

NINTH EDITION

SENSATION

and

PERCEPTION

E. Bruce Goldstein



© Perry Mastrovito/Design Pics/Corbis

LA PERCEZIONE DEL COLORE

CONTENUTI

Introduction to Color

What Are Some Functions of Color Vision?
What Colors Do We Perceive?
Color and Wavelength

Trichromatic Theory of Color Vision

Behavioral Evidence for the Theory
Physiological Evidence for the Theory

Color Deficiency

Monochromatism
Dichromatism
Physiological Mechanisms of Receptor-Based Color Deficiency

Opponent-Process Theory of Color Vision

Behavioral Evidence for the Theory
Physiological Evidence for the Theory

Color in the Cortex

Is There a Single Color Center in the Cortex?
Types of Opponent Neurons in the Cortex
The Relation Between Color and Form

Color Constancy

Chromatic Adaptation
The Effect of the Surroundings
Memory and Color

Lightness Constancy

Intensity Relationships: The Ratio Principle
Lightness Perception Under Uneven Illumination

◀ I colori di questa sezione di una vetrata della cattedrale di Notre Dame Montreal sono bellissimi e fonte di ispirazione. Ma la cosa più sorprendente del colore è che non esiste all'interno dell'oggetto colorato, ma è creato dal cervello. Come vedremo in questo capitolo, la percezione del blu, arancione, rosso e verde in questa immagine è il risultato finale di un processo che inizia quando diverse lunghezze d'onda di luce attivano i recettori a cono nella retina e culmina nella cottura dei neu-ron nel cervello che in qualche modo crea l'esperienza del colore.

SOMETHING TO CONSIDER: Color Is a Construction of the Nervous System

DEVELOPMENTAL DIMENSION: Infant Color Vision

Think About It

AVL Le icone del Laboratorio Virtuale vi indirizzano a specifiche animazioni e video progettati per aiutarvi a visualizzare ciò che state leggendo. I Laboratori Virtuali sono elencati alla fine del capitolo, collegati alla pagina in cui appaiono, e sono accessibili attraverso Psychology CourseMate.

ALCUNI QUESITI CONSIDERATI

- Cosa vede qualcuno che è "daltonico"? (p. 209)
- Perché percepiamo punti blu quando una lampadina di genere gialla si spegne? (p. 210)
- Quali colori percepisce un'ape da miele? (p. 221)

Il colore è una delle qualità più evidenti e pervasive nel nostro ambiente. Interagiamo con esso ogni volta che notiamo il colore di un semaforo, scegliamo abiti coordinati tra loro o ammiriamo i colori di un dipinto. Scegliamo i colori che preferiamo (blu è quello preferito - Terwogt & Hoeksma, 1994), associamo i colori alle emozioni (diventiamo viola di rabbia, rossi di imbarazzo, verdi di invidia e ci sentiamo "blu" (Terwogt & Hoeksma, 1994; Valdez & Mehrbrian). Investiamo i colori di particolari significati (rosso significa pericolo, viola regalità; verde ecologia) Ma per quanto i colori ci possano coinvolgere, a volte, li diamo per scontati e, proprio come per le nostre altre abilità percettive, potremmo non apprezzare a pieno i colori a meno che non perdiamo l'abilità di riconoscerli.

L'importanza di questa perdita di abilità è mostrata dal caso del signor I., un pittore che divenne daltonico all'età di sessantacinque anni in seguito ad una commozione cerebrale dovuta ad un incidente automobilistico. Nel marzo del 1986, il neurologo Oliver Sacks ricevette una lettera angosciata dal signor I. che, dopo essersi considerato "un artista piuttosto di successo" descriveva come, da quando era

stato coinvolto in un incidente automobilistico, aveva perso la sua abilità nel riconoscere i colori. Esclamava con angoscia "il mio cane è grigio, il succo di pomodoro è nero, la televisione è tutt' un miscuglio..." Nei giorni successivi al suo incidente il signor I. divenne sempre più depresso. Il suo studio, normalmente inondato dai colori brillanti dei suoi quadri astratti, gli apparve triste, e i suoi quadri, senza senso. Il cibo, ormai grigio, divenne difficile da guardare mentre mangiava; e i tramonti, un tempo visti come raggi di rosso, erano diventati strisce di nero contro il cielo (Sacks 1995). La cecità cromatica del signor I. è stata causata da una lesione corticale dopo che per una vita aveva percepito il colore, mentre la maggior parte dei casi di cecità totale o di carenza di colore (cecità cromatica parziale, di cui parleremo più avanti in dettaglio in questo capitolo) si verificano alla nascita a causa dell'assenza genetica di uno o più tipi di recettori conici. La maggior parte delle persone che sono nate parzialmente daltoniche non sono disturbate dalla loro ridotta percezione del colore rispetto a quella "normale", perché non hanno mai sperimentato il colore.. Tuttavia alcuni dei loro racconti come "l'oscuramento dei rossi" sono simili ai racconti del signor I. Le persone con daltonia totale fanno spesso eco alle lamentele del signor I. e di come sia a volte difficile distinguere un oggetto da un altro, come ad esempio il suo cane marrone del quale si poteva a stento scorgere la sua sagoma in una strada di colore chiaro, diventando molto più difficile da individuare visto su di un fogliame irregolare. Alla fine, il signor I. I. ha superato la sua condizione psicologica e ha iniziato a creare immagini in bianco e nero sorprendenti. Ma il suo racconto delle sue esperienze daltoniche fornisce un'impressionante testimonianza del posto centrale del colore nella nostra vita quotidiana. In questo capitolo si considera la percezione del colore in tre parti: 1) consideriamo alcuni fattori basilari sulla percezione del colore poi ci chiediamo 2) qual è la connessione tra la percezione del colore e l'attivazione dei neuroni e 3) come percepiamo i colori e la luminosità degli oggetti nell'ambiente sotto un'illuminazione mutevole?

Introduzione

Perché percepiamo colori diversi? Cominceremo a rispondere a questa domanda pensando ad alcune delle funzioni che il colore ha nelle nostre vite. Vedremo quindi come descriviamo la nostra esperienza del colore e come questa esperienza è legata alle proprietà dell'illuminazione.

Quali sono alcune funzioni della visione del colore?

Il colore aggiunge bellezza alle nostre vite, ma fa molto di più. Il colore svolge importanti funzioni di segnalazione, sia naturali che artificiali da parte dell'uomo. Il mondo naturale e quello creato dagli uomini fornisce molti segnali colorati, che ci aiutano ad identificare e classificare le cose.

So che la pietra sulla mia scrivania contiene rame dalla sua venatura blu intenso che l'attraversa; so che una banana è matura quando diventa gialla; so che quando il semaforo è rosso mi fermo.

Oltre la funzione di segnale, il colore aiuta nel facilitare l'organizzazione percettiva, il procedimento discusso nel capitolo 5 (pag 100), secondo il quale piccoli elementi si percepiscono raggruppati in oggetti più grandi. La percezione del colore facilita molto l'abilità di distinguere un oggetto dall'altro e specialmente di riconoscere oggetti all'interno di un luogo, abilità fondamentale per la sopravvivenza di molte specie. Considerate ad esempio una scimmia che cerca frutta nella foresta, una scimmia con una buona percezione dei colori distingue facilmente i frutti rossi su uno sfondo verde, (fig. 9.1a- bacche rosse tra fogliame verde) mentre una scimmia daltonica avrebbe molta difficoltà nel trovare il frutto. (fig. 9.1 b- diventa più difficile individuare queste bacche senza la visione del colore). La visione del colore migliora il contrasto di oggetti che se non apparissero colorati sembrerebbero più simili.

Questo legame tra una buona visione del colore e l'abilità di individuare il cibo colorato ha condotto all'ipotesi che la visione del colore della scimmia e dell'uomo possa essersi evoluta allo scopo di individuare la frutta (Sollon 1989, 1997; Summer e Mollon 2000; Walls 1942). Questo suggerimento sembra ragionevole se consideriamo la difficoltà che gli osservatori daltonici hanno quando affrontano il compito apparentemente semplice di raccogliere bacche. Knut Nordby (1990) uno scienziato totalmente daltonico, che vede il mondo in gradazioni di grigio, descrive così la sua esperienza: "Raccogliere bacche è sempre stato un gran problema. Spesso devo cercare a tentoni tra le foglie distinguendo con le dita grazie alla forma" (p.308).

La nostra abilità di percepire il colore non solo ci aiuta ad individuare oggetti che altrimenti potrebbero essere oscurati dal circondario, ci aiuta anche ad identificare e riconoscere le cose che possiamo vedere facilmente. James W. Tamaka e L. M. Presnell (1999) hanno dimostrato che chiedendo agli osservatori di identificare oggetti come quelli in figura 9.2 che apparivano visibili sia nei loro colori normali, come la banana gialla, sia in colori non appropriati come la banana viola. Il risultato fu che gli osservatori riconobbero gli oggetti del colore appropriato più rapidamente ed in modo più accurato. Quindi conoscere i colori di oggetti familiari ci aiuta nel riconoscerli. (Tanaka et al., 2001). (Ricordate dal capitolo 5 che il colore ci aiuta anche ad esaminare scene complesse).

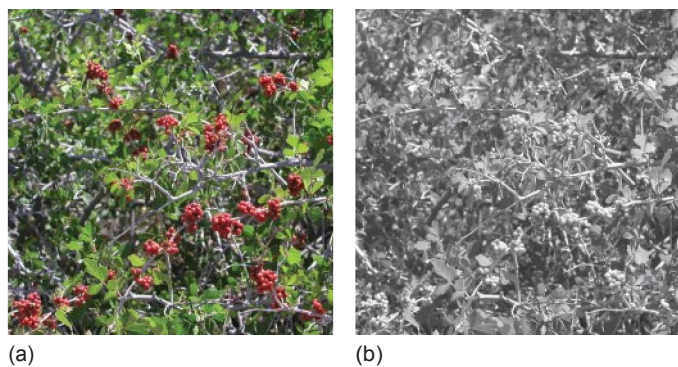


Figura 9.1 (a) Bacche rosse su fogliame verde. (b) Queste bacche diventano più difficili da individuare senza la visione dei colori.



Figura 9.2 I soggetti dell'esperimento di Tanaka e Presnell (1999) sono stati in grado di riconoscere più rapidamente oggetti opportunamente colorati come i frutti a sinistra rispetto ad oggetti non correttamente colorati come i frutti a destra. Da Tanaka, J. W. W., Weiskopf, D., & Williams, P. Il ruolo del colore nella visione ad alto livello. *Tendenze nelle scienze cognitive*, 5, 211-215.

Che colori percepiamo?

Possiamo descrivere tutti i colori che vediamo usando i termini blu, verde, giallo, rosso e combinazioni di questi (come "verde bluastrò"). (Abramov & Gordon, 1994; Hurvich, 1981).

Quando alle persone vengono presentati molti colori diversi e gli viene chiesto di descriverli, possono descriverli tutti quando gli si permette di usare tutti e quattro i termini, non possono quando uno di questi è omesso. Altri colori come arancio, viola, porpora e marrone non sono necessari per raggiungere questa descrizione (Fuld et al., 1981; Quinn et al., 1988). I ricercatori sul colore considerano rosso, giallo, verde e blu come colori puri o unici (Backhaus, 1998, Gouras, 1991).). Figura 9.3 mostra i colori organizzati in cerchio. L'ordine dei quattro colori basilari nel cerchio si abbina con l'ordine dei colori nello spettro del visibile, mostrando, nella figura 9.4, nella quale nell'estremità della lunghezza d'onda corta dello spettro c'è il blu, verde al centro dello spettro e giallo e rosso nella parte lunga della lunghezza d'onda dello spettro. Nonostante il cerchio del colore sia basato su quattro colori, ci sono più di 4 colori nel cerchio, di solito si possono distinguere circa 200 colori diversi nella lunghezza dello spettro visibile (Gouras, 1991) Possiamo creare anche più colori cambiando l'intensità della luce per rendere i colori più luminoso meno, o aggiungendo il bianco per variare la saturazione del colore. Per esempio aggiungendo il bianco al rosso scuro in cima al cerchio dei colori si rende rosa che è una forma meno saturata di rosso. Cambiando la lunghezza d'onda (della quale discuteremo dopo), l'intensità e la saturazione possiamo creare un milione di colori diversi (Backhaus 1998).

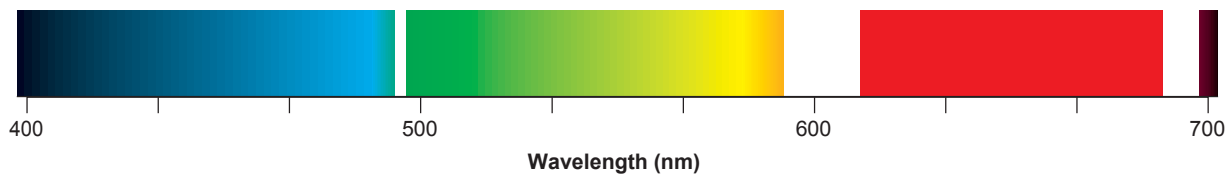


Figura 9.4 Lo spettro visibile. © Cengage Learning



Figura 9.3 Il cerchio cromatico. I colori sono disposti in modo tale che i quattro colori di base sono posizionati a ore 12, 3, 6 e 9 sul cerchio. Based on *Color Vision*, by Leo M. Hurvich, 1981. © Cengage Learning 2014.

Molti di più di quanti ne possiamo distinguere, ma il numero dei colori su un monitor a colori di alta qualità che è in grado di rappresentare accuratamente la nostra esperienza quotidiana del colore.

Avendo descritto diversi colori che noi percepiamo, adesso ci rivolgeremo al problema di come questi colori si palesino. Cosa ci fa percepire un pomodoro come rosso o una banana gialla? La prima risposta alla domanda è che questi colori sono in relazione alla lunghezza d'onda della luce

Colore e lunghezza d'onda

Il primo passo è capire come il nostro sistema nervoso crei la nostra percezione del colore e il considerare lo spettro visibile nella figura 9.4. Quando abbiamo introdotto questo spettro nel capitolo 2 (pagina 22) abbiamo visto che la percezione del colore è associata con la proprietà fisica della lunghezza d'onda. Lo spettro si allunga da una lunghezza d'onda corta (400 nm) ad una lunga (700 nm) e bande di onde lunghe in questa gamma sono associate a diversi colori. La lunghezza d'onda da 400-450 nm appare viola; da 450 a 490 nm blu; da 500 a 575 verde; da 575 a 590 nm gialla; da 590 a 620 nm a 700 nm rosso.

I colori di luce nello spettro sono in relazione alla loro lunghezza d'onda, ma i colori delle cose? I colori degli oggetti sono ampiamente determinati dalla lunghezza d'onda della luce, che sono riflesse dagli oggetti ai nostri occhi. I colori cromatici o tinte come blu verde e rosso appaiono quando alcune lunghezze d'onda sono riflesse più di altre, processo che si chiama riflesso selettivo (fig.9.5 Esempi di (a) riflessione selettiva e (b) trasmissione selettiva. Quando la luce bianca, contenente tutte le lunghezze d'onda nello spettro, colpisce la superficie, solo la luce a lunghezza d'onda lunga è riflessa in questo esempio. Il resto delle lunghezze d'onda è assorbito. Per la trasmissione selettiva, solo la luce a lunghezza d'onda lunga è trasmessa.) I colori acromatici come bianco grigio e nero appaiono quando la luce è riflessa in modo uguale attraverso lo spettro. La figura 9.6 mostra le curve di riflettività- i piani della percentuale di luce riflessa verso la lunghezza d'onda- per un numero di pigmenti ed (di) un pomodoro. Nota che i pigmenti ed il pomodoro riflettono una gamma di lunghezze d'onda ma in modo selettivo le riflettono di più in una parte dello spettro. Le curve per i colori acromatici, sono piatte, ed indicano riflettività uguale attraverso lo spettro.

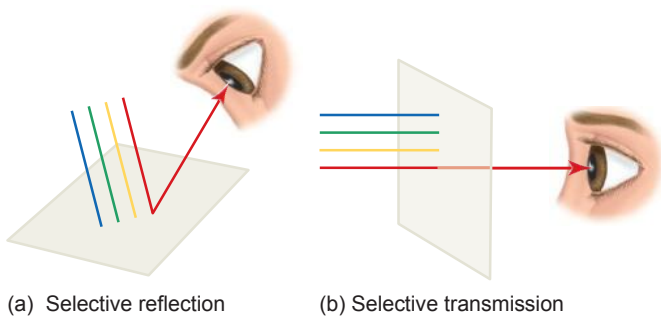


Figura 9.5 Esempi di (a) riflessione selettiva e (b) trasmissione selettiva. Quando la luce bianca, che contiene tutte le lunghezze d'onda dello spettro, colpisce la superficie, in questo esempio viene riflessa solo la luce a lunghezza d'onda lunga. Il resto delle lunghezze d'onda viene assorbito. Per la trasmissione selettiva, viene trasmessa solo la luce a lunghezza d'onda lunga.

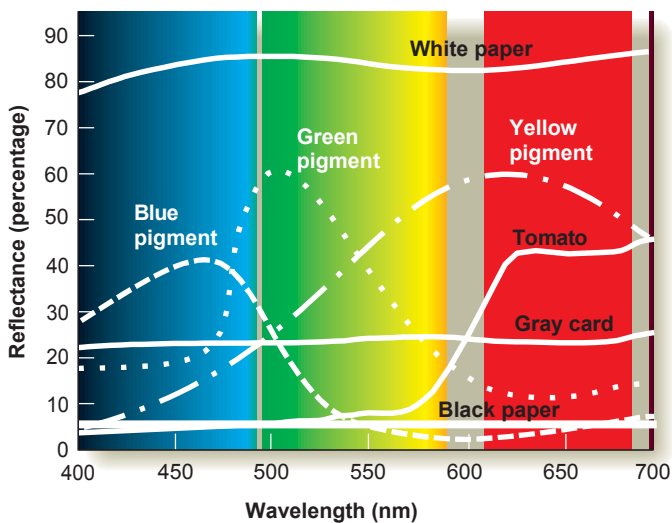


Figura 9.6- Curve di riflettanza per superfici che appaiono bianche, grigie e nere, e per i pigmenti blu, verdi e gialli e un rosso pomodoro.

La maggior parte dei colori nell'ambiente sono creati dal modo in cui gli oggetti in modo selettivo riflettono alcune lunghezze d'onda. Ma nel caso di cose che sono trasparenti come i liquidi, plastica e vetro, il colore cromatico è creato da una trasmissione selettiva, ciò significa che soltanto alcune lunghezze d'onda attraversano il soggetto o la sostanza (figura 9.5b). Per esempio il succo di mirtillo rosso trasmette in modo selettivo la luce e appare rosso, mentre il limeade trasmette in modo selettivo una luce di media lunghezza d'onda e sembra verde.

Le curve di trasmissione-piani di percentuale della luce trasmessa verso la lunghezza d'onda- sembra simile alla curva di riflettività nella figura 9.6. La tabella 9.1 indica la relazione tra le lunghezze d'onda riflesse o trasmesse e il colore percepito.

L'idea che il colore che noi percepiamo dipenda in gran parte dalle lunghezze d'onda della luce che raggiunge i nostri occhi ci fornisce un modo per spiegare quello che succede quando misceliamo colori diversi insieme.

Miscelare le luci: se una luce che appare blu viene proiettata su una superficie bianca e una luce che appare gialla viene sovrapposta a quella blu l'area di sovrapposizione è percepita come bianca (figura 9.7)

TABELLA 9.1 Relazione tra le lunghezze d'onda predominanti Rifl e il colore percepito

WAVELENGTHS REFLECTED OR TRANSMITTED	PERCEIVED COLOR
Short	Blue
Medium	Green
Long and medium	Yellow
Long	Red
Long, medium, and short	White

© Cengage Learning

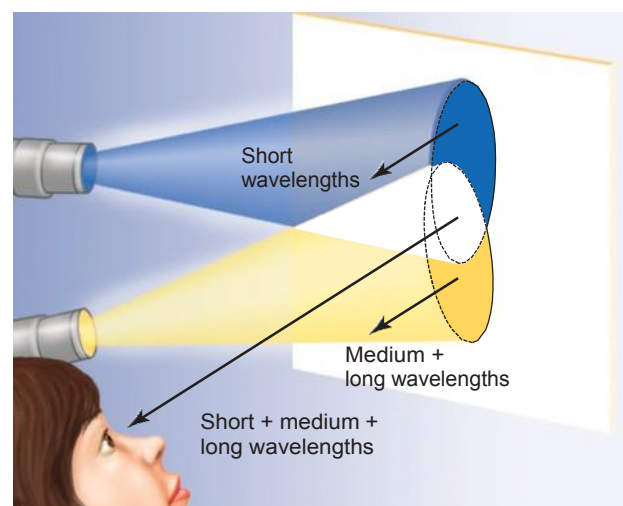


Figura 9.7 Miscelazione dei colori con la luce. Sovrapponendo una luce blu e una luce gialla si crea la percezione del bianco nella zona di sovrapposizione. Si tratta di una miscelazione additiva del colore. Impegnarsi nell'apprendimento

Sebbene il risultato possa sorprendere se hai mai miscelato le vernici blu e gialla per creare il verde puoi comprendere perchè questo accada considerando la lunghezza d'onda che la miscela di blu e giallo riflette sull'occhio. Poiché i due punti luce sono proiettati su una superficie bianca, che riflette tutte le lunghezze d'onda, e tutte le lunghezze d'onda che riflettono la superficie vengono riflesse sull'occhio dell'osservatore. (vedere la curva di riflessione per il foglio bianco in Figura 9.6).

La macchia blu consiste in una banda di onde corte, quindi quando viene proiettata da sola, la luce a lunghezza d'onda corta viene riflessa negli occhi dell'osservatore (Tabella 9.2). Allo stesso modo, la macchia gialla è composta da lunghezze d'onda medie e lunghe, così quando presentate da sole, queste lunghezze d'onda vengono riflesse dagli occhi dell'osservatore. La chiave per capire cosa succede quando luci colorate vengono sovrapposte è che "tutta la luce che viene riflessa dalla superficie per ogni luce quando è sola si riflette anche quando le luci sono sovrapposte." Quindi, dove i due punti sono sovrapposti, la luce proveniente dalla macchia blu e la luce proveniente dalla macchia gialla sono entrambe riflesse nell'occhio dell'osservatore. la luce sommata insieme quindi contiene lunghezze d'onda brevi, medie e lunghe, che si traducono nella percezione del bianco. Poiché la miscelazione delle luci comporta l'aggiunta delle lunghezze d'onda di ogni luce nella miscela, la miscelazione delle luci si chiama "colore additivo di miscela".

Miscelanza delle vernici: Possiamo apprezzare il motivo per cui vediamo i colori diversi quando si mescolano le pitture rispetto a quando si miscelano le luci considerando le macchie di vernice nella Figura 9.8. Il blu assorbe la luce a lunghezze d'onda lunghe e riflette una luce a lunghezza d'onda corta e una luce a lunghezza d'onda media (vedi la curva di riflettanza per "blue pigment" nella Figura 9.6). Il giallo assorbe la luce a lunghezza d'onda corta e riflette la luce a media e lunga lunghezza d'onda (vedere la curva di riflettanza per "pigmento giallo" nella Figura 9.6).

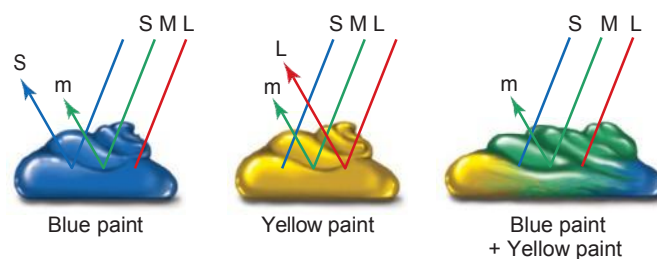


Figura 9.8 Miscelazione dei colori con la vernice. Miscelando la vernice blu e la vernice gialla si crea una vernice che appare verde. Si tratta di una miscela di colori sottrattivi. Impegnarsi nell'apprendimento

La chiave per capire cosa succede quando le pitture sono mescolate insieme è che, quando miscelate, entrambe le vernici assorbono ancora le stesse lunghezze d'onda che hanno assorbito da sole, quindi le sole lunghezze d'onda riflesse sono quelle che sono riflesse da entrambe le vernici in comune. Poiché le lunghezze d'onda medie sono le uniche riflesse da entrambe le vernici in comune, la miscela di vernici blu e gialle appare verde (Tabella 9.3). Poiché ogni goccia di vernice assorbe lunghezze d'onda e queste lunghezze d'onda sono ancora assorbite dalla miscela, le pitture miscelanti sono chiamate miscele di colori sottrattivi. Le macchie blu e gialle sottraggono tutte le lunghezze d'onda tranne alcune associate al verde. La ragione per cui mescolando le vernici blu e gialle si ottiene il verde è che entrambe le vernici riflettono un po' di luce nella parte verde dello spettro (vedere la sovrapposizione tra il blu e le curve del pigmento giallo nella Figura 9.6). Se la nostra pittura/vernice blu avesse riflesso solo lunghezze d'onda corte e la nostra vernice gialla avesse riflesso solo lunghezze d'onda medie e lunghe, queste vernici non avrebbero riflesso alcun colore in comune, quindi mescolarle risulterebbe in un riflesso piccolo o assente attraverso lo spettro, e la miscela apparirebbe nera. È raro, tuttavia, che le vernici riflettano la luce in una sola regione dello spettro.

TABELLA 9.2 Miscelazione di luci blu e gialle (miscela di colori additivi)

Parti dello spettro che vengono riflesse da una superficie bianca per ottenere punti luminosi blu e gialli proiettati sulla superficie. Le lunghezze d'onda riflesse dalla miscela vengono evidenziate.

	WAVELENGTHS		
	SHORT	MEDIUM	LONG
Spot of blue light	Reflected	No Reflection	No Reflection
Spot of yellow light	No Reflection	Reflected	Reflected
Overlapping blue and yellow spots	Reflected	Reflected	Reflected

© Cengage Learning

TABELLA 9.3 Miscelazione di vernici blu e gialle (Miscela di colori sottrattivi)

Parti dello spettro che vengono assorbite e riflettate da vernici blu e gialle. Le lunghezze d'onda riflesse dalla miscela sono evidenziate. La luce che di solito viene vista come verde è l'unica luce riflessa in comune da entrambe le vernici.

	WAVELENGTHS		
	SHORT	MEDIUM	LONG
Blob of blue paint	Reflects all	Reflects some	Absorbs all
Blob of yellow paint	Absorbs all	Reflects some	Reflects some
Mixture of blue and yellow blobs	Absorbs all	Reflects some	Absorbs all

© Cengage Learning

La maggior parte delle vernici riflette una banda larga di lunghezza d'onda. Se le vernici non riflettessero la gamma di lunghezze d'onda, allora molti degli effetti di miscelazione del colore delle vernici che diamo per scontato non si verificherebbero. Possiamo riassumere la connessione tra lunghezza d'onda e colore come segue:

-I colori della luce sono associati alle lunghezze d'onda nello spettro visibile.

-I colori degli oggetti sono associati a quali lunghezze d'onda vengono riflesse (per oggetti opachi) o trasmesse (per oggetti trasparenti).

-I colori che appaiono quando mescoliamo i colori sono anche associati a quali lunghezze d'onda vengono riflesse nell'occhio. Le luci di miscelazione fanno sì che vengano riflesse più lunghezze d'onda (ogni luce aggiunge lunghezze d'onda alla miscela); mescolando le vernici si riflettono meno lunghezze d'onda (ogni vernice sottrae le lunghezze d'onda dalla miscela).

Vedremo più avanti nel capitolo che cose diverse dalle lunghezze d'onda riflesse nei nostri occhi possono influenzare la percezione del colore. Ad esempio, la nostra percezione del colore di un oggetto può essere influenzata dallo sfondo su cui l'oggetto è visto. Per ora il nostro obiettivo principale è focalizzarci sulla connessione tra lunghezza d'onda e colore.

La connessione tra lunghezze d'onda e colore si è formata sulla base di due teorie sulla visione del colore, entrambe descrivono come il sistema visivo analizza la luce per segnalare le lunghezze d'onda che sono presenti. Considereremo a turno ognuna delle teorie, descrivendo dapprima le prove comportamentali su cui si basava la teoria e poi descrivendo le prove fisiche che sono diventate disponibili in seguito.

La Teoria Tricromatica della visione dei colori

La teoria tricromatica della visione dei colori, che afferma che la visione dei colori dipende dall'attività di tre diversi meccanismi recettoriali, è stata proposta da due eminenti ricercatori del XIX secolo, Thomas Young (1773-1829) e Hermann von Helmholtz (1821-1894). Hanno basato la loro teoria sui risultati di una procedura psicofisica chiamata corrispondenza dei colori.

Prove Comportamentali per la Teoria

Negli esperimenti di corrispondenza dei colori di Helmholtz, gli osservatori hanno regolato le quantità di tre diverse lunghezze d'onda della luce mescolate insieme in un "campo di confronto" fino a quando il colore di questa miscela non corrispondeva al colore di una singola lunghezza d'onda in un "campo di prova". Ad esempio, ad un osservatore potrebbe essere chiesto di regolare la quantità di luce a 420 nm, 560 nm e 640 nm in un campo di confronto finché il campo non corrisponde al colore di una luce a 500 nm presentata nel campo di test (Figura 9.9).

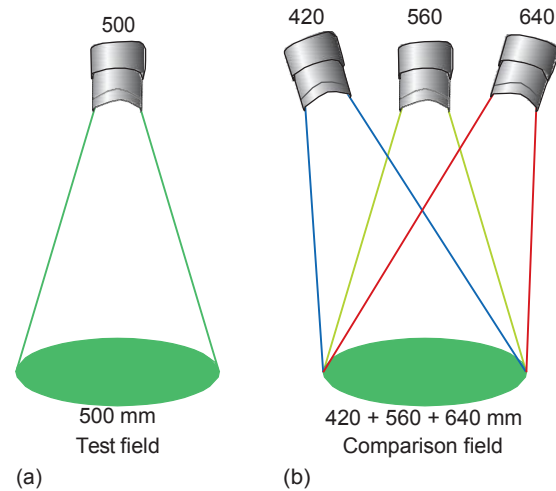


Figura 9.9 In un esperimento di corrispondenza dei colori, l'osservatore regola la quantità di tre lunghezze d'onda in un campo (a destra) in modo che corrisponda al colore della singola lunghezza d'onda nell'altro campo (a sinistra). © Cengage Learning 2014

(È possibile utilizzare qualsiasi delle tre lunghezze d'onda, purché nessuna di esse possa essere abbinata mescolando le altre due.) I risultati chiave di questi esperimenti di abbinamento dei colori erano i seguenti:

1. Regolando correttamente le proporzioni di tre lunghezze d'onda nel campo di confronto, era possibile abbinare qualsiasi lunghezza d'onda nel campo del test.
2. Le persone non possono eguagliare tutte le lunghezze d'onda nello spettro con solo due lunghezze d'onda. Ad esempio, se venissero fornite loro solo le luci 420-nm e 640-nm da miscelare, non sarebbero in grado di abbinare determinati colori.

Thomas Young (1802) propose la teoria tricromatica della visione dei colori basata sul risultato che le persone con una normale visione dei colori necessitano di almeno tre lunghezze d'onda per adattarsi a qualsiasi altra lunghezza d'onda. Questa teoria fu in seguito sostenuta e raffinata da Helmholtz (1852) e viene quindi chiamata anche la teoria Young-Helmholtz della visione a colori. L'idea centrale della teoria è che la visione del colore dipende da tre meccanismi del recettore, ognuno con differenti sensibilità spettrali. (Ricordate dal Capitolo 2 che la sensibilità spettrale indica la sensibilità alle lunghezze d'onda nello spettro visibile, come mostrato nella Figura 2.18b.) Secondo questa teoria, la luce di una particolare lunghezza d'onda stimola ciascun meccanismo del recettore a diversi gradi e il modello di attività dei tre meccanismi determina la percezione di un colore. Ogni lunghezza d'onda è quindi rappresentata nel sistema nervoso dal proprio schema di attività nei tre meccanismi del recettore.

Prove Fisiologiche per la Teoria

Più di un secolo dopo la prima proposta della teoria tricromatica, la ricerca fisiologica ha identificato i tre meccanismi recettoriali proposti dalla teoria.

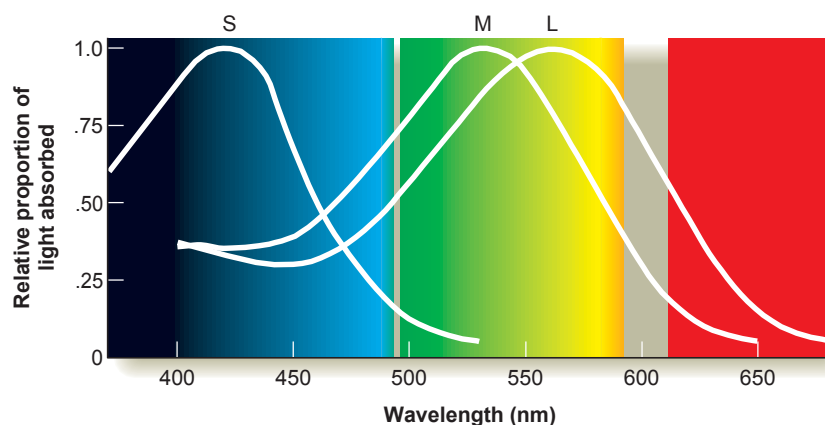


Figura 9.10 Spettri di assorbimento dei tre pigmenti a cono. Da Dartnall, H. J. A., Bowmaker, J. K., e Mollon, J. D. (1983). Pigmenti visivi umani: risultati microspettrofotometrici dagli occhi di sette persone. Atti della Royal Society of London B, 220, 115-130, con il permesso della Royal Society.

Pigmenti del cono: I ricercatori fisiologici che stavano lavorando per identificare i meccanismi del recettore proposti dalla teoria tricromatica hanno posto la seguente domanda: Esistono tre meccanismi e, in tal caso, quali sono le loro proprietà fisiologiche? A questa domanda fu data risposta negli anni '60, quando i ricercatori furono in grado di determinare che c'erano tre diversi pigmenti del cono, il pigmento a lunghezza d'onda corta (S), con assorbimento massimo a 419 nm; il pigmento a lunghezza d'onda media (M), con assorbimento massimo a 531 nm; e pigmento a lunghezza d'onda lunga (L), con assorbimento massimo a 558-nm (S, M e L in Figura 9.10) (Brown & Wald, 1964, Dartnall et al., 1983; Schnapf et al., 1987). Come si ricorda nel Capitolo 2 (pagina 27), tutti i pigmenti visivi sono costituiti da una lunga componente proteica chiamata opsina e un piccolo componente fotosensibile chiamato retina. Le differenze nella struttura della parte lunga dell'opsina dei pigmenti sono responsabili dei tre diversi spettri di assorbimento (Nathans et al., 1986). (Vedi Capitolo 2, pagina 34 per rivedere i pigmenti e gli spettri di assorbimento.)

Risposta del Cono e Percezione del Colore Se la percezione del colore si basa sul modello di attività di questi tre meccanismi del cono recettore, dovremmo essere in grado di determinare quali colori saranno percepiti se conosciamo la risposta di ciascuno dei meccanismi del recettore. La Figura 9.11 mostra la relazione tra le risposte dei tre tipi di recettori e la nostra percezione del colore. In questa figura, le risposte nei recettori S, M e L sono indicate dalla dimensione dei recettori. Ad esempio, il blu è segnalato da un'elevata risposta nel recettore S, una risposta più piccola nel recettore M e una risposta ancora più ridotta nel recettore L. Il giallo è segnalato da una risposta molto piccola nel recettore S e da risposte elevate, approssimativamente uguali nei recettori M e L. Il bianco è segnalato da uguale attività in tutti i recettori. Pensare alle lunghezze d'onda come causa di certi schemi di risposta dei recettori ci aiuta a prevedere quali colori dovrebbero risultare, quando combiniamo luci di colori diversi. Abbiamo già visto che combinando luci blu e gialle su sfondo bianco si ottiene il bianco. I modelli di attività del recettore nella Figura 9.11 mostrano che la luce blu causa un'elevata attività nei recettori S e che la luce gialla causa un'alta attività nei recettori M e L.

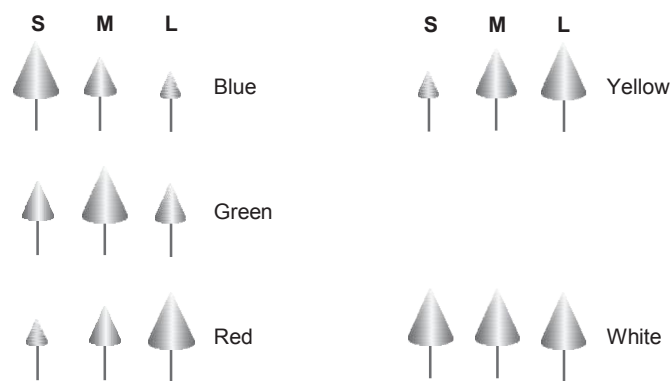


Figura 9.11 Modelli di fuoco dei tre tipi di coni con colori diversi. La dimensione del cono simboleggia la dimensione della risposta del recettore. © Cengage Learning

Pertanto, la combinazione di entrambe le luci dovrebbe stimolare allo stesso modo tutti e tre i recettori, che è associato alla percezione del bianco.

Ora che sappiamo che la nostra percezione dei colori è determinata dallo schema di attività in diversi tipi di recettori, possiamo spiegare la base fisiologica dietro i risultati di corrispondenza cromatica che hanno portato alla proposta della teoria tricromatica. Si ricordi che in un esperimento di corrispondenza dei colori, una lunghezza d'onda in un campo è eguagliata regolando le proporzioni di tre diverse lunghezze d'onda in un altro campo (Figura 9.9). Questo risultato è interessante perché le luci nei due campi sono fisicamente diverse (contengono lunghezze d'onda diverse) ma sono percettivamente identiche (hanno lo stesso aspetto). Questa situazione, in cui due stimoli fisicamente diversi sono percettivamente identici, si chiama metamerismo, e i due campi identici in un esperimento di corrispondenza cromatica sono chiamati metameri.

La ragione per cui i metameri si assomigliano è che entrambi producono lo stesso modello di risposta nei tre recettori a cono. Ad esempio, quando le proporzioni di una luce rossa da 620 nm e una luce verde da 530 nm vengono regolate in modo che la miscela corrisponda al colore di una luce a 580 nm, che appare gialla, le due lunghezze d'onda miste creano lo stesso modello di attività nei recettori a cono come luce singola da 580 nm (Figura 9.12).

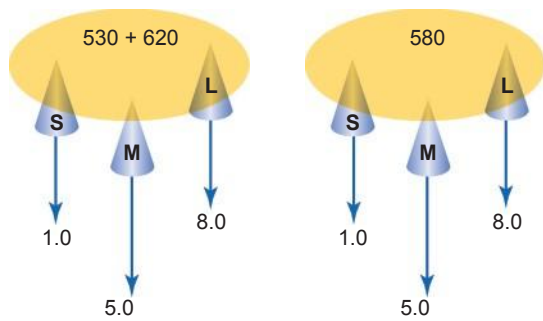


Figura 9.12 Principio alla base del metamerismo. Le proporzioni delle luci 530 e 620 nm nel campo a sinistra sono state regolate in modo che la miscela appaia identica alla luce a 580 nm nel campo a destra. I numeri indicano le risposte dei recettori a breve, media e lunga lunghezza d'onda. Non c'è differenza nelle risposte dei due gruppi di recettori, quindi i due campi sono percettivamente indistinguibili. © Cengage Learning

La luce verde a 530 nm provoca un'ampia risposta nel recettore M e la luce rossa a 620 nm provoca un'ampia risposta nel recettore L. Insieme, determinano un'ampia risposta nei recettori M e L e una risposta molto più limitata nel recettore S. Questo è lo schema per il giallo ed è lo stesso del modello generato dalla luce a 580 nm. Pertanto, anche se le luci in questi due campi sono fisicamente diverse, le due luci producono schemi identici di risposte fisiologiche, quindi sono identiche per quanto riguarda il cervello e pertanto sono percepite come stesse.

Sono necessari tre meccanismi per i recettori per la visione a colori? Secondo la teoria tricromatica, la lunghezza d'onda di una luce è segnalata dal modello di attività di tre meccanismi recettoriali. Ma abbiamo bisogno di tre meccanismi diversi per vedere i colori? Consideriamo innanzitutto perché la visione a colori non si verifica in individui che hanno un solo tipo di recettore (quindi hanno un solo pigmento).

Possiamo capire perché la visione a colori non è possibile in una persona con un solo tipo di recettore considerando come una persona con un solo pigmento percepisce due luci, una a 480 nm e una a 600 nm (Figura 9.13a), che una persona con una visione del colore normale vedrebbe rispettivamente come blu e rosso. Lo spettro di assorbimento per il singolo pigmento, mostrato nella Figura 9.13b, indica che il pigmento assorbe il 10 per cento di luce a 480 nm e il 5 per cento di luce a 600 nm.

Per discutere di cosa succede quando il nostro osservatore di un singolo pigmento guarda le due luci, dobbiamo tornare alla nostra descrizione dei pigmenti visivi nel Capitolo 2 (vedi pagina 26). Ricorda che quando la luce viene assorbita dalla parte retinica della molecola del pigmento visivo, la retina cambia forma, un processo chiamato isomerizzazione. (Anche se di solito specifichiamo la luce in termini di lunghezza d'onda, la luce può anche essere descritta come costituita da piccoli pacchetti di energia chiamati fotoni, con un fotone che è il più piccolo pacchetto di energia luminosa.) La molecola del pigmento visivo si isomerizza quando la molecola assorbe un fotone di luce. Questa isomerizzazione attiva la molecola e innesca il processo che attiva il recettore visivo e porta a vedere la luce.

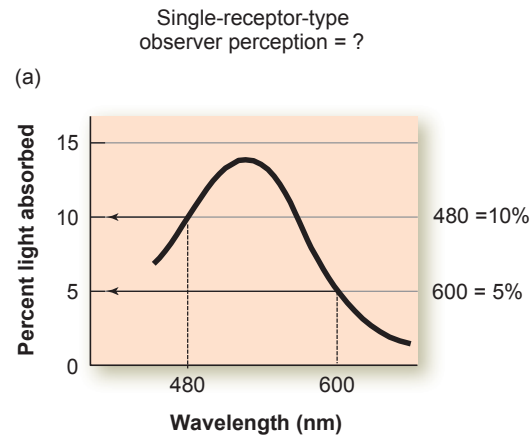
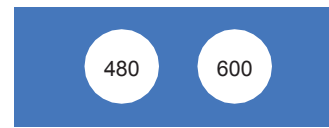


Figura 9.13 (a) Due luci, 480 nm a sinistra e 600 nm a destra. (b) Spettro di assorbimento di un pigmento visivo che assorbe il 10 per cento di luce a 480 nm e il 5 per cento di luce a 600 nm. © Cengage Learning 2014

Se l'intensità di ogni luce viene regolata in modo che 1.000 fotoni di ogni luce entrino negli occhi dell'osservatore a un pigmento, possiamo vedere dalla Figura 9.14a che la luce a 480 nm isomerizza $1000 \times 0.10 = 100$ molecole del pigmento visivo e la luce a 600 nm isomerizza $1.000 \times 0.05 = 50$ molecole. Poiché la luce a 480 nm isomerizza il doppio delle molecole del pigmento visivo della luce a 600 nm, causerà una risposta più ampia nel recettore, con conseguente percezione di una luce più brillante. Ma se aumentiamo l'intensità della luce a 600 nm a 2.000 fotoni, come mostrato nella Figura 9.14b, allora anche questa luce isomerizzerà 100 molecole di pigmento visivo.

Quando la luce a 1.000 nm a 1.000 fotoni e la luce a 600 nm a 2.000 fotoni isomerizzano lo stesso numero di molecole, il risultato sarà che le due macchie di luce appariranno identiche. Il fatto che le lunghezze d'onda della luce siano diverse non ha importanza, a causa del principio di univarianza, che afferma che una volta che un fotone di luce viene assorbito da una molecola visiva del pigmento, l'identità della lunghezza d'onda della luce viene persa. Un'isomerizzazione è indipendentemente dalla lunghezza d'onda che l'ha provocata. Univarianza significa che il recettore non conosce la lunghezza d'onda della luce che ha assorbito, ma solo la quantità totale di luce assorbita. Così, regolando le intensità delle due luci, possiamo far sì che il singolo pigmento produca risposte identiche, quindi le luci appariranno uguali anche se le loro lunghezze d'onda sono diverse.

Ciò significa che una persona con un solo pigmento visivo può abbinare qualsiasi lunghezza d'onda nello spettro regolando l'intensità di qualsiasi altra lunghezza d'onda, e vede tutte le lunghezze d'onda come sfumature di grigio. Pertanto, regolando opportunamente l'intensità è possibile rendere identiche le luci a 480 nm e 600 nm (o qualsiasi altra lunghezza d'onda).

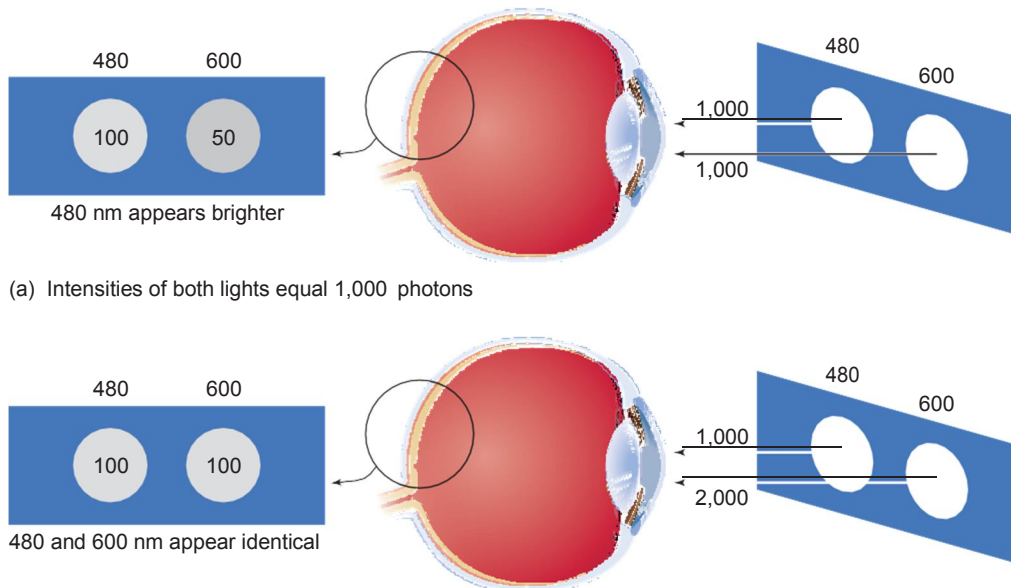


Figura 9.14 Calcolo di quante molecole del pigmento visivo nella figura 9.13 sono isomerizzate. (a) Quando l'intensità di entrambi è di 1000 fotoni, la luce a 480 nm isomerizza 100 molecole e la luce a 600 nm isomerizza 50 molecole, quindi la luce a 480 nm sembra più luminosa. (b) Quando l'intensità della luce a 600 nm viene aumentata a 2.000, entrambe le lunghezze d'onda isomerizzano lo stesso numero di molecole, quindi le due lunghezze d'onda sono percepite come identiche. © Cengage Learning 2014

(a) Intensities of both lights equal 1,000 photons

(b) 600-nm light increased to 2,000 photons

Come può il sistema nervoso distinguere la differenza tra le due lunghezze d'onda, indipendentemente dall'intensità della luce? La risposta è che l'aggiunta di un secondo pigmento consente di distinguere le lunghezze d'onda indipendentemente dall'intensità della luce. Possiamo capire perché è così considerando ciò che accade quando aggiungiamo un secondo pigmento, con uno spettro di assorbimento mostrato dalla curva tratteggiata nella Figura 9.15. Questo pigmento assorbe più luce a 600 nm rispetto a 480 nm di luce, quindi l'intensità che induce il pigmento 1 a generare la stessa risposta alle due lunghezze d'onda, fa sì che il pigmento 2 generi una risposta molto più ampia a 600 nm di luce. Pertanto, le risposte di entrambi i pigmenti insieme potrebbero indicare una differenza tra le due diverse lunghezze d'onda. Un altro modo di guardare a questa situazione a due pigmenti è quello di considerare i rapporti delle risposte dei due pigmenti alle due lunghezze d'onda. Dalla Figura 9.15 si può vedere che la luce a 480 nm provoca un'ampia risposta dal pigmento 1 e una risposta più piccola dal pigmento 2, e che la luce a 600 nm provoca una risposta maggiore nel pigmento 2 e una risposta più piccola nel pigmento 1.

Questi rapporti rimangono gli stessi indipendentemente dalle intensità della luce. Il rapporto tra la risposta del pigmento 1 e il pigmento 2 è sempre da 10 a 2 per la luce a 480 nm e da 5 a 10 per la luce a 600 nm. Pertanto, il sistema visivo può utilizzare informazioni di rapporto come questo per identificare la lunghezza d'onda di qualsiasi luce. Questa stessa costanza delle informazioni sul rapporto si verifica anche quando ci sono tre pigmenti, che è la base della proposta della teoria tricromatica che la percezione del colore dipende dal modello di attività in tre meccanismi del recettore. Come vedremo quando considereremo la carenza di colore nella prossima sezione, ci sono persone con solo due tipi di pigmento a cono. Queste persone, chiamate dicromatici, vedono i colori, proprio come i nostri calcoli predicono, ma vedono meno colori delle persone con tre pigmenti visivi, che sono chiamati tricromatici. L'aggiunta di un terzo pigmento, sebbene non necessaria per la creazione della visione a colori, aumenta il numero di colori che possono essere visti attraverso lo spettro visivo.

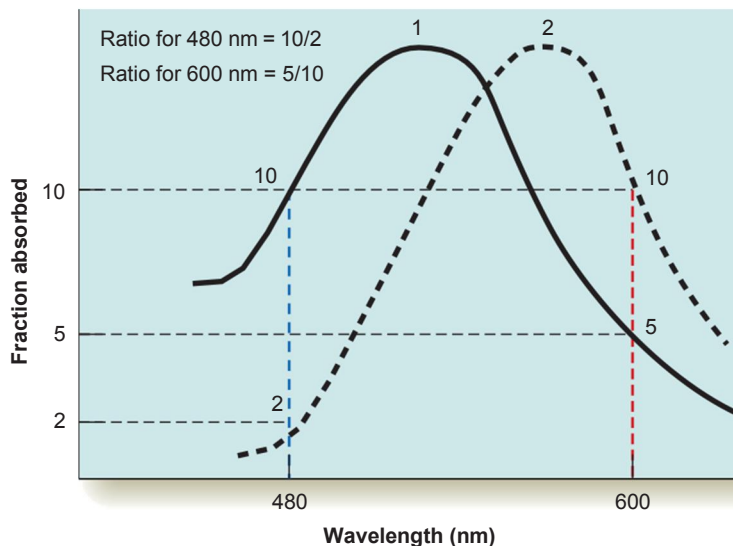


Figura 9.15 Aggiunta di un secondo pigmento (curva tratteggiata) a quello della Figura 9.13. Ora le luci a 480 nm e 600 nm possono essere identificate dal rapporto di risposta dei due pigmenti. Il rapporto per la luce a 480 nm è 10/2 (linea tratteggiata in blu). Il rapporto per la luce a 600 nm è 5/10 (linea tratteggiata rossa). Questi rapporti si verificano indipendentemente dall'intensità della luce. © Cengage Learning 2014

TEST YOURSELF 9.1

1. Quali sono le varie funzioni della visione a colori?
2. Quali sono le caratteristiche fisiche più strettamente associate alla percezione del colore? Come è dimostrato dalle differenze nella riflessione di oggetti diversi?
3. Descrivere la miscela cromatica additiva e la miscela cromatica sottrattiva. Come si possono mettere in relazione i risultati di questi due tipi di miscelazione del colore con le lunghezze d'onda che vengono riflesse negli occhi di un osservatore?
4. Descrivere la teoria tricromatica e gli esperimenti su cui si è basata. Come spiega questa teoria i risultati degli esperimenti di color matching?
5. Descrivere come la teoria tricromatica si basa sui pigmenti conici e come le lunghezze d'onda sono indicate dall'attività dei coni.
6. Cosa sono i metameri, e come può la nostra percezione dei metameri essere spiegata dall'attività dei coni come descritto sopra?
7. Perché la visione dei colori è possibile quando ci sono solo due pigmenti diversi, ma non è possibile quando c'è un solo pigmento? Qual è l'effetto sulla visione dei colori di avere tre pigmenti piuttosto che due?

Carenza Cromatica

È ormai noto che certe persone hanno difficoltà a percepire certi colori. All'inizio del capitolo abbiamo descritto il caso di Mr I. che ha perso l'abilità di vedere i colori dopo una commozione cerebrale. La maggior parte dei problemi con la visione dei colori coinvolge comunque solo una parziale perdita della percezione dei colori chiamata deficit della percezione dei colori ed è associata a problemi con i recettori della retina che sono presenti alla nascita.

In un famoso studio condotto recentemente sul "deficit visivo", il famoso chimico John Dalton del XVIII secolo (1798/1948)

descrisse la sua percezione del colore nel seguente modo "tutti i cremisi mi appaiono tendenti al blu scuro, ma molti di loro sembrano avere una sfumatura di marrone scuro. Ho visto un campione di cremisi, porpora e color fango che erano molto simili."(p.102)

La descrizione di Dalton della sua anormale percezione dei colori ha portato al primo utilizzo del termine daltonismo per descrivere il deficit visivo. Adesso sappiamo che ci sono diversi tipi di deficit visivi. Questo è stato determinato dal test della visione del colore come quello mostrato nella figura 9.16a chiamato test Ishihara. In questo esempio, persone con una normale visione del colore vedono il "74", ma le persone con un deficit visivo rosso-verde potrebbero vedere qualcosa come la descrizione in figura 9.16b, nella quale il 74 non è visibile. Un altro modo di determinare di deficit visivi è usare la procedura di corrispondenza dei colori per determinare il minimo numero di lunghezze d'onda necessarie per abbinare un'altra lunghezza d'onda nello spettro. Questa procedura ha rilevato i seguenti tipi di deficit visivi:

1. Un monocromatico può abbinare alcune lunghezze d'onda nello spettro aggiustando l'intensità di un'altra lunghezza d'onda. Perciò un monocromatico ha bisogno solo di una lunghezza d'onda per abbinare alcuni colori nello spettro vede solo una sfumatura di grigio. Il nostro "primo pigmento" osservato dalla figura 9.13 è un monocromatico.
2. Un dicromatico ha bisogno solo di due lunghezze d'onda per abbinare tutte le altre lunghezze d'onda nello spettro. Il nostro "secondo pigmento" osservato dalla figura 9.15 è un dicromatico.
3. Un anomalo tricromatico ha bisogno di tre lunghezze d'onda per abbinare altre lunghezze d'onda come fa un normale tricromatico. Comunque l'anomalo tricromatico mischia queste lunghezze d'onda in diverse proporzioni rispetto un tricromatico e un anomalo tricromatico non è bravo quanto un tricromatico a discriminare tra lunghezze d'onda che sono chiuse insieme.

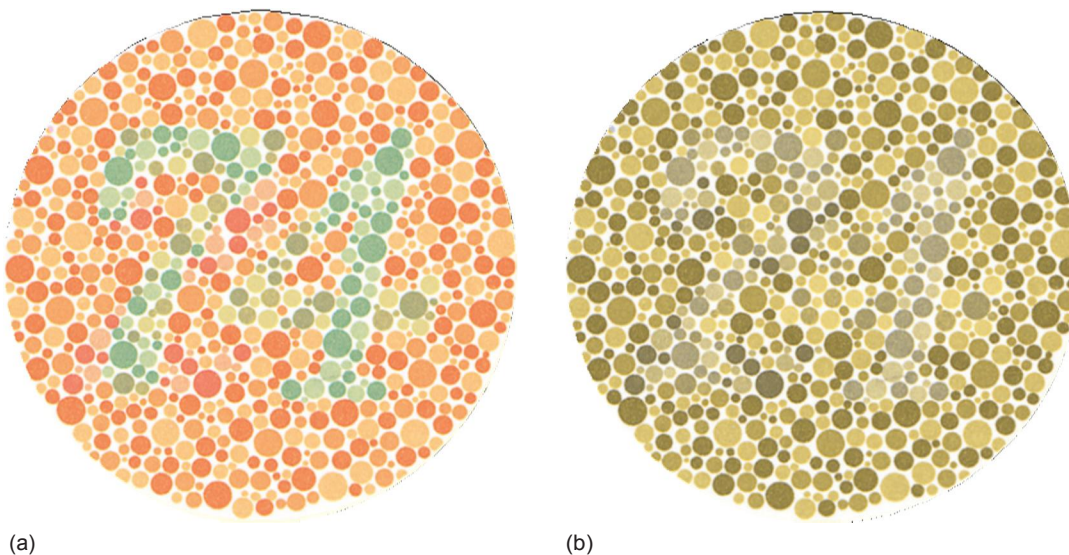


FIGURA 9.16 piatto del test di Ishihara per testare i deficit visivi

- a) una persona con una normale visione dei colori vede un 74 quando il piatto è visto sotto una luce standardizzata
- b) piatto di Ishihara percepito da una persona con una forma di deficit visivo rosso-verde

Una volta che abbiamo determinato se la visione di una persona “ha dei deficit visivi”, siamo ancora fermi alla domanda: “quali colori vede una persona con deficit visivi?” Quando ho posto questa domanda nella mia classe alcuni studenti suggerirono di indicare oggetti di vario colore e chiedere alla persona con “deficit visivi” cosa vede (la maggior parte delle persone con deficit visivi sono maschi, vedi sotto). Questo metodo non ci dice realmente cosa la persona percepisce comunque, perché una persona con deficit visivi potrebbe dire “rosso” quando indichiamo una fragola semplicemente perché ha imparato che le persone chiamano le fragole “rosse”. È abbastanza probabile che l’esperienza di persone con deficit visivi del rosso è molto diversa dall’esperienza delle persone senza deficit visivi. Per ciò che sappiamo potrebbe avere un’esperienza simile a ciò che una persona senza deficit visivi chiamerebbe “giallo”. Per determinare cosa percepisce un dicromatico dobbiamo individuare un dicromatico unilaterale - una persona con una visione tricromatica in un occhio e dicromatica nell’altro. Entrambi gli occhi dicromatici unilaterali sono connessi allo stesso cervello, quindi questa persona può guardare un colore con il suo occhio dicromatico e poi determinare a quale colore corrisponde con il suo occhio tricromatico. Anche se i dicromatici unilaterali sono molto rari, i pochi che sono stati testati ci hanno aiutato a determinare la natura dell’esperienza del colore dei dicromatici (Alpern e al. 1983; Graham e al. 1961; Sloane e Wollach 1948). Ora andiamo a vedere la natura dell’esperienza di colore sia dei monocromatici sia dei dicromatici.

Monocromatismo

Il monocromatismo è una rara forma di daltonismo che è solitamente ereditaria e si verifica/presenta solo in 10 persone su 1 milione. (LeGrand, 1957). I monocromatici solitamente non hanno i coni funzionanti, perciò la loro visione ha le caratteristiche della visione dei bastoncelli, che porta a vedere luci soffuse e luminose i monocromatici vedono tutto in sfumature di “luminosità” (bianco, grigio e nero) e possono quindi essere chiamati daltonici (all’opposto dei dicromatici che vedono colori cromatici e quindi dovrebbero essere chiamati “deficit di percezione di colore”). In aggiunta alla perdita della visione del colore, le persone con un monocromatismo ereditario hanno una povera acuità visiva e sono molto sensibili alla luce accecante e spesso devono proteggere i loro occhi con occhiali scuri durante il giorno. Il sistema dei bastoncelli non è progettato per funzionare nelle luci accecanti e quindi diventa sovraccaricato nelle forti illuminazioni, creando una percezione di bagliore.

Dicromatismo

I dicromatici hanno esperienza di alcuni colori, ma un range minore dei tricromatici. Ci sono tre dormi maggiori di dicromatismo: protanopia, deuteranopia e tritanopia. I due tipi più comuni, la protanopia e la deuteranopia, sono ereditate attraverso un gene localizzato nel cromosoma X (Nathans e al. 1986).

I maschi (XY) hanno solo un cromosoma X, quindi un difetto nel gene dei pigmenti visivi in questo cromosoma causa un deficit di percezione del colore. Le femmine (XX), dall’altro lato, con i loro due cromosomi X sono meno propense ad acquisire un deficit di percezione del colore perché è richiesto solo un gene normale per una normale visione dei colori. Queste forme di visione dei colori sono di conseguenza chiamate (sex-linked) correlate al genere perché

le femmine possono essere portatrici del gene che causa deficit visivi senza che loro siano deficitarie e possono passare la condizione alla loro prole maschile. Quindi, più maschi che femmine sono dicromatici. Per descrivere cosa percepiscono i tre tipi di dicromatici, usiamo come nostri punti di riferimento le FIGURE 9.17 D e 9.18 D che mostrano come i tricromatici percepiscono un mazzo di fiori di carta colorati e lo spettro visibile, rispettivamente.

- **PROTANOPIA** riguarda l’1% dei maschi e lo 0.02% delle femmine e risulta nella percezione dei colori mostrata nella FIGURA 9.17a. Un affetto da protanopia percepisce piccole lunghezze d’onda chiare come blu e come la lunghezza d’onda viene aumentata il blu diventa sempre meno saturo fino a quando, a 492 nm, percepisce il grigio. (FIGURA 9.18a). La lunghezza d’onda in cui l’affetto da protanopia percepisce il grigio è chiamata punto neutro. La lunghezza d’onda sopra il punto neutro l’affetto da protanopia la percepisce gialla che diventa meno intensa nelle lunghezze d’onda alla fine dello spettro.
- **DEUTERANOPIA** riguarda circa l’1% dei maschi e lo 0.01% delle femmine e la percezione dei colori risulta quella in FIGURA 9.17b. Un affetto da deuteranopia percepisce il blu per le corte lunghezze d’onda, vede il giallo per le lunghe lunghezze d’onda e ha il lungo neutro a circa 498 nm (FIGURA 9.18b) (Boynton, 1979)
- **TRITANOPIA** molto rara, riguardante solo circa 0.002% dei maschi e 0.001% delle femmine. Un affetto da tritanopia vede i colori come in FIGURA 9.17c e vede lo spettro come in FIGURA 9.18c, blu nelle corte lunghezze d’onda, rosso per le lunghe lunghezze d’onda e ha un punto neutro a 570 nm (Alpern e al., 1983)

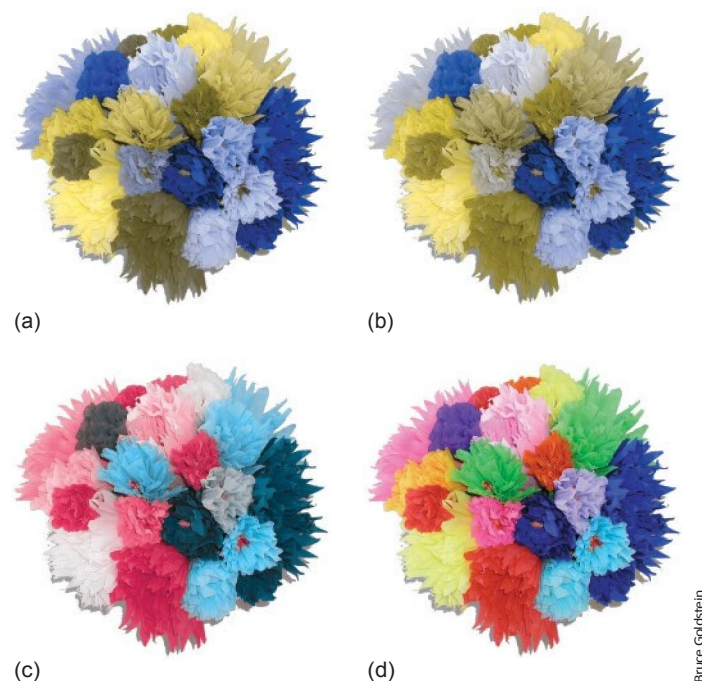


FIGURA 9.17 come dei fiori di carta colorati appaiono a un affetto da a) protanopia b) deuteranopia c) tritanopia e d) ai tricromatici. Elaborazione del colore per gentile concessione di Jay Neitz e John Carroll.

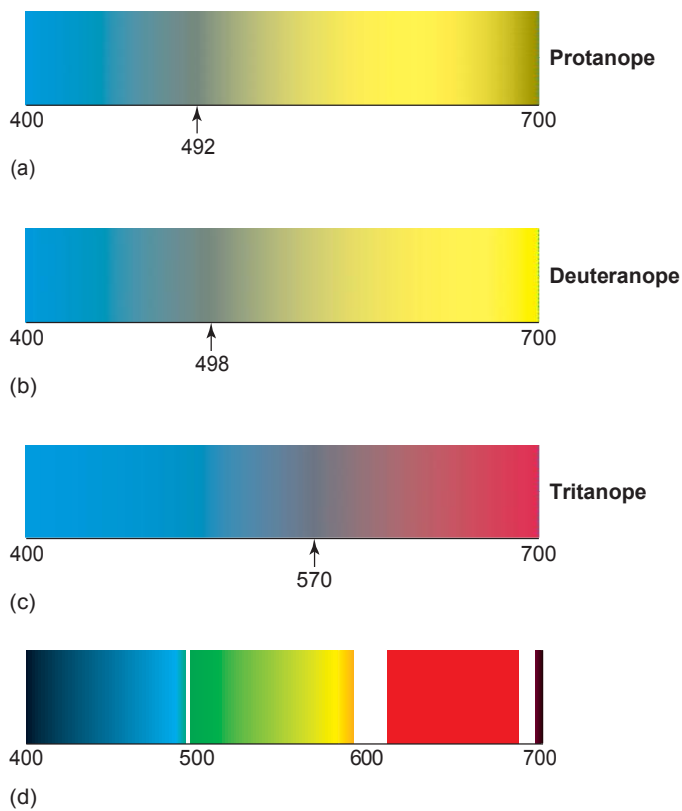


FIGURA 9.18 come lo spettro visibile appare a un affetto da a) protanopia b) deuteranopia c) tritanopia e c) ai tricromatici. Il numero indica la lunghezza d'onda del punto neutro.

MECCANISMI PSICOLOGICI DEI RECETTORI BASE DELLA DEFICIENZA DEL COLORE

Quali sono i meccanismi psicologici della deficienza del colore?

La maggior parte dei monocromatici non ha la visione del colore perché loro hanno solo un tipo di coni o non li hanno. I dicromatici mancano di un pigmento visivo, negli affetti da protanopia il pigmento lungo delle lunghezze d'onda (che è il motivo per cui i colori diventano meno intensi nelle lunghe lunghezze d'onda per gli affetti da protanopia); negli affetti da deuteranopia il pigmento delle medie lunghezze d'onda; e negli affetti da tritanopia il pigmento delle corte lunghezze d'onda.

Ricerche genetiche hanno identificato differenze nei geni che determinano la struttura dei pigmenti visivi nei tricromatici e dicromatici (Nathans e al., 1986). Basato su questa ricerca, è stato mostrato che l'abbinamento dei colori dei tricromatici anomali "è diverso" da quello dei tricromatici normali e hanno più difficoltà a discriminare tra alcune lunghezze d'onda perché i loro spettro dei pigmenti M e L sono spostati così sono più vicini (Neitz e al., 1991)

Mentre i segnali dai recettori M, L e S sono le basi della visione dei tricromatici, le dimensioni relative dei segnali M, L e S non sono trasmesse alla mente. Invece, l'informazione riguardo la differenza tra una coppia di segnali dei recettori è inviata alla mente. La differenza tra una coppia di segnali è centrale

alla teoria "opponent process theory of color vision" proposta da Ewald Hering (1834-1918), un illustre psicologo che stava lavorando circa allo stesso tempo di Helmholtz.

Teoria dei processi opposti della visione dei colori

Abbiamo visto che la teoria tricromatica era stata originariamente proposta basandosi sui risultati di esperimenti psicologici. La teoria dei processi avversari (opponenti) della visione dei colori era stata in origine proposta basandosi su delle osservazioni comportamentali, ma invece degli esperimenti della precisa corrispondenza cromatica psicofisica che hanno portato alla teoria tricromatica, la teoria del processo avversario era basata su osservazioni fenomenologiche, in cui sono stati presentati gli stimoli e gli osservatori hanno descritto ciò che hanno percepito. I risultati di queste osservazioni hanno portato Ewald Hering a proporre la teoria dei processi opposti, la quale afferma che la visione dei colori è dovuta a risposte opposte generate da blu e giallo e da rosso e verde.

Prove comportamentali della teoria

Si possono fare alcune osservazioni fenomenologiche simili a quelle di Hering con le seguenti dimostrazioni.

DIMOSTRAZIONE

I colori della bandiera

Guarda la croce al centro della bandiera americana stranamente colorata (figura 9.9) per circa 30 secondi. Se poi guardi un pezzo di carta bianca e sbatti gli occhi, l'immagine che vedi, che è chiamata "afterimage" (immagine persistente o residua), ha colori che probabilmente corrispondono al rosso, bianco e blu della bandiera americana. Nota che l'area verde della figura 9.19 crea un'"immagine persistente" rossa, e l'area gialla crea un'"immagine persistente" blu.

Sebbene Hering non usasse una bandiera colorata in modo strano per creare immagini residue, egli osservò che la visualizzazione di un campo verde

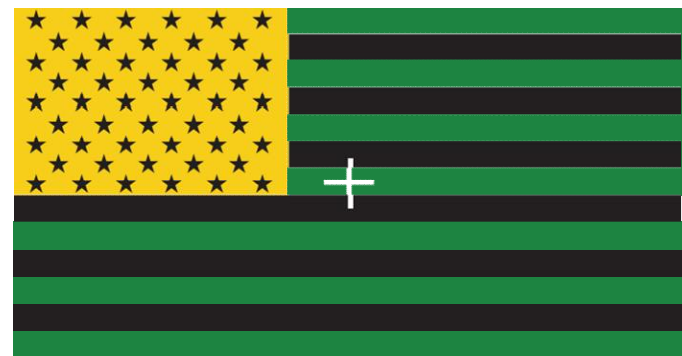


Figura 9.19 Stimolo per la dimostrazione delle immagini residue

genera un' "immagine residua" rossa, e la visualizzazione di un campo giallo crea un' "immagine residua" blu. Inoltre osservò la visualizzazione opposta, ovvero il verde causa un' "immagine residua" rossa e la visualizzazione del blu causa un' "immagine residua" gialla. Si può dimostrare che questo funziona in entrambe le modalità guardando il centro della figura 9.20 per 30 secondi e poi guardando una superficie bianca e notando come il rosso e il verde, e il blu e il giallo abbiano cambiato posizione (Si noti che i colori associati alle lunghezze d'onda lunghe, rosso e giallo, sono a destra nella figura e si spostano a sinistra nell'immagine residua). Basandosi su osservazioni come queste, Hering propose che il rosso e il verde siano associati, così come il blu e il giallo.

Qui c'è un'altra dimostrazione che illustra questo accoppiamento.

DIMOSTRAZIONE

Immagine residua e contrasti simultanei

Taglia un quadrato di ½ pollice di carta bianca, e posizionalo al centro del quadrato verde nella figura 9.20. Copri gli altri quadrati con un foglio bianco e fissa il centro del quadrato bianco per circa 30 secondi. Poi guarda lo sfondo bianco e sbatti gli occhi per osservare l'immagine residua. Di quale colore è l'area esterna dell'immagine residua? Di quale colore è il piccolo quadrato al centro? Ripeti le tue osservazioni sui quadrati rosso, giallo e blu nella figura 9.20.

Quando farai le tue osservazioni usando il quadrato verde, probabilmente confermerai la tua osservazione precedente secondo cui il verde e il rosso sono associati, perché l'immagine residua corrispondente all'area verde del quadrato originale è rossa. Ma il colore del piccolo quadrato al centro mostra solamente che il verde e il rosso sono associati: la maggior parte delle persone vede un quadrato verde all'interno dell'immagine residua. Questa immagine residua verde è dovuta a contrasti simultanei di colori, un effetto che si verifica quando circondando un'area con un colore cambia l'aspetto dell'area circondata. In questo caso, l'immagine residua rossa circonda l'area bianca e fa sì che l'area bianca appaia verde. La tabella 9.4 riassume questo risultato e i risultati che si verificano quando ripetiamo la dimostrazione sugli altri quadrati.



Figura 9.20 Matrice di colori per la dimostrazione di contrasto dell'immagine residua e simultanea

TABELLA 9.4 Risultati della dimostrazione del contrasto di immagini residue e simultanee

ORIGINAL SQUARE	COLOR OF OUTSIDE AFTERIMAGE	COLOR OF INSIDE AFTERIMAGE
Green	Red	Green
Red	Green	Red
Blue	Yellow	Blue
Yellow	Blue	Yellow

© Cengage Learning

Tutti questi risultati mostrano una chiara associazione tra rosso e verde e tra blu e giallo

DIMOSTRAZIONI

Visualizzazione dei colori

Questa dimostrazione implica la visualizzazione dei colori. Inizia visualizzando il colore rosso, con i tuoi occhi aperti o chiusi, qualunque modalità funzioni meglio per te. Allega il colore ad uno specifico oggetto, per esempio un'autopompa, se ciò rende la visualizzazione più facile. Adesso visualizza un giallo rossastro e poi un verde rossastro. Quale di queste due combinazioni è più facile da visualizzare? Ora fai la stessa cosa per il blu. Visualizza un blu puro, poi un verde bluastro e un giallo bluastro. Di nuovo, quale di queste due combinazioni è più facile da visualizzare?

La maggior parte delle persone trova più semplice visualizzare un verde bluastro o un giallo rossastro, ma trovano difficile (o impossibile) visualizzare un verde rossastro o un giallo bluastro. In altri esperimenti, in cui agli osservatori furono mostrate macchie di colore e venne chiesto loro di stimare le percentuali di blu, verde, giallo e rosso in ogni chiazza, raramente riferirono di vedere blu e giallo oppure rosso e verde nello stesso momento (Abramov & Gordon, 1994), proprio come i risultati della dimostrazione di visualizzazione avrebbero previsto.

Le precedenti osservazioni e in più l'osservazione di Hering, secondo cui le persone daltoniche al rosso sono anche daltoniche al verde, e chi non riesce a vedere il blu non riesce a vedere nemmeno il giallo, porta alla conclusione che il rosso e il verde siano associati e il blu e il giallo siano associati. Basandosi su questa conclusione, Hering propose la teoria dei processi opposti della visione del colore (Hering, 1878, 1905, 1964).

L'idea di base sottolineata dalla teoria di Hering è mostrata nella figura 9.21. Egli presentò tre meccanismi, ognuno dei quali risponde in modi opposti a diverse intensità o lunghezze d'onda della luce.

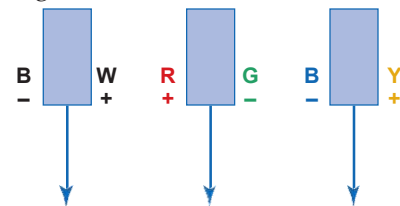


Figura 21 I tre meccanismi opposti proposti da Hering

Il meccanismo del nero (-) bianco (+) risponde positivamente alla luce bianca e negativamente alla assenza di luce. Il meccanismo rosso (+) verde (-) risponde positivamente al rosso e negativamente al verde, e il meccanismo blu (-) giallo (+) risponde negativamente al blu e positivamente al giallo. Nonostante le osservazioni fenomeniche di Hering supportassero la sua teoria, è solo molti anni dopo che la moderna ricerca fisiologica mostrò che questi colori causano risposte fisiologicamente opposte.

Prove fisiologiche per la teoria

La moderna ricerca fisiologica ha misurato la reazione di un singolo neurone a diverse lunghezze d'onda per fornire una prova fisiologica per i neuroni che rispondono in modi opposti al blu e giallo e al rosso e verde.

“Opponent Neurons” (Neuroni oppositori) – nel 1950 e nel 1960 i ricercatori hanno iniziato a trovare neuroni opposti nella retina e nel genicolato laterale, che rispondevano con una risposta eccitatoria alla luce da una parte dello spettro e con risposta inibitoria alla luce proveniente dall'altra parte dello spettro (DeValois, 1960; Svaetichin, 1956). Per esempio, la colonna sinistra della figura 9.22 mostra i record per un neurone in un nucleo genicolato laterale di una scimmia, che risponde alla luce a lunghezza d'onda corta con un aumento della scarica e alla luce a lunghezza d'onda lunga con una diminuzione della scarica (si noti che la scarica diminuisce al di sotto del livello di attività spontanea). Questi neuroni sono chiamati neuroni B+ Y- perché le lunghezze d'onda che causano un aumento di scarica sono nella parte blu dello spettro, e le lunghezze d'onda che causano il decremento di scarica sono nella parte gialla dello spettro.

La colonna destra della figura 9.22 mostra i record dei neuroni R+ G-, che incrementano la scarica alla luce nella parte rossa dello spettro e decrementano la scarica alla luce nella parte verde dello spettro. Ci sono solamente i neuroni B+ Y- e R+G- (DeValois et al., 1966).



Figura 9.22 Risposte delle cellule opposte B+Y- e R+G- nel nucleo genicolato laterale della scimmia.

Come le risposte opposte possono essere create da tre recettori

La scoperta dei neuroni oppositori ha fornito prove fisiologiche per la teoria dei processi opposti con i tre differenti pigmenti di cono alla teoria tricromatica. Quando queste due teorie furono inizialmente proposte nel 1800, erano viste come avversarie. L'idea a quel tempo era che una o l'altra erano corrette ma non entrambe. Tuttavia la scoperta di prove fisiologiche che supportavano entrambe le teorie significava che entrambe le teorie erano corrette. Come può essere? La risposta è che le scoperte psicofisiche su cui ciascuna teoria era basata stavano riflettendo ciascuna attività fisiologica in diversi punti del sistema visivo. Ciò è inserito nel grafico nella figura 9.23. I risultati del “color-matching” (corrispondenza dei colori), per cui sono necessarie tre lunghezze d'onda per adattarsi a tutte le altre lunghezze d'onda, provengono dai recettori a cono che sono a destra all'inizio del sistema visivo, l'accoppiamento percettivo di blu e giallo, e rosso e verde che in effetti vediamo come le immagini residue e il contrasto simultaneo è creato dai neuroni opposti che arrivano più tardi nel sistema visivo.

Il circuito nella figura 9.24a mostra come esso funziona. Il cono L invia un input eccitatorio a una cellula bipolare, mentre il cono M invia un input inibitorio alla cellula. Questo crea una cellula R+ G- che risponde con eccitazione a lunghezze d'onda lunghe, le quali causano la scarica del cono L e con inibizione alle lunghezze d'onda più corte che causano la scarica del cono M (Questa è anche chiamata una cellula L + M- per indicare i recettori coinvolti.)

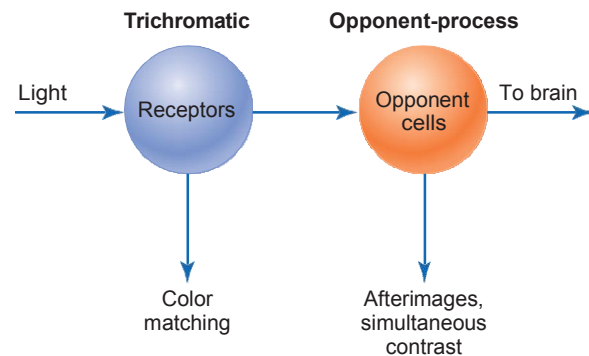


Figura 9.23 La nostra esperienza del colore è modellata dai meccanismi fisiologici, sia nei recettori sia nei neuroni opposti.

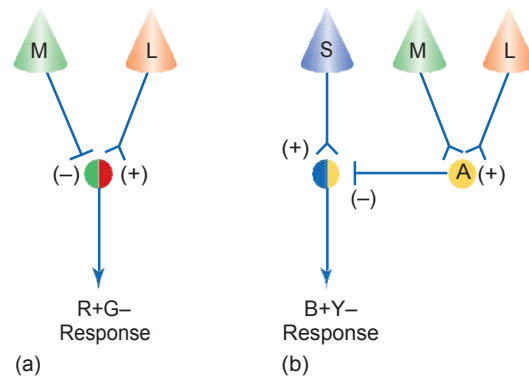


Figura 9.24 I circuiti neurali mostrano come i meccanismi (a) il rosso-verde e (b) blu-giallo possono essere creati da input eccitatori e inibitori provenienti dai recettori a cono.

La figura 9.24 mostra che la cellula B+Y- riceve input anche dai coni. Essa riceve un input eccitatorio dal cono S e un input inibitorio dalla cellula A, che somma gli input dei coni M e L. Questa disposizione ha senso se pensiamo al fatto che noi percepiamo il giallo quando entrambi i recettori M e L sono stimolati. Così, la cellula A, che riceve input da entrambi questi recettori, causa la risposta "giallo" al meccanismo B+Y-.

Sebbene questi diagrammi siano molto semplificati, essi illustrano i principi di base del circuito neurale per la codifica del colore nella retina. (Vedi DeValois e DeValois, 1993, per esempi di circuiti neurali più complessi che sono stati proposti per spiegare risposte opponenti).

La cosa importante di questi circuiti è che le loro risposte siano determinate entrambe dalle lunghezze d'onda a cui i recettori rispondono meglio e dalla disposizione di sinapsi inibitorie ed eccitatorie.

L'elaborazione in questi circuiti ha perciò luogo in due stadi: primo, i recettori rispondono con differenti modelli a diverse lunghezze d'onda (teoria tricromatica); poi, più tardi, i neuroni integrano i segnali inibitori ed eccitatori dai recettori (teoria dei processi opponenti)

Questa descrizione di neuroni opposti, ci riporta all'idea che i segnali per il colore, che vengono inviati alla mente, indichino la differenza nel rispondere a coppie di coni. Possiamo comprendere come questo funzioni a livello neurale guardando la figura 9.25 che mostra come il neurone L+ M- riceve eccitazione dal recettore L e inibizione dal recettore M risponde a luci da 500 nm e 600 nm. La figura 9.25a mostra che la luce a 500 nm risulta in un segnale inibitorio di -80 e in un segnale eccitatorio di +50, quindi la risposta al neurone L+ M- sarebbe -30. La figura 9.25b mostra che la luce a 600 nm risulta in un segnale eccitatorio di +75 e in un segnale inibitorio di -25, quindi la risposta al neurone L+ M- sarebbe +50. Questa "differenza di informazioni" è il tipo di informazione mandata dai neuroni opposti alla mente.

La tricromatica "informazione sui rapporti" e l'opposta "differenza di informazioni" per le lunghezze d'onda provengono dai recettori e dalle connessioni neurali nella retina. Ma cosa succede a tutte queste informazioni quando raggiungono la corteccia?

COLORI NELLA CORTECCIA CEREBRALE

Quali sono i meccanismi corticali della percezione dei colori? Considereremo numerose sfaccettature di questa domanda: (1) c'è un unico "centro dei colori" nella corteccia? (2) Quali neuroni opposti si trovano nella corteccia e quali sono le loro funzioni? (3) qual è la relazione tra colore e forma?

C'è un unico centro dei colori nella corteccia?

Esiste un'area nella corteccia che è specializzata nell'elaborazione dei colori?

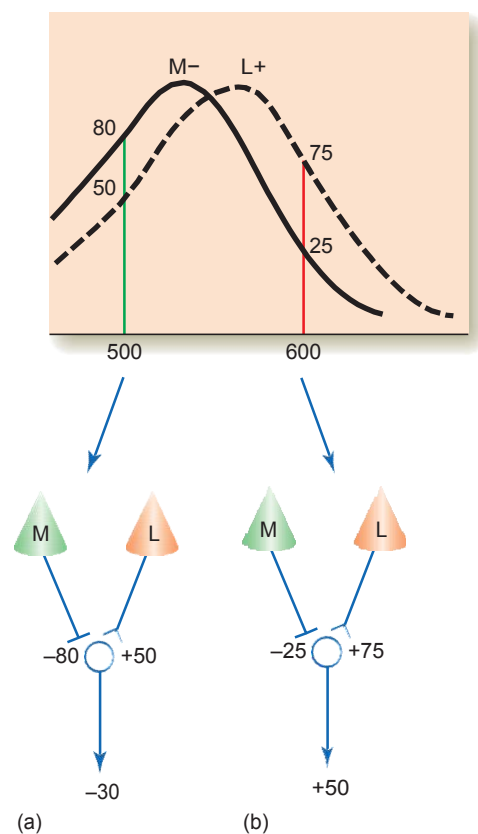


Figura 9.25 Come i neuroni avversari determinano la differenza tra le risposte del recettore a diverse lunghezze d'onda. (a) La risposta del neurone L+M- a una luce a 500 nm è negativa, perché il recettore M ha come risultato una risposta inibitoria maggiore della risposta eccitatoria del recettore L. Ciò significa che l'azione di una luce a 500 nm su questo neurone causerà una diminuzione in qualsiasi attività in corso. (b) La risposta a una luce a 600 nm è positiva, quindi questa lunghezza d'onda provoca un aumento della risposta di questo neurone.

Se esistesse un'area del genere, questo renderebbe i colori simili a volti, corpi e luoghi che potrebbe richiedere l'area facciale fusiforme (FAA), area extra striata del corpo (ESB), e l'area del luogo ippocampale (PAA) come aree di elaborazione specializzate. L'idea di un'area specializzata per i colori è stata presentata da Semir Zeki (1983a, 1983b, 1990), basata sulla scoperta di molti neuroni in un'area visiva al di fuori dell'area di ricezione visiva della scimmia (V1) chiamata V4 che risponde ai colori e al fenomeno di acromatopsia cerebrale. L'acromatopsia è una condizione causata dal danneggiamento del cervello come quello vissuto dal signor I., il pittore descritto all'inizio del capitolo che ha subito un incidente automobilistico che gli ha lasciato la percezione delle forme e del movimento intatta ma gli ha fatto perdere la sua capacità di vedere i colori. Il fatto che il danno che è tipicamente la conseguenza dell'acromatopsia sia simile o uguale all'area identificata come l'area dei colori umana supporta l'idea di un modulo specializzato per la percezione dei colori. Tuttavia, ulteriori prove hanno portato molti ricercatori a respingere l'idea di un "centro dei colori" in favore dell'idea che l'elaborazione dei colori sia suddivisa tra differenti aree corticali che elaborano le informazioni sul colore così come anche altri tipi di informazioni.

Un risultato che ha portato a questa conclusione è che neuroni oppositori sono stati trovati in molte aree della corteccia inclusa l'area di ricezione visiva primaria V1; la corteccia inferotemporale (IT) che è associato alla percezione della forma; e il V4 che in origine era stato proposto come il centro del colore. (Engel, 2005; Harada et al., 2009; Johnson et al., 2008; Shapley & Hawken, 2011; Tanigawa et al., 2010; Tootell et al., 2004). Inoltre, un sondaggio sugli effetti del danno cerebrale sulla percezione del colore ha dimostrato che quando il danno cerebrale provoca acromatopsia, causa anche altri effetti tra cui prosopagnosia: l'incapacità di riconoscere i volti (Bouvier & Engel, 2006). I risultati di questo sondaggio supportano l'idea che la percezione del colore risulta dall'attività di molte aree visive diverse che non rispondono solo al colore ma anche ad altre qualità come la forma.

Tipi di neuroni oppositori

Che ci sia o non ci sia un centro dei colori nella corteccia, non c'è dubbio che ci sono neuroni in molte aree che rispondono in modo opposto – aumentando l'accensione delle lunghezze d'onda in una regione dello spettro e diminuendo l'accensione di neuroni in altre regioni. Due tipi di neuroni opposti nella corteccia sono single-opponent neuron e double-opponent neuron. Viene mostrato il campo recettivo del single-opponent neuron nella figura 9.26a. Questo neurone M+ L- aumenta l'accensione delle lunghezze d'onda medie presentate al centro del campo recettivo e diminuisce fino alle lunghezze d'onda lunghe presentate intorno al cerchio. La maggior parte dei double-opponent neuron hanno un campo recettivo come quello della figura 9.26b, con le regioni affiancate, come le cellule corticali semplici che abbiamo descritto nel capitolo 3 (vedi pagina 64). Il neurone con il campo recettivo nella figura 9.26b risponde meglio ad una barra verticale a lunghezza d'onda media presentata a sinistra del campo recettivo ad una barra verticale a lunghezza d'onda lunga presentata sul lato destro del campo recettivo.

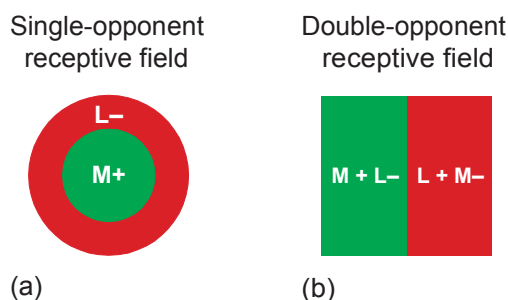


Figura 9.26 (a) campo recettivo di un single-opposit neuron. Questo neurone M+ L- ha un campo recettivo center-surround. La sua alimentazione aumenta quando una luce a lunghezza d'onda media è presentata al centro e diminuisce quando una luce a lunghezza d'onda lunga viene presentata nell'area circostante. (b) campo recettivo di un double-opponent neuron. Quando l'area M+L- viene stimolata l'alimentazione aumenta con una luce a media lunghezza d'onda e diminuisce con la luce a lunga lunghezza d'onda. Quando l'area L+ M- viene stimolata l'alimentazione aumenta a una luce a lunghezza d'onda lunga e diminuisce a una luce a lunghezza d'onda media.

È stato suggerito quindi che le cellule single opponent siano importanti per la percezione del colore nelle regioni e le cellule double-opponent siano importanti per la percezione dei confini tra i diversi colori (Johnson et al., 2008).

Relazione tra colore e forma

Un'idea sulla relazione tra colore e forma è quella per cui il sistema visivo determina la forma di un oggetto e poi il colore riempie la forma. Il colore, stando a questa idea, viene aggiunto dopo che la forma viene determinata. Tuttavia, recenti ricerche suggeriscono una stretta connessione tra l'elaborazione di forma e colore, e anche il colore può giocare un ruolo nel determinare la forma. Forma e colore sono stati collegati fisiologicamente dai neuroni con campi recettivi fianco a fianco come quelli nella figura 9.26b. Questi neuroni possono sparare a barre colorate orientate anche quando l'intensità delle barre affiancate viene regolata in modo che appaiano per essere ugualmente luminose. In altre parole, queste celle sparano quando la forma della barra è determinata solo dalle differenze di colore. Prove come questa sono state usate per supportare l'idea di uno stretto ponte tra l'elaborazione del colore e l'elaborazione della forma nella corteccia. (Friedman et al., 2003; Johnson et al., 2008). Quindi quando guardi una scena colorata i colori che vedi non sono solo "riempimenti" degli oggetti e delle aree nella scena, ma potrebbero anche aiutare a definire le forme e i bordi di questi oggetti e aree.

TEST YOURSELF 9.2

1. Cos'è la mancanza di colore? Come può essere rilevato usando la procedura della miscelazione dei colori? Come possiamo determinare come una persona con deficit dei colori percepisce lunghezze d'onda diverse?
2. In che modo la carenza di colore è causata da (a) problemi con i recettori? (b) danni alla corteccia?
3. Descrivi la teoria del processo avversario, incluse le osservazioni su cui si basa e le basi fisiologiche di questa teoria.
4. Qual è lo scopo dei neuroni oppositori?
5. Quali sono le prove a favore o contro la presenza di un centro del colore specializzato nella corteccia?
6. Descrivi i neuroni oppositori nella corteccia, compresi i loro campi recettivi e le possibili funzioni.
7. In che modo l'elaborazione del colore è correlata all'elaborazione di forma nella corteccia?

LA COSTANZA DI COLORE

E' mezzogiorno, il sole è alto e, mentre state andando verso l'aula, notate un compagno di classe che sta indossando un maglione verde. Successivamente, mentre siete seduti in classe pochi minuti dopo, di nuovo notate il maglione verde.

Il fatto che il maglione appaia verde sia all'esterno sotto la luce del sole che al chiuso con l'illuminazione artificiale può non sembrare particolarmente notevole. Dopotutto il maglione è verde, no? Tuttavia, quando noi consideriamo l'interazione tra l'illuminazione e le caratteristiche del maglione, possiamo renderci conto che la percezione del maglione come verde, sia all'esterno che all'interno, rappresenta un risultato notevole del sistema visivo. Questo risultato è chiamato costanza del colore: percepiamo i colori degli oggetti come relativamente costanti sotto il cambiamento dell'illuminazione.

Possiamo capire il perché la costanza del colore sia un risultato impressionante considerando l'interazione tra l'illuminazione, come la luce del sole o le lampadine, e la proprietà di riflessione di un oggetto, come il maglione verde. Innanzitutto, consideriamo l'illuminazione. La figura 9.27 mostra le lunghezze d'onda della luce del sole e quelle di una lampadina. La luce del sole contiene approssimativamente la stessa quantità di energia in tutte le lunghezze d'onda. Le lampadine contengono molta più energia nelle onde lunghe. Questa distribuzione delle lunghezze d'onda viene a volte chiamata "luce a tungsteno", perché è prodotta dal filamento di tungsteno presente nelle lampadine vecchio stile (che sono in procinto di essere sostituite con le lampadine fluorescenti avvitabili). Questa grande quantità di luce ad onda lunga è il motivo per cui la lampadina a tungsteno appare leggermente gialla.

Consideriamo ora l'interazione tra le lunghezze d'onda prodotte dall'illuminazione e quelle riflesse dal maglione verde. La curva di riflettanza del maglione è indicata dalla linea verde nella figura 9.28. essa riflette maggiormente le lunghezze d'onda medie della luce, come ci saremmo aspettati da qualcosa di verde.

La luce reale riflessa dal maglione dipende sia dalla sua curva di riflettanza che dall'illuminazione che raggiunge il maglione e che viene poi riflessa da esso. Per determinare le lunghezze d'onda che sono realmente riflesse dal maglione, moltiplichiamo la curva di riflettanza del maglione di ogni lunghezza d'onda per la quantità di illuminazione a ogni lunghezza d'onda.

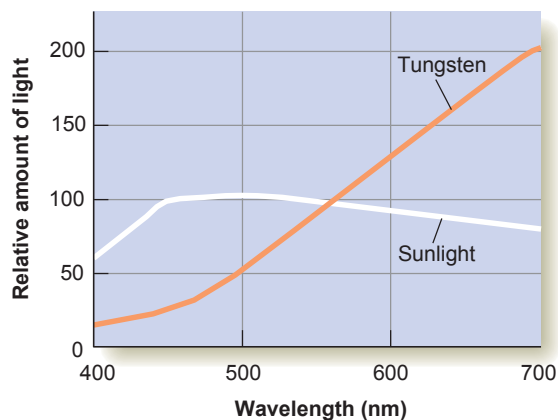


Figura 9.27 La distribuzione della lunghezza d'onda della luce solare e della luce di una lampadina al tungsteno. Da Judd, D. B., MacAdam, D. L., & Wyszecki, G. (1964). Distribuzione spettrale della tipica luce diurna in funzione della temperatura di colore correlata. *Giornale della Optical Society of America*, 54, 1031-1040. Riprodotto su autorizzazione.

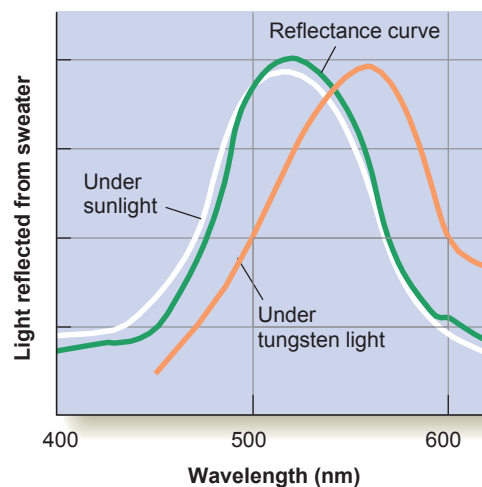


Figura 9.28 Curva di riflessione di una maglia, e la luce riflessa dalla maglia quando è illuminata dalla luce solare e dalla luce del tungsteno.

Questa operazione indica che il maglione riflette di più le onde lunghe della luce quando esso è illuminato dalle lampadine a tungsteno (la linea arancione in figura 9.28) rispetto a quando è illuminato dalla luce del sole (la linea bianca in figura 9.28). Il fatto che noi vediamo ancora il maglione come verde anche se la composizione della lunghezza d'onda è diversa sotto differenti illuminazioni è la costanza del colore. Senza essa, il colore che noi vediamo dovrebbe dipendere da come il maglione è illuminato (Delahunt & Brainard, 2004; Olkkonen et al., 2010).

Perché il maglione appare tale anche se visto sotto diverse illuminazioni? La risposta a questa domanda coinvolge numerosi differenti meccanismi. Iniziamo considerando come la sensibilità dell'occhio sia influenzata dal colore dell'illuminazione della scena complessiva, un processo chiamato adattamento cromatico.

Adattamento cromatico

Una delle ragioni per cui si verifica la costanza del colore si trova nei risultati della seguente dimostrazione.

DIMOSTRAZIONE

Adattamento al rosso

Illumina la figura 9.29 con la luce della tua lampada da scrivania. Con l'occhio sinistro vicino alla pagina e quello destro chiuso, guarda la figura per 30/45 secondi. Poi guarda i tuoi oggetti nel tuo ambiente, prima con l'occhio sinistro e poi col destro.

Questa dimostrazione prova che la percezione del colore può essere modificata dall'adattamento cromatico (prolungata esposizione al colore cromatico). L'adattamento alla luce rossa sbianca selettivamente il pigmento a cono nella lunghezza d'onda lunga, che diminuisce la sensibilità alla luce rossa e fa sì che i rossi e gli arancioni visti con l'occhio sinistro (adattato) siano meno saturi e brillanti di quelli visti con l'occhio destro.



Figura 9.29 campo di adattamento al rosso

Questa dimostrazione prova che la percezione del colore può essere modificata dall'adattamento cromatico (prolungata esposizione al colore cromatico). L'adattamento alla luce rossa sbianca selettivamente il pigmento a cono nella lunghezza d'onda lunga, che diminuisce la sensibilità alla luce rossa e fa sì che i rossi e gli arancioni visti con l'occhio sinistro (adattato) siano meno saturi e brillanti di quelli visti con l'occhio destro.

L'idea che l'adattamento cromatico sia responsabile della costanza del colore è stata testata in un esperimento da Keijii Uchikawa e collaboratori (1989), gli osservatori videro fogli colorati isolati in tre differenti condizioni: (fig.9.30).

- a) BASELINE: carta e osservatori illuminati da luce bianca;
- b) OSSERVATORE NON ADATTATO: carta illuminata da luce rossa, osservatore da luce bianca (l'osservatore non è adattato cromaticamente);
- c) OSSERVATORE ADATTATO AL ROSSO: sia la carta che l'osservatore sono illuminati da luce rossa (l'osservatore è adattato cromaticamente).

Di seguito sono indicati i risultati appartenenti a ognuna delle tre condizioni.

Nella condizione baseline, la carta verde è percepita come verde. Nella condizione di "osservatore non adattato", l'osservatore percepisce la carta come tendente al rosso. La costanza del colore non si verifica in questa condizione perché l'osservatore non è adattato alla luce rossa che illumina la carta. Tuttavia, nella condizione "osservatore adattato al rosso" la percezione è solo leggermente tendente al rosso, così la carta appare più gialla.

In questo modo, l'adattamento cromatico ha creato una parziale costanza del colore- La percezione dell'oggetto è cambiata dopo l'adattamento, ma non così tanto come quando non vi era adattamento. Questo significa che l'occhio può aggiustare la sua sensibilità alle diverse lunghezze d'onda per rendere la percezione del colore approssimativamente costante quando l'illuminazione cambia.

Questo principio opera quando entriamo in una stanza illuminata con la luce gialla della lampadina a tungsteno. L'occhio si adatta alla lunghezza d'onda della luce, che diminuisce la sensibilità dell'occhio a lunghezze d'onda lunghe. Questa diminuzione di sensibilità fa sì che le onde della luce riflessa dagli oggetti abbiano meno effetto rispetto alla situazione precedente all'adattamento, e questo compensa la maggiore quantità di onde lunghe del tungsteno che viene riflessa da qualsiasi oggetto nella stanza. A causa di questo adattamento, l'illuminazione gialla delle lampadine a tungsteno ha solo un piccolo effetto sulla percezione del colore. Un effetto simile si verifica anche nelle scene ambientali (naturali), che hanno una differente dominanza di colore nelle diverse stagioni.

Per esempio, la stessa scena può essere "rigogliosa" in estate, con una grande quantità di verde (figura 9.31a) e "arida" d'inverno, con più gialli (figura 9.31b). In base ai calcoli che tengono conto di come questo verde e giallo possano avere effetto sui coni recettori, Michael Webster (2011) concluse che l'adattamento al verde nella scena rigogliosa può determinare una diminuzione della percezione del verde in quella scena (figura 9.31c), e l'adattamento al giallo nella scena arida può diminuire la percezione del giallo in essa (figura 9.31d). In questo modo, l'adattamento attenua i colori dominanti della scena, così se confrontiamo il colore percepito delle scene rigogliosa e arida in c e d, noi vedremo che i colori sono più simili rispetto a prima dell'adattamento cromatico. Questo adattamento fa emergere anche nuovi colori, così il giallo diventa più evidente nella scena rigogliosa e il verde spicca nella scena arida.

GLI EFFETTI DELL'AMBIENTE

Il colore percepito dell'oggetto è influenzato non solo dallo stato di adattamento dell'osservatore ma anche dall'ambiente, come dimostrato nella seguente dimostrazione.

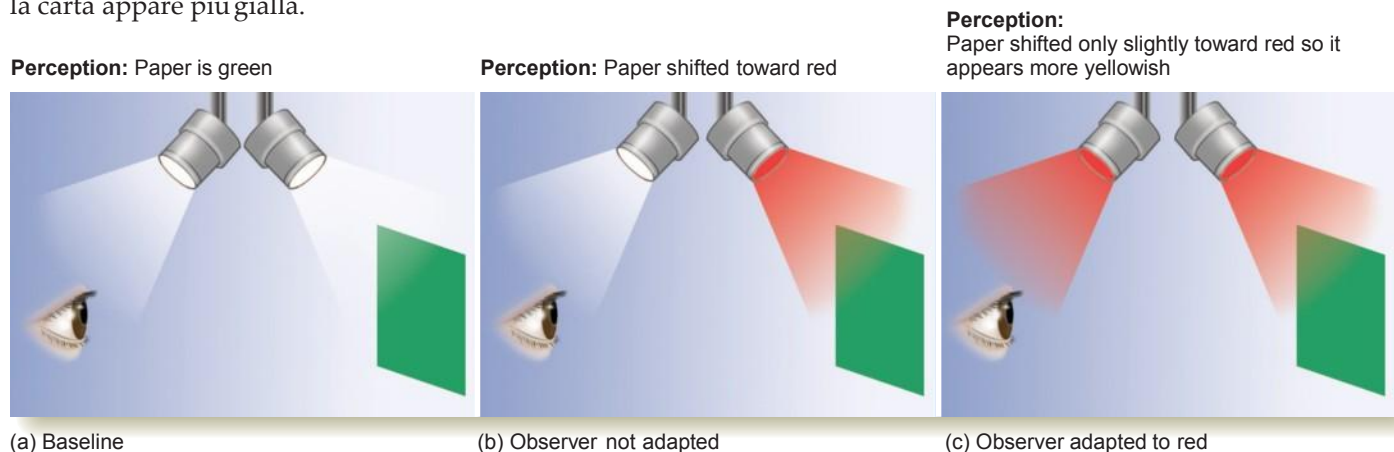


Figura 9.30 le tre condizioni dell'esperimento di Uchikawa e altri (1989). Vedi il testo per i dettagli

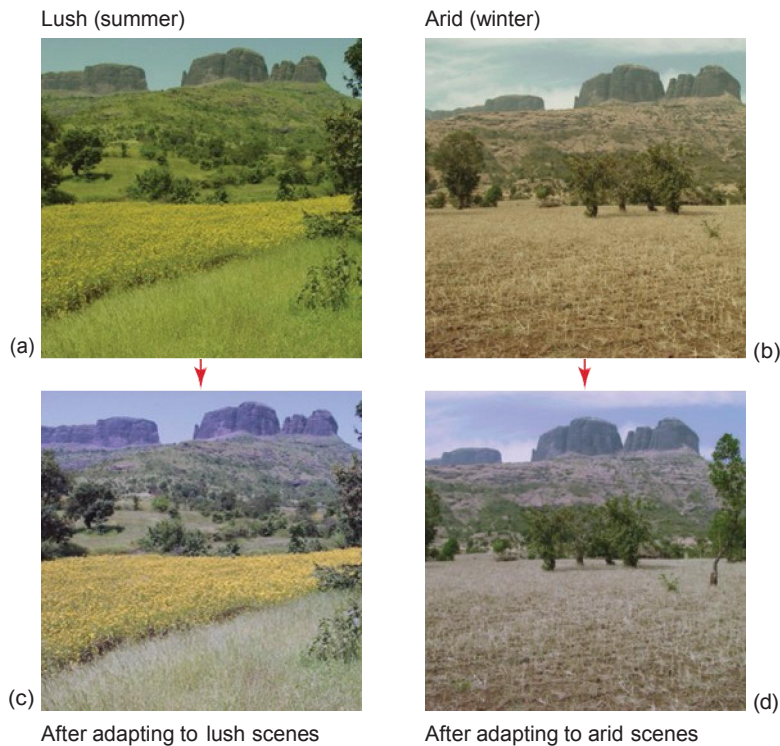


Figura 9.31 come l'adattamento cromatico ai colori dominanti dell'ambiente può influenzare la percezione dei colori nella scena. il colore dominante nella figura a è il verde. guardare questa scena provoca l'adattamento al verde, come è mostrato in c. il colore dominante nella scena arida in b è il giallo. l'adattamento a questa scena causa una diminuzione della percezione del giallo in figura come mostrato in d.

DIMOSTRAZIONE

Colore e l'ambiente

Illumina il quadrante verde nella figura 9.20 con la luce a tungsteno, poi guarda il quadrato attraverso un foro fatto su un pezzo di carta, così tutto quello che vedi attraverso il foro è la parte verde dell'area. Ora ripeti lo stesso procedimento mentre è illuminata la stessa area con la luce del giorno proveniente dalla finestra.

Quando l'area circostante è nascosta, la maggior parte delle persone percepisce l'area verde leggermente più gialla sotto la luce a tungsteno rispetto alla luce del giorno, che dimostra che la costanza del colore lavora meno bene quando un oggetto è visto da solo. Molti investigatori hanno dimostrato che la costanza del colore lavora meglio quando un oggetto è circondato da oggetti di molti colori differenti, una situazione che spesso avviene vedendo gli oggetti nell'ambiente (Foster, 2011; Land, 1983, 1986; Land & McCann 1971).

L'ambiente ci aiuta a garantire la costanza del colore perché il sistema visivo, in modi ancora non completamente compresi, usa l'informazione proveniente dal modo in cui gli oggetti in una scena sono illuminati per stimare le caratteristiche dell'illuminazione e fare appropriate correzioni. (Per alcune teorie che trattano di come la presenza dell'ambiente migliora la costanza del colore, vedi Brainard & Wandell, 1986; Land, 1983, 1986; Pokorný et al., 1991)

Memoria e colore

Un'altra cosa che ci aiuta a raggiungere la costanza del colore è la nostra conoscenza riguardo i tipici colori degli oggetti dell'ambiente. Questo effetto della conoscenza precedente sulla percezione riguardo i colori tipici degli oggetti è chiamata memoria del colore.

Le ricerche hanno dimostrato che poiché le persone conoscono i colori degli oggetti familiari, come il segnale rosso dello stop e l'albero verde, giudicano questi oggetti familiari come aventi colori più ricchi e saturi rispetto agli oggetti non familiari che riflettono le stesse lunghezze d'onda (Ratner & McCarthy, 1990).

Thorsten Hasen e collaboratori (2006) dimostrarono un effetto della memoria del colore presentando agli osservatori delle figure di frutti con colori caratteristici, quali limoni, aranci e banane, su uno sfondo grigio. Gli osservatori videro anche un flash sullo stesso sfondo grigio. Quando l'intensità e la lunghezza d'onda del flash erano regolati in modo tale da far sì che questo apparisse grigio come lo sfondo, gli osservatori riportarono che il flash appariva grigio come lo sfondo. Tuttavia, quando intensità e lunghezza d'onda dei frutti erano impostati col fine di renderli fisicamente gli stessi dello sfondo, gli osservatori riportarono che i frutti apparivano ancora leggermente colorati. Per esempio, la banana che era fisicamente dello stesso grigio dello sfondo appariva leggermente gialla, e un'arancia dello stesso grigio dello sfondo appariva leggermente arancione. Ciò ha portato Hansen a concludere che la conoscenza degli osservatori riguardo i colori caratteristici del frutto ha realmente cambiato i colori che stavano vivendo. L'effetto della memoria del colore sulla nostra esperienza è piccolo, ma nonostante può dare un piccolo contributo alla nostra abilità di percepire accuratamente i colori degli oggetti familiari sotto illuminazioni differenti.

COSTANZA DI BIANCHEZZA

Così come la nostra percezione dei colori cromatici come il rosso e il verde rimane relativamente costante anche quando l'illuminazione cambia, anche i colori acromatici

(bianco, grigio e nero) rimangono più o meno gli stessi. Immaginate, ad esempio, un labrador retriever dal pelo nero sdraiato sul tappeto di un salotto illuminato da una lampadina da 100 watt. Una piccola percentuale della luce che colpisce il pelo del retriever viene riflessa e noi lo percepiamo come nero. Ma quando il cane corre all'esterno sotto la luce diretta del sole, il suo manto appare ancora nero. Anche se viene riflessa più luce, la percezione della tinta del colore acromatico (bianco, grigio e nero), chiamata luminosità, rimane la stessa. Il fenomeno per cui vediamo i bianchi, i grigi e i neri come se fossero quasi della stessa tonalità sotto diverse condizioni di luce si chiama permanenza di luminosità.

Il problema del sistema visivo è che la quantità di luce che arriva all'occhio da un oggetto dipende da due elementi:

1) l'illuminazione - la quantità totale di luce che colpisce la superficie dell'oggetto - e la riflettanza dell'oggetto - la proporzione di questa luce che l'oggetto riflette nei nostri occhi. Quando si verifica la costanza di luminosità, la nostra percezione della luminosità è determinata non dall'intensità dell'illuminazione che colpisce un oggetto, ma dalla riflettanza dell'oggetto. Gli oggetti neri riflettono circa il 5 percento della luce. Gli oggetti grigi riflettono dal 10 al 70 percento della luce (a seconda della sfumatura del grigio); e gli oggetti bianchi, come la carta di questo libro, riflettono tra l'80 e il 95 percento della luce. Pertanto, la nostra percezione della luminosità di un oggetto non è correlata alla quantità di luce riflessa dall'oggetto, che può variare in base all'illuminazione, ma alla percentuale di luce riflessa dall'oggetto, che rimane invariata indipendentemente dall'illuminazione.

Per rendersi conto del fenomeno della costanza dell'illuminazione si immagini una scacchiera, come quella della Figura 9.32, illuminata da una luce. Supponiamo che i quadrati bianchi abbiano una riflettanza del 90 percento e che i quadrati neri abbiano una riflettanza del 9 percento. Se l'intensità della luce all'interno della stanza è di 100 unità, i quadrati bianchi rifletteranno 90 unità e i quadrati neri rifletteranno 9 unità. Ora, se portiamo la scacchiera all'esterno sotto la luce diretta del sole, dove l'intensità è di 10.000 unità, i quadrati bianchi rifletteranno 9.000 unità di luce e i quadrati neri rifletteranno 900 unità. Anche se i quadrati neri, quando sono all'esterno, rifletterebbero molta più luce dei quadrati bianchi (quando la scacchiera era posta all'interno), i quadrati neri vengono ancora percepiti di colore nero. La percezione è determinata dalla riflettanza, non dalla quantità di luce riflessa. Cos'è quindi responsabile della permanenza della luminosità? Possiamo trovare un paio di possibili cause.

Rapporti di intensità: Il principio del rapporto

Un'osservazione sulla nostra percezione della luminosità è che quando un oggetto è illuminato in modo uniforme, cioè quando la luminosità è la stessa su tutto l'oggetto, come nel nostro esempio della scacchiera, la luminosità è determinata dal rapporto tra la riflettanza dell'oggetto e la riflettanza degli oggetti circostanti. Secondo il principio del rapporto, finché tale rapporto (rimane) invariato, la luce percepita rimarrà anch'essa invariata (Jacobson & Gilchrist, 1988; Wallach, 1963). Per esempio, si consideri uno dei quadrati neri nella scacchiera. Il rapporto tra un quadrato nero e i quadrati bianchi circostanti è $9/90 = 0,10$ in condizioni di scarsa illuminazione e $900/9.000 = 0,10$ in condizioni di illuminazione elevata. Poiché il rapporto (tra) riflessioni è invariato, la nostra percezione della luminosità rimane sempre la stessa. Il principio del rapporto funziona bene per oggetti piatti e illuminati in modo uniforme (come la nostra scacchiera). Tuttavia, le cose si fanno più complicate in scene tridimensionali, che di solito sono illuminate in modo disomogeneo.

Percezione della luminosità in condizioni di illuminazione irregolare

Se adesso provate a (guardarvi) attorno, probabilmente noterete che l'illuminazione circostante non è uniforme nella stanza, come nel caso della nostra scacchiera bidimensionale. L'illuminazione nelle scene tridimensionali è solitamente irregolare a causa dell'ombreggiatura proiettata da un oggetto su un altro o perché una parte di un oggetto è rivolta verso la luce e l'altra no. Per esempio, nella Figura 9.33, in cui un'ombra viene proiettata attraverso una parete, dobbiamo determinare se i cambiamenti di aspetto che vediamo attraverso la parete siano dovuti a differenze nelle proprietà delle diverse parti della parete o a differenze nel modo in cui la parete è illuminata. Il problema per il sistema percettivo è che deve in qualche modo tenere conto dell'illuminazione irregolare. Un modo per spiegare questo problema è che il sistema percettivo deve distinguere tra margini di riflettanza e margini di illuminazione.

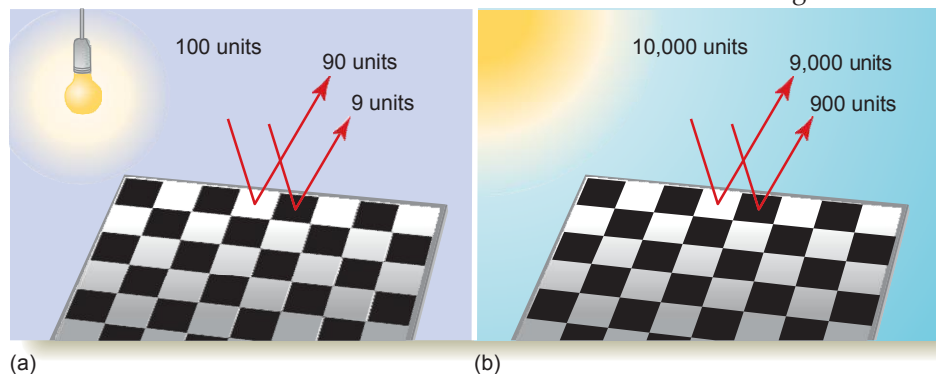


Figura 9.32 Una scacchiera in bianco e nero illuminata da (a) luce al tungsteno e (b) luce solare



Bruce Goldstein

Figura 9.33 Questa parete illuminata in modo non uniforme contiene sia i margini di riflettanza (tra a e c) sia i margini di illuminazione (tra a e b). Il sistema percettivo deve distinguere tra questi due tipi di margini per percepire con precisione le proprietà reali della parete e di altre parti della scena.

Un margine di riflettanza è un contorno in cui la riflettanza di due superfici cambia. Il confine tra le aree a e c nella Figura 9.33 è un margine di riflettanza perché è costituito da materiali diversi che riflettono diverse quantità di luce. Un margine di illuminazione è un bordo in cui l'illuminazione cambia. Il confine tra a e b è un margine di illuminazione perché l'area a riceve più luce rispetto all'area b, che è in ombra. Sono state proposte alcune spiegazioni su come il sistema visivo distingue tra questi due tipi di margini (vedi Adelson, 1999; Gilchrist, 1994; e Gilchrist et al., 1999, per i dettagli). L'idea di base dietro queste spiegazioni è che il sistema percettivo utilizza una serie di fonti di informazione per tenere conto dell'illuminazione.

L'informazione nelle ombre Affinché la permanenza di luminosità possa funzionare, il sistema visivo deve essere in grado di tenere conto dell'illuminazione irregolare creata dalle ombre. Deve determinare che questo cambiamento nell'illuminazione, causata da un'ombra, è dovuto ad un margine di illuminazione e non ad un margine di riflettanza. Ovviamente, il sistema visivo di solito riesce a farlo perché, sebbene l'intensità della luce sia ridotta dalle ombre, non si vedono le zone d'ombra come grigie o nere. Ad esempio, nel caso della parete di Figura 9.34, si suppone che le aree ombreggiate e non ombreggiate siano mattoni con la stessa luminosità, ma che la luce cada meno su alcune aree piuttosto che su altre. Come fa il sistema visivo a sapere che il cambiamento di intensità causato dall'ombra è un margine di illuminazione e non un margine di riflettanza? Una cosa che il sistema visivo può prendere in considerazione è la forma significativa dell'ombra. In questo esempio particolare, sappiamo che l'ombra è stata proiettata da un albero, quindi sappiamo che è l'illuminazione che sta cambiando, non il colore dei mattoni sulla parete. Un altro indizio è fornito dalla natura del contorno dell'ombra, come illustrato dalla seguente dimostrazione.



Bruce Goldstein

Figura 9.34 In questa foto, si assume che le aree ombreggiate e non ombreggiate siano mattoni con la stessa luminosità, ma che su alcune aree cada meno luce piuttosto che su altre a causa dell'ombra dell'albero.

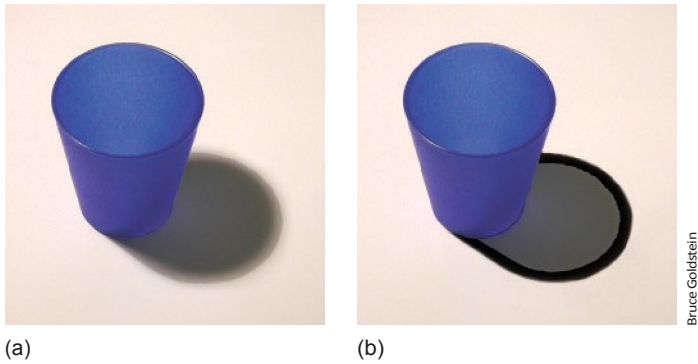


Figura 9.35 (a) Una tazza e la sua ombra. (b) La stessa tazza e la stessa ombra con la penombra coperta da un bordo nero.

DIMOSTRAZIONE

La percezione della penombra e della luminosità

Posizionare un oggetto, come una tazza, su un foglio di carta bianca posto su di una scrivania. Poi illuminare la tazza in modo da formare un angolo con la lampada da tavolo e regolare la posizione per produrre un'ombra con un bordo leggermente sfocato, come in Figura 9.35a. Il bordo sfocato (al limite) dell'ombra viene chiamato shadow's penumbra. Ora prendete un pennarello e disegnate una linea spessa, come mostrato in Figura 9.35b, in modo da non poter più vedere la penombra. Cosa succede alla vostra percezione dell'area ombreggiata all'interno della linea nera?

Coprire la penombra fa sì che la maggior parte delle persone percepisca un cambiamento nell'aspetto dell'area ombreggiata. A quanto pare, la penombra fornisce l'informazione al sistema visivo che l'area scura accanto alla tazza è un'ombra, quindi il bordo tra l'ombra e la carta è un margine di illuminazione. Tuttavia, coprire la penombra elimina tali informazioni, quindi l'area "nascosta" dall'ombra è vista come un cambiamento nella riflettanza. In questa dimostrazione, la permanenza di luminosità si verifica quando la penombra è presente, ma non si verifica quando è coperta.

L'orientamento delle superfici La seguente dimostrazione fornisce un esempio di come le informazioni sull'orientamento di una superficie influenzano la nostra percezione della luminosità.

DIMOSTRAZIONE

Percepire la luminosità di un angolo

Posizionare un cartoncino piegato sull'estremità, in modo che assomigli all'angolo esterno di una stanza, e illuminarlo in modo che un lato sia illuminato e l'altro sia in ombra. Quando si guarda l'angolo, si può facilmente notare che entrambi i lati (degli angoli) sono fatti dello stesso materiale bianco, ma che il lato non illuminato è ombreggiato (Figura 9.36a). In altre parole, si percepisce il bordo tra le "pareti" illuminate e ombreggiate come un margine di illuminazione. Ora create un foro in un'altra carta e, con il foro a pochi centimetri dall'angolo della carta piegata, osservate l'angolo con un occhio a circa un piede dal foro (Figura 9.36b).

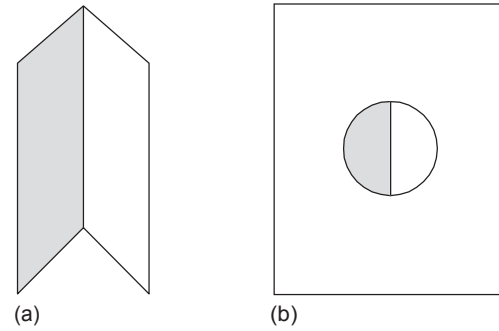


Figura 9.36 Visualizzazione di un angolo ombreggiato. (a) Illuminare la scheda in modo che un lato sia illuminato e l'altro sia in ombra. (b) Visualizzare la scheda attraverso un piccolo foro in modo che i due lati dell'angolo siano visibili, come mostrato in figura.

Se, osservando l'angolo attraverso il foro, si percepisce l'angolo come una superficie piana, la percezione delle superfici destra e sinistra cambierà. In questa dimostrazione, il margine di illuminazione che avete percepito all'inizio si è trasformato in percezione errata di un margine riflettente, così avete visto la carta bianca in ombra come carta grigia. La percezione errata si verifica perché la visione dell'angolo ombreggiato attraverso un piccolo foro ha eliminato le informazioni sulle condizioni di illuminazione e l'orientamento dell'angolo. Affinché si verifichi la permanenza di luminosità, è importante che il sistema visivo abbia informazioni adeguate sulle condizioni di illuminazione. Senza queste informazioni, la permanenza di luminosità può deteriorarsi e un'ombra può essere vista come un'area scura pigmentata. La figura 9.37 mostra la situazione opposta. Nella Figura 9.37a sembra che ci siano molte ombre sul pendio della collina quando viene vista da lontano. Ma una visione più ravvicinata (Figura 9.37b) rivela che le "ombre" sono, in realtà, sporcizia. Come per la percezione del colore, a volte siamo ingannati dalle condizioni di illuminazione o da informazioni ambigue, ma la maggior parte delle volte percepiamo con precisione la luminosità.

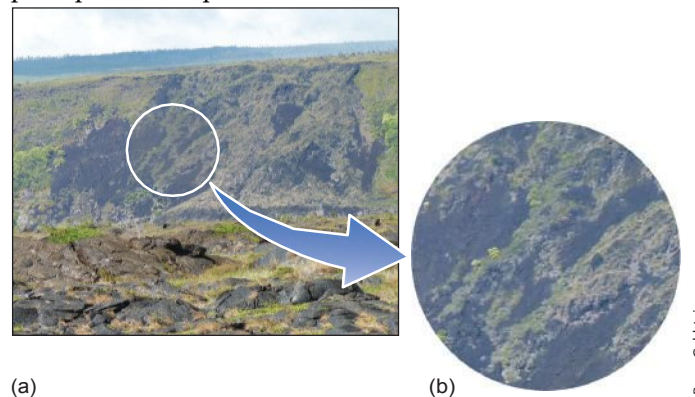


Figura 9.37 (a) Osservato da lontano, questo pendio sembra avere delle ombre, causate dai contorni della collina. (b) Un esame più attento rivela che le "ombre" sono in realtà sporcizia.

SOMETHING TO CONSIDER:

Il colore è una costruzione del sistema nervoso

La nostra discussione finora è stata dominata dall'idea che ci sia una connessione tra lunghezza d'onda e colore. Questa idea è fortemente dimostrata dallo spettro visivo in cui ogni lunghezza d'onda è associata a un colore specifico (Figura 9.38a). Ma questa connessione tra lunghezza d'onda e colore può essere fuorviante, perché potrebbe portare a credere che le lunghezze d'onda siano colorate (a 450-nm la luce è blu, a 520 nm la luce è verde e così via). Tuttavia, come risulta le lunghezze d'onda sono completamente incolori. Questo è dimostrato considerando cosa succede alla nostra percezione del colore sotto scarsa illuminazione, come succede al tramonto. Quando diminuisce l'illuminazione, tonalità come blu, verde e rosso diventano meno distinte e alla fine scompaiono del tutto, fino a quando lo spettro, una volta colorato, diventa una serie di diverse sfumature di grigio (Figura 9.38b).

Cosa ha causato questa trasformazione da colore cromatico a colore acromatico? Le lunghezze d'onda sono essenzialmente le stesse in entrambi i casi, ed è improbabile che le lunghezze d'onda in qualche modo perdano il loro colore a basse intensità. Lo spostamento nella percezione può essere spiegato osservando che i diversi recettori visivi sono responsabili della percezione nell'illuminazione alta e bassa. Sotto alta illuminazione, i tre coni della visione tricromatica (o due coni per bicromati) controllano la percezione, ma in condizioni di scarsa illuminazione, solo i bastoncelli la controllano. Sappiamo dalla nostra discussione precedente che un solo pigmento visivo non può distinguere tra diverse lunghezze d'onda, quindi quando solo i bastoncelli sono attivi, non c'è percezione del colore. L'idea che il colore non è una proprietà delle lunghezze d'onda era sostenuta da Isaac Newton nella sua affermazione "i Raggi...non sono colorati."

I Raggi, per parlare correttamente, non sono colorati. In loro non c'è nient'altro che un certo potere e una certa disposizione per suscitare una sensazione di questo o quel colore. Quindi i colori nell'oggetto non sono altro che una disposizione per rispecchiare questo o quel tipo di raggi in modo più copioso del resto. (Optiks, 1704)

L'idea di Newton è che i colori che vediamo in risposta a diverse lunghezze d'onda non sono contenuti nei raggi di luce stessi, ma che i raggi "suscitano una sensazione di quel colore." Affermando questa idea nei termini fisiologici moderni, diremmo che i raggi di luce sono semplicemente energia (quindi non c'è niente di intrinsecamente "blu" a lunghezze d'onda brevi o "rosso" su lunghezze d'onda lunghe) e che percepiamo il colore per il modo in cui il nostro sistema nervoso risponde a questa energia.

Possiamo apprezzare il ruolo del sistema nervoso nella creazione dell'esperienza cromatica considerando non solo ciò che accade quando la visione passa dai recettori del cono ai recettori del bastoncello, ma anche il fatto che persone come il signor I, l'artista che ha perso la capacità di vedere il colore in un incidente automobilistico, non vedono i colori, anche se ricevono gli stessi stimoli delle persone con visione del colore normale. Inoltre, molti animali non percepiscono i colori oppure percepiscono una tavolozza dei colori notevolmente ridotta rispetto agli umani, altri percepiscono una gamma più ampia di colori rispetto agli esseri umani, a seconda della natura dei loro sistemi visivi.

Ad esempio, la Figura 9.39 mostra gli spettri di assorbimento dei pigmenti visivi di un'ape da miele. Il pigmento che assorbe la luce a lunghezza d'onda breve consente all'ape di vedere lunghezze d'onda brevi che non possono essere rilevate dall'uomo (Menzel & Backhaus, 1989; Menzel et al., 1986). Che "colore" pensi che le api percepiscono a 350 nm, che tu non puoi vedere? Potresti essere tentato di dire "blu" perché gli umani vedono il blu a lunghezza d'onda breve all'estremità dello spettro, ma in realtà non hai modo di sapere cosa sta vedendo l'ape, poiché, come Newton ha dichiarato, "I Raggi. . . non sono colorati." Non c'è colore nelle lunghezze d'onda, quindi il sistema nervoso delle api crea l'esperienza del colore dell'ape stessa. Per quel che ne sappiamo, l'esperienza del colore, a lunghezze d'onda brevi dell'ape mellifera è abbastanza diversa dalla nostra, e potrebbe essere anche diversa per le lunghezze d'onda nel mezzo dello spettro che sia gli esseri umani sia le api da miele possono vedere. L'idea che il sistema nervoso sia responsabile della qualità della nostra esperienza vale anche per gli altri sensi.

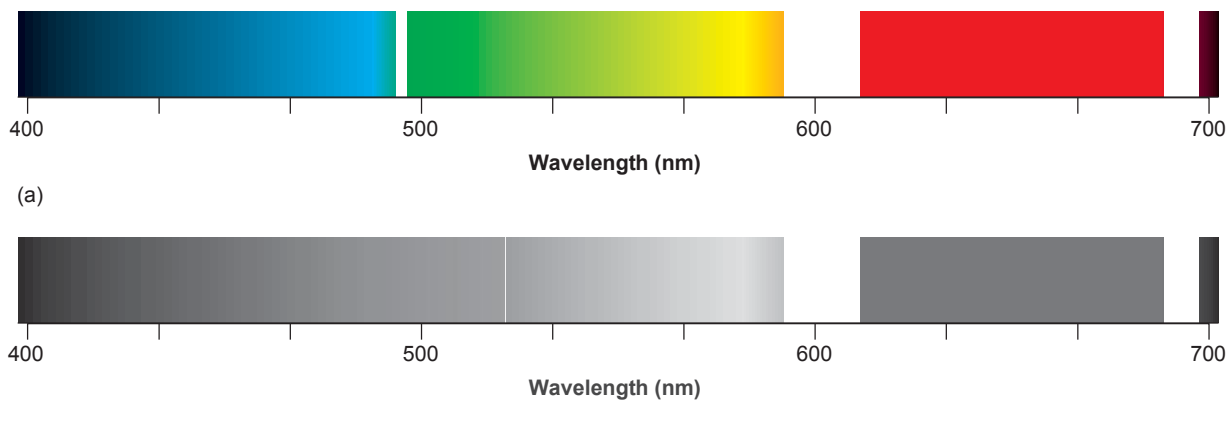


Figura 9.38 (a) Spettro visibile. (b) A basse intensità, la massima sensibilità viene spostata su lunghezze d'onda più corte e il colore è perso.

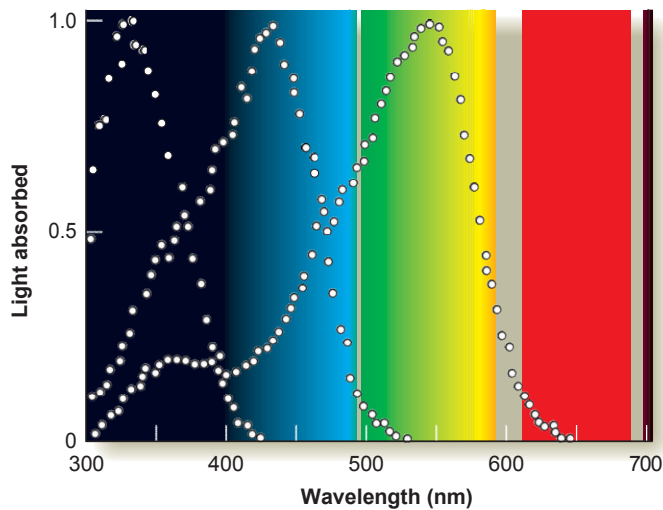


Figura 9.39 Spettri di assorbimento dei pigmenti visivi delle api da miele.

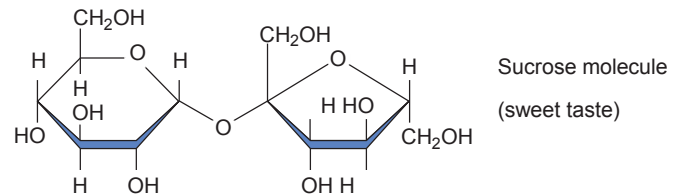
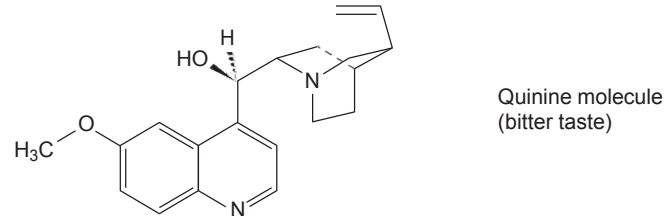
Ad esempio, nel Capitolo 11 vedremo che la nostra esperienza dell'udito è causata da cambiamenti di pressione nell'aria. Ma perché percepiamo i cambiamenti di bassa pressione come toni bassi (come il suono di una tuba) e i cambiamenti di rapida pressione come toni alti (come un ottavino)? C'è qualcosa di intrinsecamente "acuto" sui cambiamenti di rapida pressione (Figura 9.40a)?

Oppure consideriamo il senso del gusto. Noi percepiamo alcune sostanze come "amare" e altre come "dolci", ma dov'è l'"amarezza" o la "dolcezza" nella struttura molecolare delle sostanze che entrano in bocca? Di nuovo, la risposta è che queste percezioni non si trovano nelle strutture molecolari. Sono create dall'azione delle strutture molecolari sul sistema nervoso (Figura 9.40b).

Uno dei temi di questo libro è che la nostra esperienza è filtrata attraverso il nostro sistema nervoso, quindi le proprietà del sistema nervoso possono influenzare ciò che sperimentiamo. Sappiamo, per esempio, che la nostra capacità di rilevare luci soffuse e dettagli fini è influenzata dal modo in cui i recettori del bastoncello e del cono convergono su altri neuroni nella retina (vedi Capitolo 2, pagina 40).



(a) Where are the high and low pitches?



(b) Where are the bitter and sweet tastes?

Figura 9.40 (a) I toni alti e bassi sono associati a onde di pressione lente e veloci, ma le onde di pressione non hanno "tono". Il tono viene creato dal modo in cui il sistema uditivo risponde alle onde di pressione. (b) Le molecole non hanno gusto. Il sistema nervoso crea diversi gusti in risposta all'azione delle molecole sul sistema del gusto.

L'idea che abbiamo introdotto qui è che la nostra esperienza percettiva non è solamente modellata dal sistema nervoso, come nell'esempio della visione del cono e del bastoncello, ma, in casi come la visione a colori, l'udito, il gusto e l'olfatto, l'essenza vera della nostra esperienza è creata dal sistema nervoso.

Dimensione dello sviluppo: visione infantile dei colori

Sappiamo che la nostra percezione del colore è determinata dall'azione di tre diversi tipi di recettori a cono (Figura 9.10).

Poiché i coni sono poco sviluppati alla nascita, possiamo intuire che il neonato non dovrebbe avere una buona visione dei colori. Tuttavia, la ricerca ha dimostrato che la visione dei colori si sviluppa presto ed è presente dai primi 3 ai 4 mesi di vita.

Una delle sfide nel determinare se i bambini hanno una visione a colori è che la percezione di uno stimolo luminoso può variare su almeno due dimensioni: (1) il suo colore cromatico e (2) la sua luminosità. Quindi, se presentiamo le macchie rosse e gialle nella Figura 9.41 a una persona con una visione del colore scarsa e chiediamo se può dire la differenza tra loro, potrebbe dire di sì, perché la macchia gialla sembra più luminosa di quella rossa.

Puoi fare questa osservazione, se non hai accesso a una persona con una visione del colore scarso, usando una fotocopiatrice in bianco e nero "daltonica" come "osservatore". Fotocopie delle macchie rosse e gialle (Figura 9.41b) mostrano che la fotocopiatrice daltonica è in grado di distinguere tra le due macchie perché la macchia rossa è più scura di quella gialla. Ciò significa che quando si utilizzano stimoli con diverse lunghezze d'onda per testare la visione dei colori, la loro intensità dovrebbe essere regolata in modo che abbiano la stessa luminosità. Ad esempio, per gli stimoli della Figura 9.41, sarebbe necessario rendere la chiazza rossa più chiara e la zona gialla più scura. L'esperimento che descriveremo ora ha messo in pratica questo. Marc Bornstein, William Kessen e Sally Weiskopf (1976) hanno valutato la visione a colori dei bambini di 4 mesi determinando se percepiscono le stesse categorie di colori nello spettro come gli adulti.

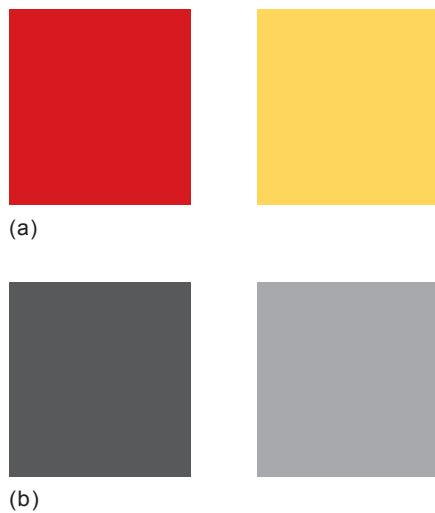


Figura 9.41 (a) Due macchie di colori. (b) Le stesse due macchie "viste" da una fotocopiatrice.

Le persone con una normale visione tricromatica vedono lo spettro come una sequenza di categorie di colori, a partire dal blu alla fine della lunghezza d'onda corta, seguito da verde, giallo, arancione e rosso, con transizioni abbastanza brusche tra un colore e il successivo (vedi lo spettro nella Figura 9.38).

Bornstein e collaboratori hanno utilizzato il metodo di assuefazione, descritto nel Capitolo 6 (vedi pagina 147). Hanno abituato i neonati a una luce a 510 nm, una lunghezza d'onda che appare verde a un adulto con una normale visione dei colori (Figura 9.42), presentando la luce un certo numero di volte e misurando per quanto tempo il bambino la guardava (Figura 9.43). La diminuzione del tempo di esecuzione (punti verdi) indica che l'assuefazione sta avvenendo.

Dopo la prova 15 di assuefazione, viene presentata una luce a 480 nm (Figura 9.42). Questa lunghezza d'onda appare blu a un osservatore adulto ed è quindi in una categoria diversa dalla luce a 510 nm per gli adulti. L'aumento del tempo di visione nel bambino, che è chiamato disabituatione, indica che la percezione causata dalla luce a 480 nm si trova anche in una categoria diversa per i bambini.

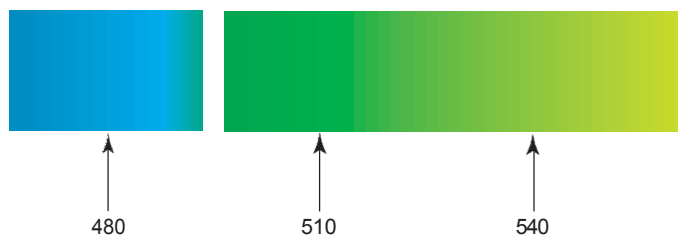


Figura 9.42 Tre lunghezze d'onda (indicate dalle frecce) usate nell'esperimento di Bornstein, Kessen e Weiskopf (1976). Le luci a 510 e 480 nm si trovano in diverse categorie percettive (una appare verde, l'altra blu agli adulti), ma le luci a 510 e 540 nm si trovano nella stessa categoria percettiva (entrambe appaiono verdi agli adulti).

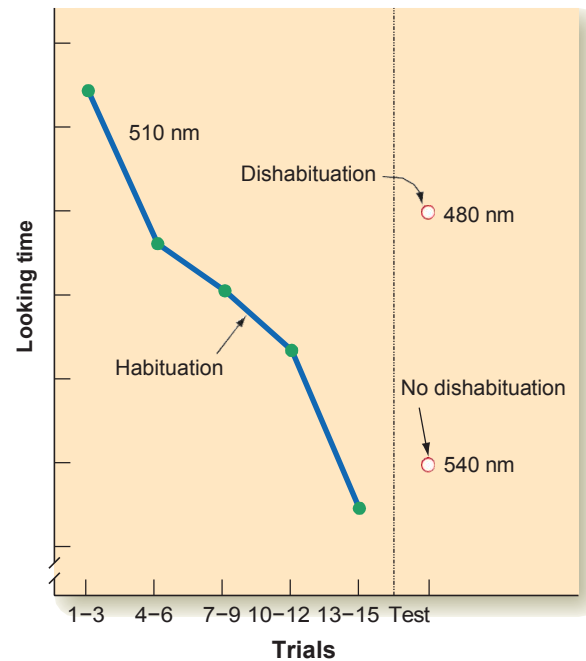


Figura 9.43 Risultati dell'esperimento di Bornstein, Kessen e Weiskopf (1976). Il tempo di osservazione diminuisce rispetto alle prime 15 prove, poiché il bambino si abitua a ripetute presentazioni di uno stimolo da 510 nm. I tempi di attesa per la presentazione di stimoli a 480 nm e 540 nm presentati in prova 16 sono indicati dai punti sulla destra.

Tuttavia, quando questa procedura viene ripetuta, viene prima presentata la luce a 510 nm e quindi una luce a 540 nm (che è anche percepito come verde dagli adulti e così è nella stessa categoria; vedere la Figura 9.42), la disabituatione non si verifica, indicando che la luce a 540 nm si trova nella stessa categoria per i bambini. Da questo risultato e dai risultati di altri esperimenti, Bornstein ha concluso che i bambini di 4 mesi classificano i colori allo stesso modo dei tricromatici adulti.

Bornstein e colleghi hanno affrontato il problema di equiparare la luminosità impostando l'intensità ad ogni lunghezza d'onda in modo che ogni stimolo fosse ugualmente luminoso per gli adulti. Questa non è una procedura ideale perché i bambini possono percepire la luminosità in modo diverso dagli adulti. Tuttavia, come risulta, il risultato di Bornstein sembra essere corretto, perché la ricerca successiva ha confermato la conclusione di Bornstein secondo cui i bambini piccoli hanno una visione dei colori (vedi Franklin & Davies, 2004; Hamer et al., 1982; Varner et al., 1985).

Come con tutte le ricerche in cui stiamo tracciando conclusioni su come le cose appaiono ai soggetti, è importante rendersi conto che la ricerca che indica che i bambini classificano i colori allo stesso modo degli adulti non ci dice come quei colori appaiono ai bambini (Dannemiller, 2009). Così come non è possibile sapere se due adulti che chiamano una luce "rossa" abbiano esattamente la stessa esperienza, non è nemmeno possibile sapere esattamente cosa stanno vivendo i bambini quando il loro comportamento di visione indica che possono dire la differenza tra due lunghezze d'onda. Inoltre, vi è prova che la visione dei colori continua a svilupparsi negli anni dell'adolescenza (Teller, 1997). È meglio dire, tuttavia, che le basi della visione tricromatica sono presenti a circa 4 mesi di età.

TEST YOURSELF 9.3

Cos'è la costanza del colore? Descrivere tre fattori che ci aiutano a raggiungere la costanza del colore.

Cos'è la costanza della leggerezza? Descrivere i fattori responsabili della costanza di luminosità.

Che cosa significa dire che il colore è creato dal sistema nervoso?

Descrivere l'esperimento di Bornstein che ha dimostrato che i bambini classificano i colori allo stesso modo degli adulti.

Che cosa ci dice questo risultato di ciò che i bambini stanno vivendo?

THINK ABOUT IT

1. Una persona con una normale visione dei colori è chiamata trichromica. Questa persona ha bisogno di mescolare tre lunghezze d'onda per farle corrispondere a tutte le altre lunghezze d'onda, e ha tre pigmenti a cono. Una persona che ha un deficit di colore è chiamata dicromatica. Questa persona ha bisogno solo di due lunghezze d'onda per adattarsi a tutte le lunghezze d'onda e ha solo due pigmenti a cono operativi. Un tetracromico ha bisogno di quattro lunghezze d'onda per adattarsi a tutte le lunghezze d'onda e ha quattro pigmenti a cono. Se un tetracromatico dovesse incontrare un tricromatico il tetracromatico penserebbe che il tricromatico ha un deficit dei colori? Come la visione dei tetracromatici sarebbe migliore della visione dei tricromatici?
2. Quando abbiamo discusso del deficit di colore, abbiamo notato la difficoltà nel determinare la natura dell'esperienza cromatica di una persona che ha un deficit di colore. Discuti di come questo sia correlato all'idea che l'esperienza del colore sia una creazione del nostro sistema nervoso. (p. 208)
3. Quando cammini dall'esterno, illuminato dalla luce solare, all'interno illuminato dall'illuminazione a tungsteno, la tua percezione dei colori rimane costante. Ma sotto alcune illuminazioni come i lampioni chiamati "sodio-vapore" che illuminano autostrade o parcheggi i colori sembrano modificarsi. Perché pensi che la costanza del colore persista sotto alcune illuminazioni ma non altre? (p. 215)

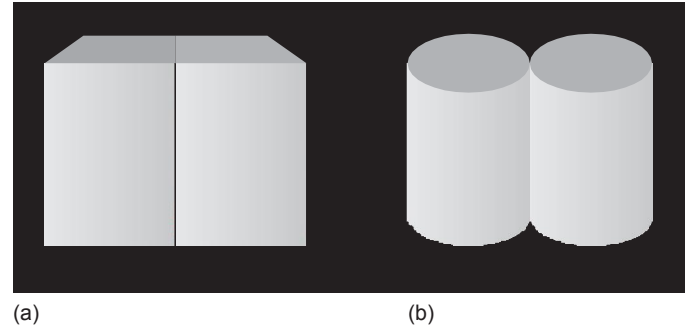


Figura 9.44 La distribuzione della luce è identica per (a) e (b), anche se sembra essere diversa. Figure courtesy of David Knill and Daniel Kersten.

4. La figura 9.44 mostra due display. Il display (b) è stato creato scambiando la parte inferiore e superiore del display (a) pur mantenendo costanti le distribuzioni di intensità attraverso i centri dei display. (puoi convincerti che questo sia vero mascherando la parte superiore di entrambi i display)
Ma anche se le intensità sono le stesse il display (a) sembra avere una superficie scura a destra e chiara a sinistra; mentre il display (b) sembrano due cilindri curvi con una leggera ombra a sinistra. Come lo spiegheresti sulla base di ciò che sappiamo sulle cause della costanza della luminosità? ■

TERMINI CHIAVE

Colore acromatico (p. 202)
Miscela di colori additivo (pag. 203)
Tricromato anomalo (p. 208)
Acromatopsia cerebrale (p. 213)
Adattamento cromatico (pag. 215)
Colore cromatico (p. 202)
Daltonico (p. 209)
Costanza del colore (pag. 215)
Deficienza del colore (pag. 208)
Esperimento di corrispondenza dei colori (pag. 204)
Desaturato (p. 201)
Deuteranopia (p. 209)
Dichromat (p. 208)
Neurone doppio opponente (pag. 214)
Tonalità (p. 202)
Bordo di illuminazione (pag. 219)

Piastre Ishihara (p. 208)
Luminosità (p. 218)
Costante di leggerezza (p. 218)
Colore della memoria (pag. 217)
Metamer (p. 205) Metamerismo (p. 205) Monocromato (p. 208)
Punto neutro (pag. 209)
Neuroni avversari (p. 212)
Teoria dei processi opposti della visione a colori (p. 210)
Costante parziale del colore (pag. 216)
Penombra (p. 220)
Principio di univarianza (p. 206)
Protanopia (p. 209)
Principio del rapporto (pag. 218)

Riflettance (pag. 218)
Curve di riflettance (pag. 202)
Riflettance edge (pag. 218)
Saturazione (p. 201)
Riflessione selettiva (pag. 202)
Trasmissione selettiva (p. 202)
Contrasto cromatico simultaneo (p. 211) Neurone monoavversario (p. 214)
Miscela di colori sottrattivi (pag. 203)
Curve di trasmissione (pag. 202) tricromato (p. 207)
Teoria tricromatica della visione a colori (p. 204)
Tritanopia (p. 209)
Dicromato unilaterale (p. 209)
Teoria della visione a colori di Young-Helmholtz (p. 204)

CourseMate

Go to CengageBrain.com to access Psychology CourseMate, where you will find the Virtual Labs plus an interactive eBook, flashcards, quizzes, videos, and more.

Virtual Labs

The Virtual Labs are designed to help you get the most out of this course. The Virtual Lab icons direct you to specific media demonstrations and experiments designed to help you visualize what you are reading about. The numbers below indicate the number of the Virtual Lab you can access through Psychology CourseMate.

9.1 **Monkey See** (p. 210)

Film describing the genetic basis of color deficiency in monkeys and the principle behind gene therapy. (Courtesy of Nathan Dappen)

9.2 **Checker-Shadow Illusion** (p. 220)

Illustrates how interpretation of a display as a three-dimensional scene can affect judgment of the lightness of a surface. (Courtesy of Michael Bach and Edward Adelson)

9.3 **Corrugated Plaid Illusion 1** (p. 220)

Demonstration of how interpretation of a display as three-dimensional can affect the perception of lightness. (Courtesy of Edward Adelson)

9.4 **Corrugated Plaid Illusion 2** (p. 220)

Another demonstration of how interpretation of a display as three-dimensional can affect the perception of lightness. (Courtesy of Michael Bach)

9.5 **Impossible Steps** (p. 220)

Illustrates how the three-dimensional interpretation of a display can change a reflectance edge into an illumination edge. (Courtesy of Edward Adelson)

9.6 **Knill and Kersten's Illusion** (p. 224)

An illustration of how perception of shading caused by curvature can affect lightness perception. (Courtesy of Edward Adelson)