

# Costruire uno spettroscopio con mezzi poveri. Teoria, realizzazione, possibili applicazioni sperimentali.

Lezione 5/11/2025

Corso di Preparazione di Esperienze Didattiche

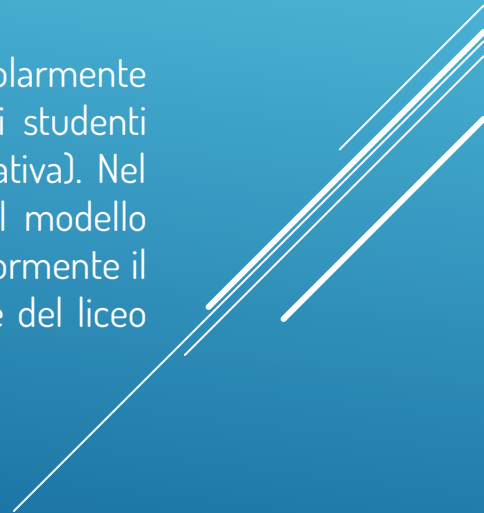
Prof. Massimiliano Malgieri

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue gradient background.

## LA PECULIARITÀ DELL'INSEGNAMENTO DELL'OTTICA

L'insegnamento dell'ottica soffre di un problema specifico che consiste nell'introduzione successiva, nel corso dell'istruzione liceale, di diversi modelli con scarsa attenzione alle loro interconnessione e ai loro rispettivi domini di validità.

Il passaggio dall'ottica geometrica a quella ondulatoria è particolarmente problematico, e sono state studiate da diversi autori le difficoltà degli studenti nell'adozione di questi due modelli (insieme, in ibridizzazione, in alternativa). Nel quinto anno, l'introduzione della luce come onda elettromagnetica, del modello quantistico a fotoni, della teoria della relatività ristretta complicano ulteriormente il quadro, rendendo spesso le concezioni degli studenti sulla luce alla fine del liceo scientifico estremamente frammentate.



# IL MECCANISMO DELLA VISIONE

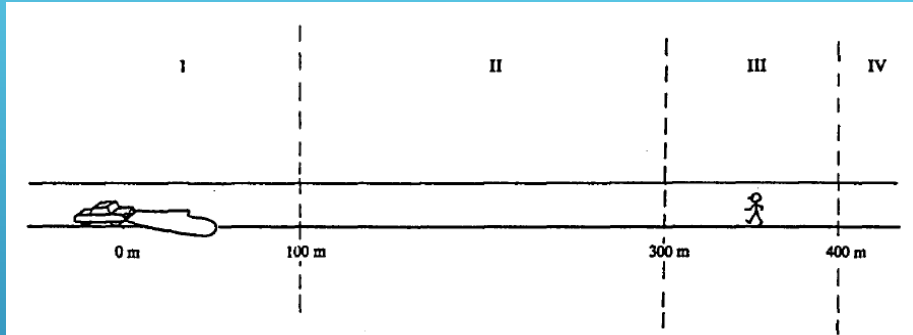
La comprensione degli studenti del meccanismo della visione ha attirato l'interesse dei ricercatori in diversi paesi, che hanno studiato questo aspetto a partire dalla scuola dell'infanzia fino al livello universitario.

**La vista è forse il nostro senso più importante** e proprio per questo le difficoltà che gli studenti hanno prima, durante e dopo l'insegnamento tradizionale, rispetto alla rappresentazione dei fenomeni ottici hanno origine da concetti pre-scientifici frammentati costruiti sulla base dell'esperienza, e che persistono perché i fattori chiave che portano alla frammentazione di solito non vengono affrontati e risolti.

Tutti gli studi hanno dimostrato che gli studenti hanno seri problemi nel comprendere **la natura della luce**, la **sua propagazione**, la **formazione delle immagini**. Per quanto riguarda l'esperienza primaria della visione, molti studi hanno riportato che i discenti hanno difficoltà ad interpretare fisicamente tale esperienza. Gli studenti oscillano in modo dipendente dal contesto tra due concezioni:

- Concezione **passiva** della visione: la visione è resa possibile dalla luce emessa dall'oggetto che raggiunge l'occhio. Questa prospettiva è in accordo con quella scientifica, ma tipicamente viene utilizzata solo se agli alunni vengono mostrati oggetti molto luminosi, o che emettono luce propria (es. torcia elettrica, lampadina, candela).
- Concezione **attiva** della visione: la visione è resa possibile da raggi (o semplicemente 'la visione') emessi *dall'occhio* verso l'oggetto da vedere; la luce ambientale ha la prerogativa di rendere possibile questo processo (in condizioni di scarsa illuminazione, non si può vedere). Questa idea è attivata più spesso per oggetti comuni, che non emettono luce propria.

## CONCEZIONE DELLA LUCE COME «CATALIZZATORE»



On a clear, dark night, a car is standing parked on a straight, flat road. The car has its headlights dipped. A pedestrian, who is standing in the road, is able to see the headlights. The illustration is divided into four sections. In which sections is there light? Explain your answer.

Nella domanda riportata (Andersson e Karrkvist, 1986) una percentuale significativa (intorno al 40%) di studenti di 14 anni rispondono che vi è luce solo nella sezione 1, e in parte nella 2. Per questi studenti, la luce si propaga solo a brevi distanze dagli oggetti luminosi, e il meccanismo della visione è collegato solo in modo indiretto alla luce (la luce illumina gli oggetti, ma la visione avviene in altro modo).

## CONCEZIONI ALTERNATIVE DELLA VISIONE



Lisa and her physics teacher are discussing seeing.

**TEACHER:** Explain how you see the book.

**LISA:** Signals go along nerves between the eyes and the brain.

**TEACHER:** Yes, this happens between the eyes and the brain. But there's some distance between the book and the eyes. Does anything happen between them?

What would you answer? Draw and explain.

Nella domanda precedente, inclusa nello stesso studio, **circa il 20% degli studenti non vedono connessioni tra la visione e la luce**, e circa il **15% pensano che qualcosa dall'occhio raggiunga l'oggetto**, o che ci sia uno 'scambio' tra l'occhio e l'oggetto.

# DIFFICOLTÀ NEL COMPRENDERE IL RUOLO DELL'OCCHIO

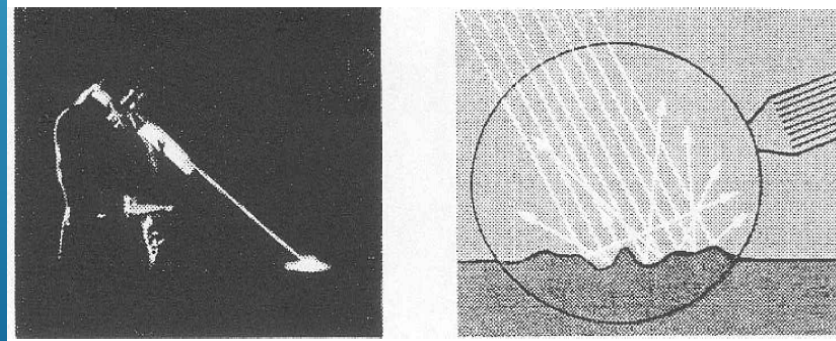
Anche buona parte delle difficoltà che si incontrano in ottica geometrica hanno a che fare con la **difficoltà a comprendere con precisione il ruolo dell'occhio**.

Sebbene "l'occhio" sia uno degli argomenti insegnati in qualsiasi corso di studi, studi recenti forniscono prove fra loro coerenti che gli studenti non riconoscono il ruolo dell'occhio dell'osservatore sia nella formazione che nell'osservazione di un'immagine:

*"... anche se gli studenti sono consapevoli della posizione di un'immagine virtuale, non sono in grado di fornire una spiegazione per la sua esistenza in termini di comportamento della luce, la componente ottica (specchio o prisma) e l'occhio dell'osservatore; in particolare, gli studenti non riconoscono il ruolo cruciale dell'occhio dell'osservatore sia nella formazione che nell'osservazione dell'immagine (Galili et al., 1992)."*

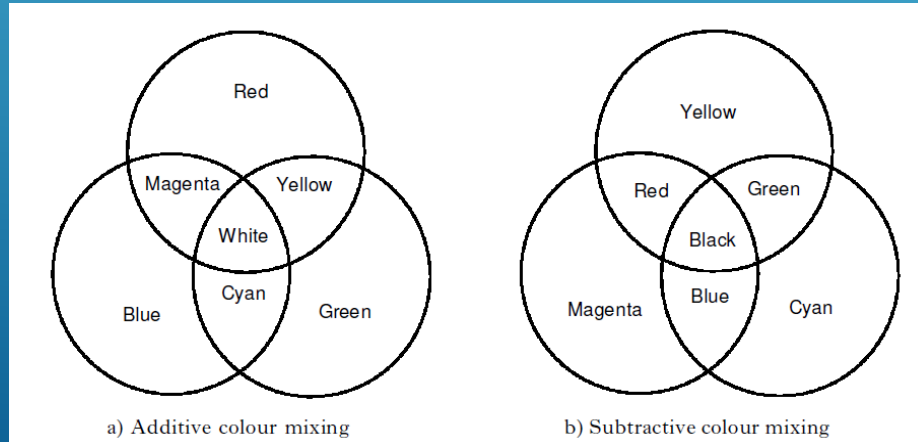
## ILLUSTRAZIONI INADEGUATE DEI LIBRI DI TESTO

- ▶ Uno dei problemi riguarda immagini che possono rafforzare l'idea che i raggi ottici non siano elementi di un modello ma oggetti ordinari, visibili da qualsiasi punto.
- ▶ L'idea che la luce sia visibile da qualsiasi luogo come un oggetto ordinario è molto comune. Molto spesso appare, infatti, o esplicitamente o come concetto che sta alla base delle risposte fornite dagli studenti, dalla scuola primaria e media (Saltiel e Kamiski 1996) fino al livello universitario. Come sottolineano Saltiel e Kaminski, per cogliere le ragioni della visibilità, ad esempio, di un fascio laser, sono necessari diversi passaggi: (a) ci sono nell'aria alcune particelle che diffondono la luce; (b) le particelle diffondono un po' di luce in un'ampia regione dello spazio; (c) una certa frazione di luce diffusa raggiunge l'occhio dell'osservatore.

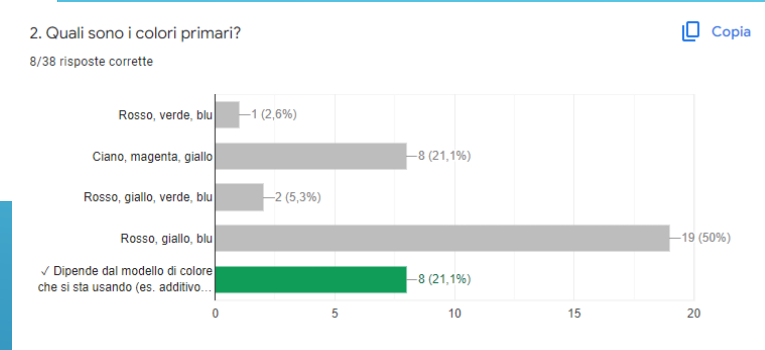
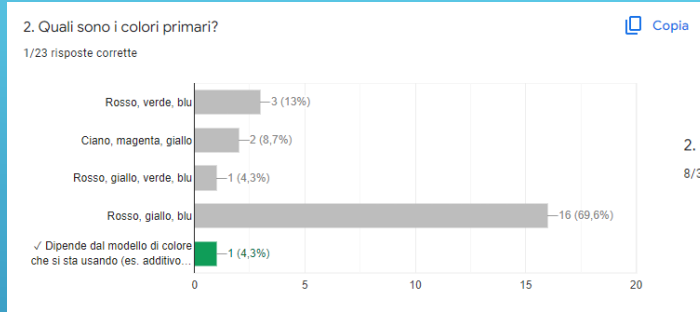


## L'INSEGNAMENTO DELLA 'TEORIA DEL COLORE'

- ▶ L'apprendimento della 'teoria del colore' merita un approfondimento a parte. Sono riportate sotto tipiche immagini, comunissime nei libri di testo in molte varianti, per spiegare la sintesi additiva e sottrattiva dei colori.
- ▶ Queste immagini quasi mai riportano nei dettagli il contesto richiesto per ottenere le diverse sintesi, il che produce negli studenti confusione sul dominio di validità delle due sintesi.
- ▶ Ma soprattutto, il colore viene proposto prima di ogni altro modello sulla luce, e quasi mai rivisitato nella prospettiva di ulteriori conoscenze, né collegato a altre conoscenze di tipo fisico e biologico. Quindi, in sostanza, la 'teoria del colore' si può configurare come una *ulteriore* teoria sulla luce, che contribuisce alla visione frammentata degli studenti di questa sotto-disciplina.



# ALCUNI DATI DA NOSTRE SPERIMENTAZIONI



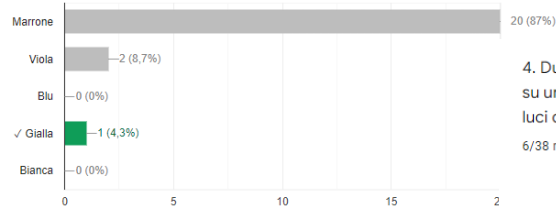
- ▶ La maggior parte degli studenti italiani (in questo caso i campioni sono a sinistra, 23 studenti di seconda liceo scientifico; a destra 38 studenti di quarta liceo scientifico altamente motivati verso lo studio della fisica, ma il risultato si ripete simile con molti altri campioni) pensa che i colori primari siano rosso, giallo, blu. Da una parte, questo è il risultato di reminiscenze della scuola primaria sui colori primari-pigmento (ciano, magenta, giallo), dall'altra da un errore evocato dall'acronimo RGB.

## ALCUNI DATI DA NOSTRE SPERIMENTAZIONI

4. Due riflettori da teatro, uno che emette luce rossa e uno verde, vengono proiettati su un telo bianco in una stanza per il resto buia. Di che colore appare la zona in cui le luci dei riflettori si sovrappongono?

[Copia](#)

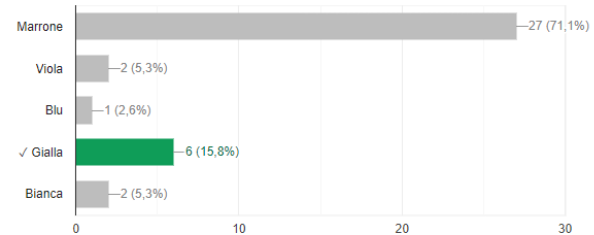
1/23 risposte corrette



4. Due riflettori da teatro, uno che emette luce rossa e uno verde, vengono proiettati su un telo bianco in una stanza per il resto buia. Di che colore appare la zona in cui le luci dei riflettori si sovrappongono?

[Copia](#)

6/38 risposte corrette



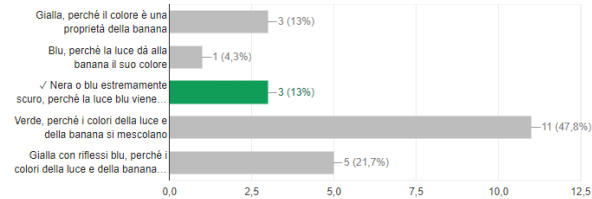
- ▶ La maggior parte degli studenti (significativamente oltre il 70% del campione di studenti di quarta liceo scientifico particolarmente interessati alla fisica!) utilizza impropriamente le regole empiriche valide per il mescolamento dei pigmenti nel caso in cui luci di colore diverso vengono proiettate su uno schermo.

## ALCUNI DATI DA NOSTRE SPERIMENTAZIONI

3. Considera una banana, che alla luce del giorno appare gialla. In una stanza buia viene puntata verso di esso un riflettore blu. Di che colore appare la banana?

Copia

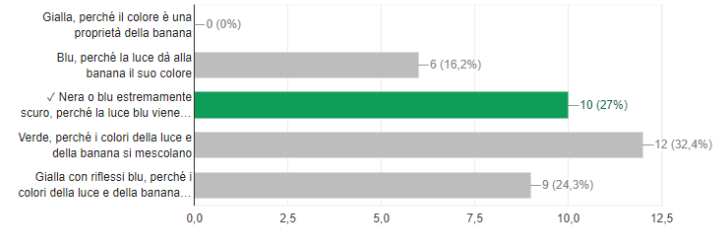
3/23 risposte corrette



3. Considera una banana, che alla luce del giorno appare gialla. In una stanza buia viene puntata verso di esso un riflettore blu. Di che colore appare la pianta?

Copia

10/37 risposte corrette

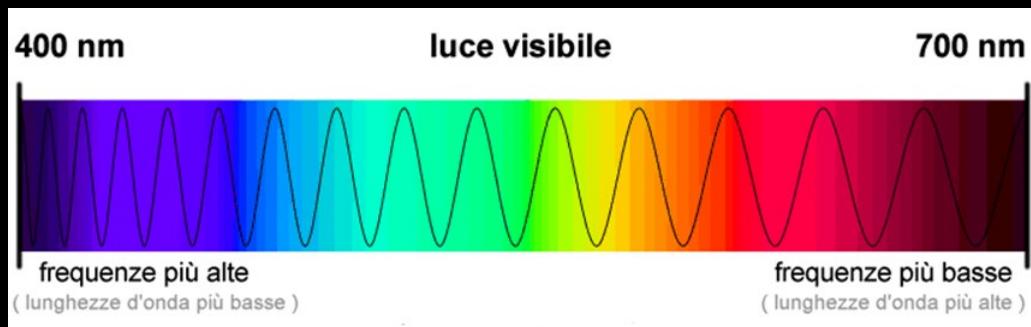


- ▶ Questo è vero anche per il caso di un oggetto illuminato da luce colorata, anche se in questo caso osserviamo un maggiore effetto dell'istruzione (il distrattore d) rimane comunque quello maggiormente scelto dagli studenti).

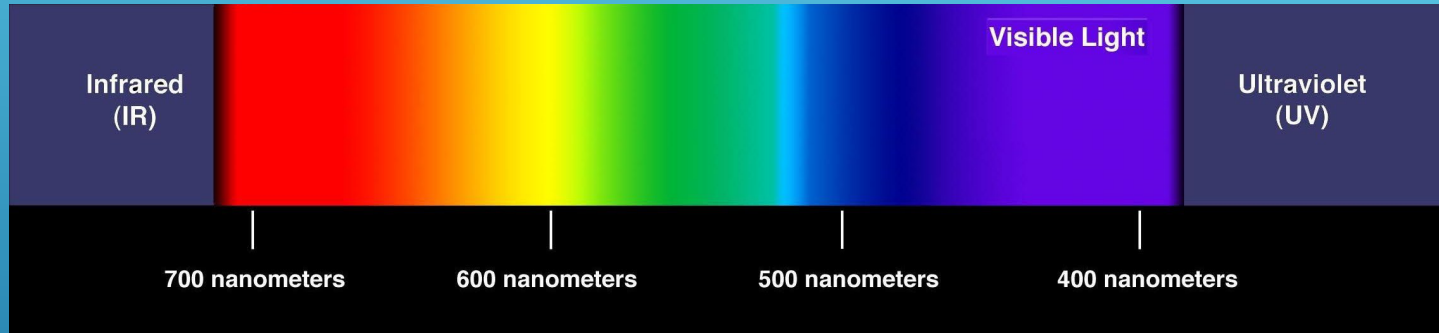
## L'INSEGNAMENTO DELLA 'TEORIA DEL COLORE'

- ▶ Il colore fa parte degli argomenti di fisica in cui la conoscenza iniziale degli studenti consiste nell'organizzazione di strutture esplicative "spontanee" da una vasta mole di esperienze quotidiane personali e dati sensoriali.
- ▶ La comprensione iniziale degli studenti può essere organizzata in mini-teorie come quella che il colore sia una proprietà intrinseca degli oggetti; che la miscelazione di diversi colori sia regolata dalle regole del mescolamento dei pigmenti in ogni circostanza, ad esempio anche quando luce colorata illumina un oggetto colorato; che la luce naturale (come la luce del sole) non sia composta da una miscela di colori, ma qualificata come "pura" e incolore.
- ▶ Le misconcezioni sul meccanismo della visione contribuiscono a una scarsa comprensione del colore; un modello diffuso per gli studenti è quello della luce come facilitatore della vista: la luce ambientale rivela i colori e permette loro di essere visti, ma non ha altro rapporto speciale con la vista o l'occhio
- ▶ L'insegnamento tradizionale potrebbe non aiutare gli studenti a sviluppare visioni scientifiche corrette, e indurre invece alla formazione di modelli ibridi: in particolare, trascurare il legame tra la fisica e la fisiologia della visione dei colori rende sostanzialmente impossibile comprendere la teoria del colore

Punto chiave: comprendere la relazione complessa tra lo spettro fisico della luce e lo spettro psicologico delle sensazioni di colore percepite.



## NELLO SPETTRO DELLA LUCE VISIBILE CI SONO MOLTI COLORI MA NON TUTTI



Dov'è il rosa? Il magenta? Il marrone?

Noi percepiamo più colori di quelli chiamati «spettrali», cioè che corrispondono a specifiche lunghezze d'onda della luce

# LA PERCEZIONE UMANA DEL COLORE

Le cellule fotorecetrici della nostra retina sono un tipo specializzato di neuroni capaci di convertire la luce in segnali elettrici che stimolano vari processi biochimici. Ci sono due tipi principali di fotorecettori, i **coni** e i **bastoncelli**, che hanno differenze funzionali e diversi ruoli.

I bastoncelli sono così sensibili che possono essere stimolati anche da un singolo fotone, ma hanno una risposta lenta e forniscono una visione acromatica. Sono responsabili per la cosiddetta visione scotopica, ossia visione in condizioni di scarsa illuminazione.

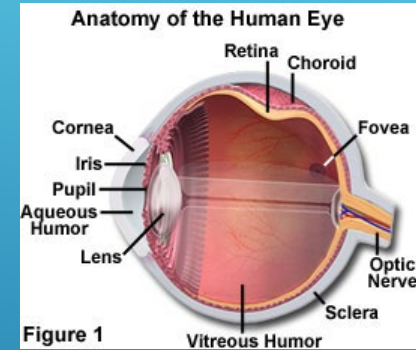
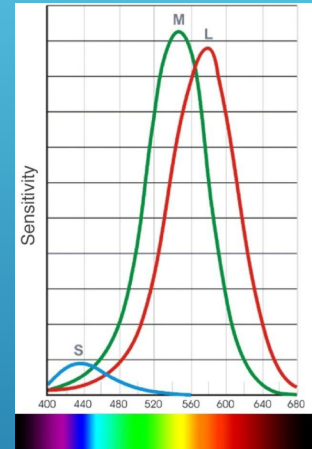


Figure 1

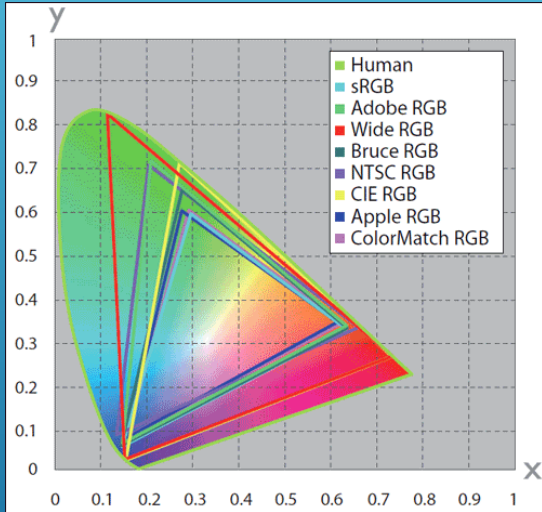
# La percezione umana del colore

I **coni**, d'altra parte, sono responsabili della visione in normali condizioni di illuminazione (visione fotopica) e sono di particolare interesse perché sono responsabili della visione del colore.

La visione del colore si basa sull'utilizzo di coni con diverse sensibilità spettrali. Gli umani hanno tre tipi di coni, caratterizzati da diverse sensibilità, in particolare i coni detti S (Short, in riferimento alla lunghezza d'onda) sono più sensibili al blu, quelli M (Medium) più sensibili al verde, e quelli L (Long) più sensibili al rosso. La luce che investe l'occhio, a seconda del suo contenuto di frequenza (ad esempio, luce monocromatica o che contiene due o più diverse frequenze) provocherà una diversa stimolazione dei tre tipi di coni (tristimolo SML) che determinerà il colore percepito risultante.



# RGB



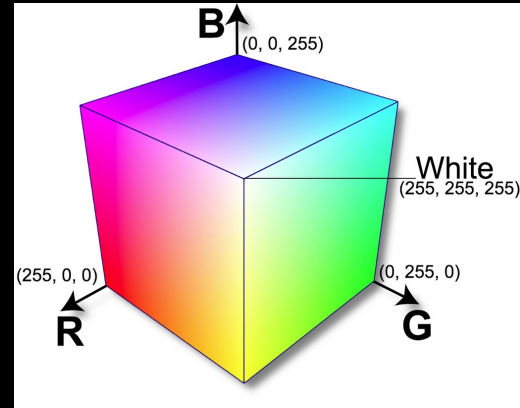
Il modello **RGB** (**R**ed, **G**reen, **B**lue) del colore è di grande importanza per la riproduzione di immagini. E' utilizzato per esempio nei monitor, nei telefoni cellulari, nei proiettori.

Si basa sull'idea che partendo dal nero (assenza di luce che l'occhio percepisce provenire da una zona) aggiungendo in determinate proporzioni luce rossa, verde e blu si può ottenere "qualunque" colore, o almeno una grande maggioranza dei colori percepibili dagli esseri umani, partendo da soli tre colori, che corrispondono ai tre picchi dei coni S, M e L visti in precedenza. In realtà, RGB è il nome generico di una classe di modelli di colore, le cui caratteristiche dipendono anche dai dettagli delle varianti di R, G e B che vengono scelte come colori primari.

## RGB: COME È STATO CREATO

Alla fine degli anni '20, gli scienziati britannici David Wright e John Guild condussero indipendentemente l'uno dall'altro una serie di esperimenti con lo scopo di ottenere un sistema di misura oggettivo del colore.

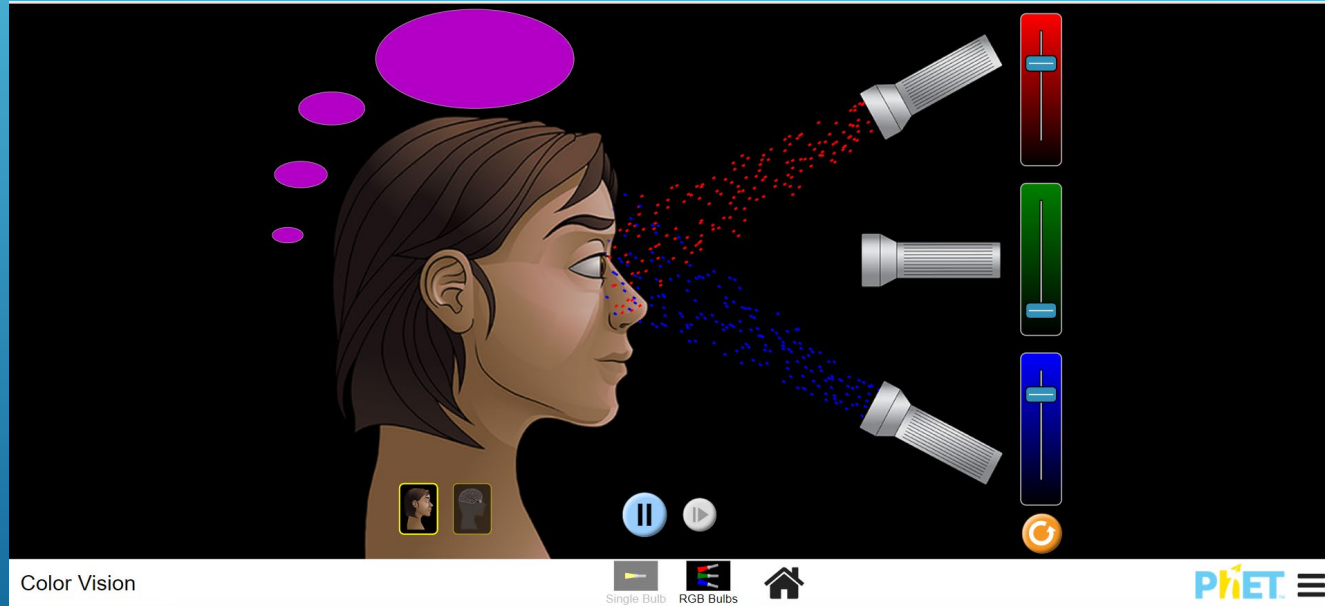
In poche parole, l'esperimento consisteva nel porre un osservatore di fronte ad un'area che conteneva, una affiancata all'altra, una metà con un colore di riferimento, mentre l'altra metà era illuminata da un mix regolabile di tre luci dei colori primari. Al soggetto veniva chiesto di regolare le intensità di ciascuna luce finché il colore ottenuto non corrispondeva al riferimento. Le tre intensità trovate, facendo una media su molti soggetti, vennero prese come misura del colore di riferimento (standard CIE 1931), con alcuni problemi tecnici, in seguito quasi interamente superati grazie a diverse scelte delle tre luci primarie.



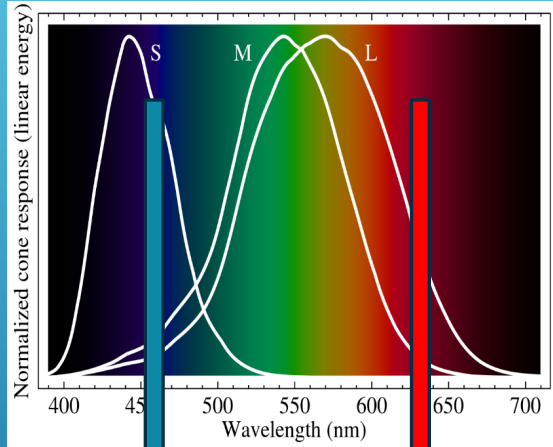
# SIMULAZIONE PHET

[https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html)

Simulazione della percezione umana del colore



## COS'È IL MAGENTA?



Lo stesso risultato NON si può ottenere con luce monocromatica di nessuna frequenza singola.



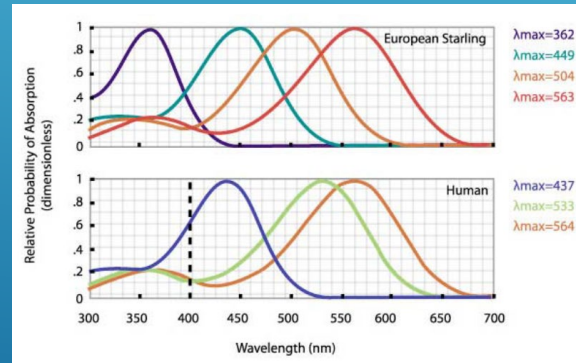
Il magenta è un colore percettivamente ben definito, ma non è un colore spettrale.

La combinazione di luce rossa e blu produce uno stimolo che attiva significativamente i coni S e quelli L, ma molto poco quelli M.

# Tetracromatismo



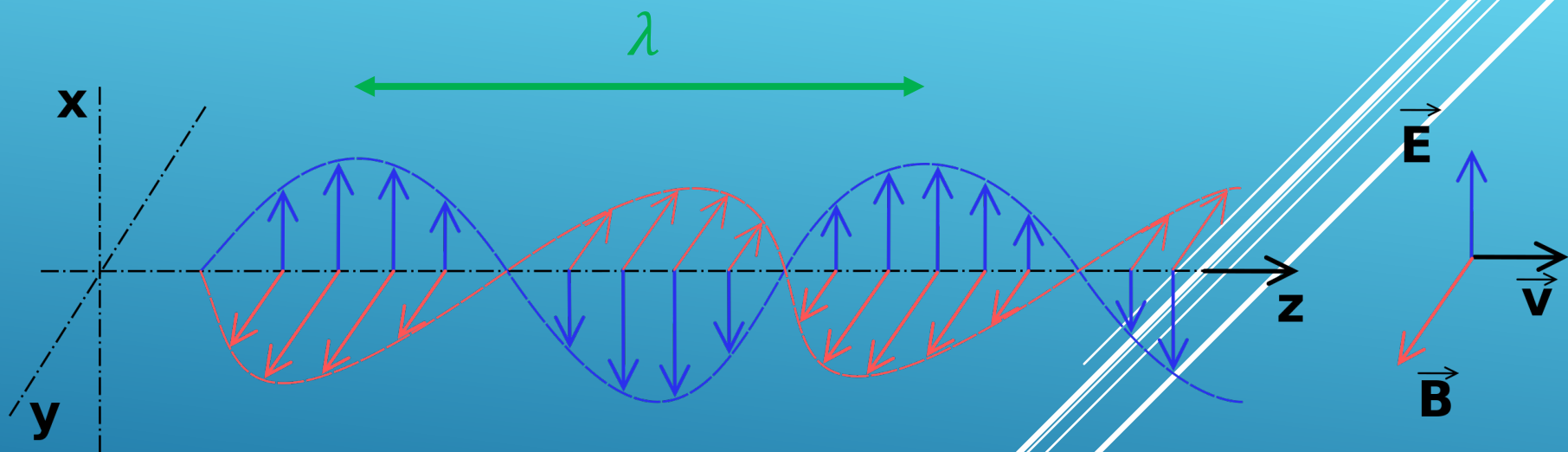
Tra gli animali si possono trovare diversi casi di tetracromatismo. Lo storno europeo ha quattro diversi tipi di coni, con sensibilità ben differenziate in frequenza. E' difficile capire con esattezza quale sia la percezione dei colori dello storno, ma è molto probabile che non sarebbe ben rappresentata da un modello di colore con tre colori primari.



# COSTRUZIONE DI UNO SPETTROSCOPIO HOME-MADE



# Onde elettromagnetiche



Lunghezza d'onda  $\lambda$



$$v = \frac{c}{\lambda}$$



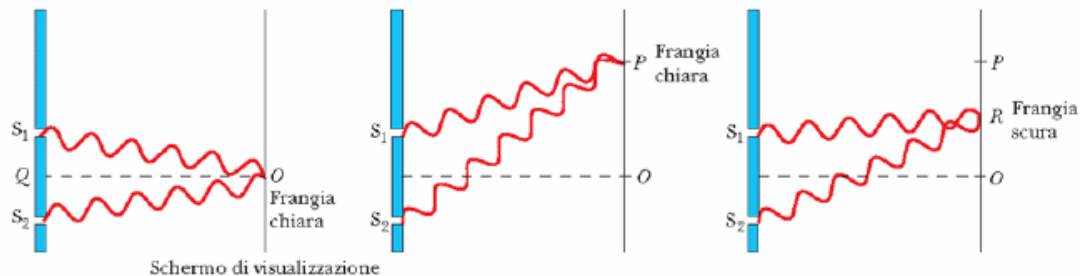
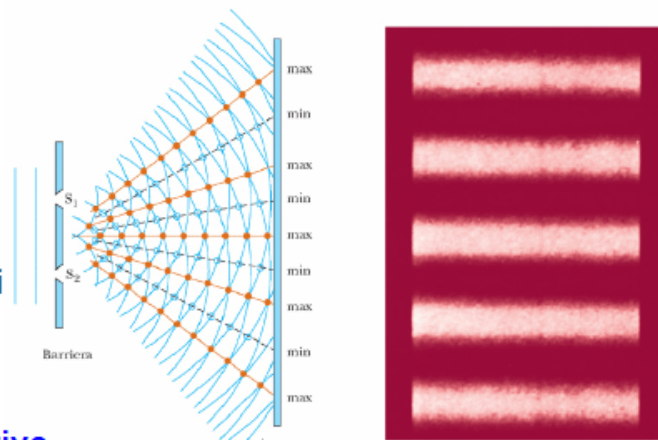
Frequenza  $\nu$

# Brevi richiami sui fenomeni di interferenza

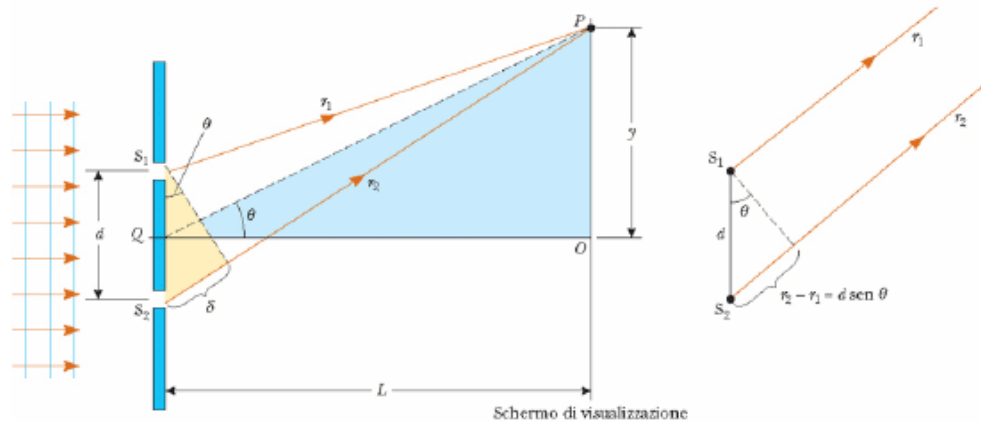
## Esperimento della doppia fenditura di Young

Si osserva sullo schermo una **figura di interferenza**, caratterizzata dall'alternarsi di bande parallele chiare e scure, dette **frange di interferenza**

Le frange chiare corrispondono ai punti dove si ha **interferenza costruttiva**, le frange scure viceversa sono il risultato di fenomeni di **interferenza distruttiva**



## Esperimento della doppia fenditura di Young



Per  $L \gg d$  la **differenza di cammino ottico** è:  $\delta = r_2 - r_1 = d \cdot \sin \theta$

Se la differenza di cammino ottico è **zero o un multiplo intero** di lunghezza d'onda, le due onde arrivano in fase in  $P$  e si ha **interferenza costruttiva**.

**La condizione per ottenere frange chiare (interferenza costruttiva) è:**

$$d \cdot \sin \theta_{\text{chiare}} = m \cdot \lambda \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

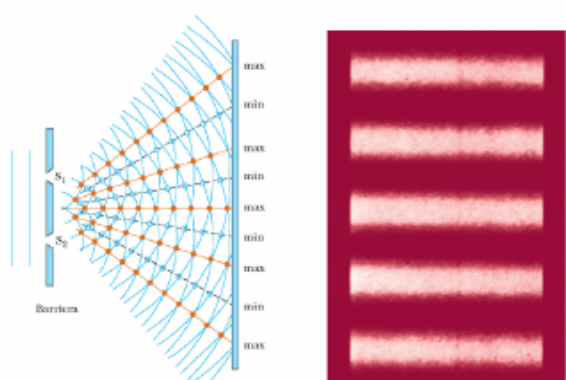
## Esperimento della doppia fenditura di Young

La condizione per ottenere frange chiare (interferenza costruttiva) è:

$$\delta = d \cdot \sin \vartheta_{\text{chiare}} = m \cdot \lambda \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

La condizione per ottenere frange scure (interferenza distruttiva) è:

$$\delta = d \cdot \sin \vartheta_{\text{scure}} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$



Il numero intero  $m$  prende il nome di **numero d'ordine**. La frangia chiara centrale che si ottiene per  $m=0$  è detta **massimo di ordine zero**. Il primo massimo da ciascuna delle due parti (per  $m=\pm 1$ ) si chiama massimo di primo ordine, e così via.

## Esperimento della doppia fenditura di Young

Oltre alla **posizione angolare** delle frange si possono ricavare le **posizioni lineari** misurate lungo lo schermo da O a P:

$$\tan \vartheta = \frac{OP}{OQ} = \frac{y}{L} \quad \text{da cui:}$$

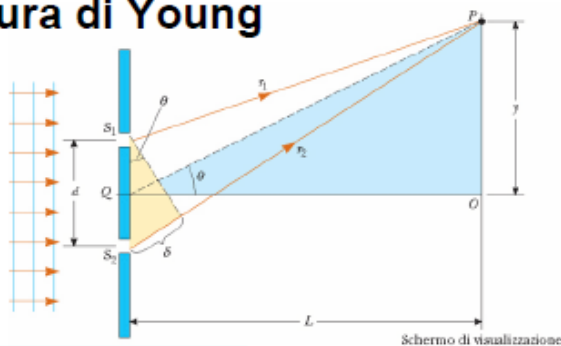
$$y_{chiare} = L \cdot \tan \vartheta_{chiare}$$

$$y_{scure} = L \cdot \tan \vartheta_{scure}$$

Per **piccoli angoli** ( $\tan \theta \sim \sin \theta$ ) le posizioni delle frange sono **equispaziate** attorno al centro della figura di interferenza:

$$\begin{cases} d \cdot \sin \vartheta_{chiare} = m \cdot \lambda \\ y_{chiare} = L \cdot \tan \vartheta_{chiare} \end{cases}$$

$$y_{chiare} = L \cdot \left( \frac{m \cdot \lambda}{d} \right)$$



Per  $L \gg d$  la **differenza di cammino ottico** è:  $\delta = r_2 - r_1 = d \cdot \sin \vartheta$

Se la differenza di cammino ottico è **zero o un multiplo intero** di lunghezza d'onda, le due onde arrivano in fase in P e si ha **interferenza costruttiva**.

**La condizione per ottenere frange chiare (interferenza costruttiva) è:**

$$d \cdot \sin \vartheta_{chiare} = m \cdot \lambda \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

Se la differenza di cammino ottico è **un multiplo dispari** di mezza lunghezza d'onda, le due onde arrivano in P con una differenza di fase di  $180^\circ$  e si ha **interferenza distruttiva**.

**La condizione per ottenere frange scure (interferenza distruttiva) è:**

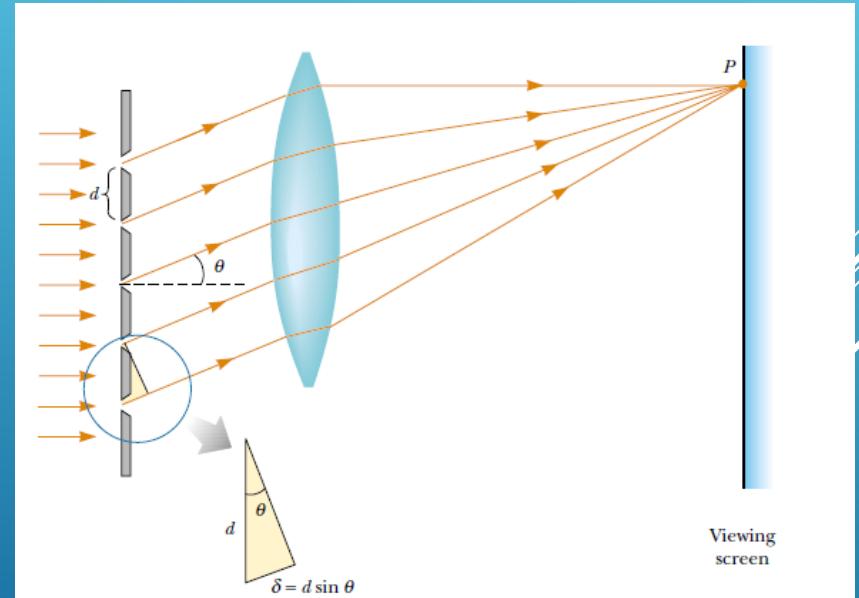
$$d \cdot \sin \vartheta_{scure} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

Per **piccoli angoli** ( $\tan \theta \sim \sin \theta$ ) le posizioni delle frange sono **equispaziate** attorno al centro della figura di interferenza:

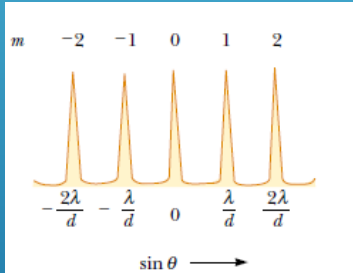
$$\begin{cases} d \cdot \sin \vartheta_{chiare} = m \cdot \lambda \\ y_{chiare} = L \cdot \tan \vartheta_{chiare} \end{cases}$$

$$y_{chiare} = L \cdot \left(\frac{m \cdot \lambda}{d}\right)$$

# Il reticolo di diffrazione



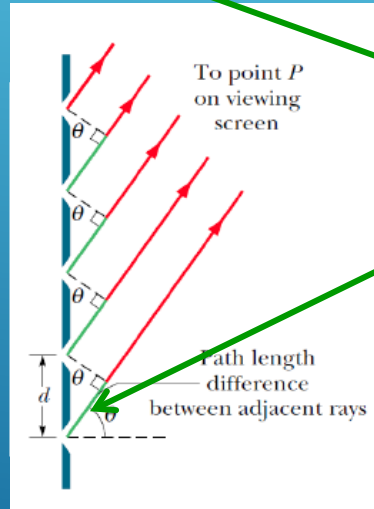
Per trovare le direzioni di diffrazione dei massimi di intensità ci si mette in approssimazione di Fraunhofer assumendo sia che la sorgente sia abbastanza lontana dal reticolo così che fronti d'onda piani incidano su di esso, sia che lo il reticolo sia sufficientemente distante dallo schermo così che i raggi luminosi incidenti su un particolare punto  $P$  sullo schermo giungano approssimativamente paralleli. Siano



**Figure 38.19** Intensity versus  $\sin \theta$  for a diffraction grating. The zeroth-, first-, and second-order maxima are shown.

Condition for interference maxima for a grating

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$



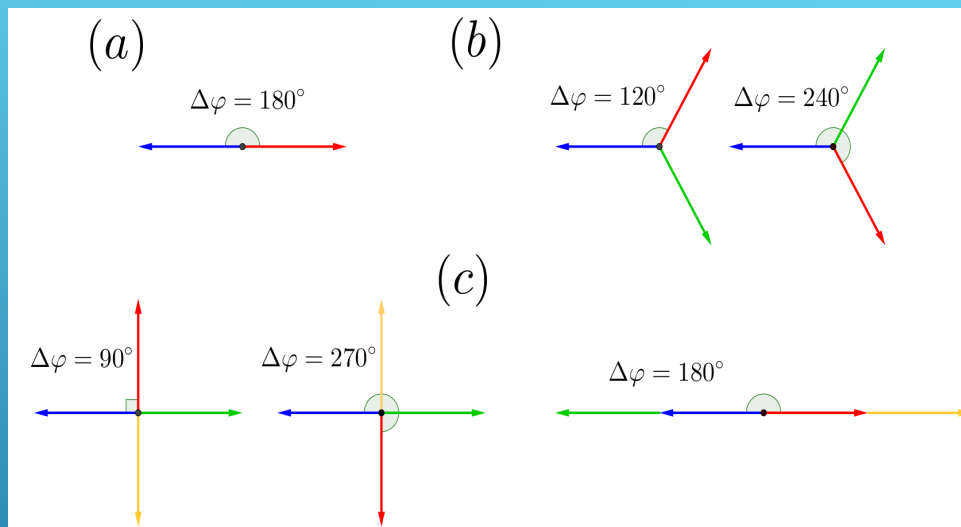
Uscenti in fase

Uscenti paralleli

Differenza di cammino  
 $\Delta x = d \sin(\theta)$

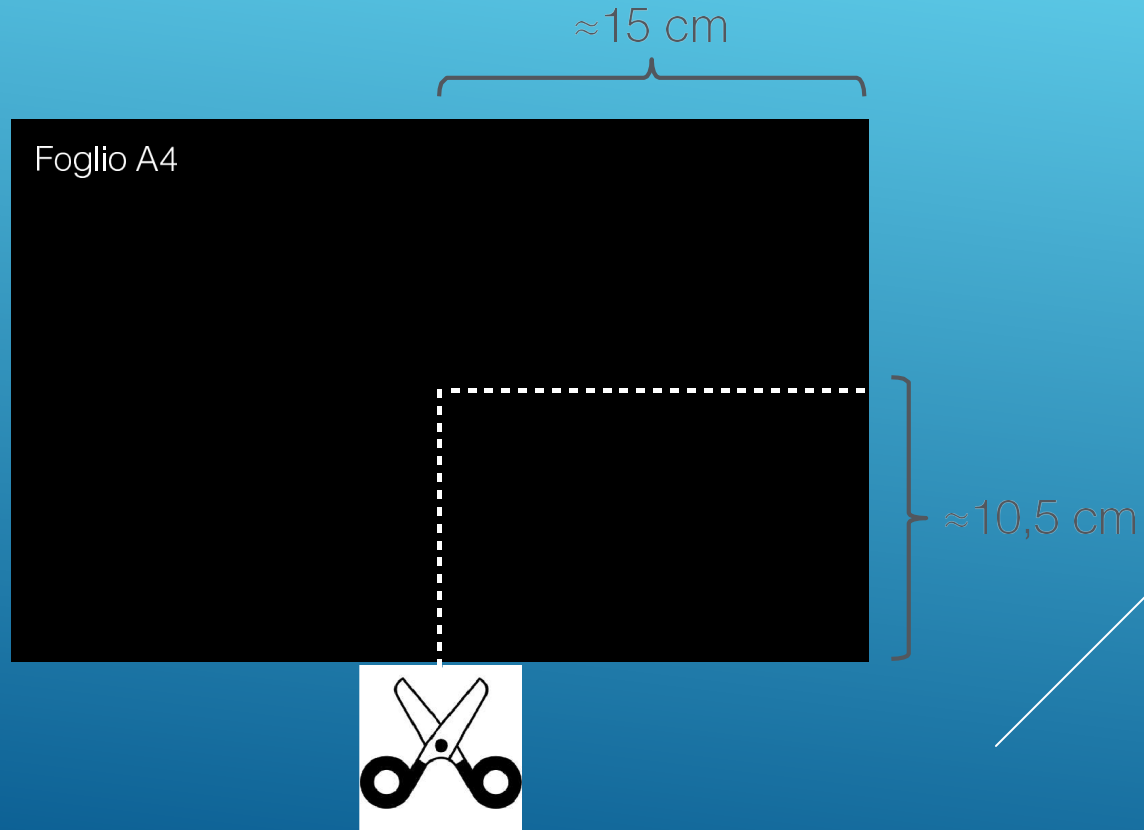
**DIFFERENZA DI CAMMINO OTTICO**

## Il caso delle n fenditure e l'estensione al caso del reticolo

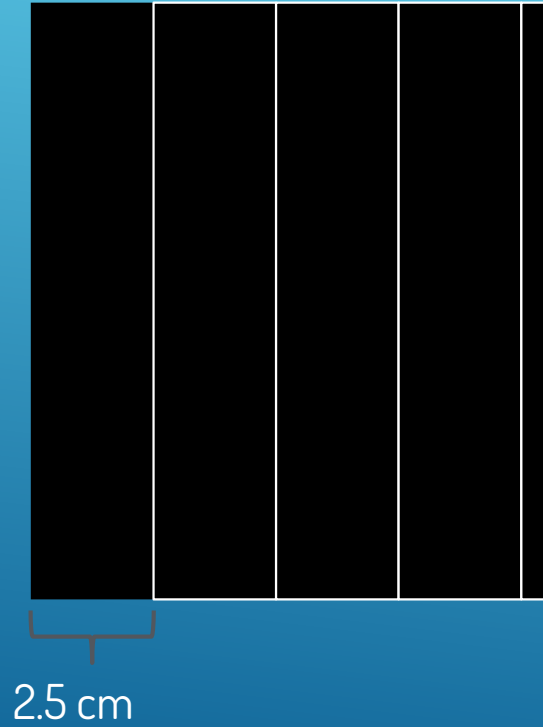


Sfasamenti dei fasori associati ai cammini attraverso fenditure successive nel calcolo di minimi per due, tre, e quattro fenditure. (a) doppia fenditura, la condizione per l'interferenza distruttiva è che i fasori siano in controfase. (b) tre fenditure, cammini successivi devono essere sfasati di  $120^\circ$  oppure di  $240^\circ$ . (c) quattro fenditure, ci sono in questo caso tre possibilità:  $\Delta\phi = 90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ . Nell'ultimo caso i vettori identici vengono mostrati già in posizione punta-coda per chiarezza. Il fatto che il numero di minimi compreso tra due massimi successivi cresce con il numero delle fenditure (è in effetti uguale al numero delle fenditure diminuito di uno) può spiegare perché, nel caso del reticolo di diffrazione, si vedano solo righe ben definite corrispondenti alle posizioni dei massimi, separati da zone in cui l'intensità è praticamente nulla.

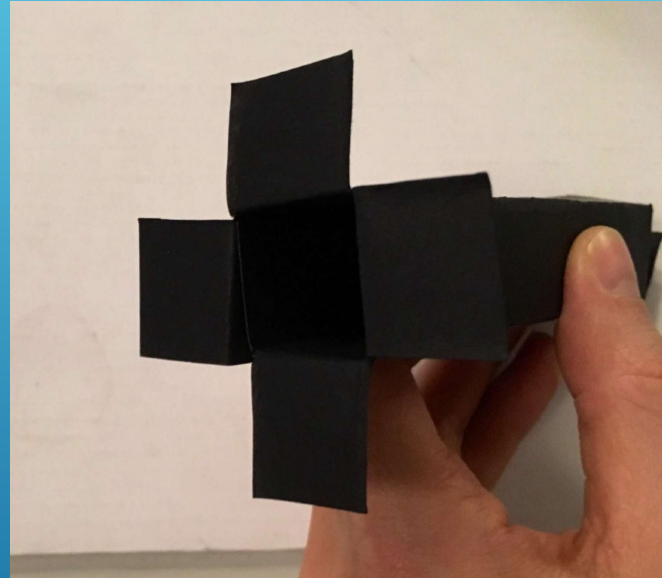
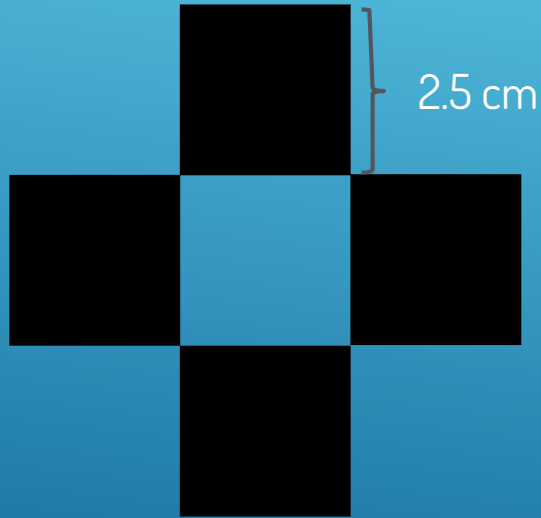
# Costruiamo lo spettroscopio



# Costruiamo lo spettroscopio

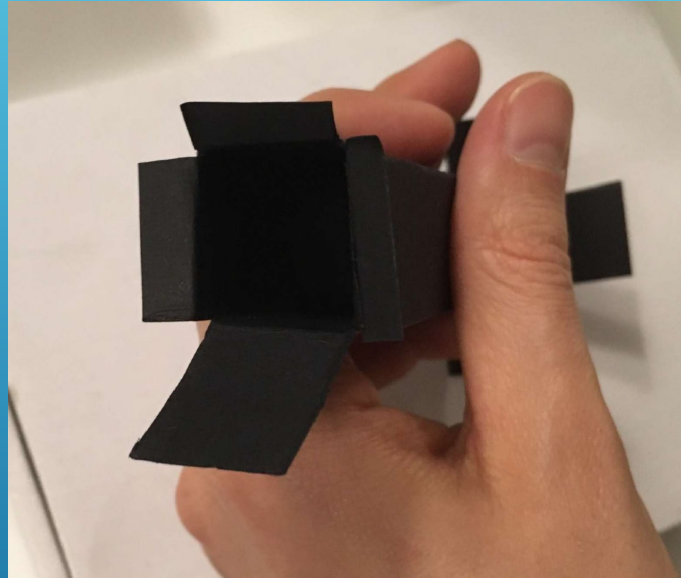
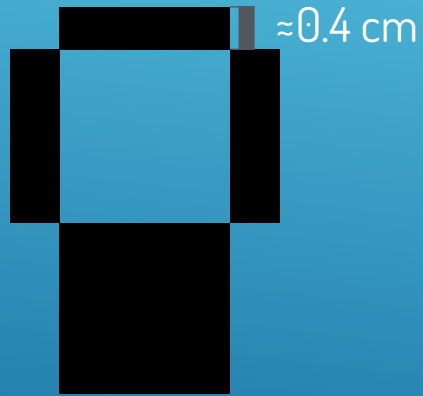


# Costruiamo lo spettroscopio



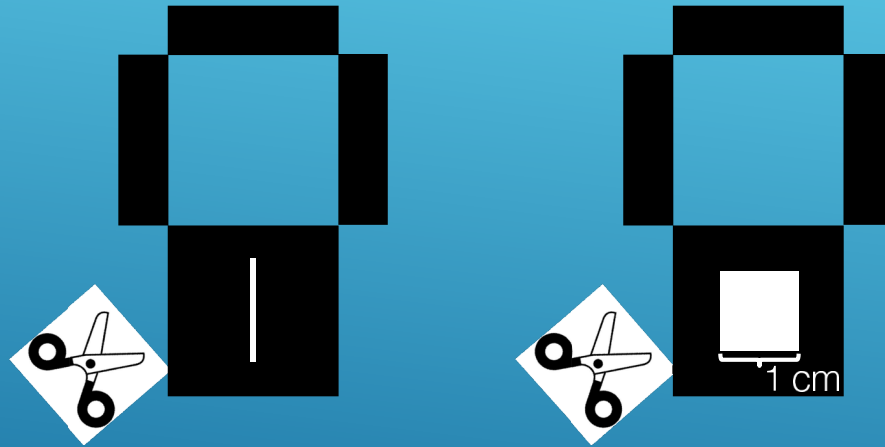
Tagliamo così entrambe le estremità

# Costruiamo lo spettroscopio



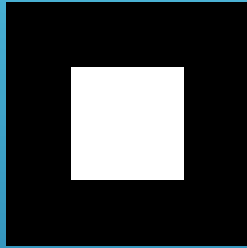
Ritagliamo in questo modo

# Costruiamo lo spettroscopio

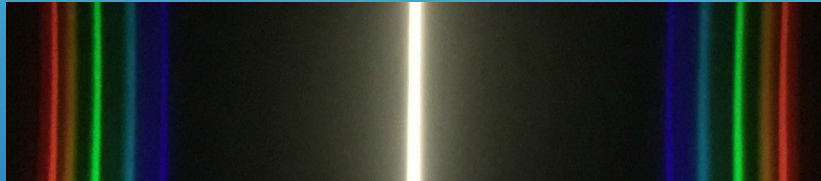
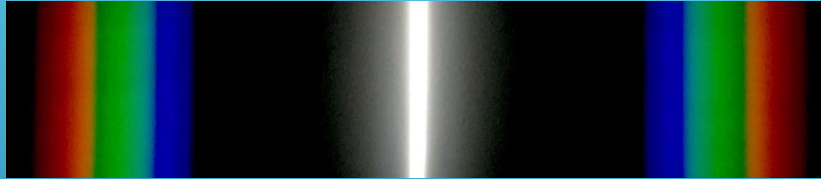


In una estremità ritagliare una piccola fenditura.  
Nell'altra un quadrato sul quale attaccheremo il reticolo.

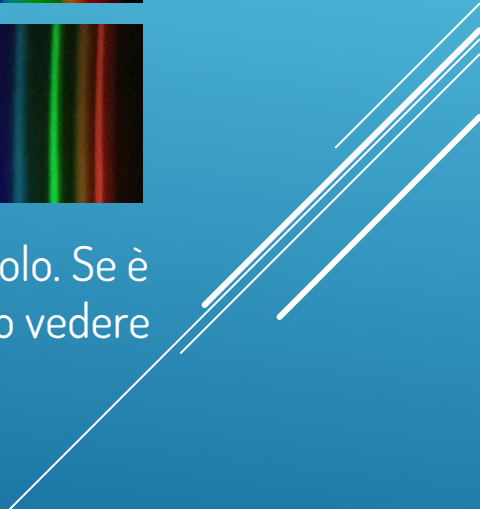
# Costruiamo lo spettroscopio



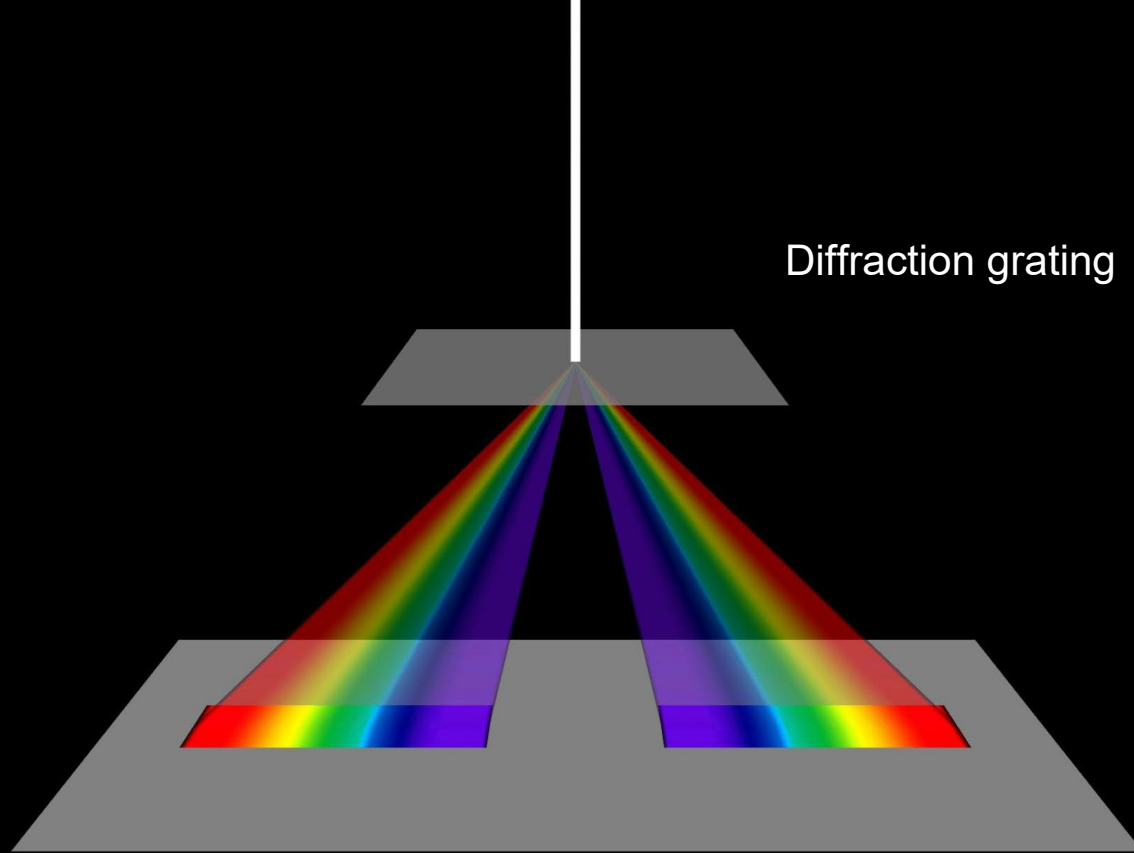
Fissare il reticolo di diffrazione.

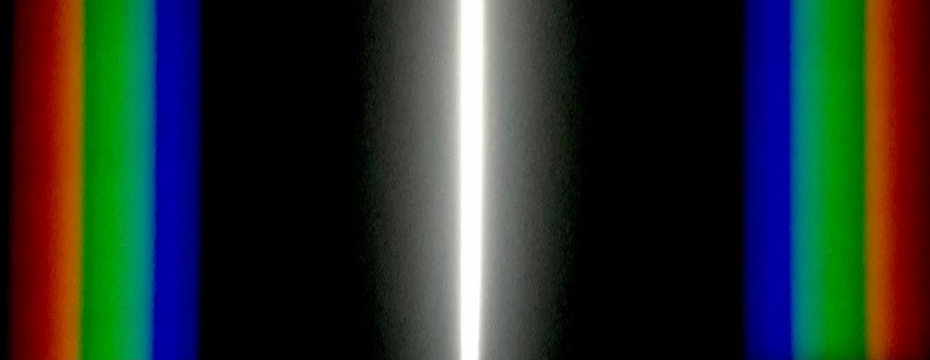


Attenzione all'orientamento del reticolo. Se è orientato nel modo giusto dovremmo vedere immagini di questo tipo.

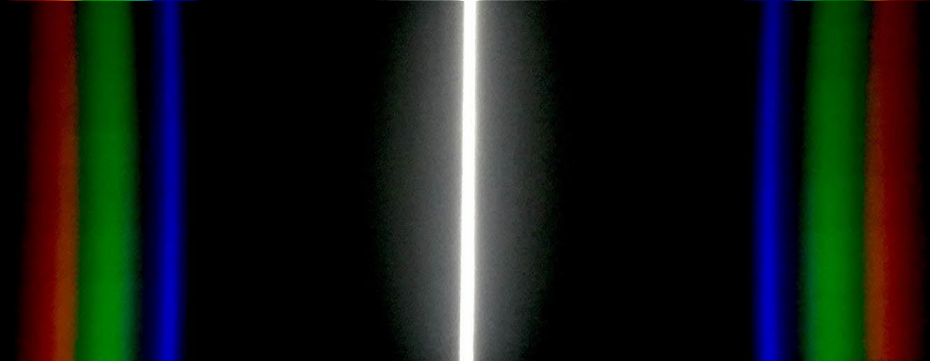


Diffraction grating

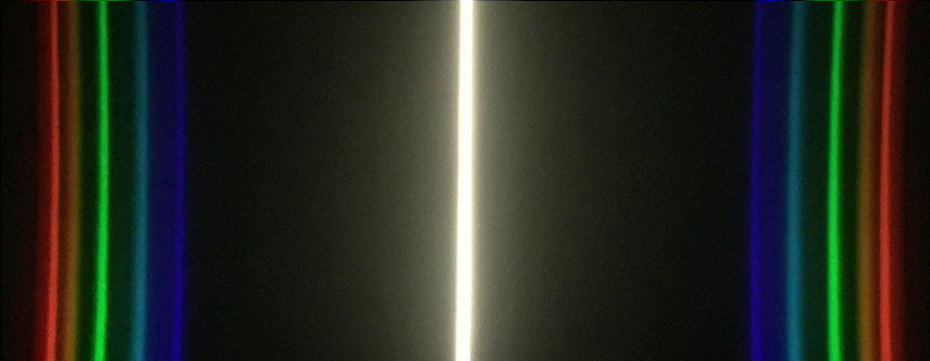




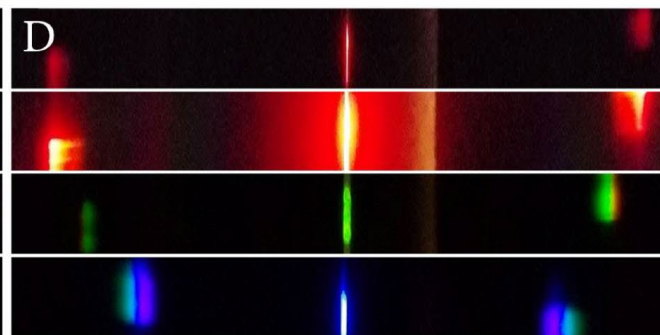
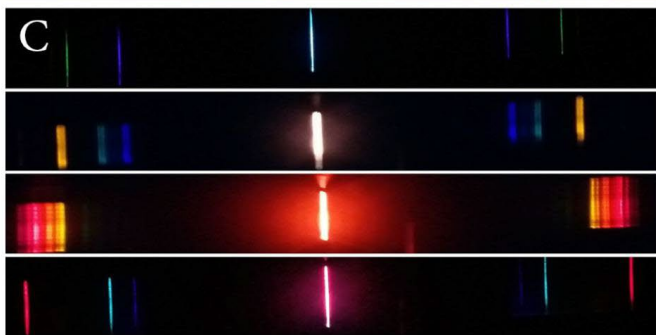
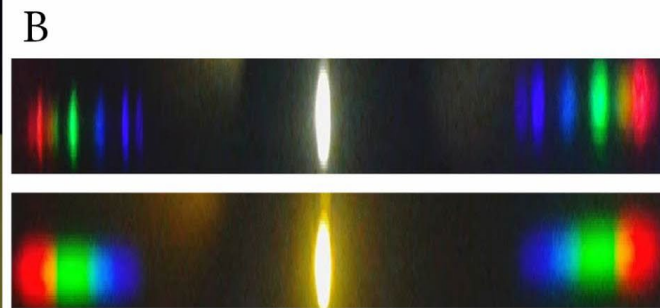
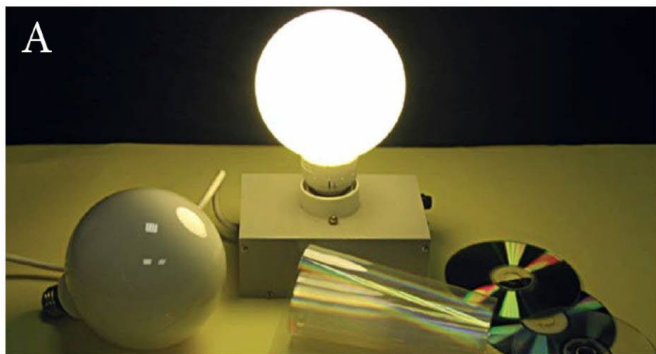
Sole



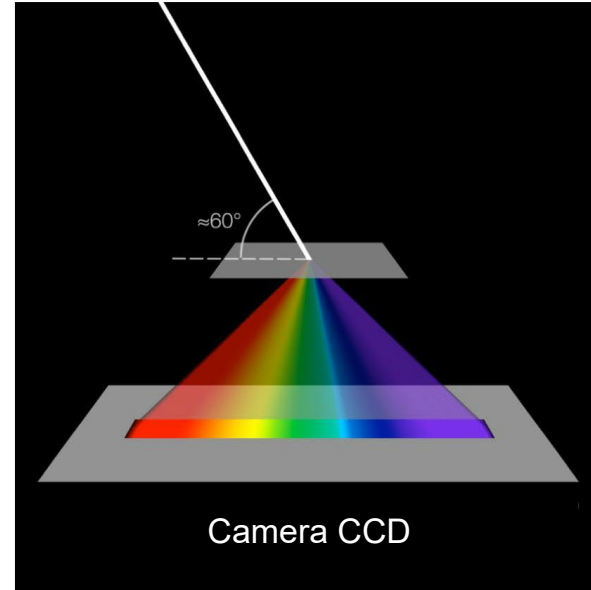
Monitor  
(bianco)



Lampada a  
fluorescenza



# 1000 linee/mm



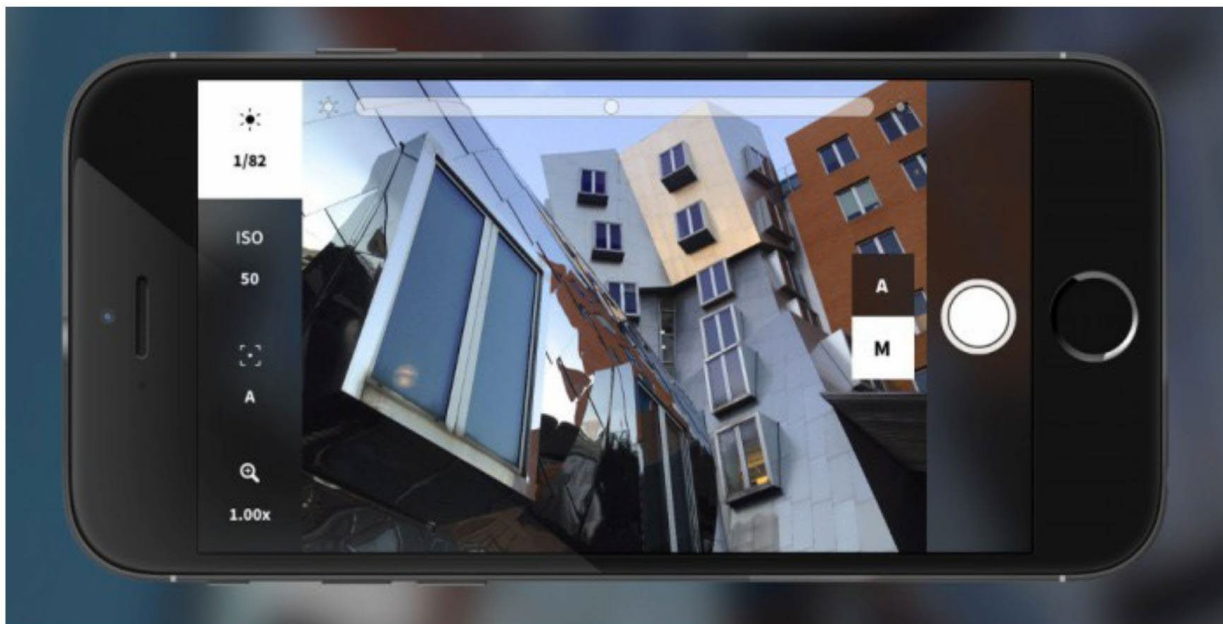
Possiamo aumentare la risoluzione dello strumento usando un reticolo con più linee per mm, però la costruzione diventa leggermente più complicata perché dobbiamo fare entrare la luce dalla fenditura con un certo angolo

III.  
Da spettroscopio  
a spettrometro



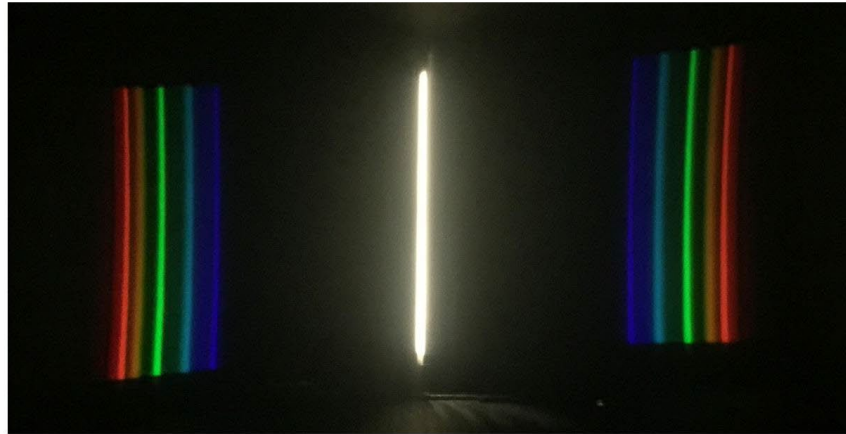
# Luff (iOS) / Open Camera (Android)

App per fare foto usando regolazioni manuali. Non sono indispensabili da usare ma aiutano ad ottenere righe meglio definite e diminuiscono il rischio di sotto/sovraesposizione.



# Calibrazione in lunghezza d'onda

Abbiamo visto che puntando il nostro spettroscopio verso una lampada a fluorescenza otteniamo un'immagine di questo tipo:



Possiamo cioè distinguere 5 linee di colori diversi.

# Calibrazione in lunghezza d'onda

In realtà alcune righe nascondono più lunghezze d'onda, ma non essendo il nostro strumento in grado di risolverle, ne vediamo una sola:

Colore	Lunghezza d'onda	Origine del picco	Picco apparente
Blu	436.6	mercurio	437
Ciano	487.7	<u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup>	488
Verde	542.4	<u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup>	545
	546.5	mercurio	
Giallo	577.7	probabilmente <u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup> o	590
	580.2	mercurio o <u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup>	
	584.0	probabilmente <u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup>	
	587.6	o <u>europio</u> in Eu <sup>+3</sup> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	593.4	probabilmente <u>europio</u> in Eu <sup>+3</sup> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	599.7	probabilmente <u>europio</u> in Eu <sup>+3</sup> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Rosso	611.6	<u>europio</u> in Eu <sup>+3</sup> :Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	619
	625.7	probabilmente <u>terbio</u> Tb <sup>3+</sup>	

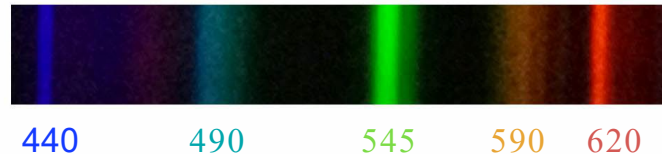


# Calibrazione in lunghezza d'onda

Questo tipo di illuminazione, essendo ancora molto utilizzato nelle scuole, può essere usato come calibrazione in lunghezza d'onda del nostro strumento.

Possiamo cioè puntare il nostro spettroscopio verso una qualunque sorgente a fluorescenza per sapere dove cadono le righe di cui conosciamo la lunghezza d'onda.

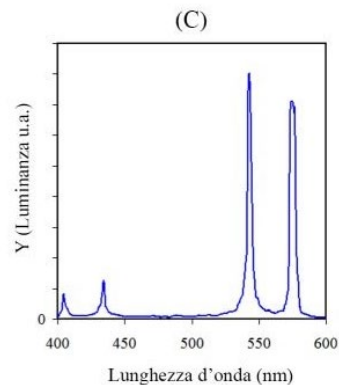
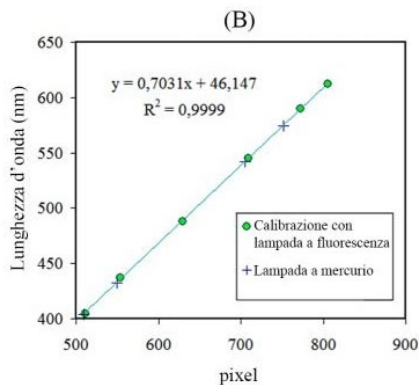
A questo punto, usando queste cinque righe come riferimento, possiamo stimare la lunghezza d'onda di qualunque altra sorgente.



# Calibrazione in lunghezza d'onda

Nel caso in cui fosse disponibile, può essere usata una lampada a mercurio.

405-408 436 546 577-579

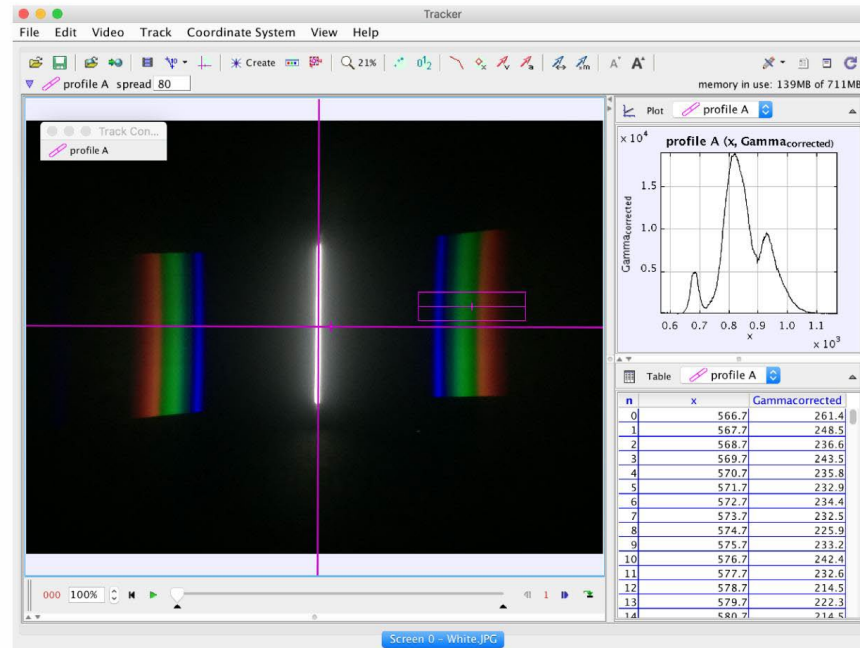


## LAMPADA A VAPORI DI MERCURIO

<u>lunghezza d'onda (<math>10^{-10}</math> m)</u>	<u>Colore</u>	<u>Intensita'</u>
4046.56	VIOLA	alquanto intensa
4077.83	VIOLA	poco intensa
4358.33	BLU	intensa
5128.45	BLU/VERDE	poco intensa
5460.74	VERDE/GIALLO	alquanto intensa
5769.60	GIALLO	alquanto intensa
5790.66	GIALLO	alquanto intensa
6149.50	ARANCIONE	intensa
6907.52	ROSSO	poco intensa
7081.90	ROSSO	poco intensa

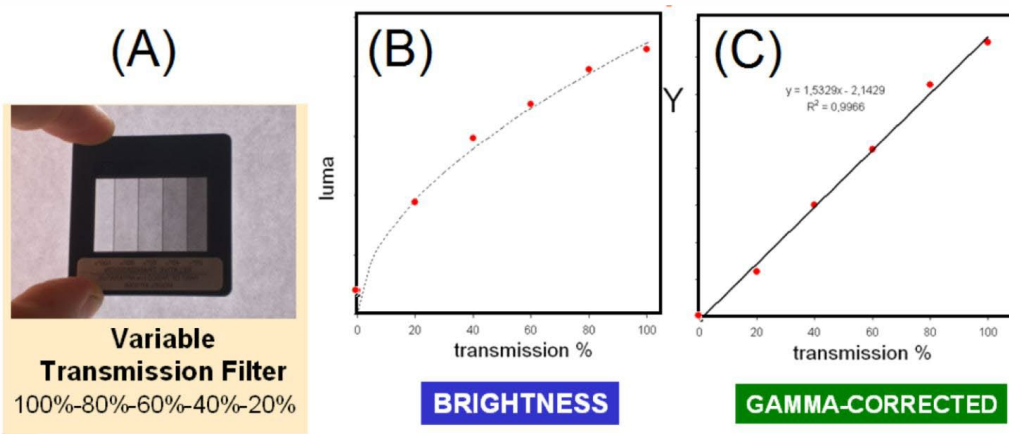
# Analisi quantitativa con "Tracker"

Tutorial su drive (fino a pagina 8)



# Attenzione!

Il sensore della macchina fotografica non risponde linearmente all'intensità luminosa che riceve, ma logaritmicamente:



Questo non accade né per caso né per errore: corrisponde infatti al funzionamento del nostro occhio.

# Gamma correction

Per un uso qualitativo dello strumento (molte delle esperienze che si possono fare a livello scolastico) non è necessario preoccuparsene. Tuttavia, se oltre alla posizione dei picchi vogliamo avere delle misure quantitative anche riguardo alla loro intensità, dobbiamo correggere i nostri dati.

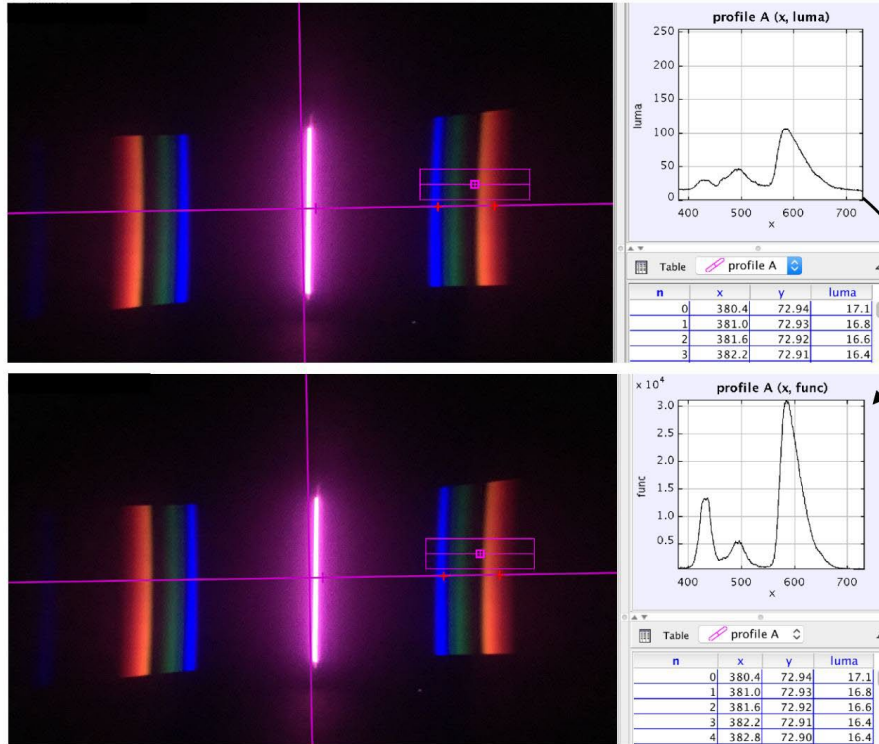
Per farlo ricorriamo alla cosiddetta “gamma correction”. Prendiamo cioè i 3 colori registrati nell’immagine (il rosso, R, il verde, G, e il blue, B) e otteniamo una misura corretta di intensità usando la seguente formula:

$$Y_{\text{measured}} = 0.2126 R^\gamma + 0.7152 G^\gamma + 0.0722 B^\gamma$$

gamma = 2.2



# Gamma correction



(Nel tutorial che ho caricato su drive su Tracker e spettroscopia è presentato anche come applicare la gamma correction)











