

Rita Caria

*Indirizzo Matematico- Scientifico
Classe di abilitazione: A059.*

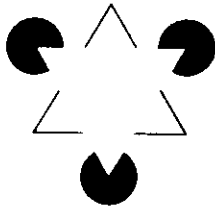
Relazione finale del laboratorio di didattica della fisica

La visione e la percezione dei colori

INTRODUZIONE

Sebbene l'uomo abbia realizzato macchine e strumenti ottici di grande perfezione bisogna precisare che lo strumento ottico più straordinario e complesso a disposizione dell'uomo è nato con lui: l'occhio.

L'occhio fa parte del sistema nervoso, che presiede all'elaborazione dei dati che provengono dal nervo ottico. Parlando della visione non bisogna dimenticare l'interazione esistente, appunto tra occhio e sistema nervoso e in particolare il cervello.



Ad esempio consideriamo la seguente figura:

il computer quale macchina a logica vincolata, incapace di interpretare come un essere umano fornirebbe questa "lettura": "tre cerchi neri mancanti di uno spicchio e tre segni a forma di V". Noi, invece, diremmo: "un triangolo bianco più luminoso sovrapposto, in parte, ad un altro bianco con contorni scuri, e,

a tre cerchi neri...". Quest'ultima è, senza dubbio, un'interpretazione intellettuale più articolata rispetto ad una visione univoca ed oggettiva.

Nel campo della visione, ci sono delle situazioni in cui siamo indotti a trarre conclusioni di "fantasia" o del tutto erronee, come nell'ampio campo delle illusioni ottiche, alle quali dato il loro interesse, si dedicherà un paragrafo alla fine. In questa relazione saranno considerati, quindi, aspetti della visione e della percezione che certamente possono interessare e incuriosire gli studenti di una scuola media e più precisamente si ritiene opportuno trattare questi argomenti in una classe terza, collegandoli con l'ottica geometrica e lo studio del sistema nervoso.

La visione: immagini, luce e colori

Didattica

Trattando in classe questo argomento si approfondirà la fisiologia dell'occhio e, quindi, i rispettivi componenti e la loro funzione, utilizzando immagini di libri tra cui se ne sceglierà qualcuna da ricopiare (eventualmente utilizzando le ore di educazione artistica) per realizzare dei cartelloni da appendere, in seguito, nell'aula.

Oltre la fisiologia dell'occhio si approfondirà lo studio anche sui meccanismi della visione, sui fenomeni di adattamento e di reazione alla radiazione luminosa (con relative motivazioni). Si tratterà l'argomento tenendo sempre presente di creare la partecipazione degli alunni.

Contenuti

La luce (quindi tutti gli oggetti illuminati), focalizzata sulla retina dal sistema ottico denominato "occhio", formato principalmente dall'iride, dalla cornea, dall'umore acqueo e vitreo, dal cristallino e dalla retina, viene convertita in segnali nervosi diretti al cervello. La retina svolge nell'occhio la stessa funzione che la pellicola fotosensibile compie in una macchina fotografica. E' su di essa, infatti, che il cristallino e il sistema dell'occhio (con funzione di obiettivo) focalizza le immagini del mondo che ci circonda, rimpicciolite e capovolte.

Il nome retina deriva dal fatto che la membrana che la costituisce è percorsa da un fittissimo intreccio di vasi sanguigni, che fanno appunto pensare ad una rete. Sulla faccia posteriore di questa membrana vi sono diversi milioni di minuscole cellule nervose, collegate tra di loro. Queste cellule sono capaci di trasformare la radiazione visibile che le investe in impulsi elettrici. Un ricco numero di terminazioni nervose raccoglie questi impulsi e li invia ai centri cerebrali che presiedono al meccanismo della visione. Tale funzione può essere paragonata, anche se in realtà risulta molto più complicata, a quella dell'esposimetro di una macchina fotografica, che invia un segnale elettrico di intensità direttamente proporzionale alla luce che la colpisce.

Le cellule nervose della retina, dette fotorecettori, si distinguono in due tipi: i coni e i bastoncelli. I coni operano in condizioni di piena luce, si suddividono a loro volta in tre tipi diversi, e come si dirà più avanti ciò rende possibile la visione dei colori. La visione in luce diurna prende il nome di visione fotopica (dal greco phos = luce e opia = visione). I coni sono addensati nella regione centrale della retina, che si chiama fovea. I bastoncelli assumono, invece, un ruolo dominante nella visione crepuscolare e notturna, vale a dire quando le condizioni di illuminazione sono particolarmente scarse. Rispetto ai coni, i bastoncelli non forniscono, però, immagini dai contorni altrettanto definiti; la spiegazione va ricercata nel fatto che l'estremità dei coni sensibili alla luce, soprattutto di quelli che si trovano nella fovea, è più

piccola di quella dei bastoncelli. Ciò garantisce una miglior risoluzione, ossia una maggior nitidezza di immagine, come avviene per una pellicola fotografica a grana fine rispetto ad una a grana grossa. I coni della fovea dell'occhio umano hanno un diametro di circa 1.000 nm (nanometro = un milionesimo di metro) vale a dire poco più della lunghezza d'onda corrispondente al colore rosso. Ci sono animali che superano questa straordinaria miniaturizzazione: l'acume visivo del falco, per esempio, è quattro volte superiore al nostro.

La visione dovuta ai bastoncelli è detta visione scotopica (dal greco skòtos = oscurità). I bastoncelli sono localizzati prevalentemente nelle zone periferiche della retina. A conferma di ciò, si provi a guardare un oggetto al cadere delle tenebre con la coda dell'occhio, anziché frontalmente. Apparirà più facilmente visibile, anche se meno nitido. Guardando con la coda dell'occhio, infatti, tendiamo a produrre l'immagine lontano dalla fovea, utilizzando prevalentemente i bastoncelli.

Una comprensione dettagliata di come i fotorecettori convertano la radiazione luminosa in segnali nervosi non è stata del tutto raggiunta. C'è, comunque, la seguente teoria da considerarsi valida: la visione non può considerarsi un processo esclusivamente fisico, simile a quello della percezione del suono, per cui entrano in vibrazione organi del nostro apparato uditivo e questo a causa delle altissime frequenze con cui oscilla la luce. Si deve perciò pensare a "qualcosa" che produca alterazioni nelle proprietà dei fotorecettori (ossia una reazione fotochimica). In tale processo, particolari pigmenti come la rodopsina o porpora retinica nei bastoncelli e pigmenti diversi in ciascuno dei tre tipi di coni, vengono scoloriti o sbiancati. Durante questo processo di sbiancamento, i pigmenti producono delle sostanze chimiche che agiscono sulle terminazioni nervose. Tale fenomeno è in genere solo parziale e, comunque, i pigmenti vengono gradualmente rigenerati, in modo da mantenere la capacità visiva. Questo fenomeno particolare fu scoperto verso la fine dell'Ottocento dal tedesco Willy Kuhne, quando, studiando i bastoncelli ottenuti sezionando la retina di una rana, in condizioni di quasi oscurità, notò che esponendo la retina alla luce questa si scoloriva, passando dal rosa al giallo pallido. Analizzando al microscopio fu chiaro che l'effetto era dovuto a un pigmento, contenuto nei bastoncelli, denominato, appunto, da Kuhne rodopsina.

In seguito si scoprì che il processo di sbiancamento dei pigmenti, a sua volta, trasmette al cervello informazioni sul livello di luminosità degli oggetti osservati: quanto più è alta l'intensità luminosa in arrivo ai fotorecettori, tanto più forte sarà il grado di scolorimento dei pigmenti visivi, e, quindi, la sensazione di luminosità inviata al cervello. Analizziamo, ora, i meccanismi di adattamento dell'occhio alle particolari condizioni di illuminazione in cui ci si venga a trovare, e i fenomeni di contrasto rispetto allo sfondo o agli altri oggetti che compongano il quadro di osservazione.

Consideriamo le seguenti situazioni:

- una candela accesa in piena luce diurna ci sembrerà assai poco luminosa, mentre in un luogo, poco o per nulla illuminato, ci apparirà una sorgente di luce discreta;
- un volto, osservato subito dopo aver fissato direttamente un'intensa sorgente luminosa, sarà difficilmente riconoscibile, anche se ben illuminato; invece non avremo dubbi sulla sua identità osservandolo alla luce della famosa candela, se prima stiamo per qualche minuto in completa oscurità.

Questi esempi ci indicano che la luminosità percepita in un dato punto della retina dipende anche, dall'intensità della luce che vi è arrivata in tempi precedenti e, da quella che perviene contemporaneamente sulle altre zone della retina. Sarà, certamente capitato a molti di notare che, in una stanza, di notte, appena spenta la lampadina ci si viene a trovare in una situazione di buio totale e, quindi, non si vede niente; però, dopo un certo tempo, si riesce ad apprezzare anche la più piccola fonte luminosa, proveniente dall'esterno e ci si può muovere per la stanza con un certa facilità. Un altro esempio di adattamento dell'occhio alla luce si verifica quando si è momentaneamente abbagliati dai fari di un'automobile. Possiamo dire che c'è una capacità dell'occhio di adattarsi abbastanza velocemente alle condizioni di luminosità dell'ambiente. L'adattamento alle condizioni di una forte luce, ossia la perdita di sensibilità della retina, conseguente ad abbagliamento, avviene in pochi istanti. Per abituarsi all'oscurità, invece, occorre del tempo. Nel caso dei coni, il periodo di adattamento completo alle condizioni di buio è di circa cinque minuti: in questo intervallo essi aumentano la propria sensibilità alla luce di dieci volte. Ancora più straordinaria, sebbene più lenta, è la capacità di adattamento dei bastoncelli. La loro sensibilità, dopo mezz'ora, risulta accresciuta di ben mille volte; che i nostri fotorecettori risultino completamente scambussolati da una luce troppo intensa, è facilmente verificabile guardando, per un attimo, direttamente a occhio nudo una sorgente di luce (per esempio una lampadina accesa da 75 watt) o la luce riflessa del sole (ad esempio sulla superficie del mare). Quando si chiudono le palpebre, rimane la netta sensazione di una macchia luminosa che non scompare subito, ma permane per qualche minuto, ed assume anche i colori più vari. L'effetto è ancora più marcato se si coprono gli occhi con le mani in modo da isolarsi completamente dalla luce. Questo effetto viene definito immagine consecutiva positiva. La macchia, o immagine postuma, deriva da quei fotorecettori sui quali è stata focalizzata la sorgente luminosa, e ne riproducono di conseguenza la forma. Nel caso di una lampadina a incandescenza, otterremo la visione distinta del filamento, purché questo si sia osservato abbastanza da vicino. Se poi nel guardare la sorgente avremo mosso la testa, chiudendo gli occhi percepiremo una striscia luminosa che corrisponde alla traccia percorsa dall'immagine sulla nostra retina. In seguito all'accecamento dei fotorecettori colpiti dall'intensa luce, vengono liberate grandi quantità di sostanze stimolanti che vengono inviate al cervello. Queste permangono per un certo tempo, prolungando la stimolazione nervosa. L'effetto assume il significato di prova della presenza di una componente di tipo chimico nei processi visivi.

Bisogna dire che il fenomeno descritto, anche se in maniera più lieve si riscontra nei casi in cui l'intensità luminosa è più debole di quella ipotizzata prima. Una finestra aperta, uno schermo televisivo acceso lasciano un'immagine che permane diversi secondi. Si evidenzia di non effettuare l'esperienza di guardare direttamente il sole senza alcuna protezione (ad esempio gli occhiali protettivi speciali, utilizzati per osservare le eclissi di sole), nemmeno per un attimo, perché quando l'intensità della luce è troppo elevata, può avvenire una distruzione totale e irreversibile dei fotorecettori. Si potrebbe rimanere definitivamente accecati. Conseguenze del genere possono anche accadere con la luce emessa dalle saldatrici ad arco e dai laser, ed è per questo che chi lavora con questi apparecchi deve indossare speciali occhiali protettivi. Oltre a questi casi estremi bisogna ricordare che dovrebbe essere buona norma proteggere, sempre, gli occhi in condizioni di illuminazione eccessiva o quando il riverbero del sole sia molto potente come in montagna quando c'è la neve o durante una gita in barca in una bella giornata di sole.

È interessante notare che alle modificazioni chimiche che si verificano nel processo di adattamento all'oscurità, si accompagnano altri processi nervosi. Per esempio l'occhio perde acume visivo e rapidità di percezione; è per questo motivo che quasi tutti, chi più chi meno, trovano difficile giocare a tennis con la luce artificiale: "non si becca più la palla", si dice nel gergo dei giocatori. E succede questo perché la si localizza in ritardo. Per lo stesso motivo è poco prudente guidare l'automobile, troppo velocemente, quando comincia a calare l'oscurità o quando sorge il sole, dato che i riflessi visivi risultano rallentati.

Un'ulteriore prova di questo rallentamento della percezione visiva si può avere osservando i lampioni di una lunga strada, nel momento in cui vengono accesi al calar della sera. Si nota che essi si illuminano con un crescente ritardo quanto più distano da noi, ma ciò in realtà non è così. La spiegazione è da attribuire al fatto che la luce delle lampade più lontane ci arriva smorzata e costringono l'occhio a un'osservazione prolungata.

La capacità di adattamento al buio, con tutti gli effetti collaterali sottolineati, può variare da persona a persona dato che è correlata, anche, alle condizioni psicofisiche dell'individuo. Un'insufficiente capacità di adattamento può essere dovuta a vari fattori: l'età, la malnutrizione (in particolare nella rigenerazione della rodopsina è importante la vitamina A) nonché la stanchezza, le malattie e, naturalmente, l'utilizzo di droghe.

La differenza di luminosità che, indipendentemente dall'adattamento, si ha per una candela accesa alla luce del sole o invece all'interno di un luogo buio, mostra l'importanza del contrasto. Infine si può evidenziare il fatto che un oggetto risulta più luminoso se lo sfondo è nero anziché bianco.

Il fatto che i bastoncelli siano deputati alla visione notturna suggerisce che debbono essere assai più sensibili alla luce che non i coni. È stato osservato, con studi di laboratorio, che un bastoncello è in grado di percepire perfino pochi quanti di luce, vale a dire un'energia luminosa

molto piccola, ma la visione dovuta ai bastoncelli è priva di colori. Infatti la visione crepuscolare, quella che si ha dopo qualche tempo che il sole è tramontato, tende a essere povera di colori. Si vengono a creare proprio le condizioni di luce in cui i coni riescono a malapena a tradurre l'energia luminosa in segnali elettrici per il cervello, e il compito di vedere è affidato in buona parte ai bastoncelli.

I bastoncelli sono praticamente "ciechi" alle lunghezze d'onda sopra i 600 nm, vale a dire per le radiazioni luminose della zona rossa, mentre si comportano meglio dei coni nel settore violetto. Il massimo della curva di risposta dei bastoncelli cade a 510 nm, contro i 555 nm dei coni. Questo spostamento verso le lunghezze d'onda più corte per l'occhio adattato all'oscurità, si chiama spostamento di Purkinje, e con lo stesso nome si indica il fenomeno del passaggio dalla visione fotopica a quella scotopica.

In condizioni di luce tali da indurre una visione scotopica, cioè sostenuta dai bastoncelli, qualsiasi radiazione luminosa, non importa se di lunghezza d'onda di 420, 500 o 560 nm, 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. Celebre è, tra i tanti esempi, il "Cristo morto" del Mantegna. Questo comportamento dei bastoncelli esclude ogni dubbio residuo che la luce possa essere di per sé colorata e conferma che il colore è solo una sensazione psicofisiologica, che proviamo quando particolari recettori, i coni, vengono stimolati. Ciò avviene solo quando la luce diventa apprezzabile. Dapprima i colori sono smorti, grigiastri, poi sempre più splendidi, fino ad assumere una maggiore nitidezza in presenza di piena illuminazione. Perché i coni hanno questo potere che è negato ai bastoncelli? Il problema ha attirato l'attenzione degli studiosi fin dall'antichità, dato che il colore è un fattore troppo importante nella natura, nella vita e nell'arte perché possa passare inosservato. Ad esempio un cielo azzurro, un tramonto, un prato con dei fiori, un mosaico bizantino o un quadro d'autore sono visioni che elevano lo spirito.

Il grande privilegio di vedere i colori è riservato all'uomo e ad alcune specie di animali, come gli uccelli, i rettili, i pesci, gli insetti, ma non alla stragrande maggioranza dei mammiferi, scimmie incluse, in cui la visione cromatica è rudimentale o addirittura assente. E' probabile che se i toreri usassero una muleta nera o verde, anziché rossa, il toro si infurierebbe allo stesso modo. Comunque, a dispetto della sua sedicente superiorità su tutti gli altri animali, nel caso di percezione visiva, all'uomo dovrebbe sorgere qualche dubbio. Infatti considerando il serpente a sonagli possiamo dire che "vede" anche l'infrarosso, grazie a speciali organi recettori che si affiancano all'occhio nell'azione visiva. Ciò gli permette di vedere una preda anche in condizioni di totale oscurità, perché la sagoma di un corpo più caldo dell'ambiente circostante si evidenzia facilmente in quanto sorgente di radiazione termica, cioè infrarossa.

Thomas Young (1773-1829) fu il primo scienziato che, partendo dal fatto allora noto dell'esistenza dei tre colori primari, blu, verde e rosso (dai quali, tramite miscele, si

ricavano tutti gli altri), ne cercò la spiegazione non più nelle proprietà della luce, ma in quelle dell'occhio umano. E questa fu la chiave per capirne il funzionamento.

Prima di Young, esistevano gli studi di Isaac Newton (1642-1727) in base alle quali ogni sensazione di colore doveva corrispondere a una diversa lunghezza d'onda della luce in arrivo al nostro occhio. Il problema di Young era di capire in che modo l'occhio riuscisse a trasmettere al cervello uno stimolo nervoso differente e appropriato per ogni particolare lunghezza d'onda della luce: un problema formidabile, considerando che l'occhio umano riesce a distinguere non più di duecento tinte diverse. Se ogni tinta richiedesse un proprio tipo di fotorecettore, che si attivi solo in presenza del colore che gli compete, dovremmo disporre di duecento tipi di fotorecettori differenti e, soprattutto, la visione di una luce colorata, essendo basata solo su una piccola parte di recettori risulterebbe assai debole rispetto alla visione della luce bianca, che li attiverebbe tutti quanti: e questo non è certo quello che si verifica.

Young ipotizzò che i recettori per la visione diurna fossero soltanto 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; era un'idea innovativa, avvalorata in seguito dalla scoperta che, in effetti, la retina dispone di tre tipi di coni (il quarto tipo di recettori, i bastoncelli, ha tutt'altre funzioni e nulla ha a che fare col colore, come già detto). Ebbene, oggi si sa che ciascun tipo di coni contiene pigmenti che si sbiancano per le diverse lunghezze d'onda della luce. Se disponessimo di un tipo di coni che si sbiancasse per effetto della radiazione infrarossa anche noi, come i serpenti, potremmo vedere nel buio assoluto.

Il daltonismo

Nell'ambito della percezione dei colori sarà opportuno collegare il discorso alla patologia che ne altera o impedisce la visione normale.

Il termine daltonismo deriva dal nome del chimico inglese John Dalton, che visse circa due secoli fa, il quale si rese conto di non saper distinguere certe sostanze da altre in base al loro colore, fatto che non costituiva, invece, un problema ai suoi collaboratori. Nel caso specifico Dalton non distingueva, ad esempio un liquido rosso da uno verde. La difficoltà di distinzione tra questi due colori è la più diffusa tra i vari tipi di "cecità cromatica". Essa si rileva, in maggior misura (circa l'8%) negli uomini, mentre è molto più rara nelle donne (0,4% dei casi) e i motivi sono di origine genetica, per cui, volendo, ci sono possibili collegamenti anche con la genetica e la probabilità.

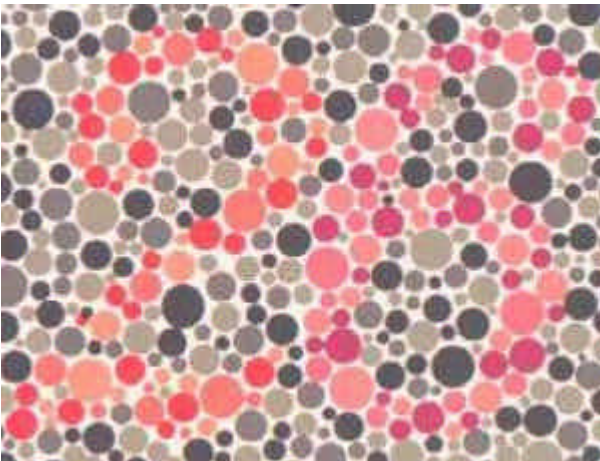
Si possono distinguere diversi casi di daltonismo a seconda del tipo di mancanza totale o parziale del colore nell'intervallo rosso-verde. Il caso di alterazione completa si spiega con l'assenza totale dei coni sensibili al rosso oppure di quelli sensibili al verde. Disponendo di due

soli tipi di coni, quelli del blu e uno solo del tipo necessario per la visione del rosso-verde, si verificano difficoltà a distinguere i colori dello spettro compresi tra 540 e 700 nm. Se difettano i coni del primo tipo, quelli del rosso, si verifica la situazione chiamata protanopia (dalle parole greche *pròtos* = primo, *a* = senza e *opia* = visione). Si verifica più frequentemente la deuteranopia (dal greco *deuter* = secondo), che equivale alla mancanza dei coni sensibili al verde. Per un protanopo i rossi appaiono molto deboli. Un discorso complementare vale per i deuteranopi, che hanno una visione del rosso quasi normale e mancano di sensibilità per il verde. In entrambi i casi, comunque, rossi e verdi inviano al cervello triplette simili, che sono però insufficienti per uno dei tre stimoli: il primo stimolo nei protanopi e il secondo nei deuteranopi. E' per questo che nell'analisi e sintesi operata dal cervello si determina la confusione tra il rosso e il verde.

Per completare il discorso è necessario aggiungere che ci sono dei casi di alterazione dei coni del terzo tipo, chiamata tritanopia, per cui si determina l'assenza della visione del blu (è un difetto molto raro). Le tre situazioni esposte sono dette di visione dicromatica in contrapposizione ai casi di normalità definiti tricromatici. Esiste anche il caso ancora meno piacevole, per cui mancano addirittura due tipi di coni. Con un solo tipo di coni a disposizione, la visione in luce diurna diventa simile a quella notturna, cioè essenzialmente acromatica. Ci sono tre persone su mille che vedono il mondo più o meno in bianco e nero. Si riscontrano con maggior frequenza alterazioni per cui un determinato tipo di cono presenta una capacità a percepire la luce diversamente dalla normalità. I casi possibili sono tre, ovviamente perché i tipi di coni deputati alla percezione del colore sono appunto tre: protanomalia, deuteranomalia e tritanomalia. Questi termini difficili, ma che sicuramente attireranno l'attenzione degli studenti, indicano una visione anomala da parte dei coni rispettivamente del rosso, del verde e del blu. Gli individui affetti da queste anomalie sono dunque dei soggetti tricromatici, ma presentano ovviamente una visione alterata dei colori, dato che sebbene siano presenti i tre tipi di fotorecettori, almeno uno di essi ha un'attività visiva che differisce da quella dei soggetti normali. La diagnosi delle varie tipologie di daltonismo si effettua con un apparecchio chiamato anomaloscopio. Questo strumento suddivide il campo visivo in due parti: una è illuminata con luce gialla, l'altra con luci rossa e verde sovrapposte (si ricorda che il rosso con il verde determina il giallo), ciascuna modulabile separatamente in intensità. La consistenza e tipologia del difetto è determinata a seconda della quantità anormale del colore rosso e/o di colore verde che la persona usa per trovare l'uguaglianza con la sensazione di giallo proveniente dall'altra metà del campo visivo. Il protanomalo utilizza molto più rosso di un soggetto normale, il deuteranomalo, invece, molto più verde.

Oltre a queste informazioni si tenderà a coinvolgere gli alunni anche con domande e osservazioni. Per esempio, si potrà provocatoriamente chiedere perché, nonostante la frequentissima confusione tra rosso e verde, si fa uso di questi due colori 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. Probabilmente, in questo caso, non si giungerà ad una risposta migliore dato che, come per il caso del semaforo, le scelte non sono sempre fatte in maniera razionale. Oppure si potrebbe chiedere come vedrebbe il mondo una persona che possedesse addirittura quattro tipi diversi di coni! Si potranno, inoltre, far conoscere agli alunni i test, come quello sotto, che permettono di avere un'idea della propria capacità di percepire i colori. Considerando la figura, se si individua il numero ventisei, non esistono problemi per la percezione del rosso.



Le illusioni ottiche

Capita, soprattutto alle persone osservatrici e riflessive, di chiedersi fino a che punto tutto ciò che percepiamo con i nostri occhi (e il nostro cervello) corrisponda alla realtà esistente. Alla base di questa domanda ci sono i numerosi casi di illusioni ottiche "reali" (si pensi al fenomeno della "fata morgana" o ai binari che allontanandosi sembrano congiungersi) o costruite. Si ritiene che dal punto di vista didattico sia interessante e utile far riflettere gli studenti su questo argomento, cercando anche di approfondire le motivazioni di questi fenomeni. Siccome esistono numerosi siti internet (molti in inglese) che trattano questo tema, si potrà coniugare all'attività prettamente scientifica anche l'utilizzo ragionato delle tecnologie in didattica. A questo proposito si indicano alcuni siti da cui sono stati tratti gli esempi seguenti:

Sandlot Science

Un bellissimo sito per capire come funzionano i nostri sensi attraverso giochi e illusioni.
<http://www.sandlotscience.com/>

IllusionWorks - Illusioni ottiche e percezione da CalTech: http://psylux.psych.tu-dresden.de/i1/kaw/diverses%20Material/www.illusionworks.com/html/hall_of_illusions.html

Un'ampia galleria di illusioni: figure paradossali, immagini e movimenti ambigui, distorsioni di dimensioni e forme, illusioni legate ai colori e alle ombre, alle espressioni del viso.

http://psylux.psych.tu-dresden.de/i1/kaw/diverses%20Material/www.illusionworks.com/html/illusion_art_museum.html

Le illusioni nell'arte: molti artisti usano le illusioni per ricreare realistiche scene tridimensionali.

Perception - a cura della Facoltà di Psicologia dell'Università del Massachussetts Lowell
<http://dragon.uml.edu/psych/illusion.html>

The joy of Visual Perception

<http://www.yorku.ca/eye/funthing.htm>

Tante divertenti illusioni da sperimentare on-line accompagnate da spiegazioni chiare ed esaurienti.

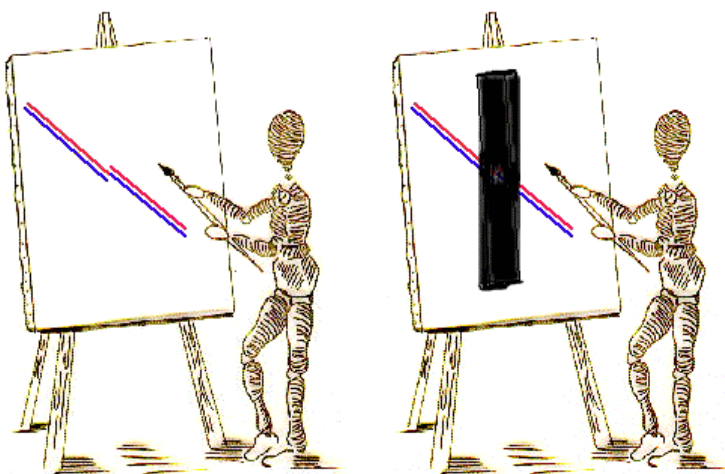
Aspects of Perception - a cura della facoltà di Computer Science della Brown University
<http://www.cs.brown.edu/courses/cs092/2000/py27/applets.html> Alcuni giochi sulla percezione del colore: di che colore sono gli oggetti? Quali dimensioni hanno? A quale distanza sono collocati? I coni fotorecettori dell'occhio sono sensibili allo stesso modo ai diversi colori?

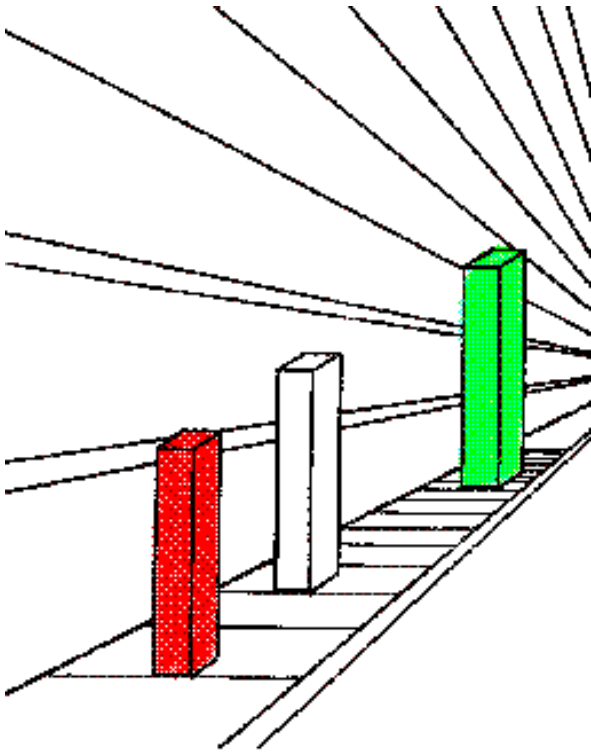
3-D EyeExercises - a cura della Optometrist Network

Un sito con tanti stereogrammi ed esercizi per la percezione visiva.

<http://www.vision3d.com/>

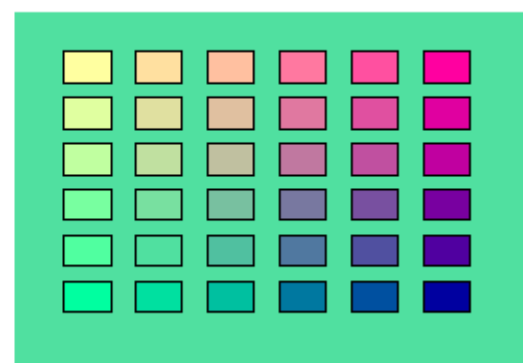
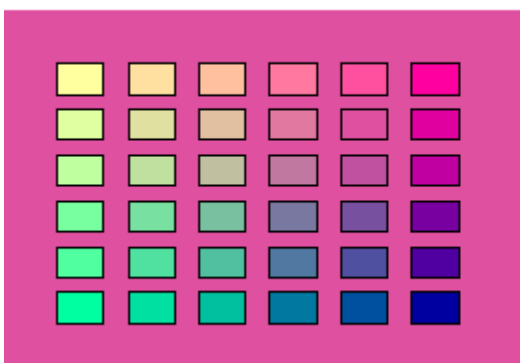
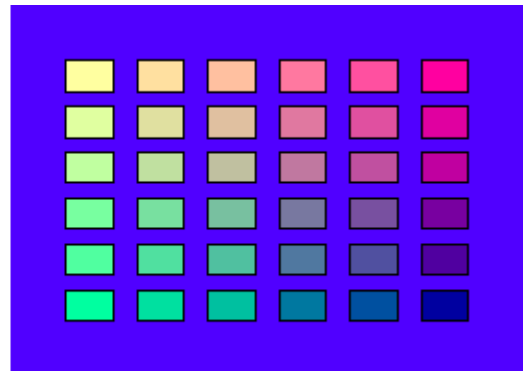
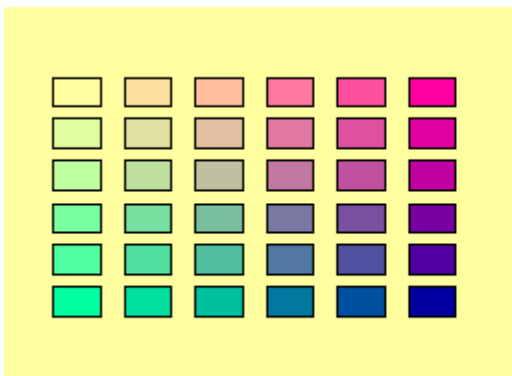
Le figure che seguono rappresentano l'illusione chiamata " Poggendorff Illusion" nella quale le due immagini differiscono esclusivamente per il rettangolo nero che copre la discontinuità tra le due rette. L'illusione ottica consiste proprio nel fatto che il cervello "aiutato" o forse sarebbe meglio dire fuorviato dalla copertura costruisce qualcosa che non corrisponde alla realtà:



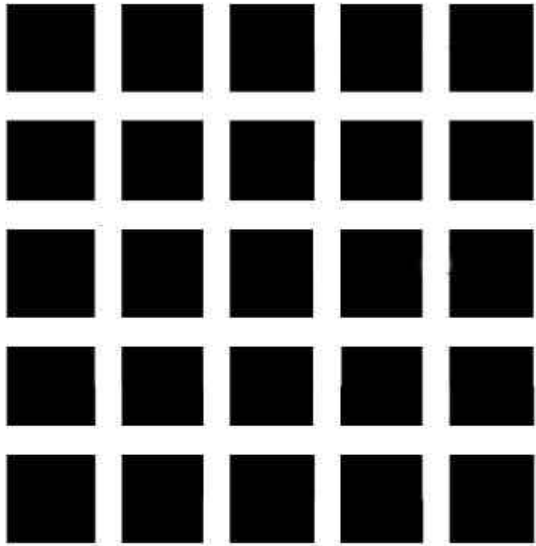


In questo caso, invece, si tratta di un'illusione dovuta alla prospettiva o meglio alla nostra abitudine alla terza dimensione per cui i tre parallelepipedi sembrano di altezze diverse, anche se, in realtà queste sono uguali.

Nel seguito sono presentate quattro figure nelle quali abbiamo delle "tavolozze" di colori identici presentati su diversi sfondi colorati (giallo, blu, viola e verde). Si nota che le sfumature di colore sembrano variare a seconda dello sfondo (riprendendo in ogni caso le sfumature uguali a questo accentuandole) anche se non è realmente così.



Nell'immagine seguente, infine, l'illusione ottica consiste nel fatto che si notano delle macchie grigie non reali nei punti di incrocio dei segmenti bianchi. Si nota che rimane esclusa dall'effetto l'intersezione su cui si fissa lo sguardo.



Questo effetto speciale fu notato nel 1870 da L. Hermann ed è per questo che questa esperienza illusoria è nota come "Hermann grid illusion". A questo punto, forse, qualcuno molto attento, avrà notato che tale effetto delle grey spots (macchie grigie) si verifica anche nelle tavolozze colorate precedenti (chiamate "color phenomena") con una differenza importante: esse non appaiono quando lo sfondo e le parti della tavolozza multicolore assumono lo stesso colore o per lo meno sfumature simili e non eccessivamente contrastanti. La spiegazione, infatti, delle macchie va ricercata nel contrasto tra due tinte vicine nella griglia o più precisamente nel contrasto di luminosità.

Il contrasto di luminosità, infatti, stimola in maniera disuguale i fotorecettori, ma siccome i vari recettori della retina non agiscono indipendentemente, ma "collaborano" per fornire al cervello una sintesi di ciò che percepiscono si verificano questi effetti particolari. Bisogna considerare che il contrasto luminoso eccessivo affatica gli occhi ed è per questo che, per quanto possibile, è necessario evitarlo. Per esempio si consiglia di non guardare la televisione o lo schermo del computer al buio, ma invece con una luce adeguata che elimini il contrasto luminoso.