

Come nascono i colori?

Spettroscopia, o la scienza dei fantasmi

Grzegorz Karwasz

*Cattedra della Didattica di Fisica
Università Nicolao Copernico
Torun, Polonia*

karwasz@fizyka.umk.pl
dydaktyka.fizyka.umk.pl



https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/1033

- Tutte le parole scientifiche provengono dal Greco. Tutte, tranne lo “spettro” [1]. Questo fu usato da Cicerone in una delle sue lettere, a poi ripreso nel 1704 nel “Opticks” di Newton. “Spettro” vuol dire l’immagine, simulacro, rappresentazione. Nelle scienze moderne “spettroscopia” è una parola pass-par-tout.
- Con delle spettroscopie si studiano i resti di cibi trovati nella tomba di Re Mida [2], i messaggi ormonali (gassosi) delle piante [3], il profumo delle fragole fresche [4]. Però la più “accessibile” rimane la spettroscopia ottica [5].
- Nella lezione interattiva, in chiave del neorealismo e cognitivismo [6] risponderemo alle domande:
 - - che capelli porta la ragazza bionda?
 - - quanti colori ci sono nell’arcobaleno?
 - - di che colore è la lampadina rosa?
 - - come riconoscere il buon vino senza aprire la bottiglia?
- Nonostante le domande scherzose, le risposte sono serie.

I colori in fisica, chimica o biologia?

- 1 Che capelli porta la ragazza bionda?
- 2 Di che colore è la lampadina rosa?
- 3 Quanti colori ci sono in un arcobaleno?
- 4 Come fa un'ape a vedere il mondo?
- 5 A cosa serve il cavolo?

Che capelli porta la ragazza bionda?



Nessun colore indovinato!

"La fisica intorno a noi"

"Spettroscopia, o scienza dei fantasmi"



Una vetrina a Londra



Neve a Folgaria



Cadine (Trento)



Una custodia CD

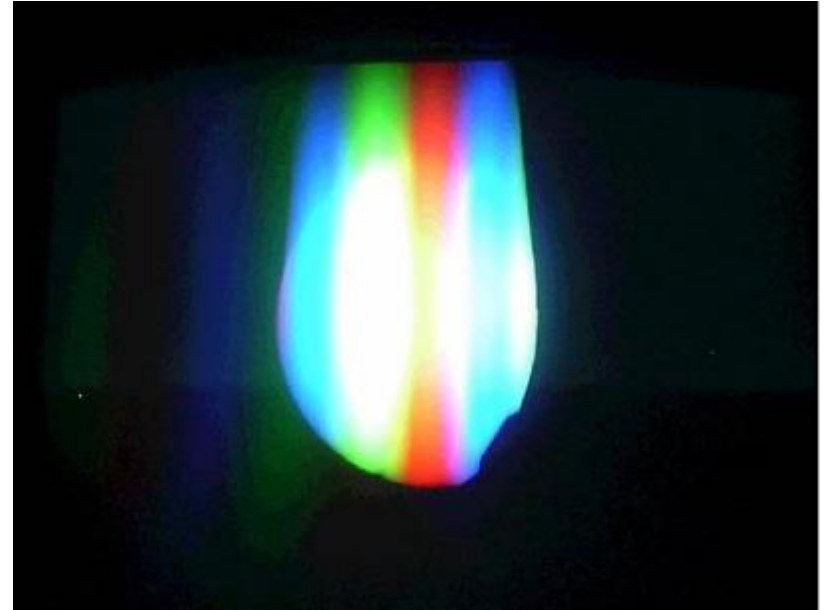


Una vetrina a Berlino

**Tutto il mondo è attorno a noi:
basta guardare (e pensare) [GK]**

I colori di base (in TV)

rosso, **giallo**, **verde**, **blu**



Perché bastano tre, piuttosto che quattro?

Lo spiegano caratteristiche di nostri *foto-ricettori* nell'occhio

FIAT LUX! Una mostra interattiva, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/FIAT_LUX/html/

Un vecchio TV: Hotel André Latin, Paris, 2004

I colori fondamentali: addizione

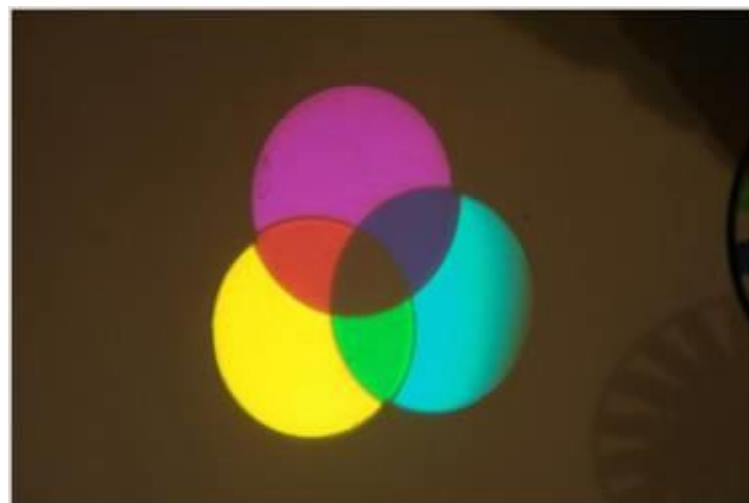
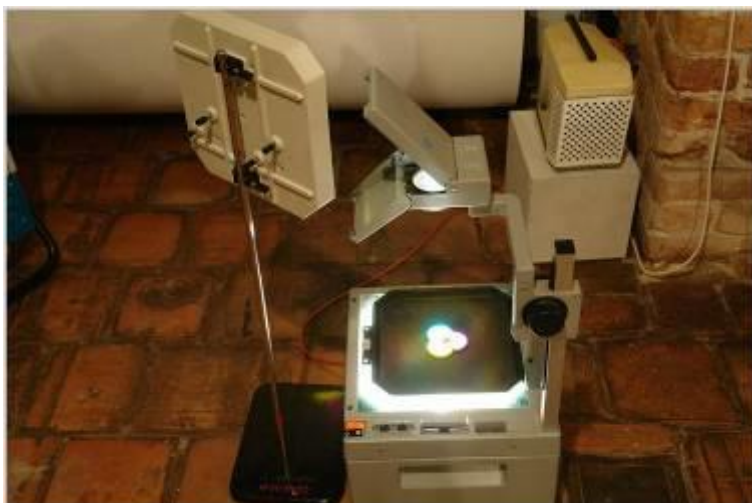
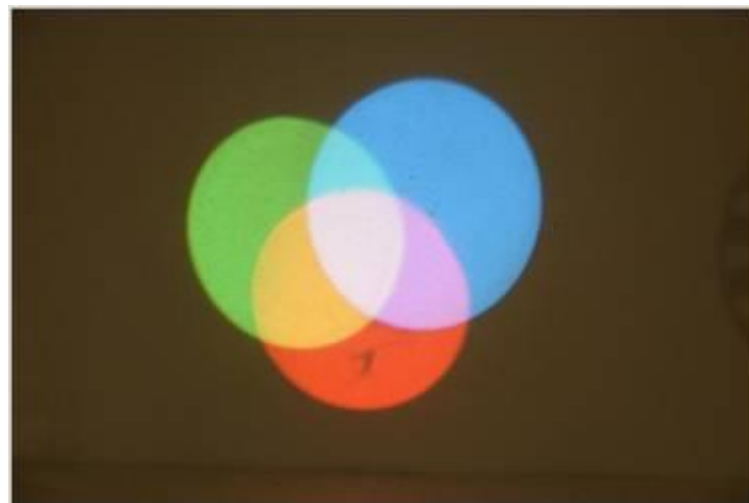
Składanie kolorów

*Eksperyment służy do wyjaśnienia pojęcia **składania addytywnego**. Jest to realizowane przez użycie płaskiego źródła światła, arkusza cienkiego kartonu z trzema otworami, z filtrem w każdym otworze (czerwony, zielony i niebieski) oraz trzech luster.*

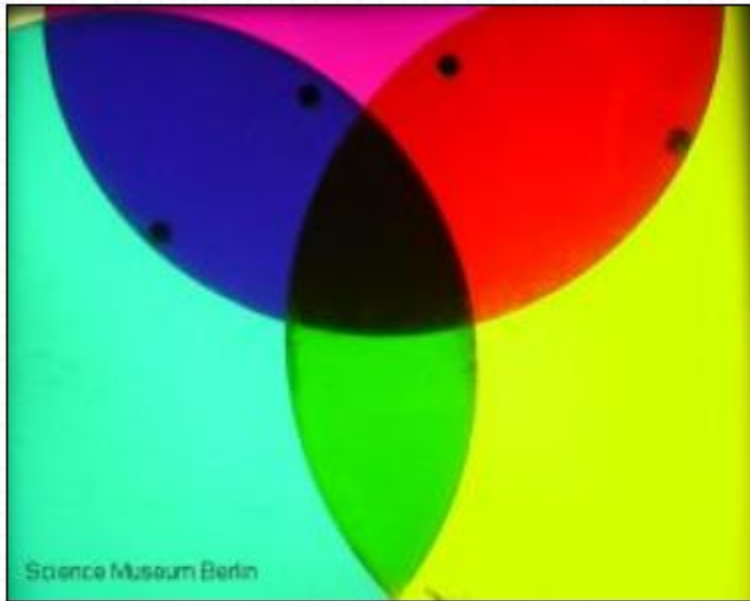
Doświadczenie pokazuje w jaki sposób można otrzymać każdy kolor używając tylko trzech kolorów o właściwym natężeniu. Jeśli ustawi się karton w płaszczyźnie źródła światła otrzyma się trzy barwne promienie. Za pomocą trzech luster można rzucać je na biały ekran. Teraz można na różne sposoby nakładać trzy kolory (*zobacz ilustracje*); w szczególności należy odnotować, że jeśli nałoży się na siebie wszystkie trzy kolory podstawowe otrzyma się światło "białe".



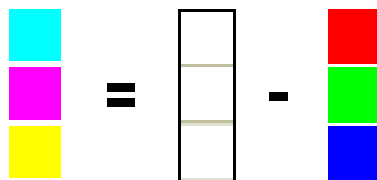
Colori fondamentali in emissione (addizione) e in assorbimento (sottrazione)



Colori fondamentali in assorbimento



La luce bianca si può ottenere sommando tre colori "principali": il rosso, verde e blu - questi tre fasci luminosi messi insieme danno l'impressione di luce bianca. Mescolando diversamente le proporzioni si può ottenere l'impressione di altri colori. Per questo motivo i colori rosso, verde e blu vengono chiamati i colori principali. Ma lo stesso colore può essere ottenuto in modi diversi - per esempio il colore giallo esiste come tale, oppure la stessa impressione si ottiene sommando il fascio luminoso rosso con il fascio verde. Nella stampa (e nella pittura) i colori principali sono diversi: giallo, magenta (rosa) e ciano (azzurro). Come mostra la foto di tre filtri che vedi qua.



$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Perché il cielo è blu?



perché il sole che tramonta è rosso!

I colori del cielo (San Paolo, Brasile)



Foto: Carmen Busco Sao Paol

I colori complementari, come ci insegnano a scuola:
viola e giallo

I colori del cielo (San Paolo, Brasile)



Foto: Carmen Busco Sao Paol

Stesso posto: un'altra coppia di colori complementari

I colori del cielo (San Paolo, Brasile)

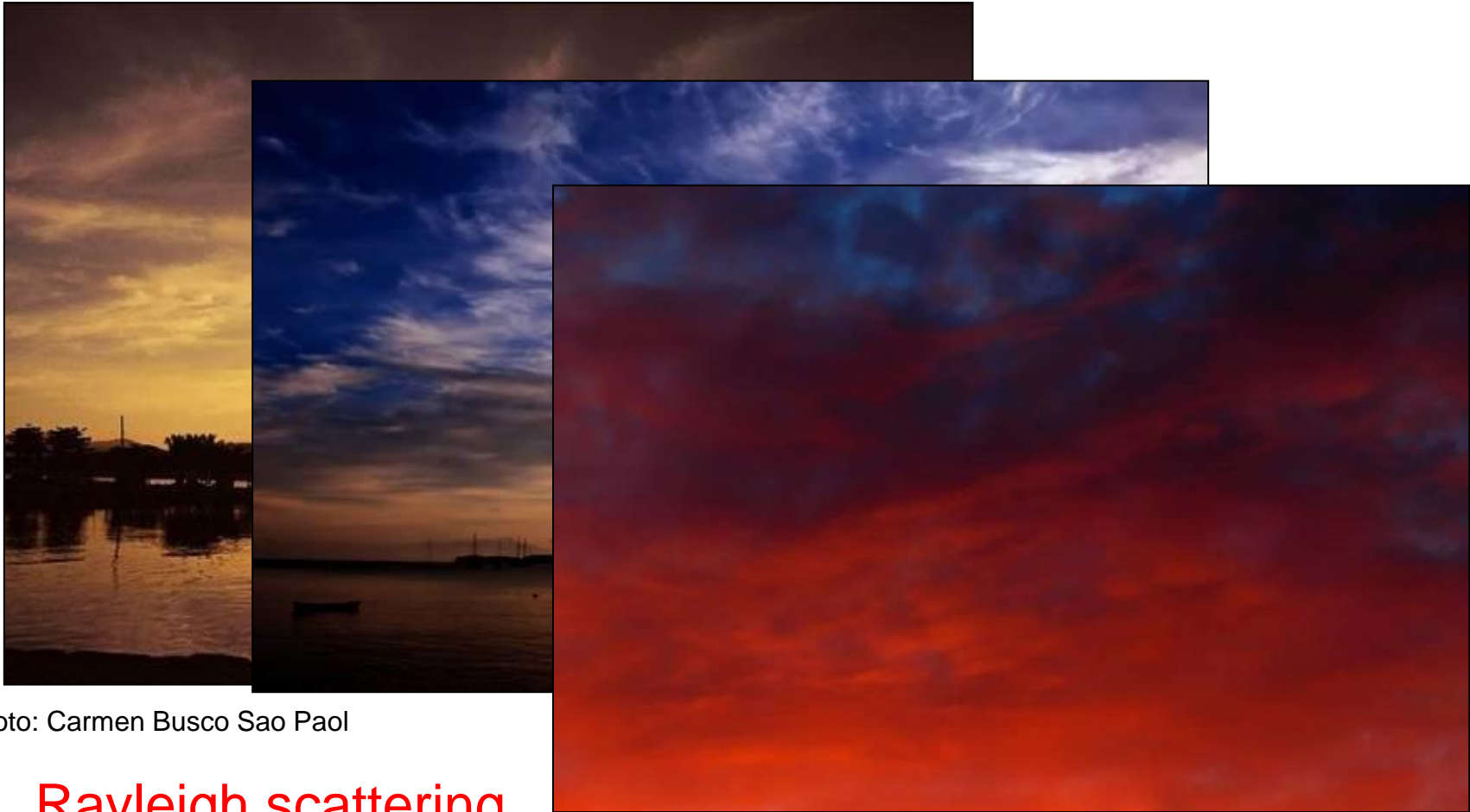


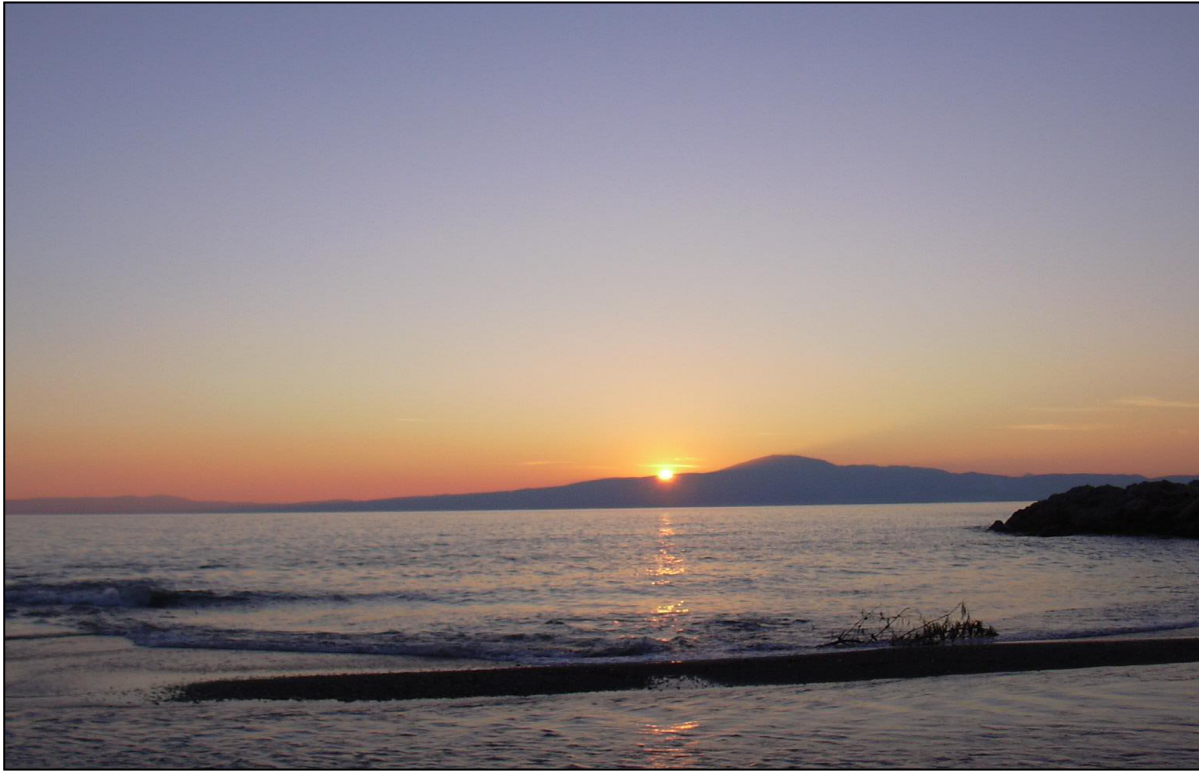
Foto: Carmen Busco Sao Paol

Rayleigh scattering

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{3} \frac{d^6}{\lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2$$

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

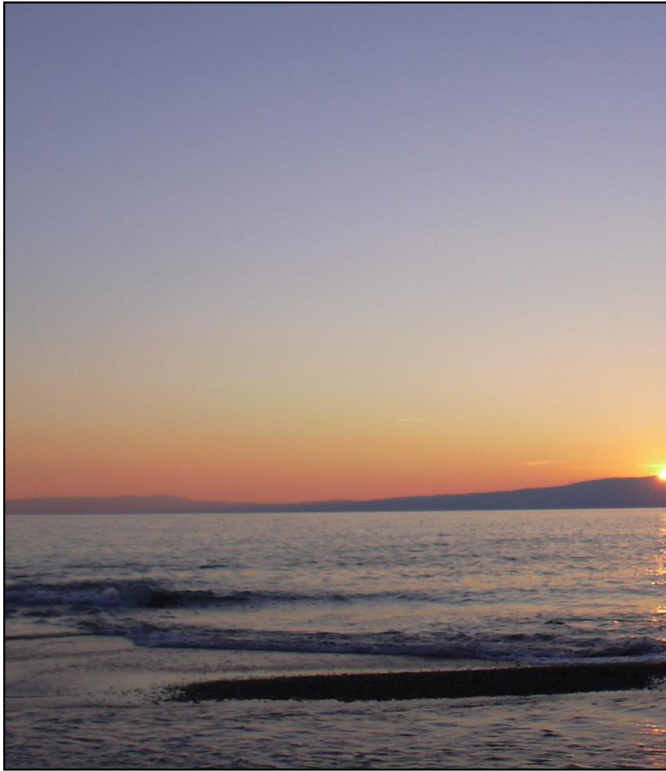
I colori del cielo (Rodi, Berlino)



Rodos, lipiec
Berlin, 24.06.2009

Rosso di sera – bel tempo si spera
Tramonto rosa in inverno: gelo pungente

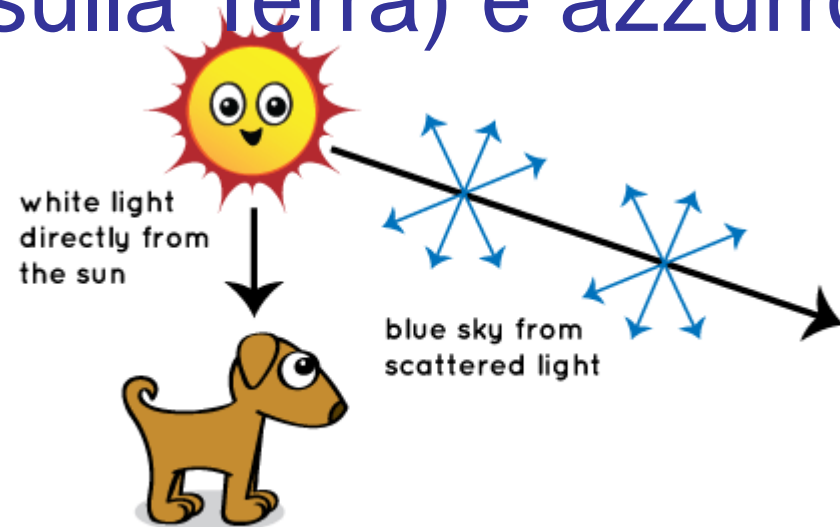
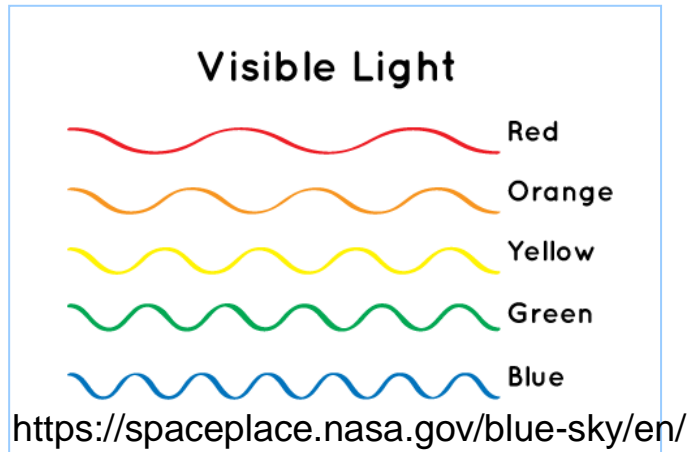
I colori del cielo (Rodi, Berlino)



Rodos, lipiec
Berlin, 24.06.2009

Rosso di sera – bel tempo si spera
Tramonto rosa in inverno: gelo pungente

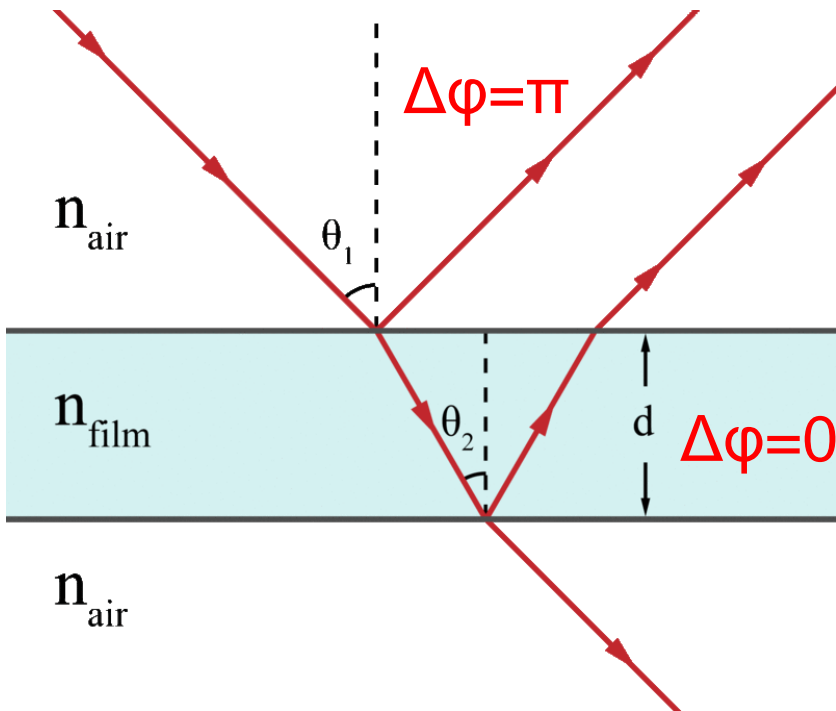
Perché il cielo (sulla Terra) è azzurro?



Sul Marte (tanta polvere e CO₂ in atmosfera)
i tramonti sono viola e i cielo a mezzogiorno è rosso



Bolle di sapone



I colori sono quelli «complementari»: magenta, giallo, 'ciano'

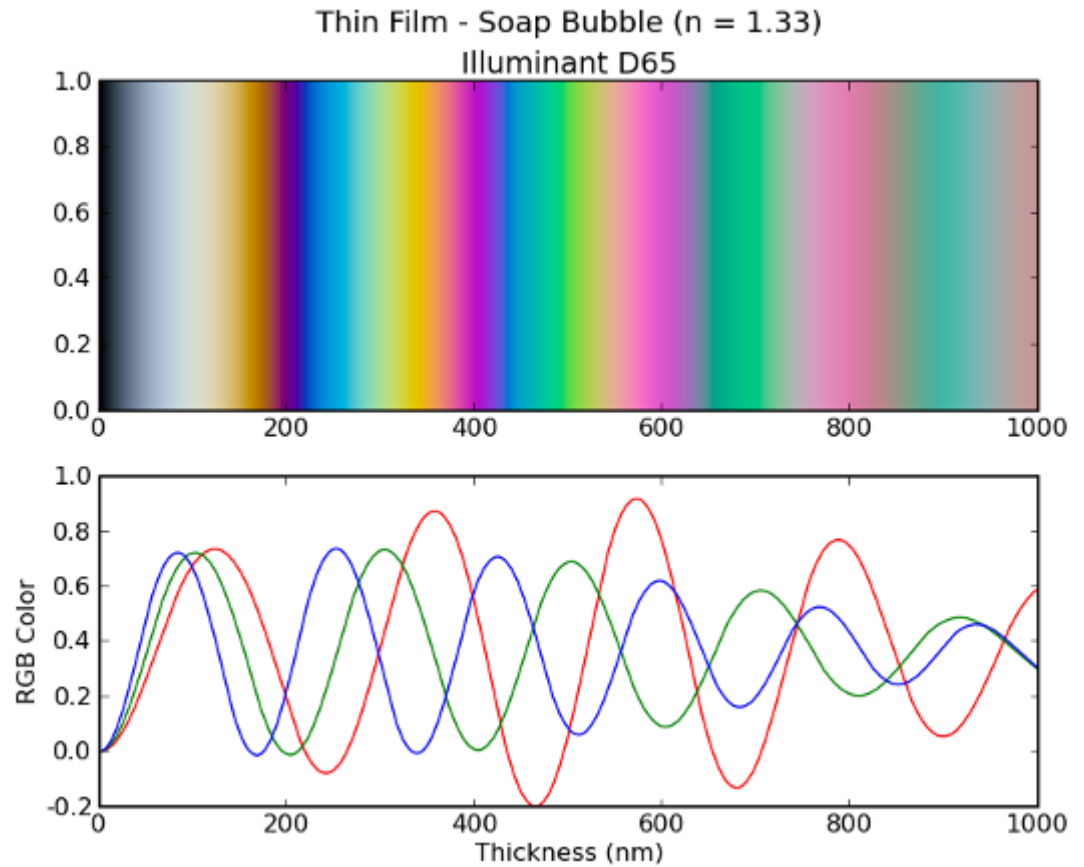
Bolle di sapone, ricetta chimica.

<https://www.giovanigenitori.it/lifestyle/bolle-di-sapone/>

Interferenza costruttiva $2nd \cos(\theta_2) = (m - \frac{1}{2})\lambda$

Interferenza distruttiva $2nd \cos(\theta_2) = m\lambda$

Bolle di sapone



L'interferenza: onde si sommano o si annullano a vicenda

Quanti colori sono nell'arcobaleno?



I sette colori
sono: 1) rosso
2) ...

Infra-rosso (sopra), ultra-violetto (sotto)

San Lorenzo in Banale (TN)

Quanti colori sono nell'arcobaleno?



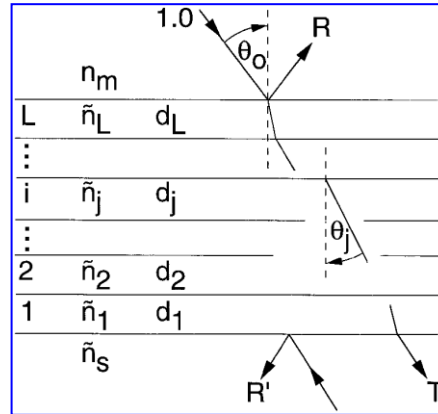
**Arcobaleno secondario (sopra) – colori invertiti,
con una fascia scura in mezzo**

Quanti colori sono nell'arcobaleno?

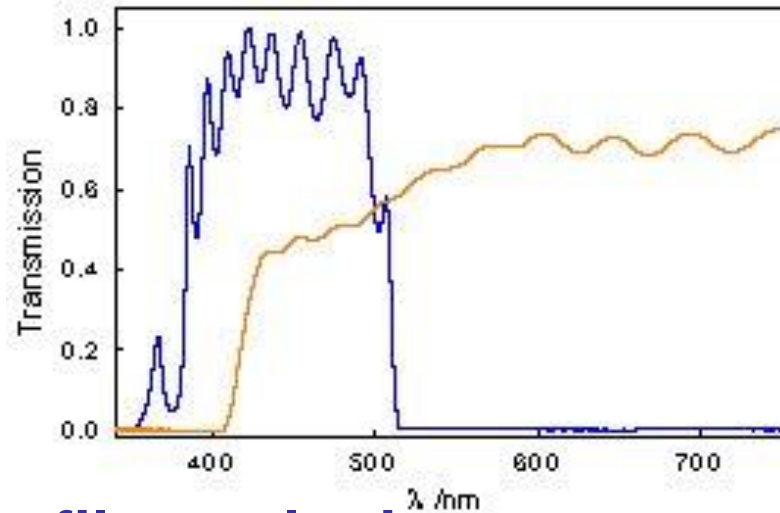


Ma sotto, ancora un'altra fascia, con i colori diversi?
Sì, i colori «ad interferenza», come nella bolla di sapone

«Occhiali colorati»



Dobrowolski, http://www.photonics.intec.ugent.be/education/IVPV/res_handbook/v1ch42.pdf



**Un filtro selettivo: passa un colore
Tutti gli altri vengono riflessu**

"La Torre d'oro"

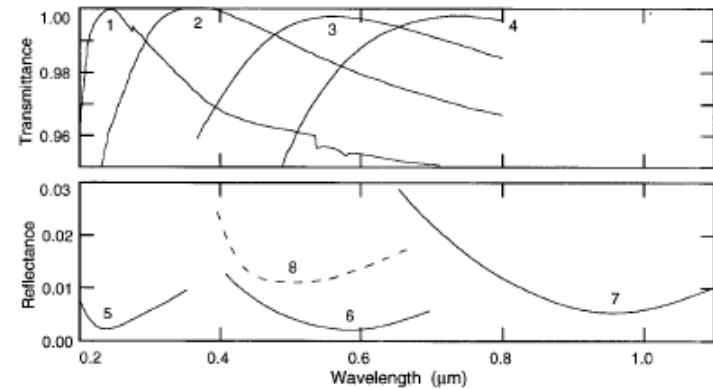
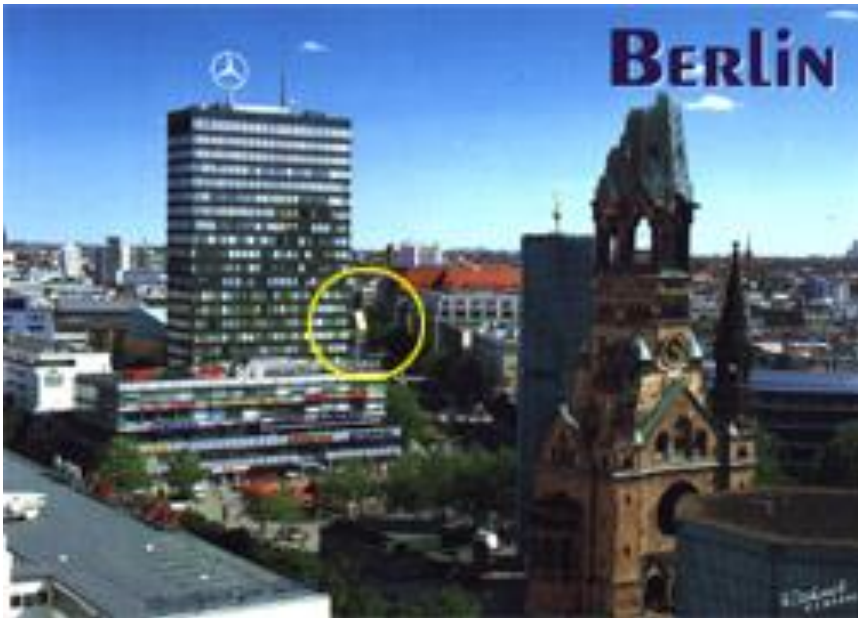


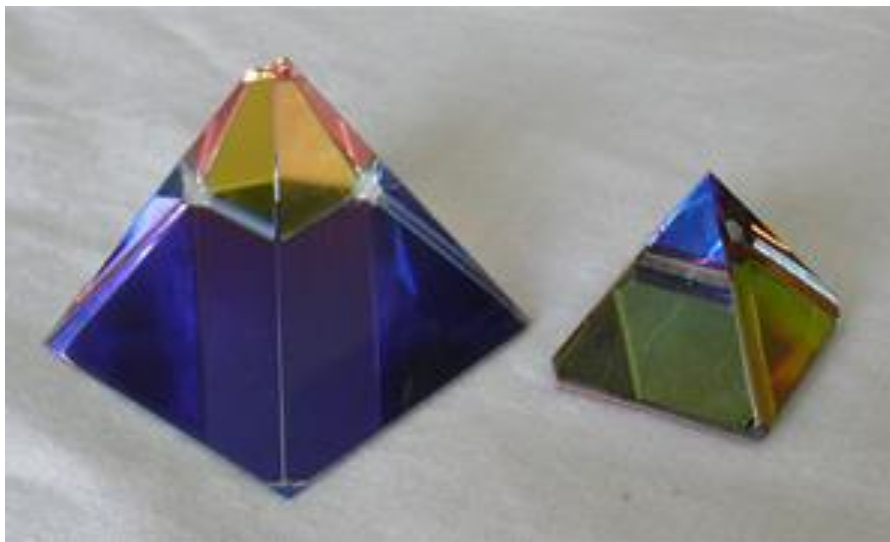
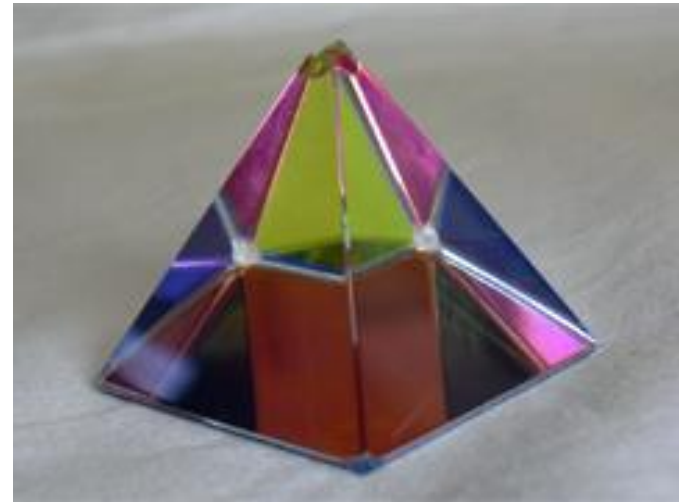
FIGURE 9 Performance of single-layer porous homogeneous antireflection coatings on various substrate surfaces. Porous silica on fused silica (1, 3, 5); on glass (6); on KDP (7); SF8 (4). Porous MgF_2 on fused silica (2). A conventional single-layer antireflection coating on glass is shown for comparison (8). (Curve 1 after Wilder;⁴¹ curve 2 after Thomas;⁴² curves 3 and 4 after Thomas;⁴³ curves 5–7 after O'Neill;⁴⁴ curve 8 after Balzers.⁴⁶)

«Sfera di Swarovski»



¿Strato selettivo
Riflettente?

"Piramide Swarovski"



¿Sintesi di tri-
ingrediente?



Reticolo di diffrazione 3D



Fot. 7. *Morpho Menelaus* (a) (fot. autor) i jego skrzydło (b) widziane pod mikroskopem elektronowym [11]. Struktura skrzydła jest trójwymiarowa siatka dyfrakcyjna, co daje piękny, połyskujący niebieski kolor



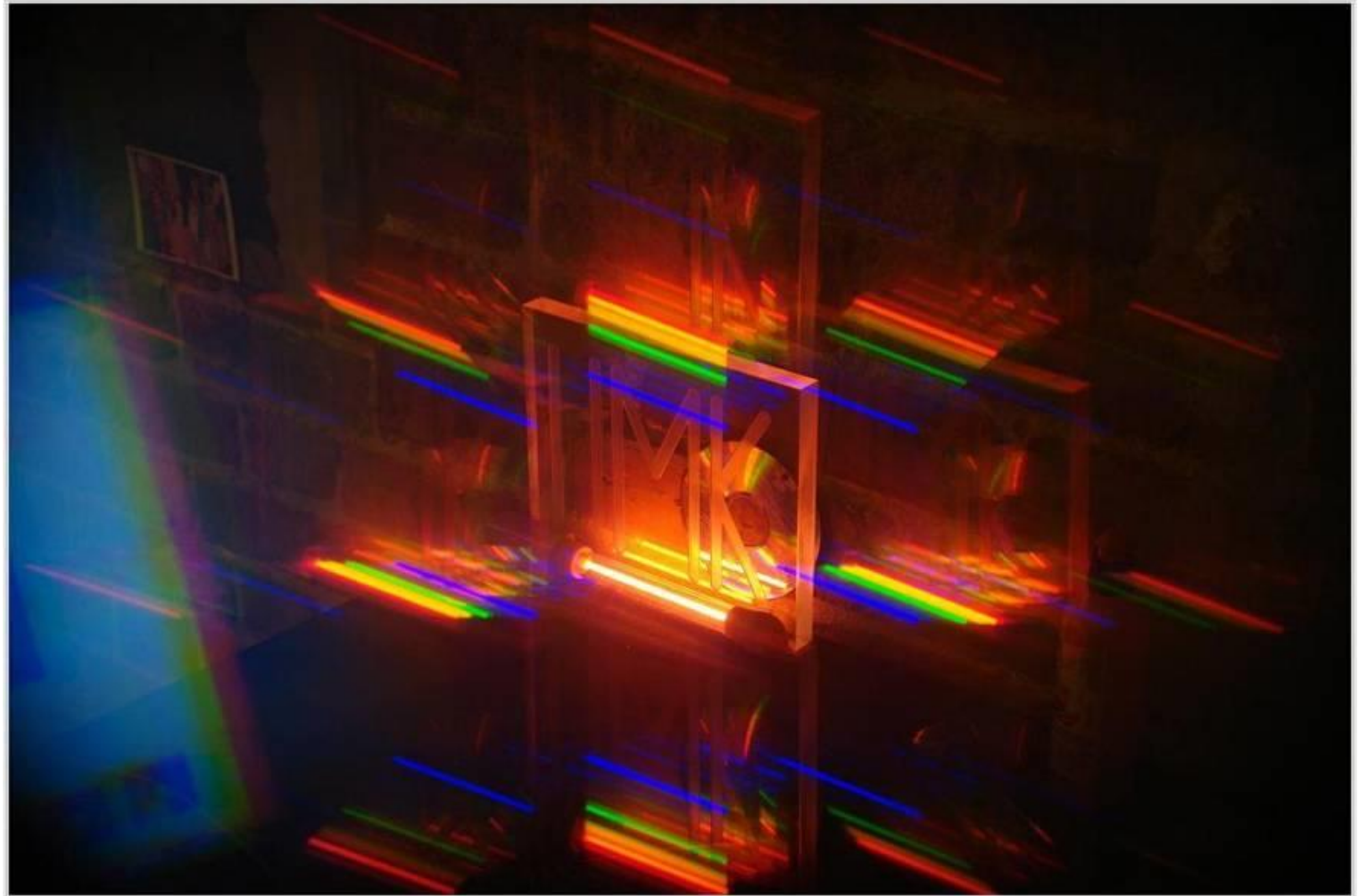
Morpho melenaus

Di che colore è la lampadina rosa?



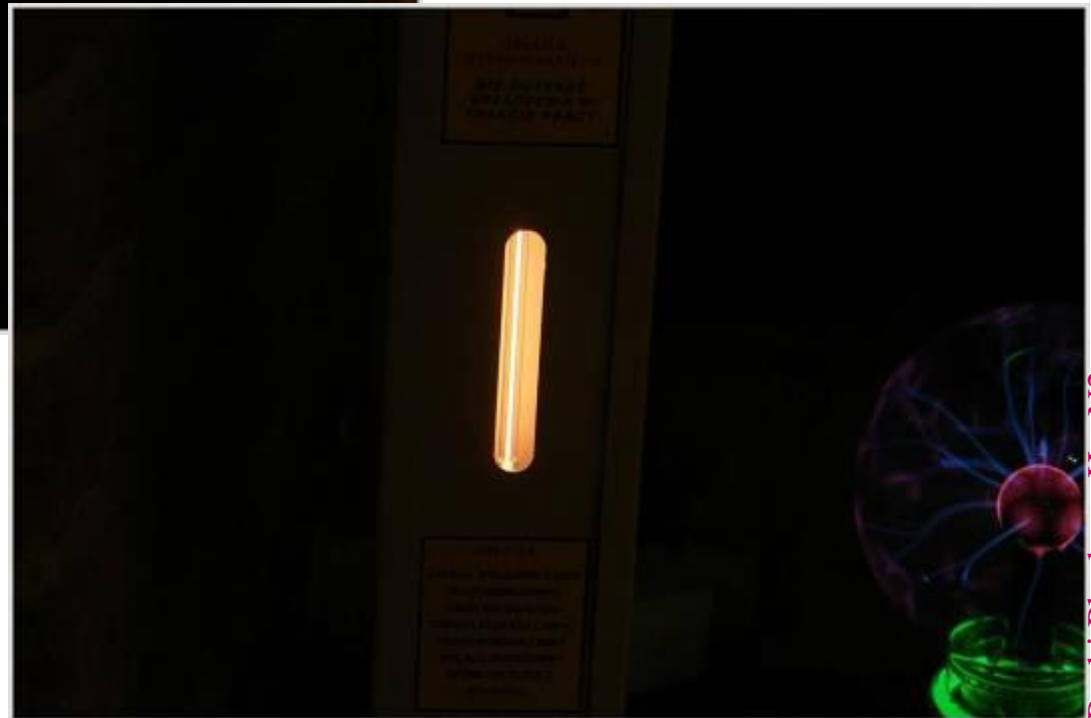
(GK) http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Rozowa_lampka.pdf

Rosa o verde?



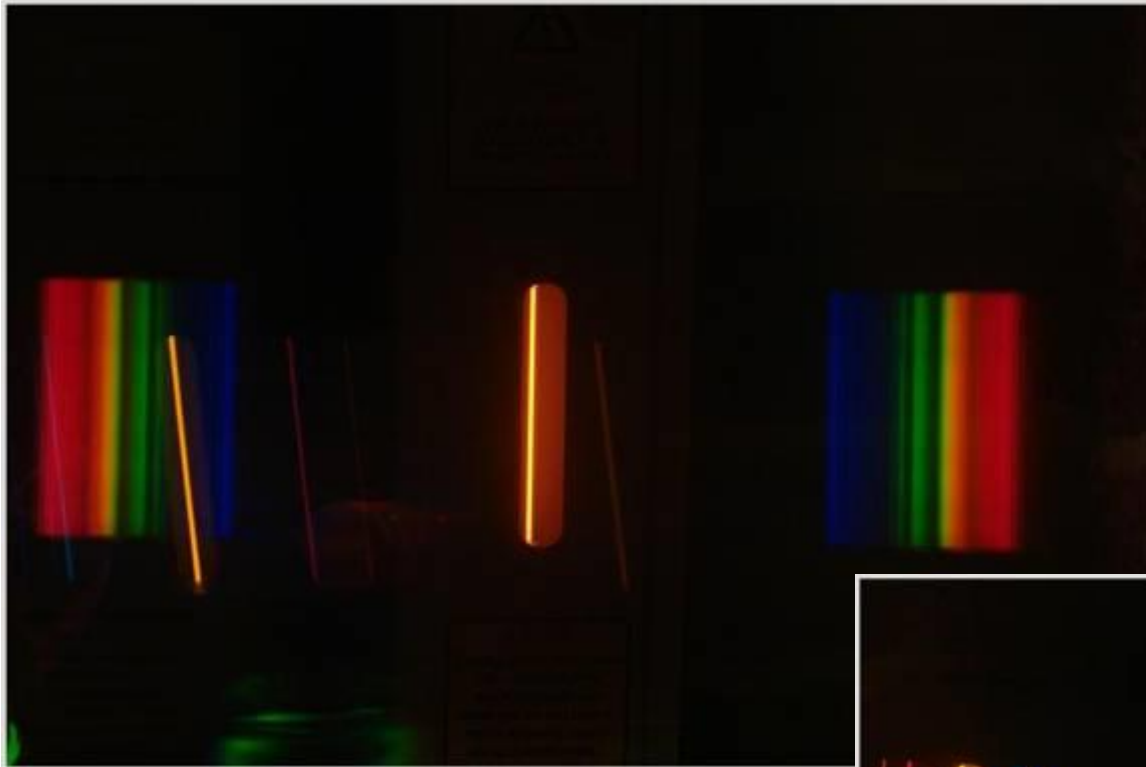
Neon (Ne): righe ben strette («atomiche»)

Altre due lampadine "rosa"

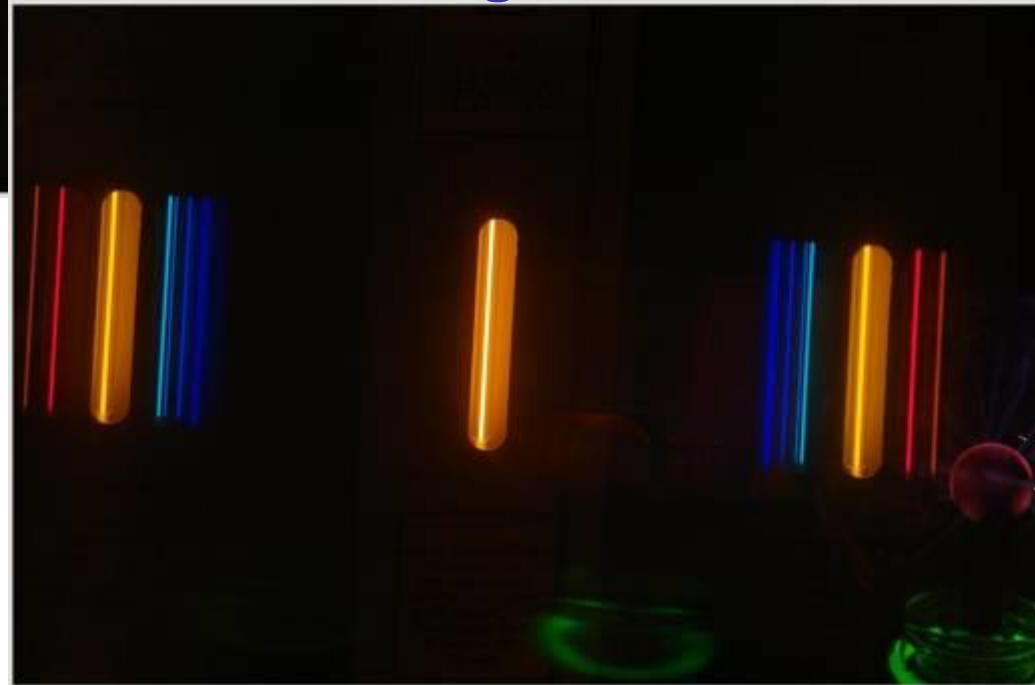


Identiche?

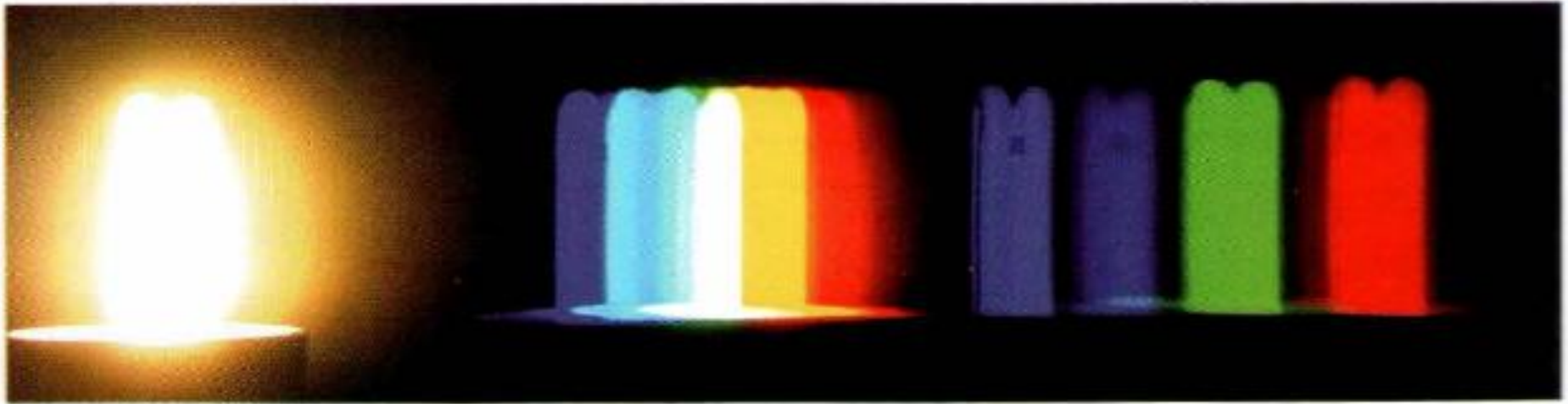
**Elio (He):
righe ben strette**



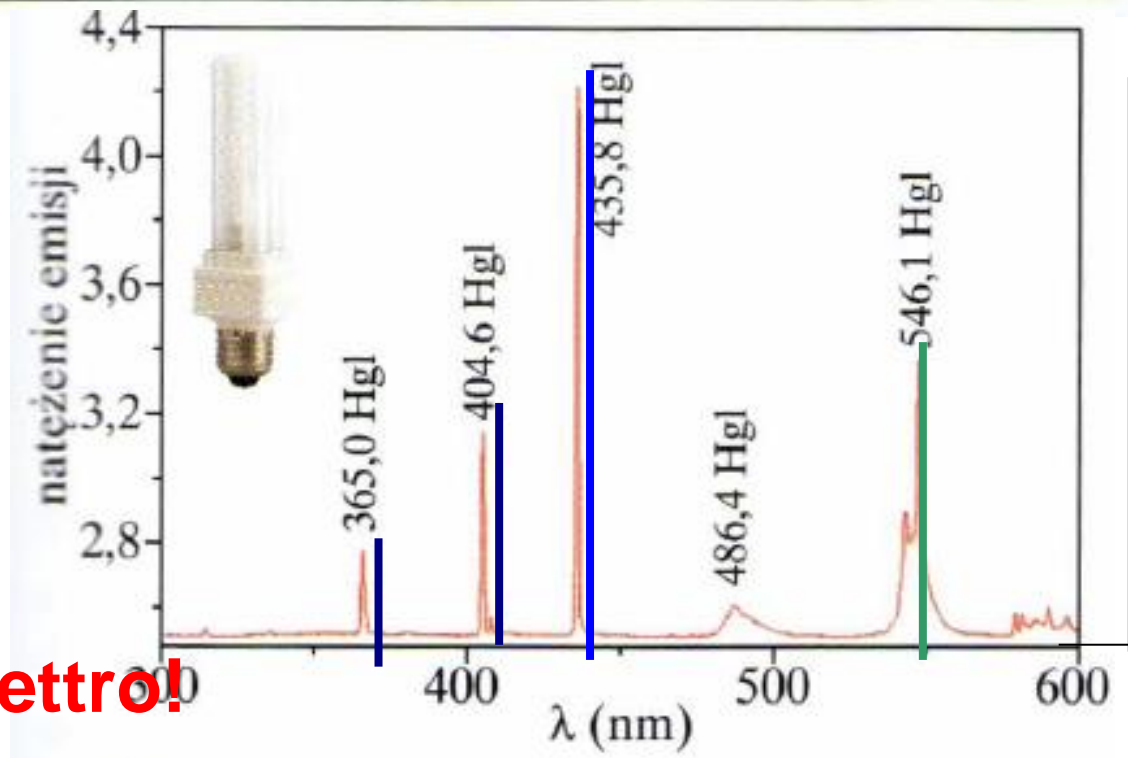
**Azoto (molecolare, N₂)
La molecola vibra,
così nascono tante deboli
righe in mezzo:
Lo abbiamo visto con
occhi propri!**



Come misuriamo i colori?



Żarówka energo-oszczędna



Ed è questo uno spettro!

I colori del fiume Vistola



Una cartolina molto conosciuta, ma nessuno l'aveva notata prima
Lo spettro di fuochi (probabilmente di Rb) contiene il rosso e blu.
Il blu penetra nell'acqua, il rosso viene riflesso: basta *notare*

Come nascono i colori? Chimica + Fisica



Atomi nella rete cristallina:

a) quarzo: SiO_2

b) ametista: Fe^{+2} in SiO_2

c) azzurrite: CuSO_4

Zaffiro: Fe^{+2} in Al_2O_3

Pietre nobili

È sempre una pietra incolore (trasparente) come quarzo SiO_2 o corindone Al_2O_3 con piccole aggiunte di ossidi di altri metalli



Tormalina



granati

Tutti i colori tranne il blu

Da vetri colorati ai filtri 'spettrali'



Rosso: 600-700 nm (0,6-0,7 μm)

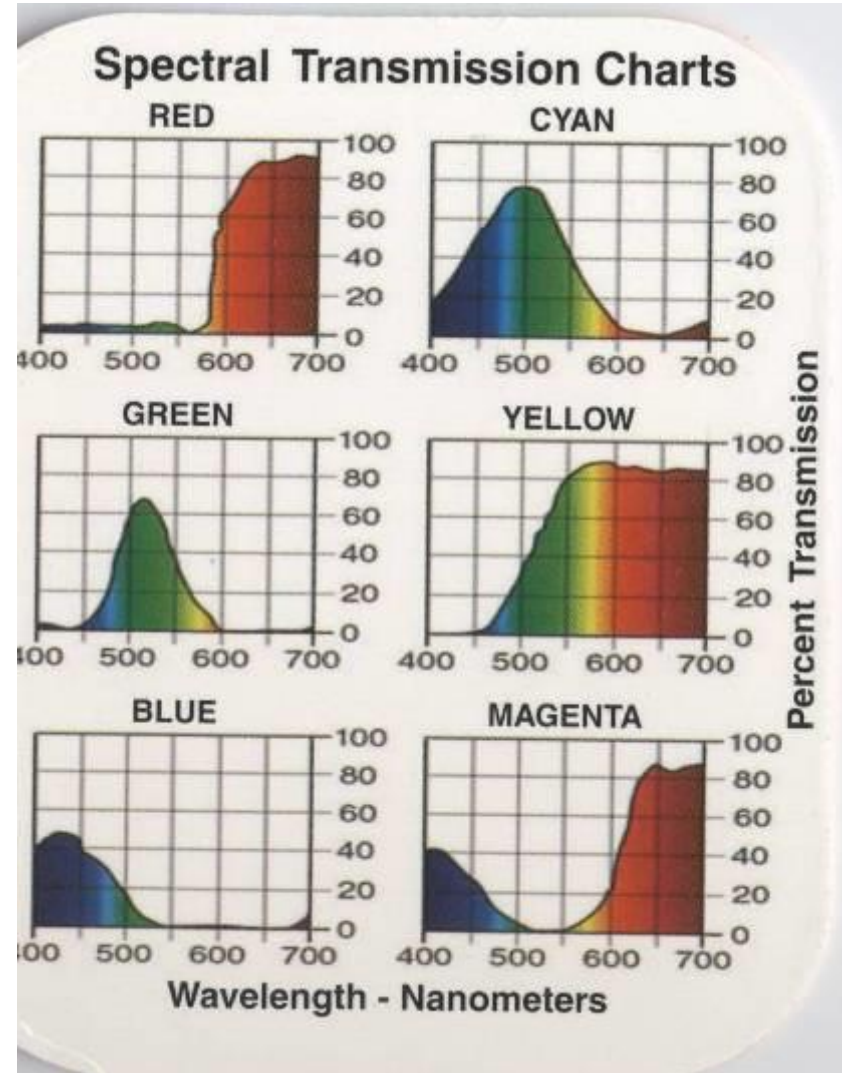
Verde: 450-600 nm

'Giallo' 500-700 nm

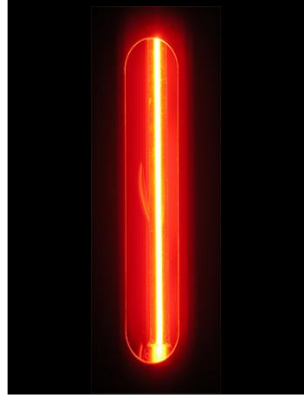
Ciano: 400-580 nm, etc.

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/FIAT_LUX

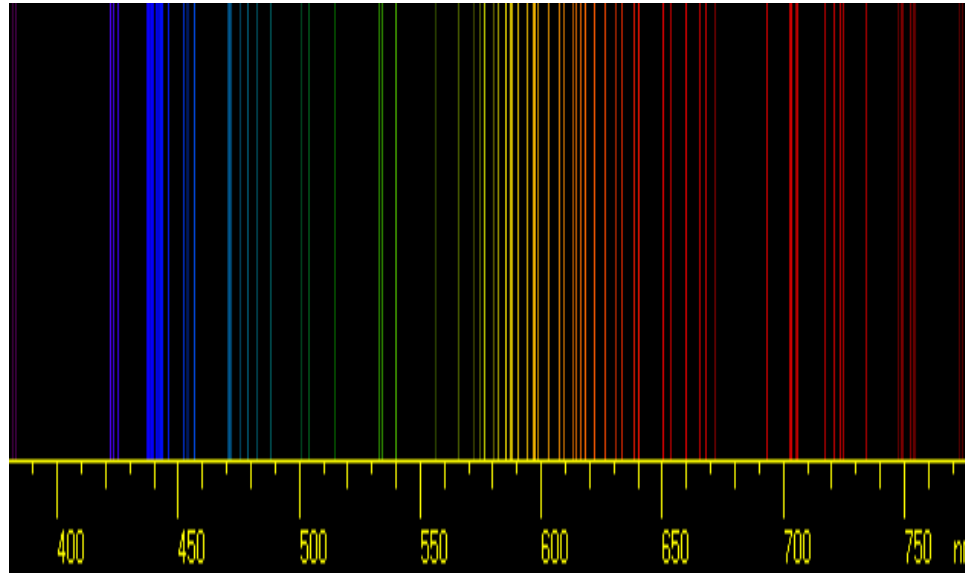
<https://www.teachersource.com/>



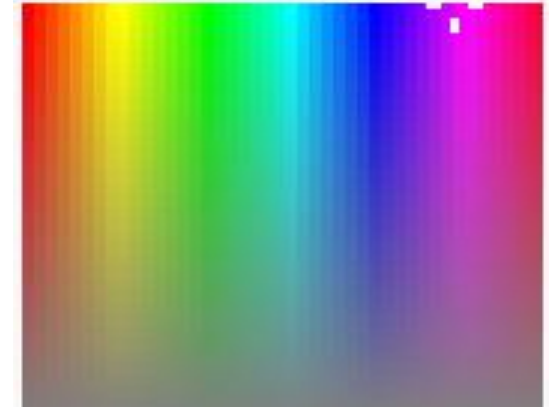
Ultravioletto e infrarosso



Spettro di neon



Dov'è scomparso il colore viola (in TV)?



Idea e foto: Maria Karwasz. Fiori – Giardino Botanico di Berlino

Perché non ci sono fiori blu (impollinati dalle api)?



Baptisia australis (falso indigo)

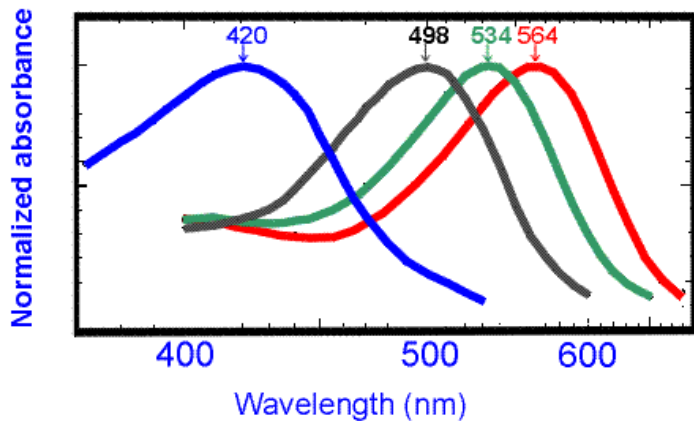


Centaurea cyanus (fiordaliso)

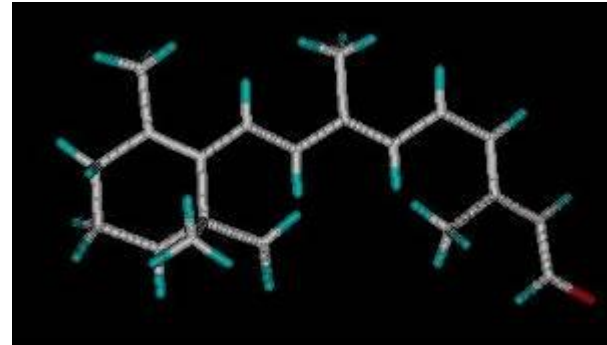
Il mondo negli occhi di un'ape

L'occhio di un'ape è diverso dal nostro. Le api vedono meglio i colori «caldi», in particolare, giallo. **Non vedono il blu** Ma possono anche vedere l'ultravioletto (sensibilità massima per 344 nm). Le api vedono per contrasto con il verde, e il marrone è nero per loro.

Kwiaty wiśni i lampa UV



After Bowmaker & Dartnall, 1980



GK, Zobaczyć, aby uwierzyć, w: *On the Track of Modern Physics*
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/specop5.ppt

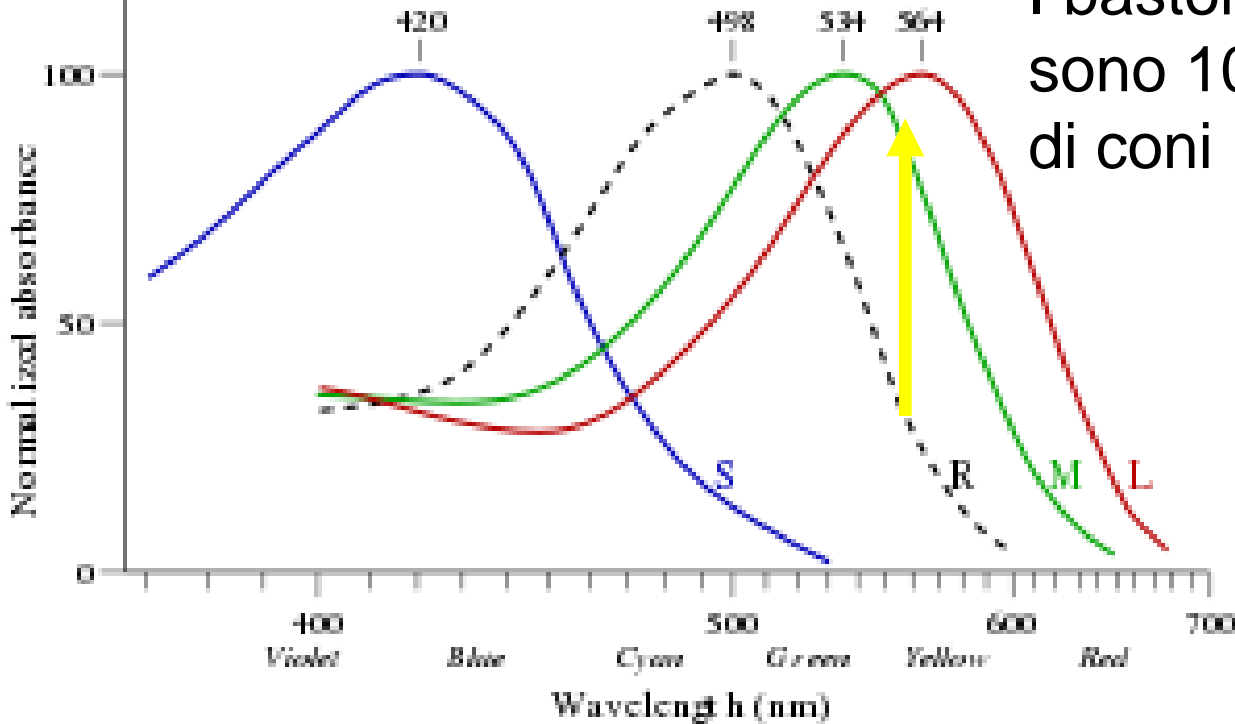
I fiori da impollinare brillano in UV



Fiori del ciliegio in UV

Perché RGB basta?

https://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell



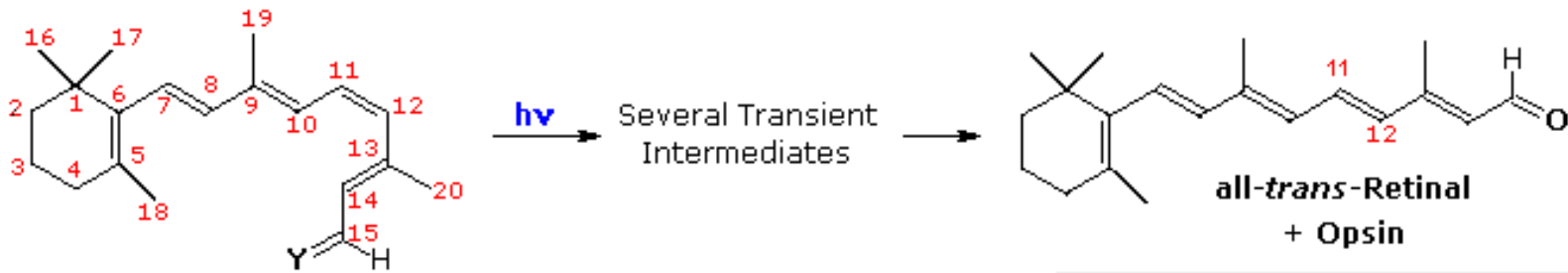
I bastoncelli (visione B/W) sono 100 volte più sensibili di coni

Vedendo il colore giallo, funzionano in contemporanea due tipi di coni

«Pertanto il colore non è visibile senza la luce, ma ogni colore di ciascuna cosa si vede nella luce» Aristotele, De Anima, 418b,2
«Non colorato è il trasparente, e inoltre ciò che non si vede o si vede appena, come sembra esse l'oscuro.», 418b, 27

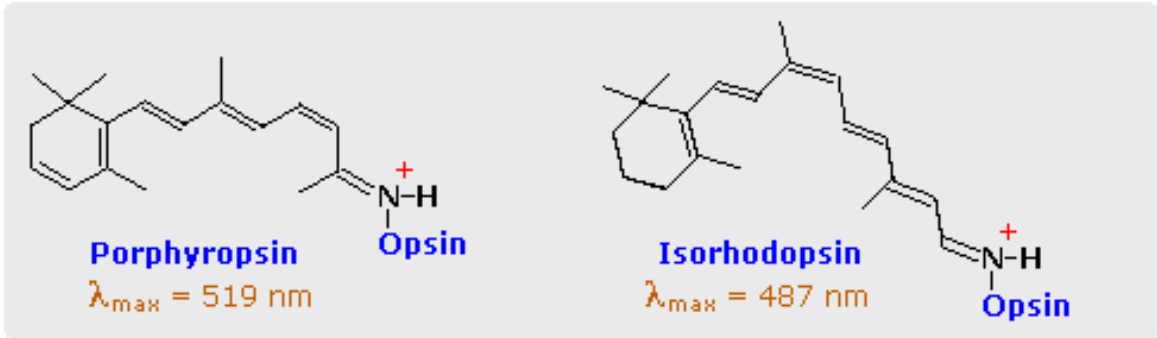
Rodopsina – pigmento della retina di mammiferi

Cambia la conformazione (viene liberato un elettrone) quando la molecola assorbe un fotone

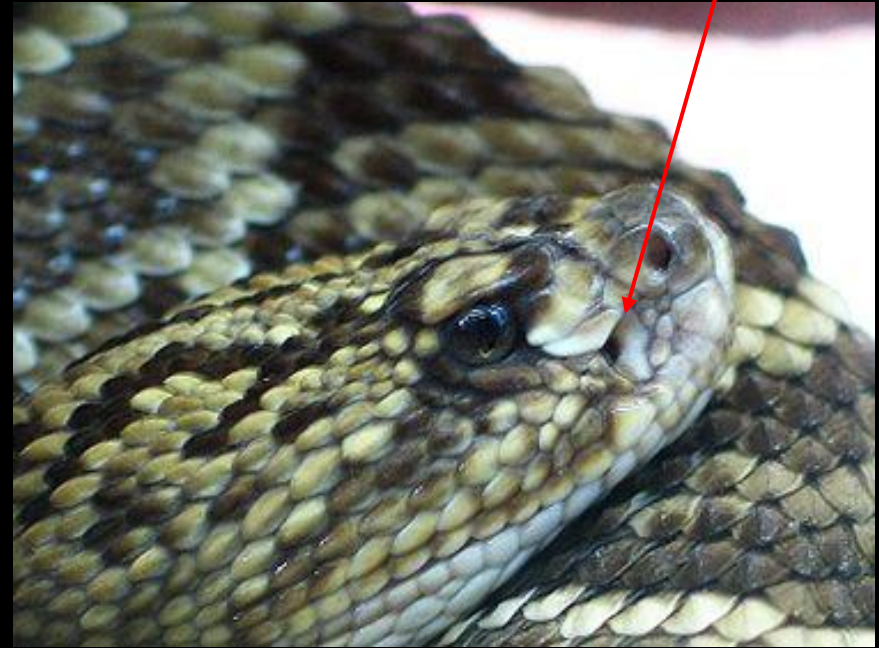


Retinal has 16 configurational isomers
4 are mono-cis; 6 are di-cis; 4 are tri-cis
one is all-cis and one is all-trans

11-*cis*-Retinal $Y = O$
 Rhodopsin $Y = \overset{+}{N}H(CH_2)_4CH(NH)CO_2^-$
 a Schiff Base
 $\lambda_{max} = 504 \text{ nm}$ Opsin



Come vedere l'infrarosso?



Proszę wyjąć komórki

I sensori a infrarossi (sulle guance) hanno le vipere

Foto GK i <https://it.wikipedia.org/wiki/Crotalus>

Farfalla impressionista



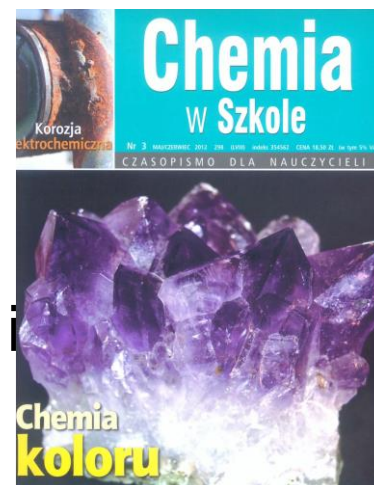
15 diversi recettori del colore nell'occhio

Add-on: Farfalla impressionista

- **This butterfly has extreme color vision**
- By [Virginia Morell](#) Mar. 8, 2016 , 4:00 PM
- Butterflies may not have a human's sharp vision, but their eyes beat us in other ways. Their visual fields are larger, they're better at perceiving fast-moving objects, and they can distinguish ultraviolet and polarized light. Now, it turns out that one species of swallowtail butterfly from Australasia, the common bluebottle (*Graphium sarpedon*, pictured), known for its conspicuous blue-green markings, is even better equipped for such visual tasks. Each of their eyes, scientists report in *Frontiers in Ecology and Evolution*, [contains at least 15 different types of photoreceptors](#), the light-detecting cells required for color vision. These are comparable to the rods and cones found in our eyes.
- To understand how the spectrally complex retinas of butterflies evolved, the researchers used physiological, anatomical, and molecular experiments to examine the eyes of 200 male bluebottles collected in Japan. (Only males were used because the scientists failed to catch a sufficient number of females.) They found that different colors stimulate each class of receptor. For instance, UV light stimulates one, while slightly different blue lights set off three others; and green lights trigger four more.
- Most insect species have only three classes of photoreceptors. Even humans have only three cones, yet we still see millions of colors. Butterflies need only four receptor classes for color vision, including spectra in the UV region. So why did this species evolve **11 more?** The scientists suspect that some of the receptors must be tuned to perceive specific things of great ecological importance to these iridescent butterflies—such as sex. For instance, with eyes alert to the slightest variation in the blue-green spectrum, male bluebottles can spot and chase their rivals, even when they're flying against a blue sky.

Cosa mostra una cartina di tornasole?

- Che cos'è il pH.
- - Con cosa è il pH?
- Il pH è un logaritmo decimale negativo...
- - E in che modo la cartina di tornasole indica il pH?
- A seconda del pH, assume un colore...
- -E perché?



Fot. 181 Lecanora rivulæ to popularny porost rosnący na podłożach wapiennych (na zdjęciu musk betonowy przy stacji kolejowej w Nancy, ale skrajnie rzadki także też w Polsce)



Fot. 182 Zakres zmian barwy papetek lakmusowych

Jako wskaźników kwasowo-zasadowych można używać też innych produktów naturalnych. Nawet zwykła herbatka staje się ciemnobrązowa po dosypaniu odrobiny

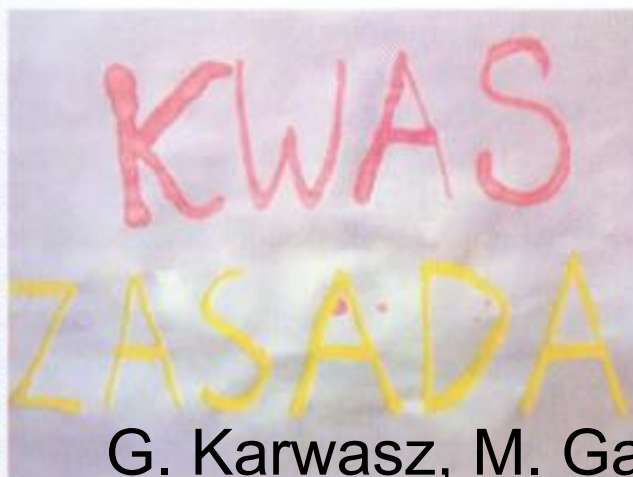


Rocella fuciformis

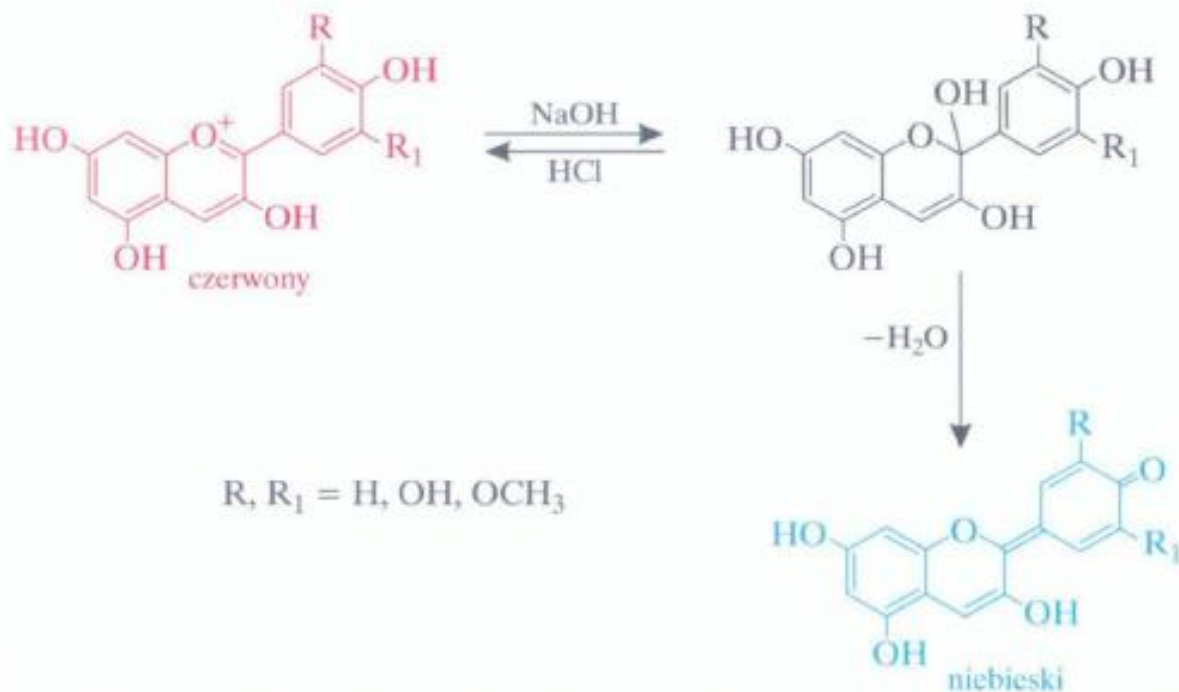
Cavolo utile



Fot. 2. Barwy roztworów soku z czerwonej kapusty dla różnych wartości pH roztworów (Fot. M. Gagoś)



Composta molto acida

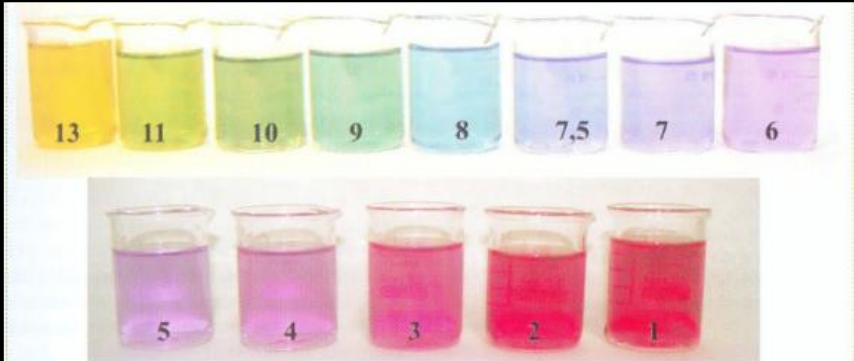


Rys. 2. Kation flawuliowy – macierzysta struktura antocyjanidyn, aglikonowych składników antocyjanów i jego równowagowe formy. Pokazano lokalizację podstawników spotykanych naturalnie ($R, R_1 = H, OH, OCH_3$). Roztwór o niskim pH przyjmuje barwę czerwoną. W wyniku alkalizacji w pH = 8 roztwór staje się niebieski

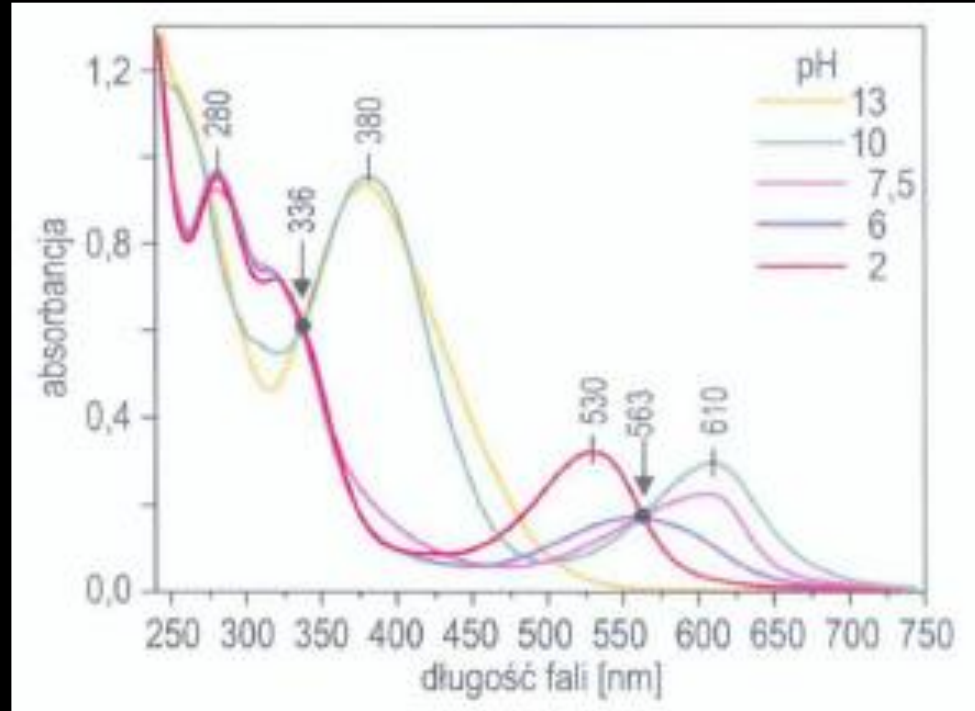
In presenza dell'acido (ioni H⁺) cambia la struttura
In conseguenza anche i livelli «elettronici»

M. Gagoś, G. Karwasz, *Chemia w Szkole*,

Colori del cavolo



Fot. 2. Barwy roztworów soku z czerwonej kapusty dla różnych wartości pH roztworów (Fot. M. Gagoś)



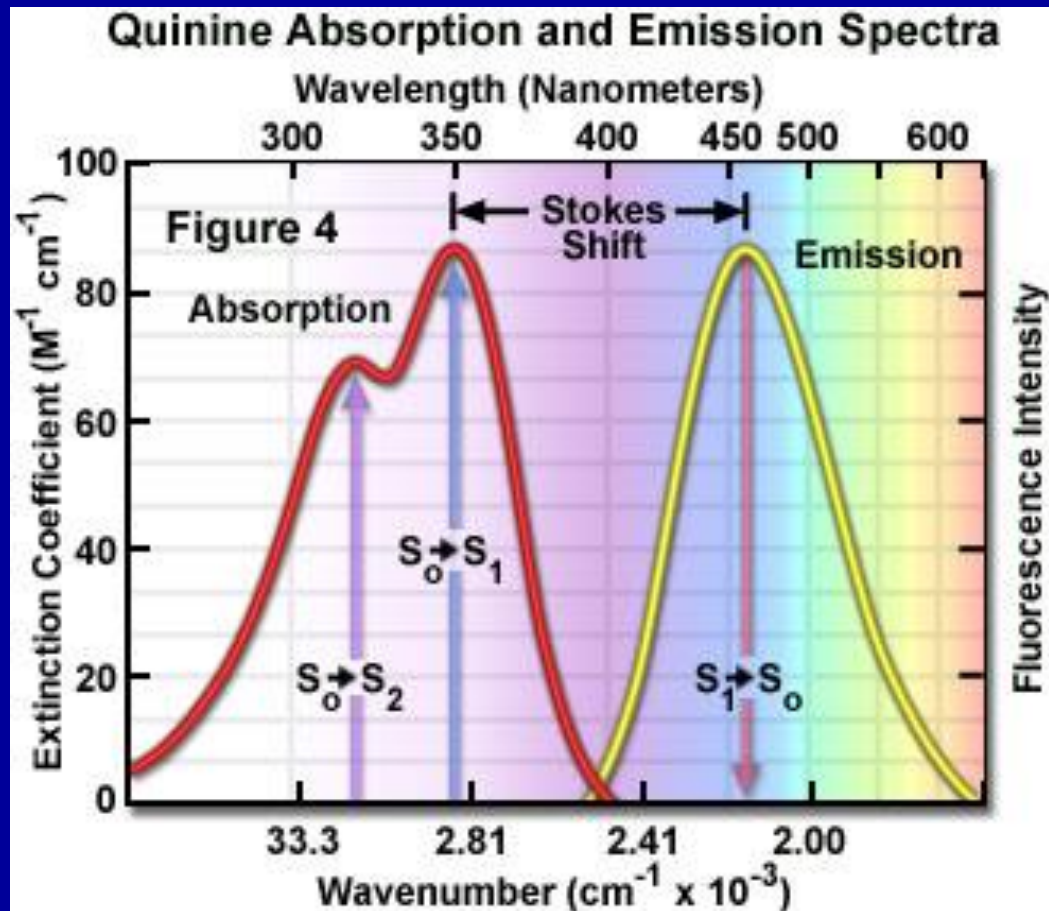
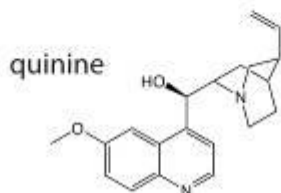
Gli spettri di assorbimento:

Nell'ambiente «basico» (pH=13) compare la fascia dell'assorbimento attorno 400 nm (viola)

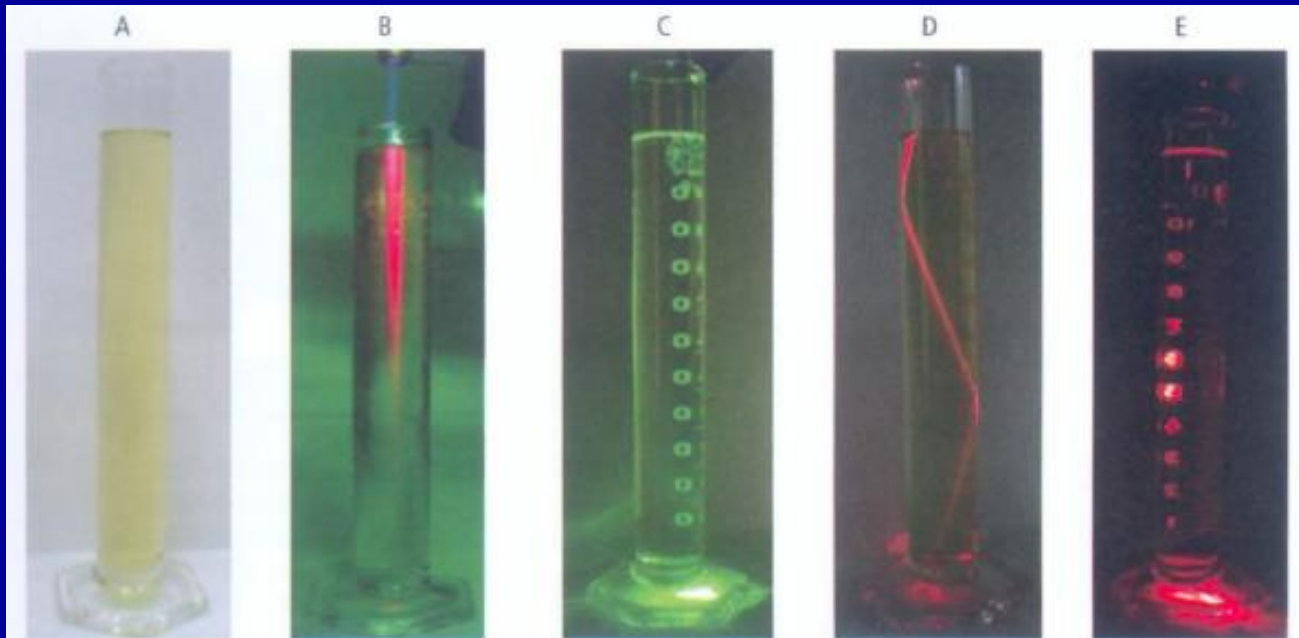
In conseguenza passa il resto (complementare):

Il colore (in trasparenza) sembra (ed è) giallo

Non è un tonico amaro? (chinino)



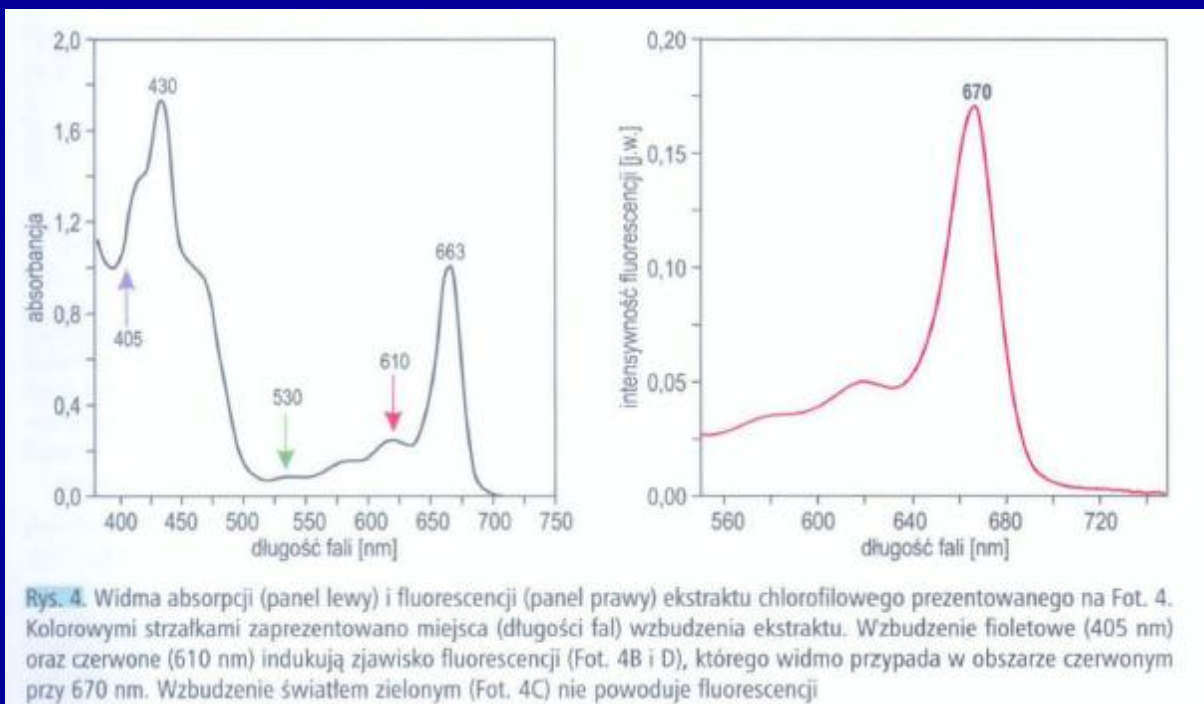
E cosa c'è di così splendente?



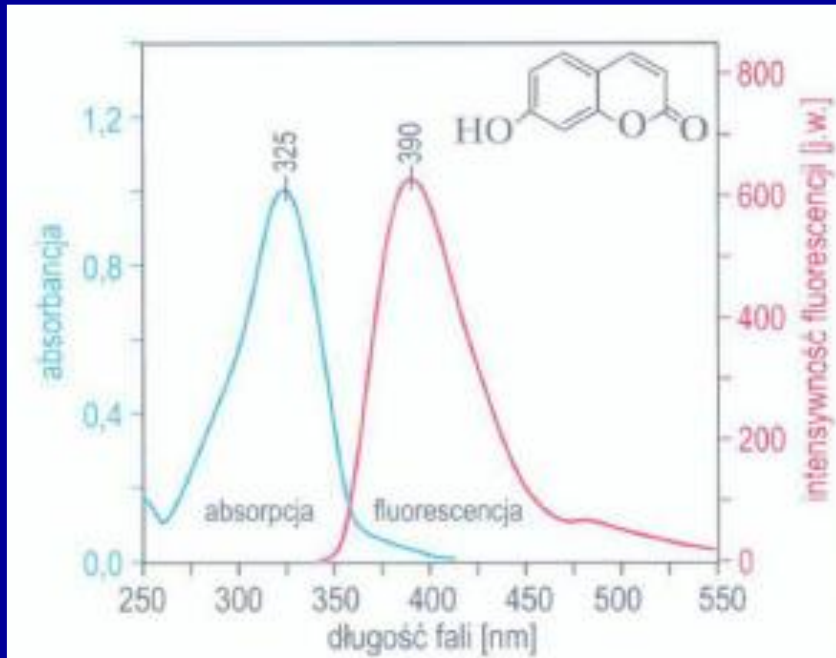
Fot. 4. (A) Chlorofil (ekstrakt z liścia w 80% -wym roztworze acetonu z wodą) jest w świetle dziennym zielony. (B) Wiązka światła z fioletowego wskaźnika laserowego (o długości fali 405 nm, słabo widoczna nad cylindrem miarowym jako niebieskawa smuga w papierosowym dymie) powoduje czerwoną (!) fluorescencję chlorofilu. (C) Zielone światło wskaźnika laserowego (530 nm) nie powoduje fluorescencji – chlorofil nie absorbuje światła zielonego, widoczne jest tylko rozpraszanie światła na ściankach cylindra miarowego. (D) oświetlenie ekstraktu czerwonym wskaźnikiem laserowym (610 nm), czyli o energii kwantów *niższej* niż światło zielone, ponownie powoduje fluorescencję chlorofilu. (E) Obraz świecenia tym samym wskaźnikiem laserowym, co na Fot. (D), lecz w roztworze acetonowo-wodnym bez chlorofilu. Widoczny jest tylko efekt rozpraszania światła czerwonego, słabszy niż światła zielonego – podobnie jak dla kolorów nieba, (część pierwsza artykułu). Ponadto bardzo dobrze widoczny jest efekt całkowitego wewnętrznego odbicia światła we wnętrzu naczynia (D) oraz efekt osłabienia natężenia fluorescencji w wyniku tzw. wygaszania stężeniowego (B i D)

Penso che sia erba di bisonte

Lo spettro d'assorbimento (a sinistra): rosso e il viola e d'emissione (quando illuminato con il viola: solo il rosso)
L'erba cresce anche nel penombra: sfrutta il colore blue del cielo.
Se illuminiamo il foglio con laser viola: si «accende» in rosso:
è la «valvola» di sicurezza per non essere bruciato dal sole

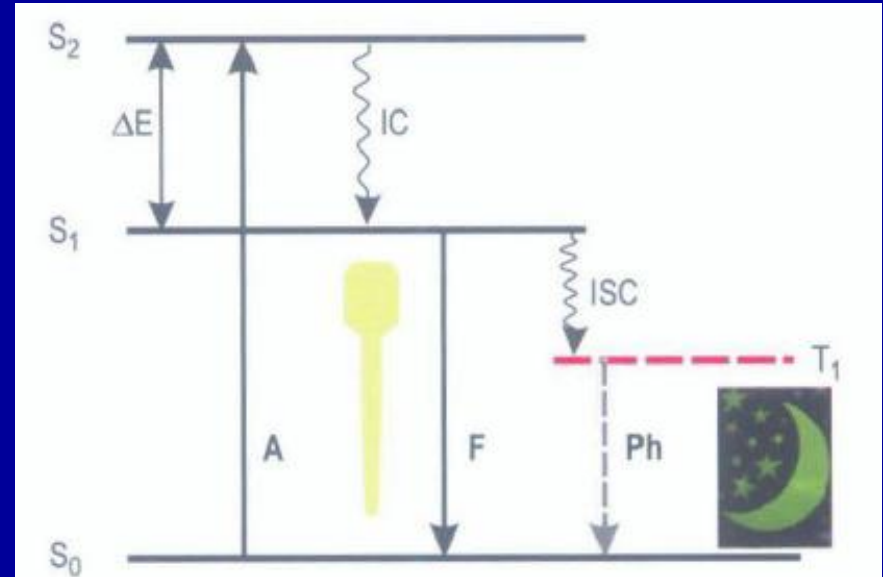


E cosa brilla in quella bottiglia?



Rys. 6. Widma: absorpcji i fluorescencji elektronowej 7-hydroksykumaryny (strukturę chemiczną zaprezentowano we wstawce) rozpuszczonej w alkoholu etylowym.

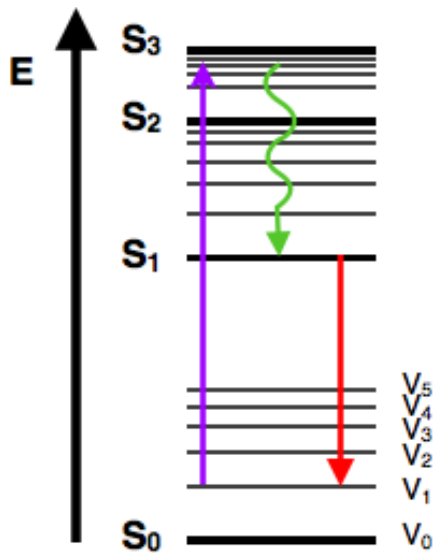
Lo spettro d'emissione è sempre spostato verso il rosso (energia minore)



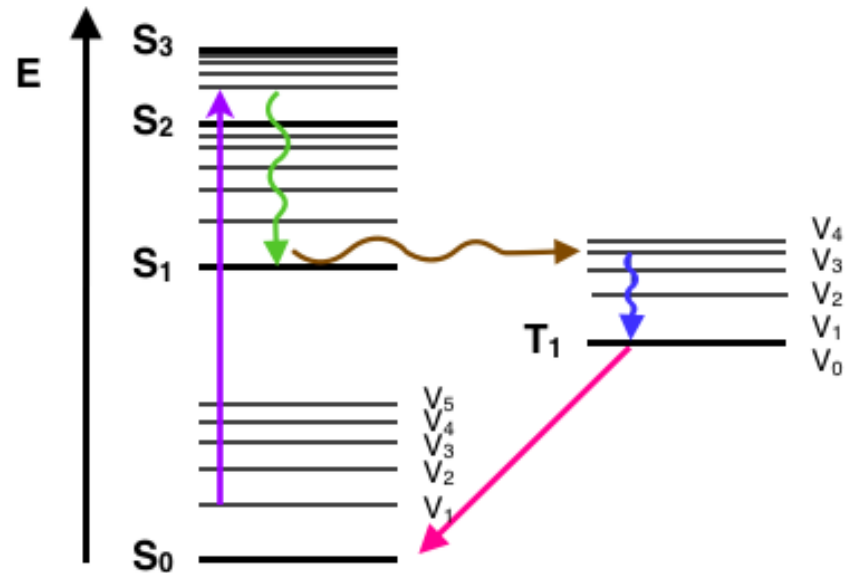
Rys. 5. Uproszczony schemat poziomów energetycznych Jablonskiego przedstawiający wzbudzone stany o różnych wartościach kwantowej liczby spinowej (stany singletowe oznaczone S, a trypletowe T). Strzałki proste ilustrują procesy promieniste, a strzałki faliste procesy bezpromieniste. Literami oznaczono poszczególne procesy fizyczne. A – absorpcja, F – fluorescencja (fotoluminescencja natychmiastowa), Ph – fosforescencja (fotoluminescencja opóźniona), IC – konwersja wewnętrzna, ISC – konwersja interkombinacyjna (międzysystemowa). „Fluoryzuje” tyżeczka do lodów zabarwiona kumaryną, a „fosforyzuje” gwiazdki do dziecięcej sypialni

Diagramma di Jabłoński

Possible scenario with *absorbance*, *internal conversion*, and *fluorescence* shown.



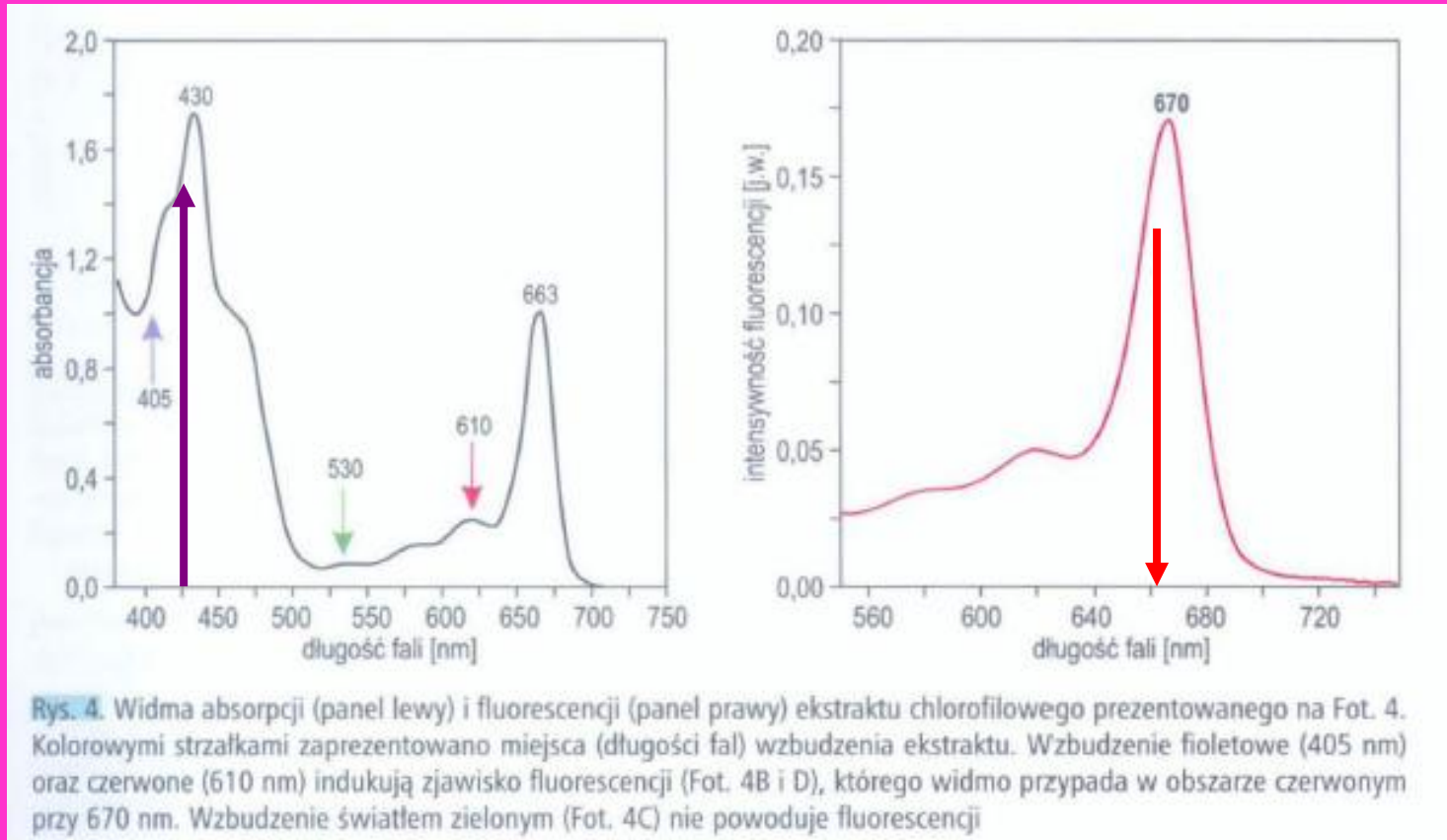
A possible phosphorescence pathway: *absorbance*, *internal conversion*, *intersystem crossing*, *vibrational relaxation*, *phosphorescence*



ad es. clorofilla

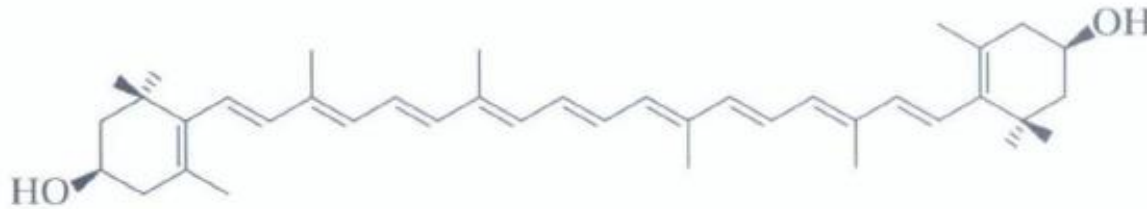
Fluorescenza ("istantanea")
Fosforescenza (ritardata)

La pianta che piange

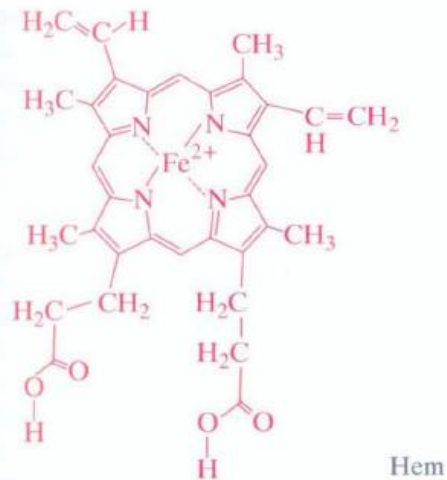


Come già detto – le piante illuminate con la luce troppo intensa brillano in rosso!

Perché il cavolo sì e la benzina no?



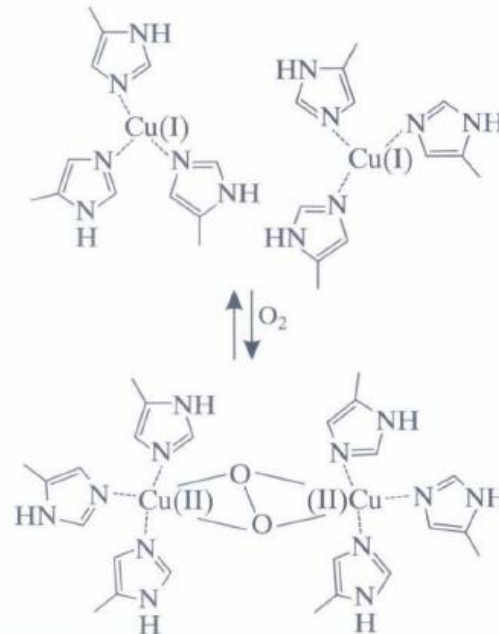
Rys. 3. Struktura chemiczna zeaksantyny, karotenoidu z grupy ksantofili. Zeaksantyna ma kolor żółty, występuje w kukurydzy, ale również w oku ludzkim pełniąc rolę fotoprotekcyjną (fotoochronną)



Hem

Rys. 9. Chlorofil i hemoglobina mają podobną strukturę chemiczną – pierścień porfiryrowy, czyli cztery cząsteczki pirołu z centralnym jonem metalu

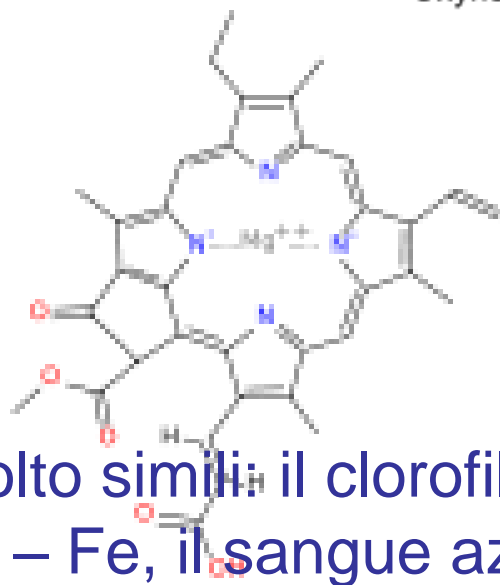
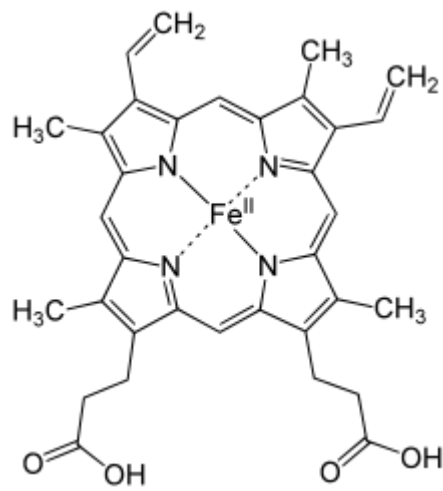
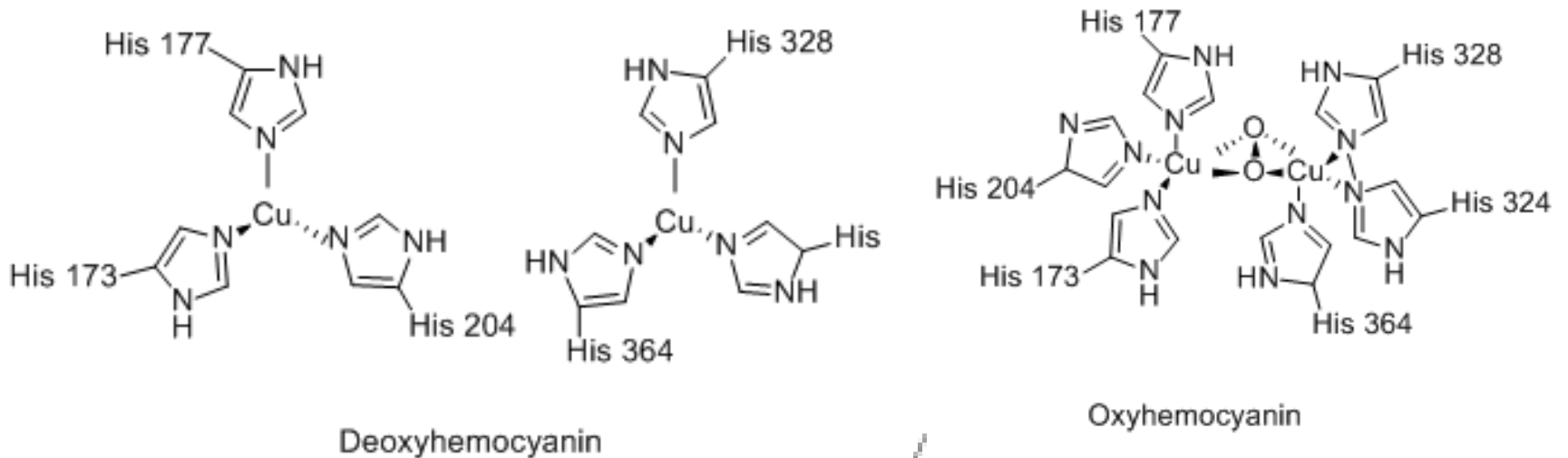
Pewne receptory światła i najnowsze,



Rys. 11. Nośnik tlenu w krwi ośmiornic, hemocyanina w postaci beztlenowej i po przyłączeniu cząsteczki tlenu

Evoluzione biologica:
Un'unica soluzione
- Una pletora
di applicazioni
Clorofilla, emoglobina
emocianina

Emocianina, emoglobina, clorofilla



Strutture molto simili: il clorofilla contiene Mg, emoglobina – Fe, il sangue azzurro di molluschi - Cu

L'impressione e la chimica di colori



Figura 3.7. (a) Tiziano ha usato il colore rosso vermiglione (HgS) per l'effetto drammatico nella *Assunzione della Vergine* (Venezia, 1516–1518): le vesti rosse guidano l'occhio verso i personaggi principali. (b) Van Gogh per la notte stellata usò i pigmenti meno costosi: il blu di cobalto (CoAl_2O_4) e il blu di Prussia, un ferricianuro. (c) Per le vesti della Madonna Aldobrandini (1532) Tiziano ha usato l'ultramarina (lapis lazuli), un alluminio-silicato, un pigmento più costoso dell'oro.

FONTE:

Santa Maria Gloriosa dei Frari, Patriarcato di Venezia, concessione a titolo gratuito; Museum of Modern Arts, N.Y. & Scala Group; The National Gallery, London (permission gratis, educational waiver, with appreciation).

cinabro, blu di Parigi, acquamarina, turchese, porpora, etc.

(GK "Scienza e Fede" Aracne editrice, Roma, 2019)

Colors, the eye of artists



Claude Monet, *Ponte Giaponese*

Colors, the eye of artists



Claude Monet, *Ponte Giaponese*

Colors, the eye of artists



Claude Monet, *Ponte Giaponese*

Da dove vengono i colori? Arte



Claude Monet, *Gare Saint Lazare*, (1877), Orsay, Photo GK
Paul Signac, *Le château de Papes* (1900), Orsay, Photo GK

Come nascono i colori? L'arte



Claude Monet, *Gare Saint Lazare*, (1877), Orsay, foto GK

Paul Signac, *Le château de Papes* (1900), Orsay, foto GK