

Trumpy Olga Viviana

1°anno corso SSIS 2006/2007

Laboratorio di Didattica della fisica, classe 59

Prof. Pilo, Prof. Tuccio

I colori che vediamo

(La seguente relazione è pensata come successiva alla trattazione dell'occhio
—di cui si specifica comunque una parte--).

I colori	2
Cosa sono i colori?	2
La luce	2
Il colore degli oggetti	5
La costanza del colore	6
La vista	7
Struttura e funzionamento dell'occhio umano	7
La percezione dei colori	10
Anomalie	12
Curiosità e considerazioni	13
Esperimenti	14
Esperienza 1: le onde	14
Esperienza 2: il prisma	14
Esperienza 3: le porpore	15
Esperienza 4: il contesto	15
Esperienza 5: la percezione	17
Esperienza 6: le anomalie	19
Didattica	20
Requisiti	20
Tempi	20
Metodologia e Percorso	20
Fase 1 introduzione:	20
Fase 2 Trattazione	21
Fase 3 Esperimenti	21
Fase 4 Conclusioni	21
Riferimenti	21

I colori

Cosa sono i colori?

Per le persone comuni sono *caratteristiche intrinseche* degli oggetti: ci sembra del tutto scontato e naturale che i colori siano una caratteristica delle cose stesse. Prendiamo in mano un bel pomodoro rosso e difficilmente ci sfiorerà l'idea che il colore rosso non sia un ingrediente del pomodoro, così come lo sono la polpa e i semi.

Per i pittori sono *pigmenti* che permettono di creare un quadro.

Per un fisico sono aspetti *dell'energia radiante*: la visione, vedremo, dipende dalla luce: è la luce che ci porta informazioni sulla forma e sul colore degli oggetti del nostro ambiente. In una stanza completamente buia, pur continuando ad esistere le cose intorno a noi, non appare alcuna immagine di esse.

Per un fisiologo sono una risposta del cervello.

Per lo psicologo sono un fenomeno di percezione.

*Oggi sappiamo con certezza che il colore non è una caratteristica del mondo reale, ma il complesso risultato dell'effetto della luce sul sistema percettivo. Tornando all'esempio, dunque, è corretto dire che il pomodoro **ci appare rosso**, non che è rosso.*

La visione del colore è quindi un fenomeno complesso nel quale intervengono molti fattori quale la luce, le relazioni occhio/cervello, le interazioni di "assorbimento e riflessione" e "rifrazione" (legate alla struttura e alla diversa composizione chimica della materia) e anche fattori genetici, che possono influire sulla maggiore o minore ricchezza di sensazioni cromatiche percepibili da una persona.

La luce

Dal punto di vista fisico la luce è **una radiazione elettromagnetica**: è un'onda che si propaga nello spazio ad altissima velocità, la velocità della luce, pari a circa 300.000 chilometri al secondo.

([Esperienza 1](#)) Una onda ha delle creste e degli avvallamenti, si può pensare a come appaiono le onde del mare, o, ancora meglio, a cosa succede a una corda tenuta ferma da una estremità se viene scossa in una direzione dall'altra estremità.

Le tre caratteristiche principali di una onda sono lunghezza, ampiezza e frequenza (fig.1). La **lunghezza d'onda** è la distanza tra due creste successive, mentre

I colori che vediamo

l'**ampiezza** è la distanza tra una cresta ed il piano mediano che interseca l'onda; la **frequenza**, infine, è la quantità di oscillazioni che l'onda compie nell'unità di tempo (con unità di misura **Hertz**, oscillazioni al secondo). La frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda: minore è la lunghezza d'onda maggiore è la frequenza, e viceversa.

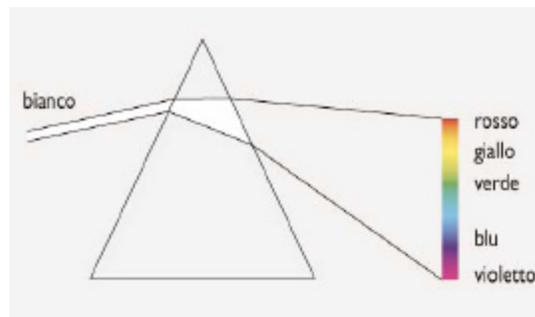


La lunghezza d'onda delle radiazioni luminose, è molto piccola ed è espressa generalmente in nanometri⁽¹⁾.

Ai fini della visione dei colori, l'ampiezza dell'onda influisce sull'intensità luminosa dello stimolo elaborato dal cervello, mentre la lunghezza dell'onda influenza la tonalità del colore percepito: ad esempio, un'onda elettromagnetica di lunghezza compresa tra i 650 e i 700 nanometri (nm) provoca in una persona con capacità visiva normale la visione del colore rosso.

Si propone di effettuare l'esperimento del PRISMA ([Esperienza 2](#)).

E' l'esperimento effettuato da Newton nel 1666, nel corso del quale scoprì che la luce bianca, quando viene fatta passare attraverso un prisma di cristallo, si scompone in una serie ordinata di raggi colorati (fig.2). Egli ottenne ciò che noi attualmente chiamiamo spettro visibile. Newton *dimostrò che la luce che ci appare bianca non è monocromatica, ma è la somma di una serie di raggi, ciascuno dei quali ha una differente lunghezza d'onda.*



Lo spettro elettromagnetico è costituito dall'insieme delle radiazioni e comprende l'intera gamma delle lunghezze d'onda esistenti in natura, dalle onde lunghissime,

⁽¹⁾ Un nanometro è 10^{-9} metri, cioè la miliardesima parte del metro e si indica con *nm*.

I colori che vediamo

alle onde cortissime e fenomeni fisici apparentemente diversissimi come le onde radio che trasportano suoni e voci nell'etere, i raggi X che impressionano le lastre radiografiche, i raggi ultravioletti che sono percepiti in modo indiretto (la sovraesposizione della pelle ai raggi UV causa scottature) hanno in realtà la stessa natura, quella di onde elettromagnetiche. All'interno dello spettro elettromagnetico, solo una piccolissima porzione appartiene allo **spettro visibile** (fig.3), cioè all'insieme delle lunghezze d'onda a cui l'occhio umano è sensibile e che sono alla base della percezione dei colori. Le differenze individuali possono far variare leggermente l'ampiezza dello spettro visibile. Approssimativamente, esso si situa **tra i 380 e i 780 nanometri**: alla lunghezza d'onda minore corrisponde la gamma cromatica del blu-violetto, a quella maggiore corrisponde invece la gamma dei rossi.

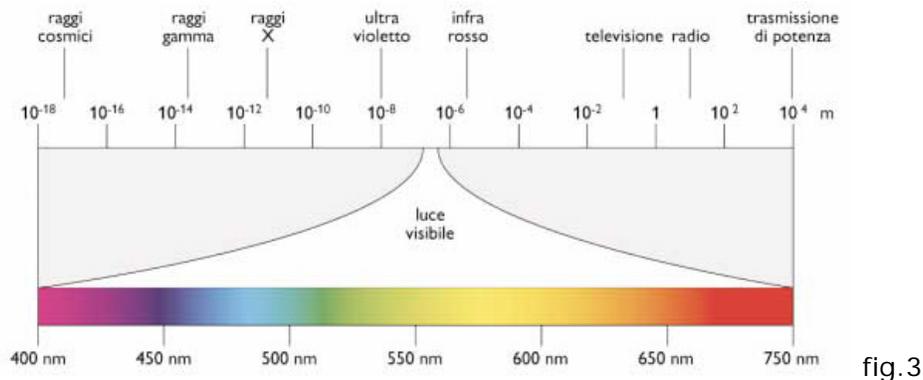


fig.3

Per avere un'idea dell'ordine di grandezza di cui stiamo parlando, consideriamo l'esempio del rosso: una radiazione della lunghezza d'onda di 700 nm, percepita dall'occhio umano in condizioni normali come rossa, è un'onda in cui due creste successive (o due avvallamenti successivi) distano tra loro meno di un milionesimo di metro!

A Newton si deve anche il primo modello di rappresentazione del colore, un cerchio che ha al suo centro il bianco e lungo la circonferenza, ordinatamente disposti, i colori scomposti dal prisma (fig.4). I due colori agli estremi dello spettro visibile – il rosso e il violetto – sono posti sulla circonferenza in modo da creare una continuità. Sette sono i colori identificati come principali in questo modello: rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto.

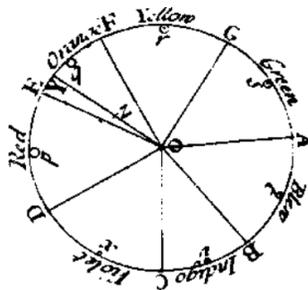


fig.4

I colori che vediamo

I colori presenti lungo la circonferenza del cerchio di Newton sono detti **colori spettrali**, intendendo con ciò il fatto che essi sono componenti identificabili attraverso la scomposizione (spettro) della luce bianca attraverso un prisma.

Altri colori visibili, come il rosa e il marrone, generati da una mescolanza di due o più dei colori spettrali, sono detti **colori non spettrali**.

Mescolando in varie proporzioni i due colori estremi dello spettro visibile, il rosso e il violetto, si ottiene tutta una gamma di colori non spettrali, detti **porpore** ([Esperienza 3](#)).

Il cerchio dei colori in fig.5 tiene conto anche dei colori non spettrali. Sono anche specificate le lunghezze d'onda (i numeri in nero), espresse in nanometri, che corrispondono alle percezioni dei singoli colori.

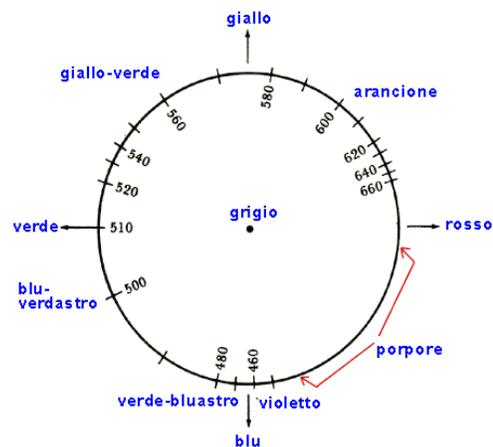


fig.5

I colori dello spettro nelle bande del visibile (i colori delle radiazioni semplici) sono *saturi*, cioè hanno il massimo di contenuto cromatico, la massima purezza. Dal punto di vista fisico, le radiazioni dello spettro visibile provenienti dal sole presentano tutte uguale intensità; la variazione di intensità che si percepisce è dovuta all'occhio che è particolarmente sensibile alle radiazioni centrali dello spettro (giallo-verde), che appaiono più luminose, mentre le altre, verso il rosso o verso il violetto, sembrano meno brillanti, anche a parità di intensità.

Il colore degli oggetti

Quando la luce colpisce un oggetto essa può essere assorbita dall'oggetto stesso, può attraversarlo e risultare così trasmessa o può essere riflessa indietro.

Le quantità di luce assorbita e di luce riflessa dipendono dal materiale di cui sono fatti e dalla lunghezza d'onda. Ai fini della determinazione del colore da parte di un osservatore umano, l'elemento principale da tenere presente è la **curva di**

riflessione² propria della superficie interposta. Il colore visibile di una qualsiasi superficie dipende infatti dal potere di quella superficie di assorbire una parte della luce ricevuta dall'ambiente e di rimandarne verso l'osservatore la parte non assorbita sotto forma di luce riflessa.

Un oggetto rosso avrà ad esempio uno spettro di riflessione con un picco nella zona delle lunghezze d'onda lunghe.

Riassumendo, se alcune lunghezze d'onda dello spettro visibile sono più assorbite di altre l'oggetto ci appare colorato: se assorbe tutte le onde tranne una, risulta del colore corrispondente a quella radiazione: se non assorbe il rosso, risulta rosso, ecc.; se riflette tutte le onde luminose appare bianco (bianco = somma di tutti i colori); se assorbe tutte le onde, senza restituirle ai nostri occhi, viene percepito come nero (assenza di colori).

Il colore dei corpi trasparenti dipende dal colore del raggio luminoso che essi lasciano passare. Se ad esempio vediamo un vetro di colore blu vuol dire che solamente il raggio luminoso di colore blu è riuscito a passare. Se il vetro ci appare incolore vuol dire che esso lascia passare tutti i tipi di raggi luminosi.

Alcuni artisti definiscono il bianco e il nero "non colori" perché il bianco è dato dalla somma di tutti i colori, il nero dall'assenza di colori.

La costanza del colore

Quando guardiamo un oggetto in diverse condizioni di illuminazione, la composizione spettrale della luce riflessa da esso cambia: per esempio se uno osserva una banana sotto una lampada fluorescente o alla luce del Sole essa continuerà ad apparire gialla, sia pure con qualche sfumatura diversa. Eppure se uno va a misurare la radiazione riflessa dalla banana in queste situazioni, ottiene risultati completamente diversi.

Questa capacità di percepire i colori al di là delle differenze di illuminazione viene detta costanza di colore. Quando la composizione della luce incidente varia, i meccanismi che presiedono alla visione dei colori compensano queste variazioni, cosicché il colore degli oggetti sembra sempre lo stesso. La costanza dei colori dipende in gran parte dall'analisi che il sistema visivo opera nei confronti non solo di un oggetto, ma anche del suo sfondo (contesto), o comunque di ciò che lo circonda. A parità di illuminazione, infatti, sfondi di diverso colore possono conferire ad uno stesso oggetto sfumature cromatiche diverse. ([Esperienza 4](#))

Senza la costanza di colore sarebbe molto difficile per noi "usare" il colore. La costanza di colore ha estrema importanza nell'illuminazione di opere d'arte.

² Una curva di riflessione è una funzione matematica che definisce il grado di eccitazione dei tre tipi di coni della retina.

La vista

La vista è il nostro principale sistema sensoriale: si calcola che il settanta per cento delle informazioni che pervengono al nostro cervello, provengono da questo senso.

Gli organi deputati alla vista sono gli occhi, che sono strumenti ottici, come il microscopio o il telescopio, ma ancora più complessi ed accurati.

Come è stato detto, le radiazioni visibili dall'occhio umano sono comprese in una fascia molto limitata dello spettro elettromagnetico, il fatto che noi riusciamo a percepire sotto forma di luce soltanto una parte così limitata delle radiazioni elettromagnetiche è dovuto alla particolare natura del nostro occhio. Si potrebbe fare una similitudine con un apparecchio radio: l'antenna riceve tutte le onde che si propagano nelle immediate vicinanze ma riconosce ed elabora solo quelle che è *in grado di ricevere*.

Le radiazioni infrarosse si limitano a scaldare la superficie, i raggi ultravioletti irritano la congiuntiva, parte interna della palpebra che copre il lato dell'occhio esposto agli agenti esterni (gli ultravioletti sono dannosi e causano mutamenti irreversibili), mentre i raggi che sono elaborati dall'occhio sono quelli che fanno parte dello spettro visibile.

La facoltà degli occhi di distinguere i diversi colori è la capacità di stabilire un confronto fra onde di differente lunghezza nello spettro visibile. Quando l'occhio riceve una radiazione la cui lunghezza d'onda è, ad esempio, di 470 nm noi diciamo di vedere una luce blu, mentre una radiazione di 600 nm corrisponde ad una luce di colore arancione.

Struttura e funzionamento dell'occhio umano

La struttura dell'occhio (fig.6) permette di distinguere molti colori (nell'uomo fino a 200), di adattarsi velocemente alle variazioni di luce, e di mettere a fuoco un'immagine automaticamente.

Il funzionamento del sistema ottico si può sintetizzare come segue: l'occhio riceve un fascio di raggi luminosi provenienti da ogni punto dell'oggetto, il cristallino, che è una lente biconvessa, concentra i raggi che vengono dall'oggetto in una zona sulla retina. Si forma così un gran numero di punti immagine che, insieme, costituiscono l'immagine retinica dell'oggetto.

I colori che vediamo

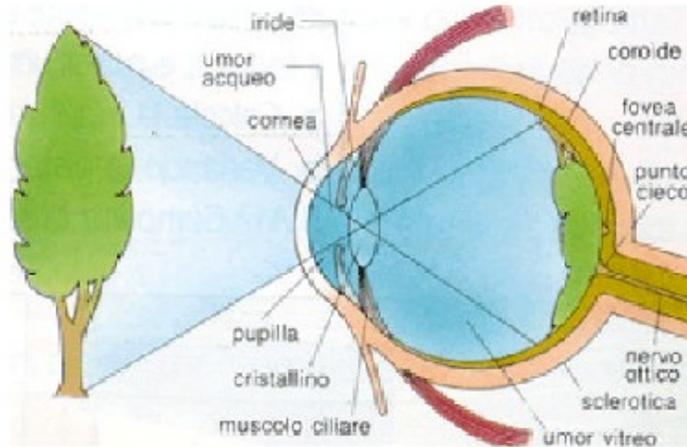


fig.6

La luce entra nell'occhio attraverso una apertura che si chiama pupilla. Essa regola la quantità di luce che entra ed influenza nel contempo la profondità di campo. L'iride può far variare il diametro della pupilla tra 2 ed 8 mm: essa si dilata al massimo se c'è poca luce ed si contrae al massimo se c'è molta luce.

L'occhio è una vera e propria camera oscura formata in modo che tutti i raggi parassiti vengano assorbiti e non influenzino negativamente la ricezione della retina.

Il cristallino mette a fuoco l'immagine, adattando automaticamente la sua curvatura alla distanza dell'oggetto; questa facoltà prende il nome di "accomodazione". Con questa accomodazione tutti gli oggetti a distanza maggiore di 6 m sono visti con nitidezza. Mentre per osservare oggetti a distanza minore di 6 m i muscoli ciliari si contraggono aumentando il raggio di curvatura del cristallino che diviene sufficientemente convesso in modo da fornire, anche in questo caso, un'immagine nitida. Una normale accomodazione dipende in larga misura dall'elasticità del cristallino e quindi dall'età: col passare degli anni diviene necessario far ricorso agli occhiali per supplire a questa rigidità.

L'immagine, capovolta e rimpicciolita, viene proiettata sulla retina, che è la parte fotosensibile dell'occhio. La retina si comporta come una pellicola fotografica adatta a ricevere impressioni, su di essa si trovano due tipi di recettori: i *coni* (sono 6 milioni) e i *bastoncelli* (sono 120 milioni) (fig.7).

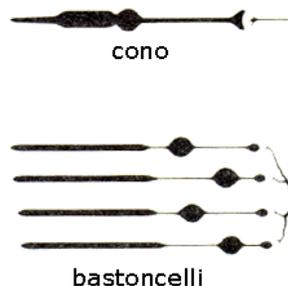


fig.7

I coni sono responsabili della visione diurna (detta *fotopica*), sono concentrati

I colori che vediamo

nella macula che è una zona della retina che permette la visione dei 10° centrali ed hanno la massima concentrazione in una sua piccola zona, completamente priva di bastoncelli, detta fovea, che presiede alla percezione dei colori e alla alta risoluzione spaziale. Ciascun cono presente nella fovea è collegato ad una cellula nervosa: a questa comunicazione privilegiata con il cervello si deve la maggiore capacità di discriminazione dei dettagli. Esternamente a quest'area coni e bastoncelli sono mescolati e la proporzione dei coni diminuisce a mano mano che si va verso la zona periferica della retina. I bastoncelli sono invece localizzati in tutte le parti della retina al di fuori della fovea e, benché molto più sensibili dei coni alla stimolazione da parte della luce, sono collegati alle cellule nervose solo a gruppi e facendo sì che l'immagine che essi veicolano sia più confusa. Tuttavia la loro maggiore sensibilità permette all'occhio di vedere anche in condizioni di scarsa luminosità, quando ormai i coni non riescono più a fornire informazioni utili al cervello: quando si entra, ad esempio, in un luogo buio (non completamente) provenendo da uno illuminato, dopo un periodo di cecità quasi completa (nel corso del quale avviene l'assuefazione degli occhi all'oscurità), entrano progressivamente in funzione i bastoncelli, consentendoci di vedere sufficientemente bene per muoverci senza problemi.

La visione resa possibile dai bastoncelli è una visione **non cromatica**, essa assume importanza primaria in condizioni di scarsa luminosità ed è detta **scotopica**. In condizioni di luce tali da indurre una visione scotopica qualsiasi radiazione luminosa, non importa di quale lunghezza d'onda, genera la medesima sensazione di colore: una tinta indefinibile che sta tra il grigio scuro, il blu e il verde, tanto più cupa quanto maggiore è l'oscurità. E' la tinta livida della notte, usata dai pittori per evocare sensazioni di angoscia e di morte.

Sia bastoncelli che coni hanno il potere di modificare la propria sensibilità a seconda che la luce disponibile sia poca o molta e contribuiscono così a realizzare l'adattamento dell'occhio.

La retina contiene tre classi di coni con pigmenti visivi aventi differente picco di sensibilità spettrale, coni rossi (560 nm), coni verdi (530 nm) e coni blu (430 nm). (fig.8)

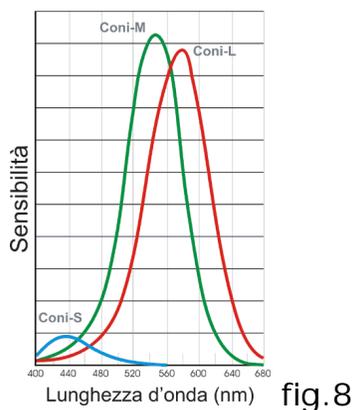


fig.8

La percezione dei colori

Gli impulsi luminosi ricevuti dai recettori retinici vengono trasmessi al cervello tramite il nervo ottico. È compito del cervello raddrizzare le immagini, ed elaborarle, evitando inoltre che il mondo "venga visto alla rovescia".

Il meccanismo biologico in grado di trasformare la radiazione in una serie di prodotti chimici, che sono elaborati dal cervello e trasformati in sensazioni visive è il seguente: prima di trasformarsi in segnale nervoso, lo stimolo luminoso cade sui recettori e lì inizia un complesso processo fotochimico dovuto al cambiamento di colore del pigmento del quale i coni e bastoncelli sono dotati. Ciascun tipo, quando stimolato dalla radiazione elettromagnetica, produce un particolare pigmento – la **iodopsina** i coni e la **rodopsina** i bastoncelli – che dà l'avvio ad una serie di reazioni chimiche e stimolazioni nervose, il cui esito finale è la percezione di luci e colori.

I dati che arrivano al cervello vengono confrontati nel cervello stesso con le informazioni in esso contenute, con il risultato che di fronte allo stesso panorama ogni persona avrà una "visione" differente, mentre due macchine fotografiche diverse ma con due obiettivi uguali produrranno la stessa, identica immagine.

La percezione visiva dei colori è sintetica piuttosto che analitica. ([Esperienza 5](#)) Una luce rossa ed una luce verde che colpiscono insieme un medesimo punto della retina avranno come risultato la percezione del giallo; non vedremo né il rosso né il verde.

Ciò significa che, nel contatto della radiazione elettromagnetica con i recettori della retina, **l'informazione sulla lunghezza d'onda si perde**. Al suo posto rimane la misura dell'eccitazione suscitata, che è proporzionale sia all'intensità della luce incidente sia alla sensibilità del recettore in quella particolare zona dello spettro a cui appartiene la radiazione che lo ha colpito.

La possibilità innata nella nostra vista di discriminare nella luce, allo stesso tempo, intensità e colori differenti non sarebbe possibile con un solo tipo di coni³. Nella visione scotopica dipendente dai bastoncelli, che sono di un solo tipo, essendo in grado di conservare solo l'informazione relativa alle variazioni di intensità luminosa, **non c'è più discriminazione del colore**, e percepiamo come uguali due radiazioni dotate di differente lunghezza d'onda.

Per avere allo stesso tempo discriminazione dell'intensità luminosa e del colore abbiamo bisogno di almeno due tipi differenti di recettori sensibili al colore. Con

³ Thomas Young (1773-1829) fu il primo scienziato che, ipotizzò che i recettori per la visione diurna fossero di tre tipi e che ciascun tipo corrispondesse a una tinta primaria. Ogni altra tinta sarebbe dovuta risultare dalla stimolazione simultanea dei tre tipi di recettori, in modi opportuni.

due tipi di coni diventa possibile, ad esempio, eguagliare la percezione visiva dipendente da una singola radiazione monocromatica alla percezione visiva dipendente dalla miscela di due radiazioni monocromatiche di differente lunghezza d'onda (ogni singolo colore percepito può essere sia l'effetto di una **radiazione monocromatica** sia l'effetto del sommarsi in un'unica stimolazione di più radiazioni, ciascuna di lunghezza d'onda differente).

Nel valutare un colore entra in gioco non solo la natura fisica locale dello stimolo percepito, ma anche il contesto percettivo in cui quella valutazione avviene.

Il fatto che luci di differente lunghezza d'onda, le quali, viste singolarmente, ci appaiono ciascuna colorata in modo diverso, generino – sommate insieme – la visione del bianco, è un fenomeno che viene definito **sintesi** o **mescolanza additiva**. La visione del bianco può essere considerata come la controparte percettiva della somma di tutte le radiazioni che compongono lo spettro visibile.

Ai fini della creazione di un sistema affidabile per la generazione di colori ottenuti miscelando luci colorate, si ricorre solitamente all'uso di tre colori-base, che sono definiti **primari** (teoria chiamata tricromia). I primari utilizzati oggi nei televisori, nei monitor dei computer e nei sistemi di grafica digitale sono il **rosso**, il **verde** e il **blu**.

È interessante notare, però, che la terna dei cosiddetti colori primari è una scelta arbitraria dell'uomo, che non ha giustificazioni nella fisica o nella fisiologia dell'occhio. Una terna di colori primari, cioè, **non esiste** in natura. I tre tipi di coni presenti sulla retina hanno, ad esempio, il loro picco di sensibilità intorno alle frequenze del blu-violetto del verde e del giallo-verde, non in corrispondenza del rosso, del verde e del blu, e vengono stimolati tutti e tre (sia pure in modo diseguale), o almeno due su tre, dalla maggior parte delle frequenze visibili, a causa della relativa sovrapposizione della curva di sensibilità di ciascuno di essi.

Ciò che ha radici nella fisiologia della visione è: 1) il fatto che tre è il numero minimo di luci colorate che è necessario mescolare per ottenere una gamma di colori più o meno paragonabile alla ricchezza cromatica dello spettro visibile; 2) che il rosso, il verde e il blu sono colori prodotti da una forte eccitazione di uno solo dei tre tipi di coni e da una scarsa stimolazione degli altri due tipi, cosa che si accorda con la necessità di far corrispondere ai colori primari tre fonti di stimolazione luminosa il più possibile indipendenti l'una dall'altra e in grado, combinate tra loro, di provocare la massima eccitazione di tutti e tre i tipi di coni, fenomeno quest'ultimo che produce appunto la visione del bianco. La scelta di questi tre primari si paga però con il fatto che mescolanze uguali di rosso, di verde e di blu non producono esattamente il bianco, ma una sfumatura tendente al giallo: occorre aggiungere del blu al rosso primario – o aumentare la luminosità del blu - per ottenere il bianco.

La teoria⁴ detta *tricromia* é stata certamente molto utile in campo tecnologico sia per la stampa che per la fotografia a colori ed infine per la televisione ed il computer a colori; in questi ultimi, infatti, si utilizzano tre tipi di fosfori che emettono combinazioni di tre frequenze visibili per ciascun punto dello schermo dimostrando come tale tecnica sia capace di stimolare la percezione visiva di migliaia di tonalità differenti di colore.

Anomalie

Dopo aver trattato gli aspetti della percezione del colore, occorre presentare alcune anomalie della visione dei colori.

(Esperimento 6)

La cecità ai colori, legata a difetti genetici relativi ai tre tipi di cono, può essere totale (e in questo caso si parla di acromasia o acromatopsia) oppure parziale.

Il caso per cui mancano addirittura due tipi di cono, che lascia un solo tipo di cono a disposizione, porta alla visione in luce diurna simile a quella notturna, cioè essenzialmente acromatica.

Le mutazioni del cono blu sono molto rare (sono codificate nel cromosoma 7). Le mutazioni dei cono rossi e verdi provocano una cecità congenita ai colori collegati, sono codificati nel cromosoma X e causano l'anomalia nell'8% dei maschi. Gli individui che ne sono affetti non sono ciechi completamente ai colori ma differiscono nella percezione del colore e sulla percezione della combinazione di luci primarie monocromatiche rispetto ai soggetti normali.

I *tricromati* anomali hanno tre tipi di cono, ma la mutazione di un tipo di cono (solitamente rosso o verde) causa uno spostamento nel picco di sensibilità spettrale, alterando la proporzione dei colori primari richiesti per individuare il colore.

I *dicromati* hanno due tipi di cono e quindi percepiscono i colori basandosi solo su due colori primari. Il Daltonismo, l'anomalia più conosciuta, è la forma di cecità per il canale cromatico rosso-verde, ed ha due tipologie: una cecità più accentuata per il rosso e una per il verde.

Esistono poi anomalie non congenite ma dovute a lesioni di aree specifiche della corteccia cerebrale o della macula o del nervo ottico che producono sindromi

⁴ La teoria della tricromia risultò inadeguata a spiegare un esperimento di Edwin H. Land, l'inventore del sistema fotografico a colori «polaroid» con processo di sviluppo istantaneo. Nell'esperimento Land notò che benchè diapositive di un certo soggetto fossero riprese in bianco e nero, il risultato della proiezione incrociata (la diapositiva ripresa con un filtro rosso veniva riproiettata attraverso un filtro verde e viceversa) fu sorprendentemente quello della riproduzione di tutti i colori della scena originale.

visive: perdita della percezione del colore, del mondo in movimento, o percezione dei soli colori e non della forma.

Curiosità e considerazioni

- Sappiamo che la tecnologia informatica ha sviluppato solo di recente gli strumenti per produrre in serie processori per computer in grado di lavorare alla velocità di Gigahertz (Ghz). Un processore da 1 Ghz compie in un secondo un miliardo di cicli di elaborazione completi, ma nello stesso tempo – un secondo – un'onda elettromagnetica della lunghezza di 700 nm, (quella che per l'occhio umano è una luce rossa) esegue **428.570** miliardi di oscillazioni! Quest'onda ha una frequenza 428.570 volte superiore a quella di un processore da 1 Ghz!
- In molti ambienti di programmazione (software) sono disponibili funzioni RGB (red green blue) che, attraverso una composizione di tre valori numerici, individuano un colore per poi poterlo usare sullo schermo.
- Perché si fa uso di rosso e verde nei semafori stradali? Si potrebbe far notare che se si usassero, per esempio, il rosso e il blu, sorgerebbero molti meno problemi, né sarebbe necessario sottoporsi a un test della visione cromatica al momento di prendere la patente.
- Se si vede il fenomeno non dalla parte della radiazione riflessa, ma da quella della radiazione assorbita, si conviene che le superfici che ci appaiono colorate sottraggono alla nostra visione una parte dello spettro visibile: il colore azzurro del cielo è il risultato di un meccanismo di interazione tra radiazione e materia che prende il nome di diffusione e che consiste nella dispersione della radiazione in tutte le direzioni. La diffusione ha luogo quando la radiazione luminosa incide su materia i cui costituenti sono separati tra di loro da distanze che sono maggiori della lunghezza d'onda della radiazione stessa. Per esempio l'alone luminoso che si osserva attorno a una lampadina nei casi di nebbia è proprio causato dalla diffusione della luce da parte delle goccioline che sono i costituenti elementari della nebbia. In questo caso la radiazione proveniente dalla lampadina viene diffusa dalla nebbia in tutte le direzioni. Lo stesso meccanismo avviene anche per la luce solare nell'atmosfera terrestre a un'altezza indicativa di un centinaio di chilometri dal suolo. A quelle altezze, infatti, gli atomi e molecole che costituiscono l'atmosfera sono abbastanza distanti tra di loro da permettere il meccanismo della diffusione, il quale è tanto più efficiente quanto minore è la lunghezza d'onda della radiazione incidente: la luce blu viene diffusa maggiormente della luce rossa. La luce azzurra che noi vediamo provenire dal cielo è quindi proprio la luce blu diffusa dall'alta atmosfera terrestre.

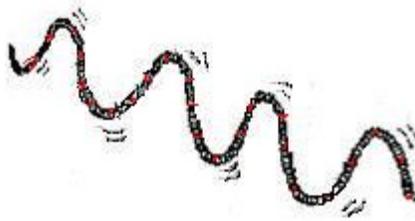
Esperimenti

Esperienza 1: le onde

Materiale: una o più corde con un segno creato con nastro rosso ogni 10 cm.

Obiettivo: saper riconoscere e disegnare come è fatta una onda (nel piano)

Modalità ed esecuzione: Può essere proposta a gruppi di tre alunni: a turno uno guarda, uno tiene ferma da un capo la corda e dall'altro capo il terzo alunno la agita in una direzione (verticale, orizzontale,...) creando una situazione come in figura.



Si propone ai ragazzi che ciascuno riporti su un foglio quadrettato l'onda osservata e che in gruppo scrivano se ci sono differenze tra le onde osservate e, in caso affermativo, quali sono.

Elencando quanto trovato alla lavagna, l'insegnante porta i ragazzi a riconoscere le caratteristiche dell'onda (lunghezza, ampiezza e frequenza) e propone di riportarne la definizione direttamente sulla immagine che hanno disegnato.

Successivo compito (per casa) è che individualmente descrivano almeno 2 onde (mare, la *ola* che viene fatta negli stadi, ...), ne disegnino una riportando la lunghezza e l'ampiezza in cm.

Esperienza 2: il prisma

Materiale Filtri colorati (gelatine per fotografia), due prismi di vetro, una sorgente di luce (lampada, raggi solari,...), schermo bianco o parete.

Obiettivo verificare che la luce bianca è composta da raggi di 7 colori puri.

Modalità ed esecuzione: si colpisca con un raggio luminoso un prisma e si veda su uno schermo cosa succede al raggio di luce. Prima di eseguire l'esperimento, si propone il compito: ipotizza cosa avverrà e scrivilo sul quaderno (da svolgere singolarmente).

Poi viene effettuato l'esperimento a gruppi (4 o 5 alunni): quando il fascio luminoso bianco colpisce il prisma subisce due volte (perché due sono le facce del prisma che incontra) il fenomeno della rifrazione. I sette fasci colorati (di cui è composta la luce bianca) sono rifratti e dato che l'indice di rifrazione non è uguale per tutte le lunghezze d'onda ed è tanto più elevato quanto minore è la lunghezza d'onda stessa, dalla parte opposta del prisma si vedrà emergere una successione di raggi luminosi: ciò dà origine a un ventaglio di sette colori, visibili sullo schermo. Si può notare anche che le sette bande colorate non hanno tutte lo stesso spessore.

I colori che vediamo

Al termine si propone ad ogni gruppo, di presentare un elaborato scritto, che evidenzi il risultato dell'esperimento, le differenze e i motivi con quanto ipotizzato all'inizio da ciascuno.

Si può proporre poi una piccola discussione su cosa succede quando appare l'arcobaleno. (*La luce che passa attraverso le piccole gocce d'acqua, sospese nell'aria dopo una pioggia, si scompone nei sette colori dello spettro, seguendo lo stesso principio del prisma*).

Ulteriori possibili prove:

- si può provare anche a interporre, tra il prisma e lo schermo, un filtro colorato (foglio di acetato, gelatina per fotografia): proiettata sullo schermo si osserva solo la banda del colore del filtro, in particolare con il filtro rosso si ottiene solo una striscia rossa, con un filtro verde, una striscia verde. Se si mette un secondo prisma sul fascio colorato ottenuto, ad es. verde, si osserva che il fascio si allarga ma rimane verde. Ciò significa che i colori dello spettro sono puri, che non possono essere scomposti.
- (con luce laser): per verificare che la luce percepita come rossa dai nostri occhi può non essere tale, ma un insieme di onde di lunghezza diversa, si faccia passare attraverso il prisma due luci dello stesso colore, prima quella di un laser (rosso) e dopo quella ottenuta colorando la luce bianca con un filtro (acetato) rosso. Nel primo caso si otterrà uno spettro formato da una sola stretta banda di colore rosso, nel secondo caso apparirà uno spettro più ampio con pennelli giallo, arancione e rosso. Quindi due luci che appaiono rosse al nostro occhio compongono spettri con radiazioni di diverse lunghezze d'onda.
- E' possibile (ma molto difficoltoso) posizionare un secondo prisma tra il primo e lo schermo in modo tale da riottenere la luce bianca (ciò a riprova che la luce bianca non è monocromatica).

Esperienza 3: le porpore

Materiale Pennelli, colori acrilici tra cui rosso e violetto, fogli.

Obiettivo costruire il cerchio dei colori (come in figura 5) evidenziando le porpore.

Modalità ed esecuzione: svolto con la collaborazione dell'insegnante di educazione artistica: riportare in un cerchio i colori del cerchio in figura 5 e verificare che mescolando rosso e violetto appaiono le porpore.

Esperienza 4: il contesto

Materiale PC con le immagini seguenti memorizzate in file (o, in mancanza, Stampe a colori delle immagini).

Obiettivo verificare l'importanza del contesto nel riconoscimento dei colori.

Modalità ed esecuzione: si può proporre in aula informatizzata (cercando di proporre un ambiente buio, se possibile), dopo aver memorizzato sui PC le immagini da mostrare, far effettuare le seguenti prove ai ragazzi, chiedendogli di riportare su carta le impressioni e le differenze che riscontrano nelle immagini.

- Primo esempio: (si mostra solo il primo disco su sfondo nero) si domanda: *descrivi le caratteristiche di ciò che vedi*.

I colori che vediamo



Molti osservatori, posti di fronte al primo disco, all'interno di una stanza completamente buia descrivono ciò che vedono o come una superficie **arancione** poco illuminata o come una luce arancione di bassa intensità.

Si prosegue facendo vedere ad alcuni un disco con l'aggiunta di un disco bianco e si chiede di nuovo *descrivi le caratteristiche di ciò che vedi*.

Si prosegue facendo vedere ad altri un disco con l'aggiunta di una macchia di colore arancione puro e si ripete *descrivi le caratteristiche di ciò che vedi*.

Basta aggiungere delle semplici informazioni contestuali (prima era una macchia fluttuante priva di contesto, poi qualcosa dà la misura dell'intensità della sorgente luminosa presente nella stanza) perché il giudizio sul colore prima definito cambi : da un arancione poco illuminato sarà percepito dalla maggioranza degli osservatori come marrone.

- Secondo esempio: si domanda: *i due quadrati interni hanno lo stesso colore?*



Sono identici e si può verificare con uno strumento contagocce di qualunque programma di grafica. Si tratta di un'illusione, legata al modo con cui percepiamo i colori e soprattutto al fenomeno di contrasto cromatico: lo stimolo luminoso raccolto dai fotorecettori non viene inviato al cervello come tale, ma subisce una prima rielaborazione già a livello della retina.

- Terzo esempio : si domanda : *la banda centrale è sfumata?*



(La banda grigia centrale riflette esattamente la stessa quantità di luce, ma l'effetto di contrasto la fa apparire più chiara nella parte sinistra dello schermo.)

- Quarto esempio: si domanda: *i due sfondi grigi sono uguali?*

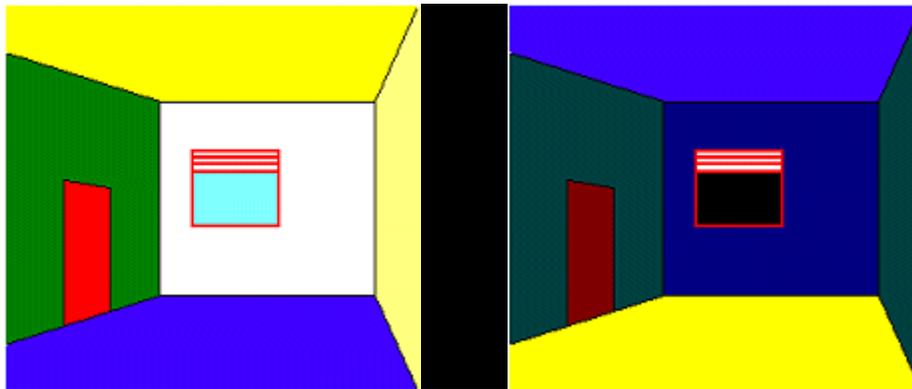
I colori che vediamo



(Sì, eppure il grigio con il quadrato bianco appare più luminoso dell'altro; questa è un'illusione : lo stimolo luminoso raccolto dai fotorecettori non viene inviato al cervello come tale, ma subisce una prima rielaborazione già a livello della retina.)

- Quinto esempio: ogni colore può sembrare più caldo o più freddo a seconda del contesto in cui è collocato: guardando le due immagini, si chiede di rispondere alle seguenti domande:

1. *Le stanze sembrano avere la stessa dimensione? Se no, quale riconosci come più ampia?*
2. *La finestra è sempre disegnata nella stessa posizione?*



E' possibile classificare i colori a seconda della sensazione che essi provocano sull'osservatore, in colori caldi e colori freddi. Alcune tinte (es. viola) sono intermedie e sembrano più calde o più fredde a seconda del contesto in cui sono collocate.

I colori caldi (come il rosso) danno l'impressione di venire incontro all'osservatore, quelli freddi (come il blu) sembrano allontanarsi.

Quindi, utilizzando colori freddi per lo sfondo e colori caldi per il primo piano, si può creare in un disegno l'illusione della prospettiva e degli effetti tridimensionali.

Esperienza 5: la percezione

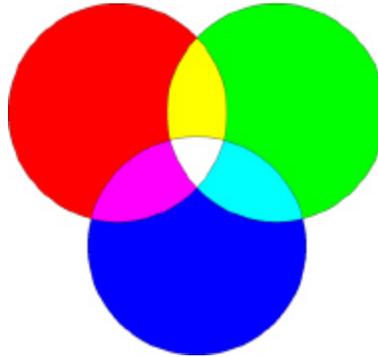
Materiale : (primo) tre sorgenti di luce bianca, filtri dei colori primari, schermo o parete a tinta neutra, (secondo) stampa a colori dell'immagine, (terzo e quarto) pennarelli rosso, verde e nero, fogli di carta forbici colla, chiodi lunghi o nastro biadesivo ,ventilatore o mixer o altro attrezzo rotante.

Obiettivo Verificare che i colori percepiti variano a seconda della sovrapposizione delle luci che li generano, del movimento, distanza e degli individui che li osservano.

I colori che vediamo

Modalità ed esecuzione: si propone a gruppi che eseguano a rotazione le seguenti prove e riportino per iscritto le loro risposte alle domande:

- Prima: in una stanza oscurata si posizionano le tre lampadine (sorgenti di luce bianca, ciascuna schermata con un filtro di un colore primario :rosso o verde o blu) tutte alla stessa distanza dalla parete/schermo con superficie neutra, in modo da sovrapporre tra loro i raggi luminosi: *Quali colori vedi e a quali altri sono vicini? Secondo voi a cosa è dovuto ciascun nuovo colore?*



Come si potrà vedere, al centro, dove i tre raggi si sovrappongono, appare il bianco. Dove, si sovrappongono solo la luce rossa e quella verde, vediamo il giallo; nella zona di sovrapposizione tra verde e blu, il colore percepito è il ciano (un celeste luminoso); dove si mescolano il rosso e il blu, il colore è magenta (un rosso violaceo molto saturo). *(Il tipo di mescolanza additiva mostrata è detto spaziale)*

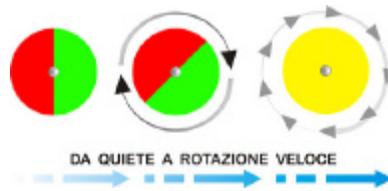
- Seconda: si mostra la seguente immagine e si chiede di spiegare perché una serie di bande rosso-verdi, viste ad opportuna distanza, appaiono come una superficie uniformemente gialla.



E' la media spaziale usata dai monitor: un'importante caratteristica della percezione visiva, che la rende profondamente differente, ad esempio, dalla percezione uditiva. Mentre l'orecchio è in grado di discriminare, in un accordo musicale, le singole note componenti, l'occhio non è in grado di separare, in una stimolazione luminosa composta dalla mescolanza di più luci diverse, le singole frequenze componenti.

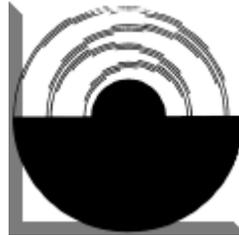
- Terza: si fa disegnare ai ragazzi un cerchio su un cartoncino, si ritaglia e si colora per metà di rosso e per metà di verde. Al centro si pone un chiodo e si fa girare velocemente (è possibile anche attaccare il cerchio con nastro biadesivo ad una piastra o ventilatore, però potrebbe essere pericoloso, in questo caso è necessario che a tenerlo sia l'insegnante).

I colori che vediamo



Il disco rosso-verde posto in rapida rotazione, viene percepito dall'osservatore come un disco di colore giallo uniforme. E' l'ultimo tipo di sintesi additiva, detta media temporale: esso si ottiene quando luci che ci appaiono di colore differente colpiscono lo stesso punto della retina in rapida successione (almeno 50 o 60 volte al secondo): quando il ritmo del loro alternarsi è sufficientemente elevato, i recettori della retina non sono più in grado di discriminare tra due sensazioni successive, che vengono quindi fuse nella percezione psicologica di un unico colore-somma.

- Quarta: da effettuare singolarmente: la stampa dell'immagine seguente (ripassata con pennarello nero) si ritaglia e si incolla su un cartoncino, che si applica ad un attrezzo rotante. Si chiede di *prendere nota dei colori percepiti*.



Ruotando questo disco alla velocità opportuna, si vedranno comparire anelli colorati: si chiama disco di Benham in onore del giocattolaio dell'Ottocento, che per primo notò il fenomeno.

Persone diverse vedono colori ad intensità diversa; la visione dei colori è dovuta alla presenza nella retina dei tre tipi di coni, ciascuno dei quali ha un tempo di latenza diverso e un diverso periodo di persistenza della risposta; i coni deputati alla visione del blu, per esempio, hanno un tempo di latenza maggiore (quindi rispondono più lentamente) e una maggiore persistenza nel tempo. Quando si guarda il disco in rotazione, gli occhi sono eccitati da stimoli alternati di nero e bianco; tutti i coni sono stimolati, ma, dal momento che alcuni rispondono più prontamente di altri e che in alcuni il periodo di persistenza è maggiore, ci sarà una disuguale risposta che può dare origine alla sensazione del colore; questo in parte spiega il fenomeno; i colori variano lungo il disco perché gli archi a diversa distanza dal centro hanno lunghezze diverse e quindi sono diversi gli stimoli che inviano alla retina.

Esperienza 6: le anomalie

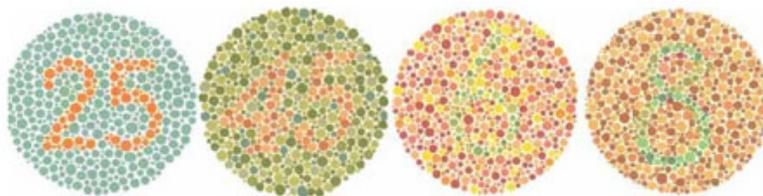
Materiale PC con l'immagine seguente memorizzata in un file (o, in mancanza, Stampa a colori).

Obiettivo Mostrare come possono essere individuate anomalie nella visione dei colori.

Modalità ed esecuzione:

In aula informatizzata si mostra l'immagine e si chiede di scrivere i numeri riportati all'interno dei cerchi e le eventuali difficoltà incontrate.

I colori che vediamo



Si discute insieme delle difficoltà riscontrate individualmente.

Didattica

Requisiti

Gli alunni devono già conoscere la rifrazione, riflessione, diffusione, l'occhio umano e i cromosomi.

Tempi

Il percorso può essere proposto in una terza classe di scuola media.

Metodologia e Percorso

Si divide la trattazione in fasi, alcune previste in collaborazione con insegnanti di Educazione Artistica ed Informatica (se diverso dall'insegnante di matematica e scienze).

Fase 1 introduzione: Per introdurre l'argomento, per richiamare l'attenzione dei ragazzi sul tema del colore, può essere proposto ai ragazzi di eseguire copie dal vero di un oggetto a loro familiare, un albero del giardino della scuola, qualcosa che vedono dalla finestra, un loro attrezzo sportivo.... (per realizzare questo lavoro si pensa alla collaborazione con l'insegnante di Educazione Artistica). Successivamente si confronteranno i lavori e si inviteranno i ragazzi ad esprimere le proprie osservazioni, eventualmente con domande di stimolo del tipo:

1. Quali colori avete osservato e in che momento della giornata?
2. Avete trovato i colori adatti a rappresentarli tutti?
3. Ne avete creati di nuovi? Come?
4. Tutti hanno usato gli stessi colori? Perché?

Con questo approccio gli alunni concentreranno l'attenzione sul tema *colore*. Si propone successivamente qualche domanda (per sondare le conoscenze corrette o meno sull'argomento) a cui i ragazzi risponderanno singolarmente.

- 🚦 Che cosa è secondo te il colore?
- 🚦 Il colore è una proprietà /caratteristica dell'oggetto?
- 🚦 Vedi sempre i colori? Quando li vedi? Li vedi sempre uguali?

I colori che vediamo

🚩 La luce del sole ha un colore?

Dalla lettura e dal confronto delle risposte può scaturire un elenco di idee che saranno oggetto di discussione durante il percorso per dirimere dubbi, far emergere problemi e proporre le possibili soluzioni.

Fase 2 Trattazione si presentano gli argomenti *i colori, la vista, la percezione dei colori, le anomalie* così come trattate in questa relazione proponendoli sia attraverso gli esperimenti indicati, sia con esposizione frontale riassuntiva, che con approcci alternativi (un ragazzo o un gruppo preparano un piccolo argomento e lo presentano in classe, si propongono ricerche di gruppo in aula informatizzata o a casa con collegamenti a quanto già studiato, si propone di leggere il testo e di sottolineare i passaggi più importanti di un certo paragrafo).

Fase 3 Esperimenti: sono proposti durante tutto il percorso didattico per introdurre aspetti rilevanti della trattazione, con modalità differenti (si veda la voce esperimenti), l'insegnante supervisiona ma lascia osservare, indagare e ragionare in modo indipendente i ragazzi.

Fase 4 Conclusioni se la classe risultasse molto interessata al lavoro, e/o gli alunni fossero di un livello medio alto, al termine dell'unità si potrebbe chiedere di descrivere come vedrebbe il mondo una persona che possedesse quattro tipi diversi di coni, lasciando la scelta della tipologia di cono.

Riferimenti

articolo IL COLORE di Paolo Manzelli (didattica delle scienze, numero 202 /maggio 1999)

documento in pdf : Luce, occhio e visione 1° lezione del corso di illuminotecnica Philips

<http://www.anisn.it/scuola/strumenti/visione/index.htm>

http://www.diodati.org/scritti/2002/g_colori/index.asp

http://pctidifi.mi.infn.it/set/ColoriLuce/U1_didattica2.htm

<http://www.retecivica.mi.it/didacta>