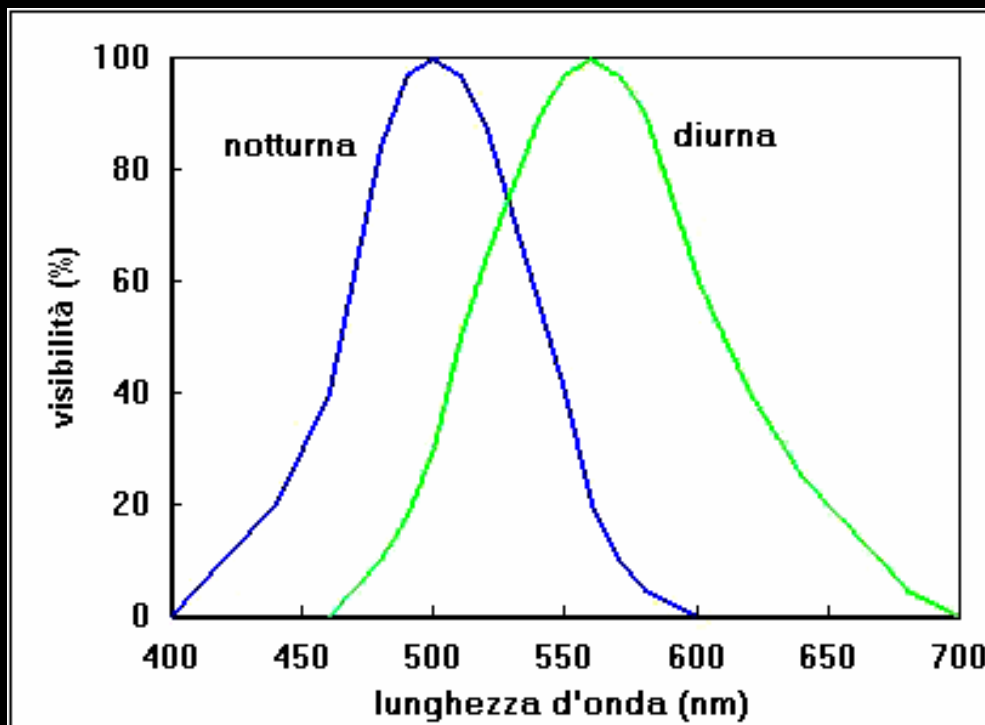
Pupilla, un foro attraverso cui la luce entra nell'occhio

Cristallino: lente elastica che varia la distanza focale

Diversi mezzi rifrangenti: cornea ( $n=1.33$ ), umor acqueo ( $n=1.33$ ), cristallino ( $n=1.44$ ), umor vitreo ( $n=1.33$ )

# I FOTORECETTORI

La visione al buio è quasi interamente dovuta ai bastoncelli mentre nella luce brillante è dovuta ai coni



Il picco di sensibilità dei bastoncelli è nella regione del verde (500 nm) mentre quella dei coni è nel giallo (550-560 nm). Quindi il rosso (700 nm) è praticamente invisibile al buio.

# I CONI

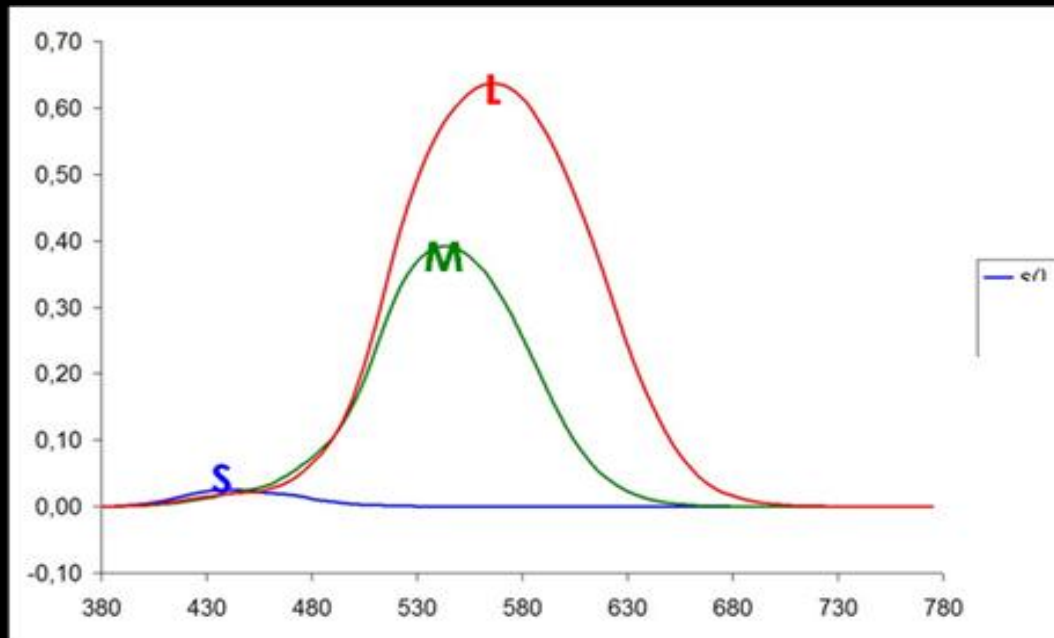
Sono di tre tipi con *diverse sensibilità* rispetto alla  $\lambda$ :

**Coni S:** (short) Max a  $\lambda = 437$  nm

**Coni M (Medium)** Max a  $\lambda = 533$  nm

**Coni L (Long)** Max a  $\lambda = 564$  nm

Sensibilità spettrale dei cono:



# TERNA DI COLORI PRIMARI

Newton con prisma → i sette colori principali derivanti dalla rifrazione

Tuttavia utilizzando una **terna di colori fondamentali** si possono ottenere tutti gli altri colori variando opportunamente le loro intensità.

Colori fondamentali → i tre colori sono indipendenti

Indipendenti = nessuno dei tre colori si può ottenere come combinazione degli altri due,

Il modello **RGB (red, green, blue)** è stato descritto nel 1931 dalla **CIE** (Commission Internationale de l'Éclairage).

La sommatoria delle tre principali lunghezze d'onda, rossa, verde e blu, dà origine a tutti gli altri colori.

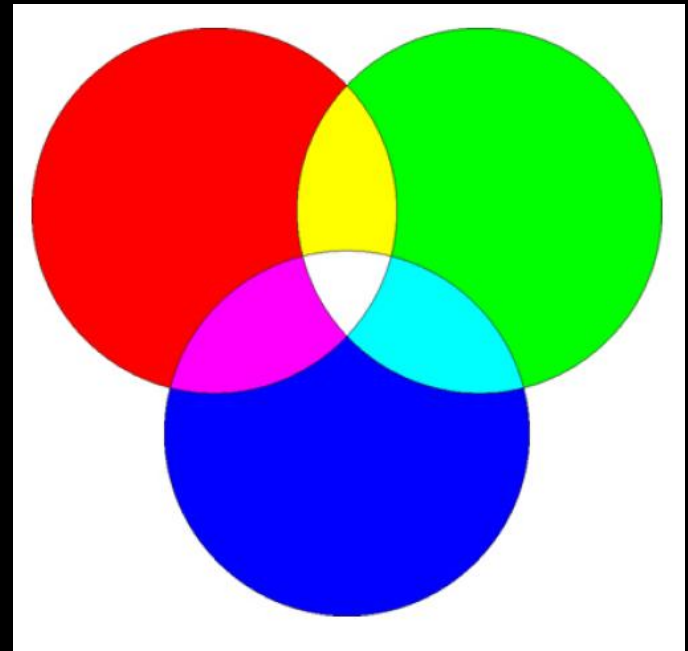


# SINTESI ADDITIVA

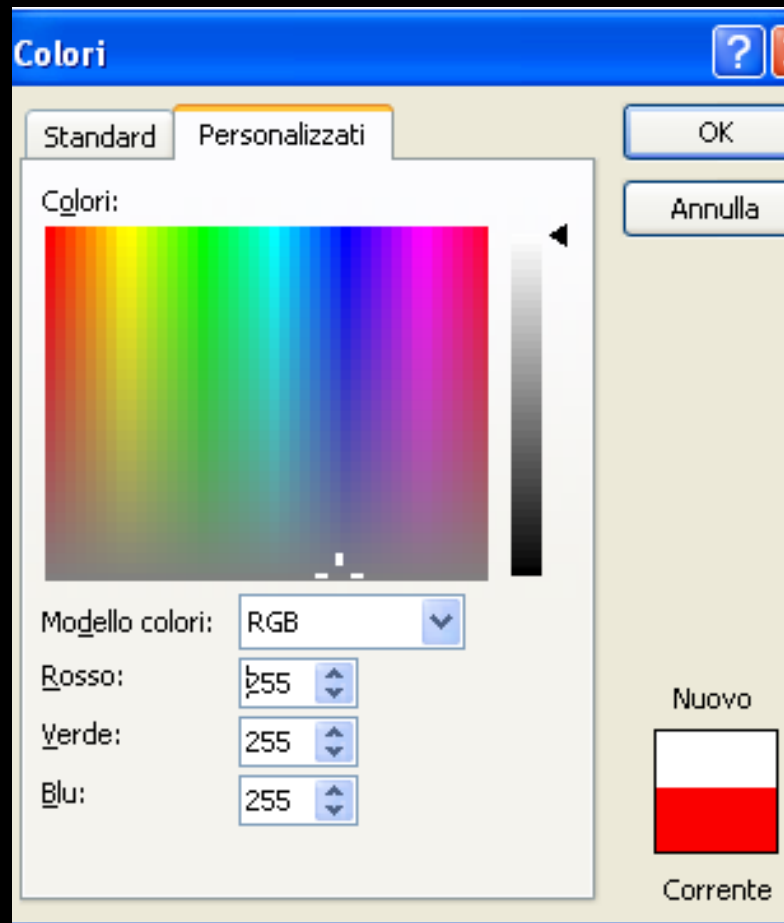
I colori si ottengono **sovrapponendo su uno schermo fasci di luce** (monitor a colori di TV e computer, fasci di luce colorata)

Rosso (R), verde (G) e blu (B),  
sono i colori primari additivi.

Se sovrapponiamo tre fasci di  
luce di questi tre colori (RGB) si  
ottiene la luce bianca (W).



# PROGRAMMA DI VIDEOSCRITTURA



Silvia Pirollo, Raggi luminosi, occhio, colori: un percorso di ottica nel liceo artistico, 11 maggio 2014

# SINTESI ADDITIVA

Dalla sovrapposizione di due luci-colori primari si ottengono i colori secondari della sintesi additiva:

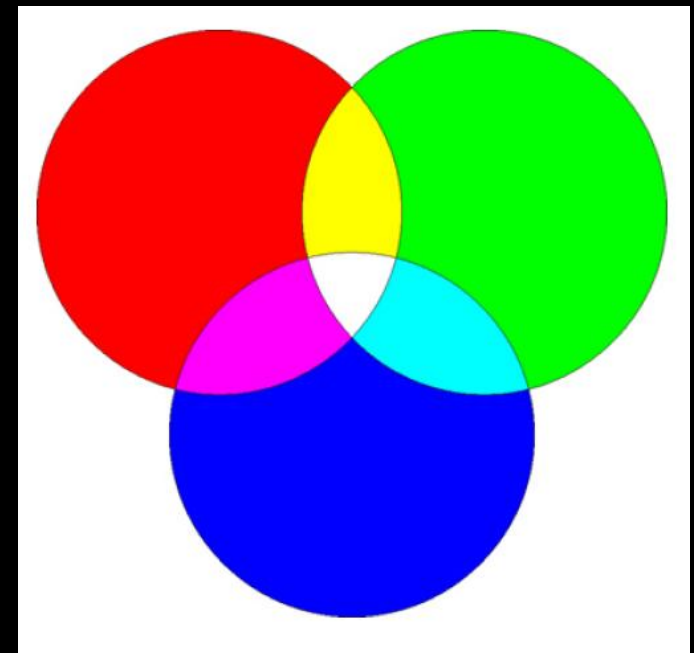
ciano (C), magenta (M) e giallo (Y),

Questi sono i colori primari sottrattivi, con i quali i pittori possono costruire qualunque altro colore.

I colori secondari per la luce sono i colori primari per i pittori e viceversa.

Il colore complementare di un dato colore primario è il colore (secondario) che si ottiene dalla sintesi degli altri due

**Ciano = VERDE + BLU**  
**Magenta = ROSSO + BLU**  
**Giallo = ROSSO + VERDE**

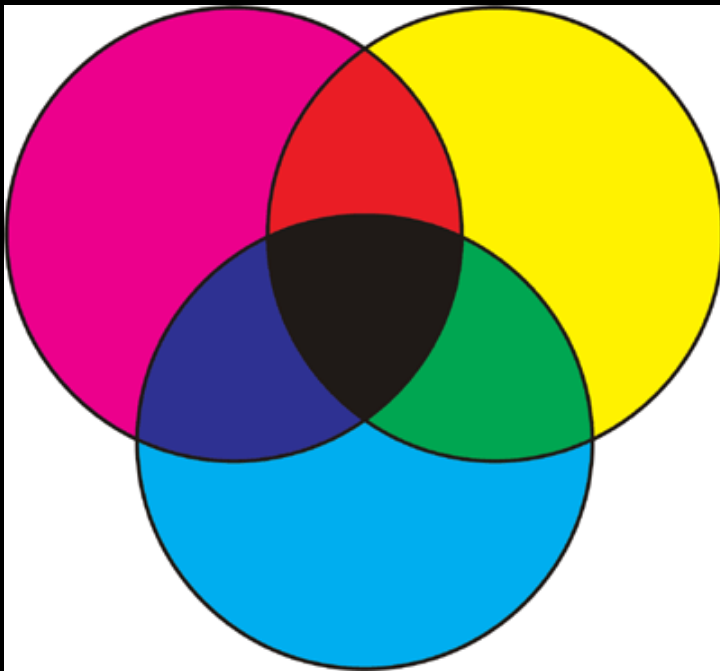


# SINTESI SOTTRATTIVA

La **sintesi sottrattiva del colore** riguarda la combinazione di pigmenti colorati

**ciano (meno rosso), il magenta (meno verde) e il giallo (meno blu)**

**CMY**– i colori primari sottrattivi.



Ognuno di questi colori ha la proprietà di bloccare, cioè di sottrarre alla vista, uno dei colori primari della sintesi additiva e di riflettere gli altri due.

# SINTESI SOTTRATTIVA

## I filtri colorati

Filtro magenta blocca il verde e fa passare rosso e il blu

Filtro ciano blocca il rosso e fa passare verde e il blu

Filtro giallo blocca il blu e fa passare rosso e il verde

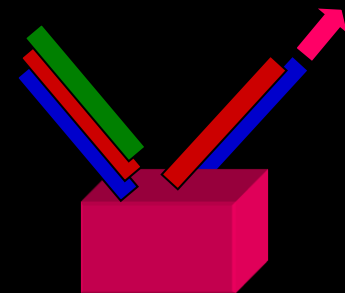
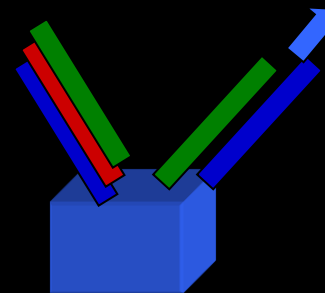
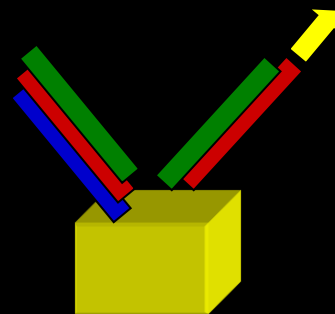
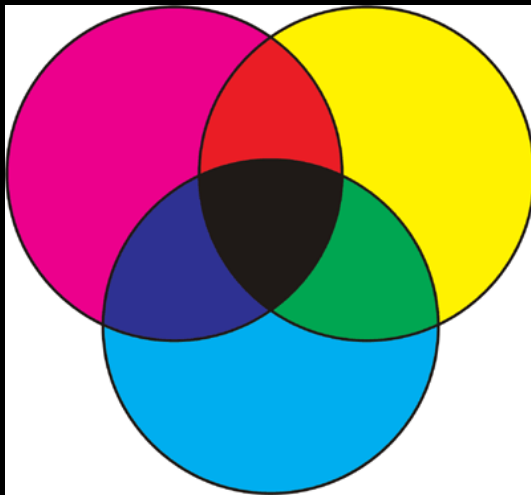
Bianco-magenta-ciano = blu

Bianco-magenta-giallo = rosso

Bianco-ciano-giallo = verde

Bianco-magenta-ciano-giallo = nero

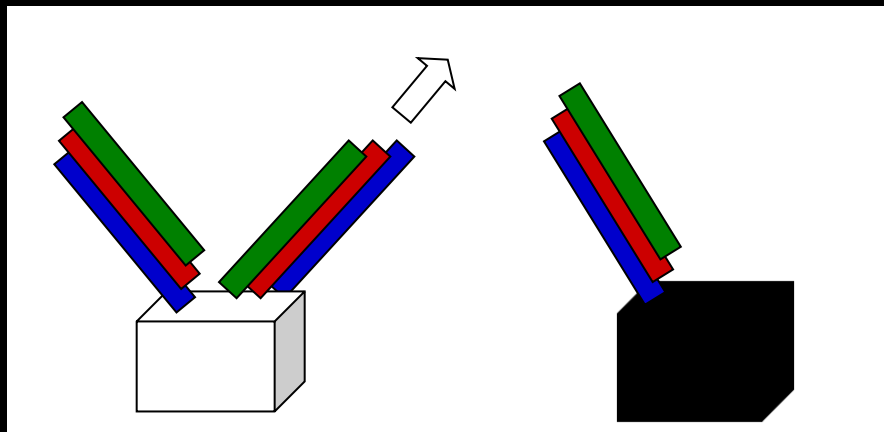
**ROSSO+BLU = MAGENTA**  
**ROSSO+VERDE = GIALLO**  
**BLU + VERDE = CIANO**



# SINTESI SOTTRATTIVA

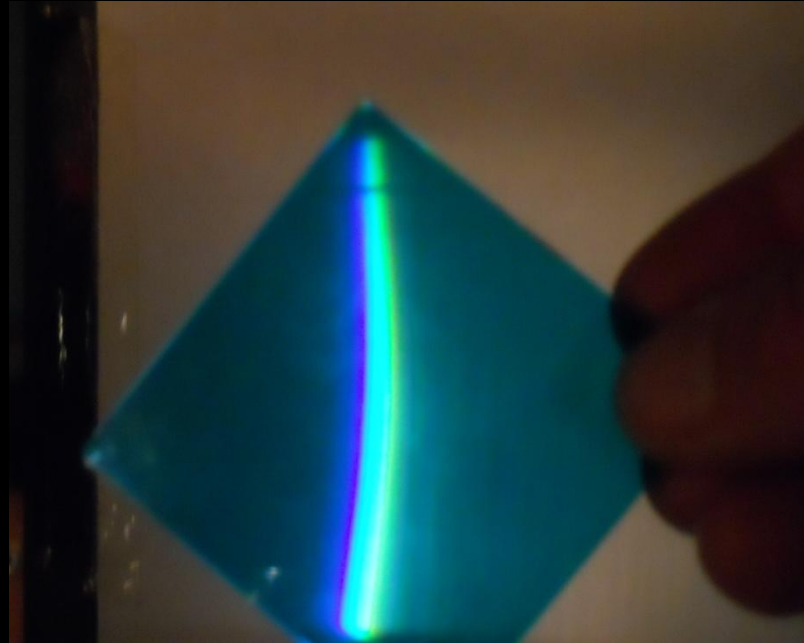
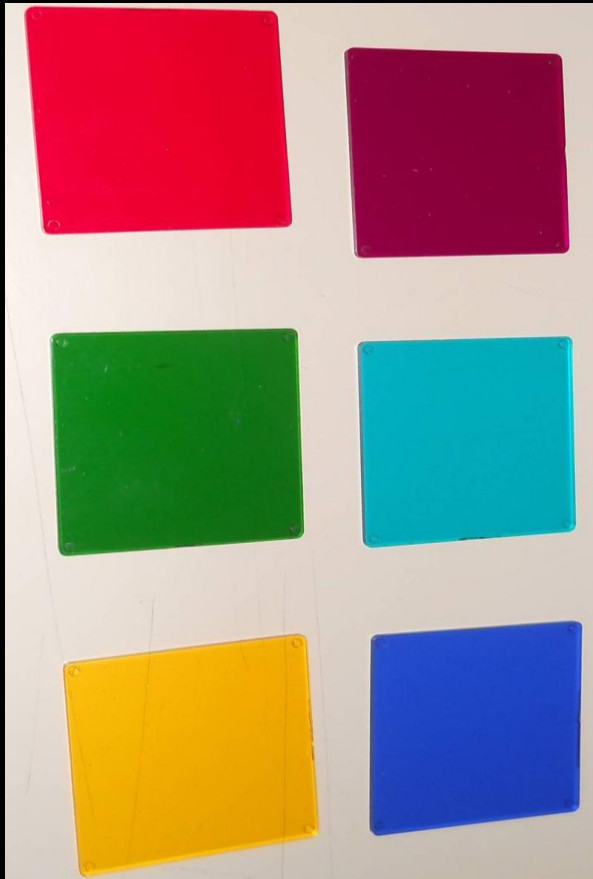
Se ognuno dei colori primari della sintesi sottrattiva ha il potere di assorbire un terzo colore, mescolandoli tutti e tre, l'intero spettro visibile verrà assorbito e nessuna luce sarà riflessa verso l'osservatore.

**MAGENTA + CIANO + GIALLO = NERO**



# ESPERIMENTI

♣ Osservazione dei colori scomposti da un prisma dopo aver attraversato i diversi filtri colorati;



<u>FILTRO</u>	<u>COLORI TRASMESSI</u>
---------------	-------------------------

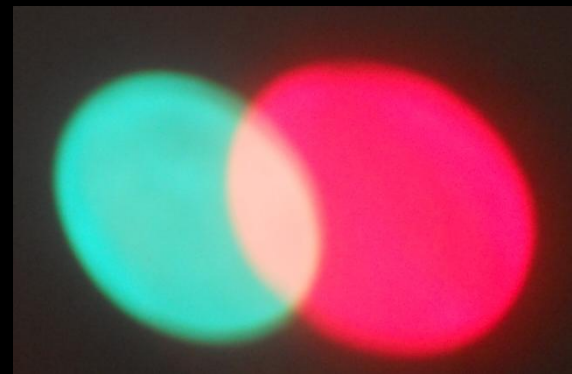
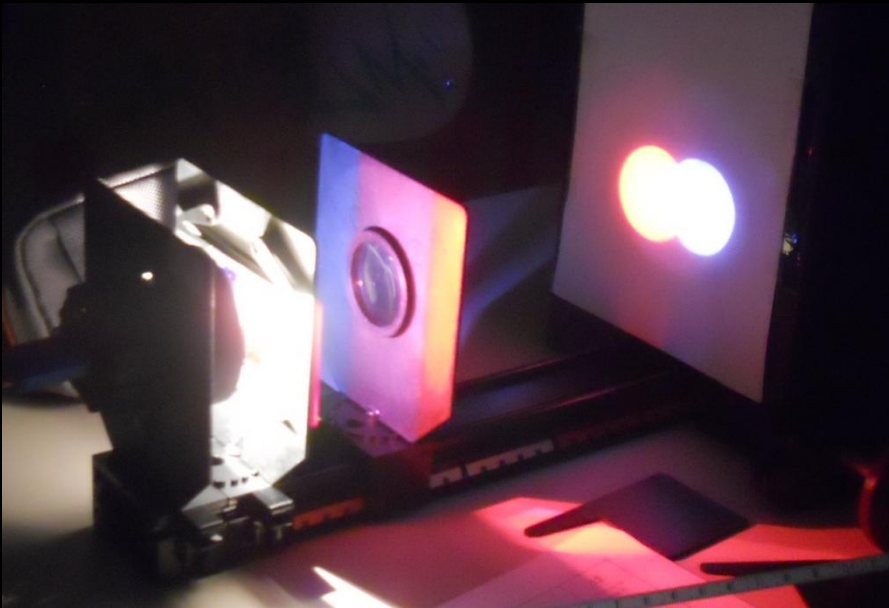
Magenta	rosso e blu
---------	-------------

Ciano	verde e blu
-------	-------------

Giallo	rosso e verde
--------	---------------

# ESPERIMENTI

- ♣ Osservazione di come appaiono gli oggetti colorati se vi incidono luci dei diversi colori dello spettro.
- ♣ Sovrapposizione dei colori fondamentali:  $R+G = Y$ ;  $G+B = C$ ;  $R+B = M$
- ♣ Sovrapposizione dei colori complementari:  $R + C = W$ ;  $G + M = W$ ;  $B + Y = W$ .





# I COLORI DEGLI OGGETTI

Il colore di ciò che osserviamo dipende da meccanismi "sottrattivi", in quanto si basa sull'assorbimento della materia di componenti cromatiche.

Una superficie colorata assorbe una parte della luce visibile e restituisce il resto all'ambiente sotto forma di luce diffusa.

**Il colore di un oggetto è dato dalla luce che NON viene assorbita**