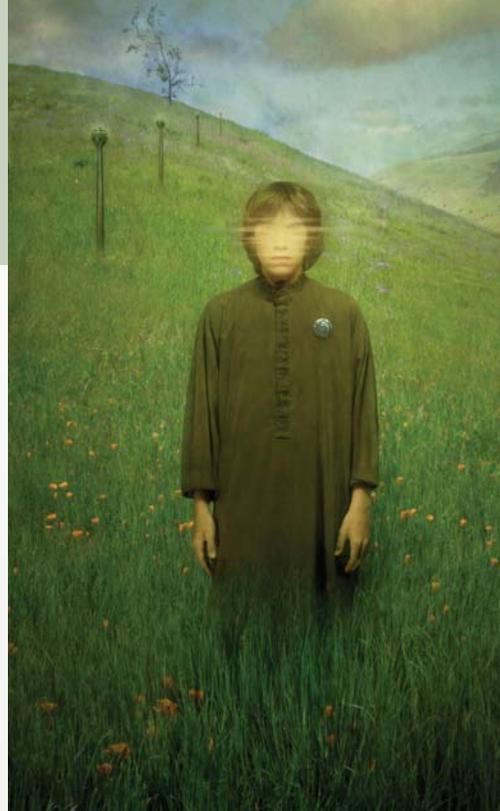


CAPITOLO

4

Sensazione e percezione



La N è qualcosa di... gommoso... liscio, la L ha una consistenza simile a una vernice acquosa... Anche le lettere hanno una loro vaga personalità, ma non forte come quella dei numeri.

Julietta

La lettera A è blu, la B è rossa, la C è una specie di grigio chiaro, la D è arancione...

Karen

Sento una nota suonata da uno dei ragazzi del mio gruppo e quella nota ha un colore. Sento la stessa nota suonata da qualcun altro e ha un colore diverso. Quando sento delle note musicali prolungate, vedo pressapoco gli stessi colori che vedi tu, ma è come se avessero una consistenza materiale.

Il musicista jazz Duke Ellington (George, 1981, p. 226)

Sostanzialmente, io sento il sapore delle parole.

Amelia

Questi commenti non provengono da un recente convegno della Società degli Strambi. Sono le osservazioni di persone perfettamente normali, che descrivono esperienze apparentemente molto bizzarre, ma che per loro sono del tutto naturali e spontanee. In fondo, se non ci fidiamo di Duke Ellington, musicista e compositore jazz conosciuto in tutto il mondo, di chi fidarsi allora? Forse di Stevie Wonder? Di Eddie Van Halen? Di Vladimir Nabokov, l'autore di Lolita? Di Franz Liszt, il compositore di musica classica? Di Richard Feynman, il fisico premio Nobel? Scegliete pure liberamente, perché questi e molti altri personaggi celebri hanno almeno una cosa in comune: i loro mondi percettivi sembrano essere molto diversi da quelli della maggior parte di noi.



METRONOME/GETTY IMAGES

Duke Ellington



EVERETT KENNEDY / BROWN/EPAC/ORBIS

Stevie Wonder



MARK DAVIS/GETTY IMAGES

Eddie Van Halen



W. & D. DOWNEY/GETTY IMAGES

Franz Liszt



SHELLEY GAZINC/ORBIS

Richard Feynman

Che cosa hanno in comune queste persone? Duke Ellington, Stevie Wonder, Eddie van Halen e Frank Liszt sono tutti musicisti, ma Richard Feynman era un fisico. Sono tutti uomini, ma questo non c'entra. Alcuni sono viventi, altri sono morti. In realtà, tutte queste persone hanno avuto esperienze ben documentate di sinestesia, ovvero un certo tipo di esperienza sensoriale evocata da un altro senso.

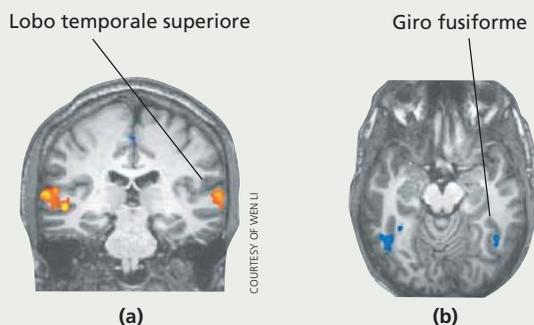
NEL MONDO REALE Il "Multitasking", ovvero la capacità di eseguire più compiti contemporaneamente

Secondo una stima, usare il cellulare mentre si guida fa aumentare di quattro volte la probabilità di avere incidenti (McEvoy et al., 2005). In risposta agli esperti di sicurezza stradale e a dati statistici come questo, i vari stati hanno introdotto leggi che limitano, e talvolta vietano, l'uso del cellulare quando si guida. Potreste pensare che è una buona idea... per tutti gli altri guidatori. Ma voi, certamente, siete in grado di comporre un numero sulla tastiera del telefonino, sostenere una conversazione, o magari persino scrivere un messaggio e in contemporanea guidare in modo sicuro e con maniere urbane. Giusto?

Invece no, è sbagliato. Il tema in ballo qui è l'attenzione selettiva, ovvero la percezione solo di ciò che in quel momento è importante

per voi. Provate questo. Senza muovere un muscolo, pensate alla pressione della pelle sulla sedia in questo preciso istante. Senza alcuno sforzo avete spostato l'attenzione in modo da consentire a un segnale sensoriale di divenire cosciente. Questo semplice spostamento mette in evidenza che la percezione del mondo dipende sia da segnali sensoriali presenti che dalla scelta personale rispetto a quali segnali prestare attenzione e quali invece ignorare. La percezione è un'esplorazione attiva attimo per attimo, la ricerca delle informazioni più importanti o interessanti, non un ricettacolo passivo di tutto quel che capita.

Per parlare al cellulare mentre si guida bisogna destreggiarsi nello stesso momento con due fonti indipendenti di input sensoriali: la vista e l'udito. Normalmente questo tipo di attività *multitasking* funziona piuttosto bene. È solo quando occorre reagire prontamente che la vostra guida ne può risentire. I ricercatori



Spostamento dell'attenzione I partecipanti furono sottoposti a fMRI mentre eseguivano compiti che richiedevano lo spostamento dell'attenzione tra informazioni visive e uditive. (a) Quando l'attenzione era focalizzata su un'informazione uditiva, una regione del lobo temporale superiore coinvolta nell'elaborazione degli stimoli uditivi mostrava un incremento di attività (in giallo/arancione). (b) In totale contrasto, un'area visiva, il giro fusiforme, evidenziava un'attività ridotta quando i partecipanti si concentravano su un'informazione uditiva (in blu).

hanno messo alla prova dei guidatori provetti con un simulatore di guida estremamente realistico, calcolando i loro tempi di reazione alle frenate e ai segnali di stop mentre ascoltavano la radio o intrattenevano una conversazione telefonica su un argomento politico, tra le altre cose (Strayer, Drews e Johnston, 2003).

Questi guidatori esperti avevano reazioni significativamente più lente durante le conversazioni telefoniche rispetto a quando svolgevano gli altri tipi di attività. Ciò dipende dal fatto che una conversazione telefonica richiede il recupero di informazioni nella memoria, la scelta e la pianificazione di quel che si vuole dire e spesso comporta un notevole coinvolgimento emotivo nell'argomento di conversazione. Un'attività come ascoltare la radio richiede un'attenzione molto minore o addirittura non ne richiede affatto.

I guidatori sottoposti al test si immerse così tanto nelle loro conversazioni che la loro

mente non sembrava nemmeno più nell'auto. La reazione di frenata più lenta si tradusse in uno spazio di frenata più lungo che, a seconda della velocità, avrebbe potuto determinare un tamponamento. Che il telefonino fosse un apparecchio fisso oppure tenuto in mano non faceva in pratica alcuna differenza. Se ne deduce che, probabilmente, la legge che impone ai guidatori di utilizzare un apparecchio in "viva voce" può rivelarsi poco efficace nel far diminuire gli incidenti.

Altri ricercatori hanno misurato l'attività cerebrale con la fMRI (risonanza magnetica funzionale) mentre i soggetti spostavano l'attenzione tra informazioni visive e uditive. Ciò che cambiava tra un compito e l'altro era il livello relativo dell'attività cerebrale: quando

l'attenzione era diretta agli stimoli uditivi, diminuiva l'attività delle aree visive in confronto a quando l'attenzione si concentrava sulla visione (Shomstein e Yantis, 2004). Era come se i partecipanti tramite una "manopola mentale" regolassero il flusso delle informazioni in entrata a seconda dell'attività di cui si stavano occupando al momento.

E allora con quanta bravura siamo in grado di eseguire più compiti contemporaneamente mentre stiamo seduti dentro una scatola di metallo del peso di svariati quintali che sfreccia sull'autostrada? I guidatori esperti sono in grado di dividere l'attenzione su più cose fino a un certo punto, tuttavia la maggior parte di noi deve riconoscere di aver corso dei rischi mortali a causa di una guida distratta. A meno di non avere due teste dotate ognuna di un cervello, uno per parlare e uno per concentrarsi sulla guida, e molto meglio tener d'occhio la strada e non il telefono.

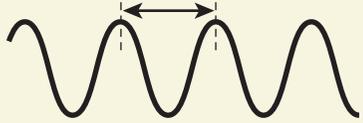
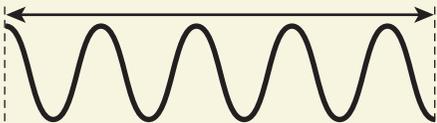
messo a punto procedure per misurare la soglia assoluta di un soggetto, ovvero l'intensità minima necessaria alla semplice rilevazione di uno stimolo, e la differenza appena individuabile (JND), ovvero il più piccolo cambiamento dello stimolo che può appena essere individuato. La teoria della rilevazione del segnale consente ai ricercatori di distinguere tra la sensibilità percettiva di un soggetto nei confronti di uno stimolo e i criteri utilizzati per prendere delle decisioni sullo stimolo. L'adattamento sensoriale ha luo-

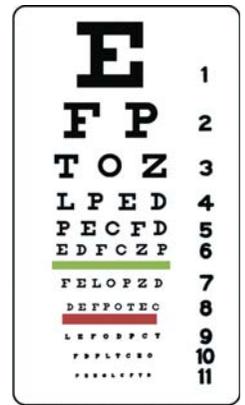
go perché la sensibilità nei confronti di una stimolazione durevole tende a diminuire col tempo.

La visione: più di quel che colpisce l'occhio

Forse andate orgogliosi della vostra capacità visiva di 20/20, anche se con la correzione degli occhiali o delle lenti a contatto. 20/20 rappresentano una mi-

Tabella 4.2 Proprietà delle onde luminose

Dimensione fisica	Dimensione psicologica
<p>Lunghezza</p> 	<p>Tonalità ovvero ciò che percepiamo come colore</p>
<p>Ampiezza</p> 	<p>Luminosità</p>
<p>Purezza</p> 	<p>Saturazione o intensità del colore</p>



La tabella di Snellen, usata normalmente per misurare l'acutezza visiva. È molto probabile che ne abbiate vista una voi stessi in più di un'occasione.

sura associata alla tabella di Snellen, che deve il suo nome a Hermann Snellen (1834-1908), l'oculista olandese che la sviluppò come mezzo per valutare l'**acutezza visiva**, la capacità di vedere i dettagli fini; corrisponde alla riga di lettere più piccola che il soggetto medio può leggere da una distanza di circa 6 metri. Tuttavia, se faceste un salto al Birds of Prey Ophthalmologic Office (Ufficio Oftalmologico degli Uccelli da Preda), l'orgoglio che provate per la vostra capacità visiva svanirebbe. Falchi, aquile, gufi e altri rapaci possiedono un'acutezza visiva molto maggiore degli esseri umani; in molti casi è maggiore di otto volte, ovvero è l'equivalente di 20/2. Il che è utile se volete individuare un topo ad una distanza di un chilometro e mezzo, ma se dovete semplicemente vedere dov'è che il vostro compagno di stanza ha lasciato il sacchetto delle patatine, probabilmente riuscirete a sopportare il fatto che nessuno vi chiami "Occhio di falco".

Anche se non potreste mai vincere una gara a chi ha la vista migliore contro un falco, il vostro sofisticato sistema visivo si è evoluto in modo da trasdurre l'energia luminosa dell'ambiente in segnali neurali nel cervello. Gli esseri umani hanno negli occhi dei recettori sensoriali che reagiscono alle diverse lunghezze d'onda dell'energia luminosa. Quando guardiamo le persone, i luoghi e le cose, i particolari pattern di luce e di colore ci forniscono informazioni su dove finisce una superficie e dove ne comincia un'altra. I fasci di luce riflessa da quelle superfici ne conservano le forme e ci consentono di costruirci una rappresentazione mentale di una scena (Rodieck, 1998). Per comprendere la visione, dunque, bisogna iniziare col comprendere la luce.

La percezione della luce

La luce visibile non è altro che la porzione dello spettro elettromagnetico che noi siamo in grado di

vedere, peraltro una porzione molto piccola. Pensate alla luce come a onde di energia. Come le onde dell'oceano, le onde luminose variano in altezza e anche nella distanza tra i picchi, o *lunghezza d'onda*, come mostra la **Tabella 4.2**.

Le onde luminose possiedono tre proprietà, ciascuna delle quali ha una dimensione fisica che produce una corrispondente dimensione psicologica. La *lunghezza* di un'onda luminosa ne determina la colorazione, ovvero ciò che gli esseri umani percepiscono come colore. L'intensità, o *ampiezza* di una lunghezza d'onda, cioè l'altezza dei suoi picchi, determina ciò che percepiamo come luminosità della luce. La terza proprietà è la *purezza*, cioè il numero delle lunghezze d'onda che formano la luce. La purezza corrisponde a ciò che gli esseri umani percepiscono come saturazione o intensità dei colori (**Figura 4.4**). In altre parole, la luce non ha bisogno dell'uomo per avere le sue proprietà: lunghezza, ampiezza e purezza sono proprietà intrinseche delle onde luminose, proprietà che gli esseri umani percepiscono come colore, luminosità e saturazione.

Per comprendere il modo in cui le proprietà delle onde influenzano la nostra percezione della luce, in primo luogo dobbiamo capire in che modo gli occhi rilevano la luce.

L'occhio umano

La **Figura 4.5** mostra una sezione dell'occhio umano. La luce che raggiunge l'occhio passa per prima cosa attraverso un tessuto esterno trasparente e liscio detto *cornea*, che imprime una curvatura al raggio luminoso e lo invia attraverso la *pupilla*, un'apertura circolare nella regione colorata dell'occhio. Questa parte colorata è l'*iride*, che è traslucida, ed è un muscolo a forma di ciambella che controlla la dimensione della pupilla e di conseguenza la quantità di luce che può entrare nell'occhio.

Acuità visiva Capacità di vedere i dettagli fini.

Retina Tessuto sensibile alla luce che si trova sul fondo del bulbo oculare.

Accomodazione Processo per cui l'occhio forma un'immagine chiara sulla retina.

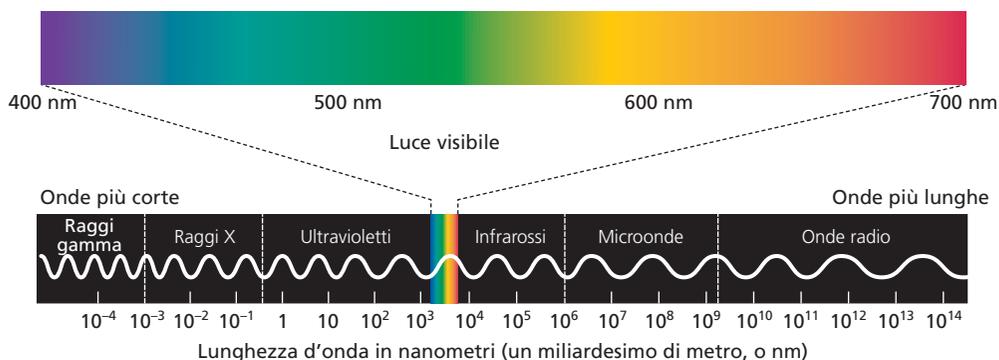


Figura 4.4 Spettro elettromagnetico La piccola porzione dello spettro elettromagnetico visibile agli esseri umani come un arcobaleno di colori dal blu-violetto al rosso è limitata sul lato delle onde più corte dai raggi ultravioletti, che le api riescono a vedere, e sul lato delle onde più lunghe dagli infrarossi, sui quali si basano gli apparecchi per la visione notturna. Per esempio, chi mette occhiali adatti alla visione notturna, riesce a individuare il calore corporeo di un'altra persona nel buio più assoluto. Le onde luminose sono minuscole, ma la scala che vedete nella parte inferiore di questa figura ci offre una visione d'insieme della gamma delle loro lunghezze, misurate in nanometri (nm; 1 nm = 1 miliardesimo di metro).

Quando vi spostate dall'illuminazione fioca di un cinema alla luce esterna del sole, le iridi si contraggono, riducendo la dimensione delle pupille e la quantità di luce che le attraversa. Può anche darsi che dobbiate proteggere gli occhi finché le loro cellule fotosensibili si adattano alla più forte luminosità esterna. Questo processo è un tipo di adattamento sensoriale detto *adattamento alla luce*.

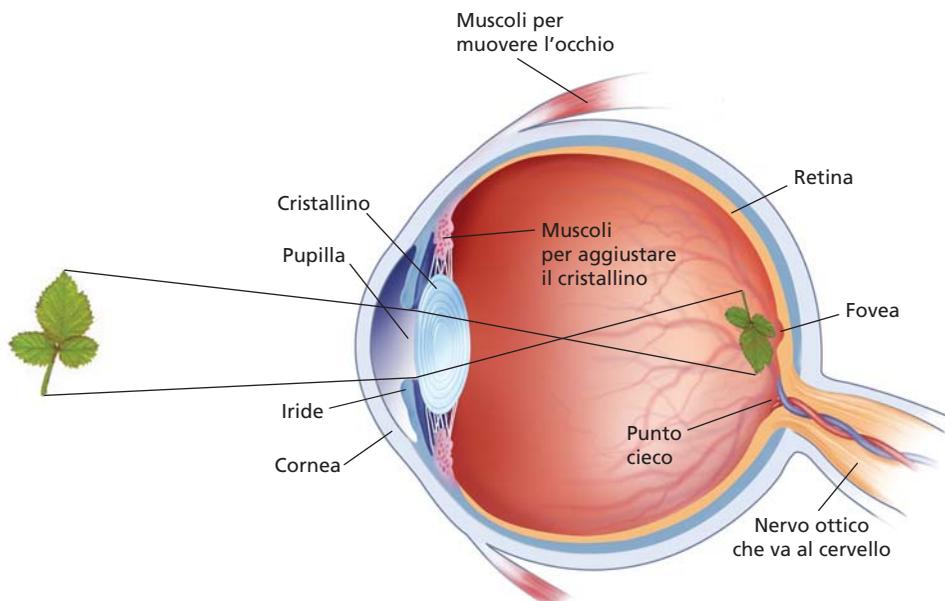
Subito dietro l'iride, i muscoli interni all'occhio controllano la curvatura del *cristallino* per deviare di nuovo i raggi luminosi e concentrarli sulla *retina*, un tessuto sensibile alla luce che si trova sul fondo del bulbo oculare. I muscoli cambiano la forma del cristallino per poter mettere a fuoco oggetti a distanze diverse, appiattendolo per vedere gli oggetti lontani o incurvandolo per vedere gli oggetti vicini. Questa è l'*accomodazione*, il processo per cui

l'occhio forma un'immagine chiara sulla retina. La **Figura 4.6a** mostra come funziona l'accomodazione.

Se i bulbi oculari sono un po' troppo allungati o un po' troppo corti, il cristallino non metterà a fuoco le immagini sulla retina in maniera corretta. Se il bulbo oculare è troppo allungato, le immagini vengono messe a fuoco davanti alla retina, un difetto detto *miopia* (**Figura 4.6b**). Se il bulbo oculare è troppo corto, le immagini si focalizzano dietro la retina e ne consegue la presbiopia o *iperopia*, come ci mostra la **Figura 4.6c**. Gli occhiali da vista, le lenti a contatto e gli interventi chirurgici possono correggere entrambi i difetti. Per esempio, sia gli occhiali da vista che le lenti a contatto forniscono una lente aggiuntiva per focalizzare la luce in maniera corretta e gli interventi come quelli con la tecnica LASIK ricostruiscono il cristallino presente nell'occhio.

Figura 4.5 Anatomia dell'occhio umano

La luce riflessa da una superficie entra nell'occhio attraverso la cornea trasparente, inclinandosi per passare attraverso la pupilla al centro dell'iride colorata. Dietro l'iride, il cristallino adatta la sua forma e il suo spessore in modo da focalizzare la luce sulla retina, dove l'immagine appare rovesciata. Fondamentalmente il cristallino funziona come una lente fotografica. I recettori fotosensibili localizzati alla superficie della retina, eccitati o inibiti da raggi luminosi, stimolano i neuroni specializzati che convogliano gli impulsi nervosi ai centri visivi del cervello attraverso i loro assoni, che costituiscono il nervo ottico.



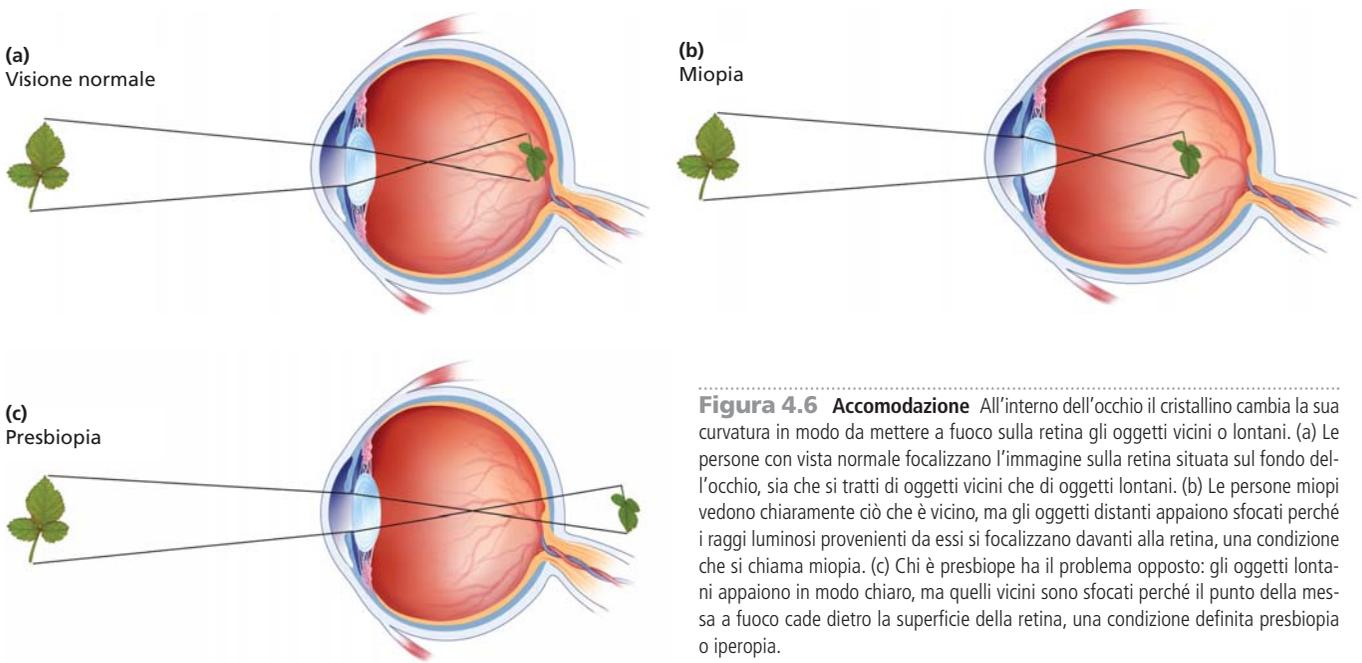


Figura 4.6 Accomodazione All'interno dell'occhio il cristallino cambia la sua curvatura in modo da mettere a fuoco sulla retina gli oggetti vicini o lontani. (a) Le persone con vista normale focalizzano l'immagine sulla retina situata sul fondo dell'occhio, sia che si tratti di oggetti vicini che di oggetti lontani. (b) Le persone miopi vedono chiaramente ciò che è vicino, ma gli oggetti distanti appaiono sfocati perché i raggi luminosi provenienti da essi si focalizzano davanti alla retina, una condizione che si chiama miopia. (c) Chi è presbiopico ha il problema opposto: gli oggetti lontani appaiono in modo chiaro, ma quelli vicini sono sfocati perché il punto della messa a fuoco cade dietro la superficie della retina, una condizione definita presbiopia o iperopia.

La fototrasduzione nella retina

La retina è l'interfaccia tra il mondo della luce all'esterno del corpo e il mondo della visione all'interno del sistema nervoso centrale. Due tipi di *fotorecettori* nella retina contengono pigmenti sensibili alla luce che trasducono i raggi luminosi in impulsi neurali. I **coni** rilevano il colore, operano in condizioni di luce normali, e ci consentono di *mettere a fuoco i dettagli fini*. I **bastoncelli** si attivano solo in condizioni di luce fioca, quindi per la visione notturna (Figura 4.7).

I bastoncelli sono fotorecettori molto più sensibili dei coni, ma questa sensibilità ha un costo. Dato che tutti i bastoncelli contengono lo stesso fotopigmento, non forniscono alcuna informazione sul colore e percepiscono solo sfumature di grigio. Pensateci la prossima volta che vi svegliate nel cuore della notte e vi recate in bagno a bere un po' d'acqua. Servendovi solo della luce della luna che entra dalla finestra, vedete la stanza a colori o in diverse tonalità di grigio?

Bastoncelli e coni presentano anche molte altre differenze, soprattutto per quanto riguarda il numero. Circa 120 milioni di bastoncelli sono distribuiti in maniera più o meno uniforme in ciascuna retina tranne che nella regione centrale, la **fovea**, *quell'area della retina dove la visione è in assoluto più chiara e i bastoncelli sono completamente assenti*. L'assenza di bastoncelli nella fovea diminuisce l'acutezza della visione in condizioni di scarsa illuminazione ma è un problema che si può superare. Per esempio, quando degli astronomi dilettanti osservano di notte con il telescopio le stelle lontane, sanno di dover guardare un po' di lato così che l'immagine non ricada sulla fovea, priva di bastoncelli, ma su qualche altra parte della retina che contiene molti bastoncelli estremamente sensibili.

A differenza di quanto accade con i bastoncelli, ogni retina contiene solamente circa 6 milioni di coni, fittamente raggruppati nella fovea e distribuiti in modo molto più sparso nel resto della retina, come si può vedere nella Figura 4.7. L'alta concentrazione di coni nella fovea incide direttamente sull'acutezza visiva e spiega perché, con *la visione periferica*, non vediamo chiaramente gli oggetti posti a lato. La luce riflessa dagli oggetti alla periferia del campo visivo arriva alla fovea con difficoltà, determinando un'immagine meno chiara. Più fine è il dettaglio codificato e rappresentato nel sistema visivo, tanto più chiara è l'immagine percepita. È un processo analogo alla qualità delle immagini ottenute con una macchina fotografica digitale da sei megapixel o invece con una macchina da due megapixel.

Bastoncelli e coni differiscono anche rispetto al modo in cui varia la loro sensibilità quando cambia il livello complessivo di luce. Ricordate che la pupilla si restringe quando ci spostiamo da un ambiente con un'illuminazione fioca alla luce forte. Adesso immaginate il contrario: quando entrate nel buio di una sala cinematografica, provenendo dall'esterno in una giornata di sole, la vostra pupilla si allarga per

Coni Fotorecettori che rilevano il colore, operano in condizioni di luce normali, e ci consentono di mettere a fuoco i dettagli fini.

Bastoncelli Fotorecettori che si attivano solo in condizioni di luce fioca, quindi per la visione notturna.

Fovea Area della retina dove la visione è in assoluto più chiara e sono completamente assenti i bastoncelli.

L'immagine a colori sulla sinistra è quella che vedreste con i coni e i bastoncelli in piena attività. L'immagine in bianco e nero sulla destra rappresenta ciò che vedreste se funzionassero solo i bastoncelli.



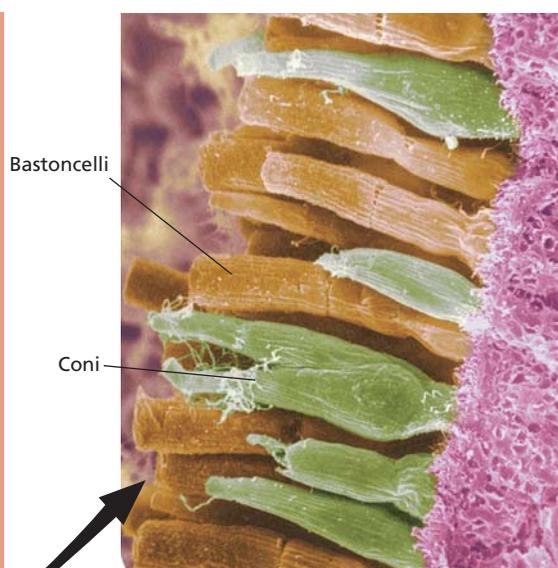
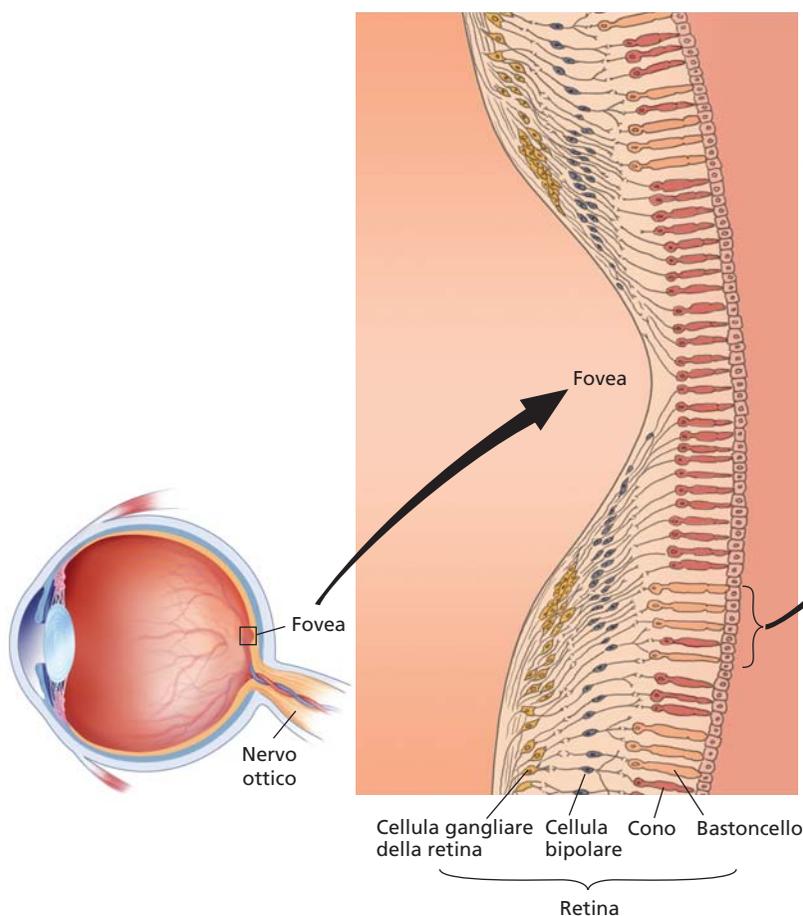


Figura 4.7 Primo piano della retina La superficie della retina è composta di fotorecettori, i coni e i bastoncelli, posti sotto due strati di neuroni trasparenti, le cellule bipolari e gangliari, collegati in successione. L'ingrandimento della sezione trasversale corrisponde all'area di maggiore acuità visiva, la fovea, in cui è concentrato il maggior numero di coni sensibili ai colori, i recettori che ci permettono di vedere oltre al colore anche il fine dettaglio. I bastoncelli, i fotorecettori predominanti che si attivano in condizioni di luce scarsa, sono distribuiti in tutte le altre parti della retina.

Punto cieco Area della retina che non ha né bastoncelli né coni e di conseguenza nessun meccanismo di percezione della luce.

consentire il passaggio di più luce, ma all'inizio sarete quasi ciechi davanti ai posti a sedere. Pian piano, tuttavia, la visione si adatta. Questa forma di adattamento sensoriale viene definita *adattamento al buio* (Hecht e Mandelbaum, 1938). I coni si adattano al buio in circa otto minuti ma non hanno una grande sensibilità alla luce di bassa intensità. Ai bastoncelli servono circa trenta minuti per adattarsi completamente al buio, ma offrono una sensibilità molto maggiore in condizioni di luce fioca, a scapito della visione a colori.

La retina è fitta di cellule. Dei diversi tipi di neuroni che costituiscono i tre strati distinti della retina, i fotorecettori (bastoncelli e coni) formano lo strato più interno. Lo strato intermedio contiene le *cellule bipolari*, che raccolgono i segnali neurali dei bastoncelli e dei coni e li trasmettono allo strato più ester-

no della retina, dove neuroni detti *cellule gangliari della retina* (RGC) organizzano i segnali e li inviano al cervello.

Gli assoni e i dendriti dei fotorecettori e delle cellule bipolari sono relativamente brevi (appena qualche micron, o milionesimo di metro di lunghezza), mentre gli assoni delle cellule gangliari della retina sono lunghi alcuni centimetri. Le RGC sono i neuroni sensoriali che collegano la retina ai vari centri del cervello. Gli assoni delle RGC riunendosi in fasci di fibre, circa 1 milione e mezzo per occhio, formano il *nervo ottico*, che lascia l'occhio attraverso un'area della retina detta il **punto cieco**, che non ha né bastoncelli né coni e di conseguenza nessun meccanismo di percezione della luce. Provate a fare la dimostrazione della **Figura 4.8** per trovare il punto cieco in ciascun occhio.

L'immagine a destra è stata scattata ad una definizione più alta dell'immagine a sinistra. La differenza rispetto alla qualità è analoga a quella che si ha se la luce cade o non cade sulla fovea.



COURTESY OF DAVE ETCHHELLS

COURTESY OF DAVE ETCHHELLS



Figura 4.8 Dimostrazione del punto cieco Per trovare il vostro punto cieco chiudete l'occhio sinistro e fissate la croce con l'occhio destro. Tenete il libro a una distanza tra i 15 e i 20 centimetri e muovetelo lentamente avanti e indietro finché il punto non scompare. Ora esso si trova nel vostro punto cieco e perciò non è visibile. A questo punto le linee verticali possono apparire come una linea continua perché il sistema visivo tende a riempire l'area occupata dal punto mancante. Per mettere alla prova il punto cieco dell'occhio sinistro, capovolgete il libro e ripetete l'esperimento chiudendo l'occhio destro.

Campi recettivi e inibizione laterale

Ciascun assone del nervo ottico ha origine in una singola cellula gangliare della retina, come si vede nella **Figura 4.9**. La maggior parte delle RGC risponde a impulsi che non provengono da un unico cono o bastoncello retinico ma ad un intero gruppo di fotorecettori adiacenti, disposti l'uno accanto all'altra nella retina. Una data RGC risponderà alla luce che cade in un qualsiasi punto all'interno di quel piccolo settore di retina, detto **campo recettivo**, ovvero quella regione della superficie sensoriale la cui stimolazione provoca un cambiamento nella frequenza di scarica di quel neurone. Anche se qui ci occupiamo in particolare della visione, il concetto generale di campo recettivo si applica a tutti i sistemi sensoriali. Per esempio, le cellule che si connettono ai centri cerebrali del tatto hanno campi recettivi, che corrispondono alle aree della pelle la cui stimolazione induce in una particolare cellula neurale un cambiamento della risposta elettrica.

All'interno di un campo recettivo, i fotorecettori adiacenti rispondono alla stimolazione in modi diversi: alcune cellule vengono eccitate, mentre alcune altre vengono inibite. Queste reazioni opposte interagiscono, vale a dire che i segnali inviati alla RGC attraverso le cellule bipolari riflettono gradi differenti di attivazione del recettore, mediante un processo definito *inibizione laterale*. Spostandoci dall'alto in basso nella Figura 4.9, un punto luminoso che stimola una parte o tutto il gruppo dei coni del campo recettivo attiverà una o più cellule bipolari, e questa attività a sua volta indurrà la corrispondente cellula gangliare a cambiare la frequenza con cui genera i potenziali d'azione.

Una determinata RGC risponde ad uno stimolo luminoso proiettato in un punto qualsiasi all'interno di una piccola porzione di retina, di forma all'incirca circolare (Kuffler, 1953). La maggior parte dei cam-

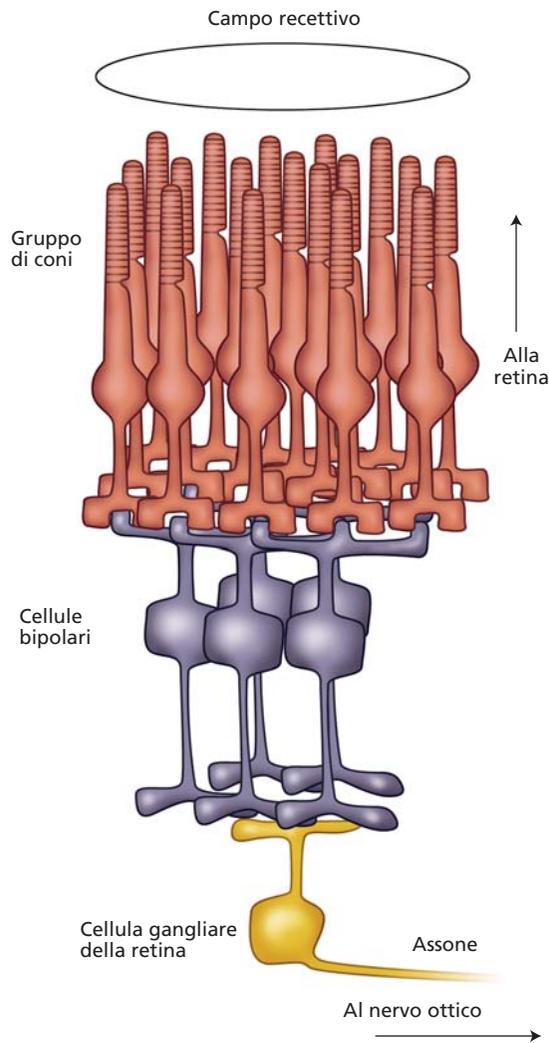


Figura 4.9 Campo recettivo di una cellula gangliare della retina L'assone di una cellula gangliare retinica, mostrato nella parte bassa della figura, si unisce agli assoni di tutte le altre RGC (cellule gangliari retiniche) a formare il nervo ottico. Salendo verso la superficie della retina, ogni RGC si connette a un gruppo di cinque o sei cellule bipolari. Le risposte convogliate da ciascuna cellula bipolare alla cellula gangliare dipendono dalla combinazione di segnali eccitatori o inibitori trasmessi dal gruppo, più numeroso, di fotorecettori collegati a quella cellula bipolare. L'intero insieme di neuroni, dai fotorecettori all'RGC, costituisce un campo recettivo, come indica il cerchio nella parte alta della figura. L'RGC risponde a uno stimolo luminoso che cade su alcuni o su tutti i fotorecettori all'interno del suo campo recettivo come risultato dell'inibizione laterale.

pi recettivi contiene una zona centrale eccitatoria circondata da una zona a forma di ciambella e ad azione inibitoria e in questo caso si parla di *cellula a centro on*. In altri casi la cellula contiene una zona inibitoria centrale, circondata da una corona eccitatoria, quindi si parla di *cellula a centro off* (**Figura 4.10**). Le zone a forma di ciambella rappresentano porzioni di retina; provate a immaginare che la parte superiore del diagramma nella Figura 4.9 sia inclinata in avanti così da consentirci di vedere i coni dall'alto.

Pensate alla risposta di una cellula gangliare retinica a centro on quando il suo campo recettivo viene stimolato da punti luminosi di grandezza diversa (**Figura 4.10a**). Un piccolo punto che illumina la zona eccitatoria centrale fa aumentare il tasso di scarica dell'RGC. Quando la luce cade esattamente sulla zona centrale, la risposta del neurone è massima. Se invece la luce cade nella zona inibitoria circostante la risposta è più debole o addirittura assente. La risposta di una cellula a centro off, mostrata nella **Figura 4.10b**, è l'esatto opposto. Una luce che cade sulla zona inibitoria centrale evoca una risposta debole, e una luce che nella zona eccitatoria circostante determina una forte risposta da parte della RGC.

Campo recettivo La zona della superficie sensoriale che, quando viene stimolata, provoca un cambiamento nella frequenza di scarica di quel neurone.

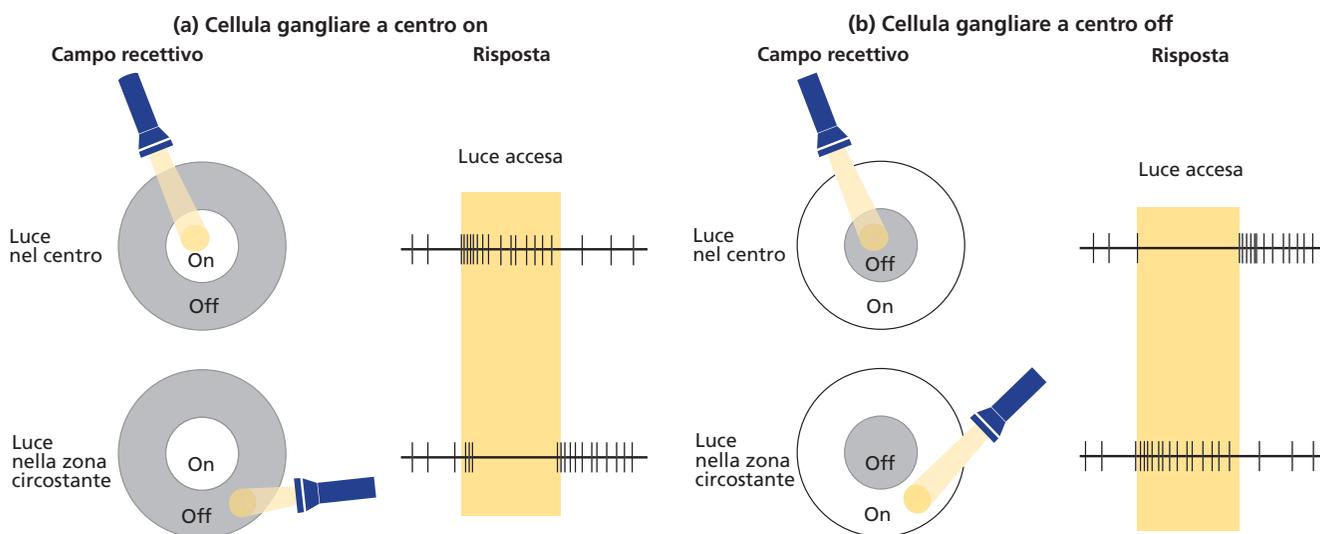


Figura 4.10 Campi recettivi di cellule gangliari retiniche visti dall'alto Immaginate di guardare dall'alto il campo recettivo rappresentato nella parte superiore della Figura 4.9. (a) Una cellula gangliare a centro on aumenta la sua frequenza di scarica quando il campo recettivo viene stimolato dalla luce nell'area centrale, ma se la luce colpisce l'area circostante la frequenza di scarica della RGC diminuisce. Entrambi i livelli di risposta neurale sono rappresentati nella colonna di destra. (b) La cellula gangliare a centro off genera potenziali con minor frequenza quando il proprio campo recettivo viene stimolato dalla luce nell'area centrale; la frequenza degli impulsi invece aumenta quando la luce colpisce l'area circostante. La colonna di destra mostra entrambe le risposte.

Se uno stimolo luminoso “sconfina” nella zona inibitoria di entrambi i tipi di campo recettivo, la risposta della cellula diminuisce e, se tutto il campo recettivo viene stimolato, le attivazioni eccitatorie e inibitorie si annullano a vicenda a causa dell'inibizione laterale e la risposta della RGC apparirà simile alla sua risposta al buio. Perché la RGC dovrebbe rispondere nello stesso modo sia ad un campo uniformemente luminoso che ad un campo uniformemente buio? La risposta è collegata al concetto di soglia differenziale: il sistema visivo codifica le *differenze* di luminosità o di colore. In altre parole la RGC è una specie di “rilevatore di punti luminosi”, che registra i cambiamenti relativi di eccitazione o inibizione dei campi recettivi.

L'inibizione laterale rivela come l'azione del sistema visivo comincia con la codifica dell'intera struttura spaziale di una scena e non semplicemente con quella dell'intensità luminosa percepita punto per punto in ogni parte della retina. La retina è organizzata in modo da rilevare i margini, cioè il passaggio brusco dalla luce al buio o viceversa. I margini sono di estrema importanza nella visione. Definiscono le forme degli oggetti e qualunque cosa dia risalto a tali confini migliora la nostra capacità di vedere la forma di un oggetto, in particolare nelle situazioni in cui c'è poca luce.

La percezione del colore

Ci entusiasmiamo davanti all'esplosione di colori durante uno spettacolo di fuochi d'artificio, rimaniamo a bocca aperta di fronte alla tavolozza di colori che la natura ci mostra con un tramonto, e ci incantiamo nell'ammirare la coda variopinta di un pavone. Effettivamente il colore aggiunge una profonda nota di piacere al nostro mondo visivo, ma offre

anche indizi fondamentali per capire l'identità di un oggetto. Una banana nera o delle labbra blu sono sollecitazioni ad agire codificate nel colore: evitare di mangiare o suonare il campanello d'allarme, a seconda del caso.

Vedere il colore

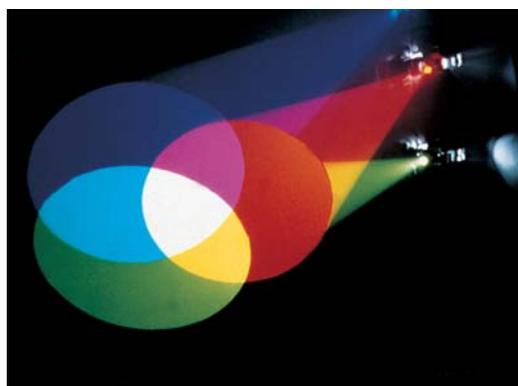
Intorno al 1670 Sir Isaac Newton sottolineò che il colore non è qualcosa presente “nella” luce. In realtà il colore non è altro che la nostra percezione della lunghezza d'onda della luce (**Figura 4.11** a pagina 121). Percepriamo le più corte lunghezze d'onda visibili come un colore viola scuro. Con l'aumentare della lunghezza d'onda il colore percepito cambia lungo una gamma graduale e continua verso il blu, poi il verde, il giallo, l'arancione e, nelle maggiori lunghezze d'onda visibili, il rosso. Questo arcobaleno di colori e le lunghezze d'onda che lo accompagnano prendono il nome di *spettro visibile*, illustrato nella Figura 4.11.

Vi ricorderete che tutti i bastoncelli contengono lo stesso fotopigmento, proprietà che li rende ideali quando si tratta di visione con luce fioca ma inadatti a distinguere i colori. Al contrario, i coni contengono uno di tre diversi tipi di pigmento. Ogni cono assorbe la luce su una vasta gamma di lunghezze d'onda, ma il suo specifico tipo di pigmento è particolarmente sensibile alle lunghezze d'onda visibili che corrispondono al rosso (lunghezza d'onda lunga), al verde (lunghezza d'onda media), o al blu (lunghezza d'onda corta). Il rosso, il verde e il blu sono i colori primari della luce e l'idea che la percezione del colore dipenda da tre componenti della retina risale al XIX secolo, quando questa teoria venne proposta per la prima volta dallo scienziato inglese Thomas

Young (1773-1829). Young ottenne successi straordinari: oltre ad essere un medico che esercitava la professione, egli fu anche un eminente fisico, e nel tempo libero contribuì a risolvere il mistero della stele di Rosetta (una tavola che consentì agli archeologi di tradurre i geroglifici egiziani in greco, una lingua che conoscevano bene!). Egli sapeva talmente tanto e di tanti argomenti che un suo recente biografo lo ha definito “l'ultimo uomo che sapeva tutto” (Robinson, 2006). Fortunatamente per la psicologia, Young ebbe anche alcune intuizioni brillanti sul funzionamento della visione a colori. Fu però il grande scienziato tedesco Hermann von Helmholtz (1821-94) a sviluppare in tutta la loro portata le idee di Young, suggerendo che la percezione del colore fosse la risultanza di diverse combinazioni dei tre elementi di base presenti nella retina i quali reagiscono alle lunghezze d'onda corrispondenti ai tre colori primari della luce. Questa intuizione ha svariate implicazioni e applicazioni.

Per esempio, i tecnici delle luci creano i colori mediante combinazioni diverse di luci dei tre colori primari, ad esempio proiettano su una superficie un fascio di luce rosso brillante e uno verde se devono creare una luce gialla, come viene mostrato nella **Figura 4.12a**. Notate che al centro della figura, dove le luci rossa, verde e blu si sovrappongono, la superficie appare bianca. Questo dimostra che una superficie bianca in realtà sta riflettendo tutte le lunghezze d'onda luminose visibili. Questo metodo di creare i colori viene definito *mescolanza additiva dei colori*.

Secoli prima che Newton conducesse i primi esperimenti con la luce, in Italia i pittori rinascimentali avevano imparato che potevano ri-creare ogni colore esistente in natura mescolando semplicemente tre colori: rosso, blu e giallo. Può darsi che sia capitato anche a voi di scoprire questo processo nel



(a) Mescolanza additiva dei colori (rosso, blu, verde)



(b) Mescolanza sottrattiva dei colori (rosso, blu, giallo)

Figura 4.12 Mescolare i colori I milioni di sfumature di colore che gli esseri umani riescono a percepire sono il prodotto non solo della lunghezza d'onda di una luce ma anche della mescolanza di lunghezze d'onda che uno stimolo assorbe o riflette. Vediamo che una banana matura è gialla perché la buccia della banana riflette le onde luminose che percepiamo come gialle ma assorbe le lunghezze d'onda che percepiamo come sfumature dal blu al verde e quelle che vediamo come rosse. (a) La mescolanza additiva dei colori funziona aumentando le lunghezze d'onda riflesse, aggiungendo luce per stimolare i fotopigmenti rossi, blu o verdi nei coni. Quando sono presenti tutte le lunghezze d'onda visibili, vediamo bianco. (b) La mescolanza sottrattiva dei colori elimina le lunghezze d'onda, assorbendo le onde luminose che vediamo come rosse, blu o gialle. Quando tutte le lunghezze d'onda visibili sono assorbite, vediamo nero.

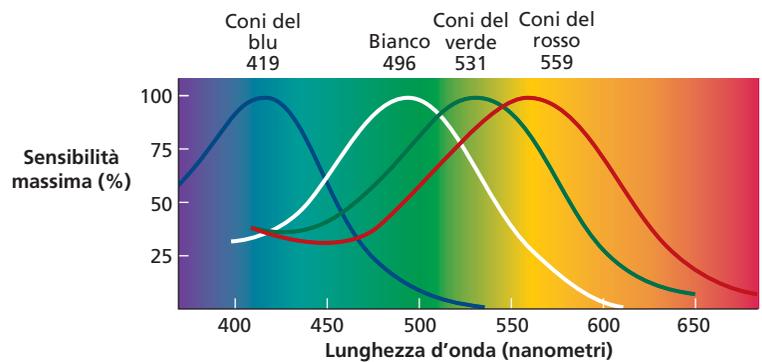


Figura 4.11 Vedere a colori Percepiamo uno spettro di colori perché gli oggetti assorbono in maniera selettiva alcune lunghezze d'onda luminose e ne riflettono altre. La percezione del colore corrisponde alla somma delle attività dei tre tipi di coni. Ogni tipo presenta un massimo di sensibilità a una ristretta gamma di lunghezze d'onda nello spettro visibile, quelle corte (luce bluastro), quelle medie (luce verdastra) o quelle lunghe (luce rossastra). I bastoncelli, rappresentati dalla curva bianca, sono maggiormente sensibili alle lunghezze d'onda medie della luce visibile ma non contribuiscono alla percezione del colore.

mescolare i colori. Questa *mescolanza sottrattiva dei colori* funziona eliminando la luce dalle miscele di colori come quando si combinano il giallo e il rosso per fare l'arancione o il blu e il giallo per fare il verde, come si vede nella **Figura 4.12b**. Più il colore è scuro, minore è la quantità di luce che contiene, e questo è il motivo per cui le superfici nere non riflettono affatto la luce.

Quando percepite il colore, dunque, i coni nella vostra retina codificano le lunghezze d'onda della luce riflessa dalla superficie di un oggetto. Tuttavia l'elaborazione del colore nel sistema visivo umano avviene in due fasi. La prima fase, la codificazione, ha luogo nella retina, mentre la seconda, l'elaborazione, ha bisogno del cervello (Gegenfurtner e Kiper, 2003).

Rappresentazione tricromatica del colore Il pattern della risposta mediata dai tre tipi di coni fornisce un codice specifico per ogni colore.

Sistema dell'opponenza cromatica Coppie di neuroni visivi che funzionano in antagonismo.

La rappresentazione tricromatica nei coni

La luce che colpisce la retina provoca un pattern di risposta specifico in ognuno dei tre tipi di coni (Schnapf, Kraft e Baylor, 1987). Un tipo risponde soprattutto alle lunghezze d'onda più corte (bluastre), il secondo tipo alle lunghezze d'onda medie (verdastre), e il terzo tipo alle lunghezze d'onda lunghe (rosastre). I ricercatori li definiscono rispettivamente coni del blu, del verde e del rosso (Figura 4.11).

Questa **rappresentazione tricromatica del colore** significa che il pattern della risposta mediata dai tre tipi di coni fornisce un codice specifico per ogni colore. I ricercatori possono "risalire" alla lunghezza d'onda della luce che colpisce la retina con un processo inverso che parte dalla frequenza di scarica relativa dei tre tipi di coni. Una malattia genetica che porta all'assenza di uno dei tre tipi di coni o, in alcuni rarissimi casi, di due o di tutti e tre, provoca un *deficit della visione cromatica*. Si tratta di un carattere collegato al sesso e il difetto colpisce molto più spesso gli uomini delle donne.

Spesso questo deficit viene definito *cecità ai colori*, ma in effetti, le persone a cui manca un solo tipo di cono riescono ancora a distinguere molti colori. In maniera analoga a soggetti sinestesici, chi soffre di questo tipo di deficit spesso non si rende conto di esperire il colore in maniera diversa dagli altri.

La rappresentazione tricromatica del colore è ben conosciuta in quanto prima fase della codificazione del colore nel sistema visivo (Abromov e Gordon, 1994). L'adattamento sensoriale serve a spiegare la seconda fase.

La rappresentazione dell'opponenza cromatica nel cervello

Come ricorderete l'adattamento sensoriale si verifica perché la nostra sensibilità alla stimolazione prolungata tende a diminuire nel tempo. Esattamente come accade per il resto del corpo, anche i coni hanno bisogno di una pausa di tanto in tanto. Fissare un colore troppo a lungo affatica i coni che rispondono a quel colore, producendo una forma di adattamento sensoriale detto *immagine postuma*. Per provare questo effetto su voi stessi, seguite le istruzioni relative alla **Figura 4.13**:

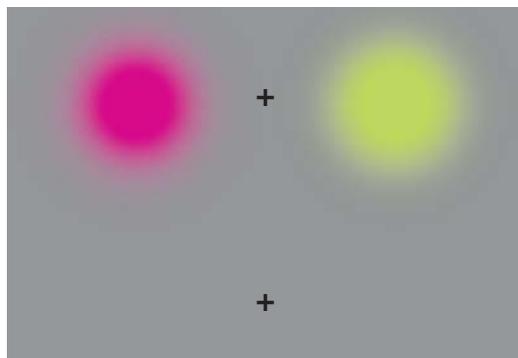


Figura 4.13 Dimostrazione dell'immagine postuma Seguite le istruzioni che compaiono nel testo e l'adattamento sensoriale farà il resto. Quando l'immagine postuma scomparirà, potete tornare alla lettura del capitolo.

- Fissate per un minuto la piccola croce tra le due macchie di colore. Cercate di tenere gli occhi più fermi possibile.
- Dopo un minuto, guardate la croce più in basso. Dovreste vedere un'immagine postuma vividamente colorata che dura per un minuto o più. Fate particolare attenzione ai colori dell'immagine postuma.

Siete rimasti sconcertati dal fatto che la macchia rossa produce un'immagine postuma verde e la macchia verde un'immagine postuma rossa? Questo risultato che potrebbe apparire un curioso errore mentale, in realtà rivela qualcosa d'importante sulla percezione del colore. La spiegazione viene fornita dalla seconda fase della rappresentazione del colore, il **sistema dell'opponenza cromatica** in cui *coppie di neuroni visivi funzionano in antagonismo*: le cellule sensibili al rosso si oppongono a quelle sensibili al verde (come nella Figura 4.13) e le cellule sensibili al blu si oppongono a quelle sensibili al giallo (Hurvich e Jameson, 1957). Come si spiegano queste coppie opposte di *quattro* colori se abbiamo solo *tre* tipi di coni?

È possibile che questo sistema di coppie antagoniste si sia evoluto in modo da sfruttare la stimolazione eccitatoria e inibitoria. Le cellule del sistema rosso-verde sono eccitate (aumentano la frequenza di scarica) in risposta alle lunghezze d'onda che corrispondono al rosso, mentre sono inibite (diminuiscono la frequenza di scarica) in risposta alle lunghezze d'onda che corrispondono al verde. Le cellule del sistema blu-giallo aumentano la generazione di impulsi in risposta alle lunghezze d'onda blu (eccitatorie) e la diminuiscono in risposta alle lunghezze d'onda gialle (inibitorie). Le coppie funzionano quindi in modo opposto, tra loro antagoniste.

I sistemi dell'opponenza cromatica spiegano il fenomeno dell'immagine postuma. Quando guardate un colore, diciamo il verde, i coni che rispondono con maggior forza al verde col passare del tempo si affaticano. L'affaticamento porta ad uno squilibrio degli input (cioè dei segnali) che arrivano ai neuroni antagonisti del sistema rosso-verde, a cominciare dalle cellule gangliari della retina: il segnale indebolito proveniente dai coni che rispondono al verde porta ad una risposta complessiva che esalta il rosso. Si può dare una spiegazione analoga per gli altri tipi di immagini postume; procuratevi una sagoma circolare di colore blu brillante e preparatevi a far vedere dei punti gialli al vostro compagno di stanza!

Funzionando insieme, il sistema tricromatico e il sistema dell'opponenza cromatica determinano la percezione del colore. I coni del rosso, del verde e del blu si collegano alle RGC dei sistemi antagonisti con connessioni eccitatorie e/o inibitorie che producono la risposta dell'opponenza cromatica. Poi i processi eccitatori/inibitori seguono la via dell'informazione visiva che porta al cervello, prima a neuroni nel talamo e poi alla corteccia occipitale, come si vede nella **Figura 4.14** (de Valois, Abramov e Jacobs, 1966).

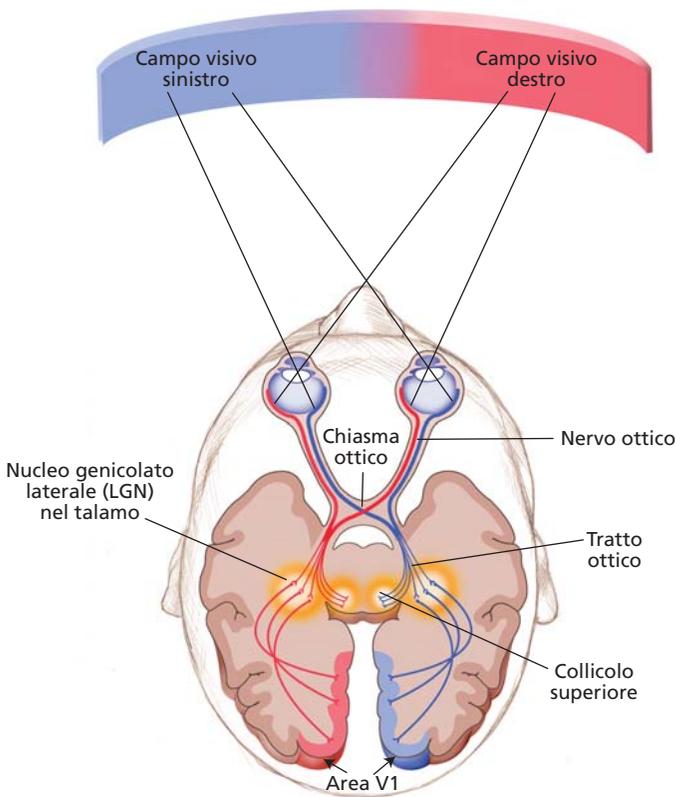


Figura 4.14 La via dell'informazione visiva dall'occhio al cervello. Gli oggetti presenti nel campo visivo destro stimolano la metà sinistra di ciascuna retina, mentre gli oggetti nel campo visivo sinistro stimolano la metà destra. I nervi ottici – uno da ciascun occhio – sono formati dagli assoni delle cellule gangliari che emergono dalla retina. Poco prima di entrare nel cervello, a livello del chiasma ottico, circa la metà delle fibre nervose provenienti da ciascun occhio si incrociano. La metà sinistra di ciascun nervo ottico, che rappresenta il campo visivo *destra*, corre attraverso l'emisfero sinistro del cervello passando per il talamo, e la metà destra, che rappresenta il campo visivo *sinistra*, compie un analogo percorso attraverso l'emisfero destro. Così le informazioni che provengono dal campo visivo destro finiscono nell'emisfero sinistro e le informazioni del campo visivo sinistro finiscono nell'emisfero destro.

Il cervello visivo

Gran parte dell'elaborazione visiva avviene già all'interno della retina, compresa la codificazione di caratteristiche elementari come i punti di luce, i margini e i colori. Tuttavia gli aspetti più complessi della visione richiedono un'elaborazione più sofisticata, che avviene nel cervello.

Flussi di potenziali d'azione che veicolano le informazioni codificate dalla retina giungono al cervello lungo il nervo ottico. Metà degli assoni del nervo ottico che escono da ciascun occhio provengono dalle cellule gangliari della retina che codificano le informazioni nel campo visivo destro, mentre l'altra metà codifica le informazioni dal campo visivo sinistro. Questi due fasci di fibre nervose si collegano rispettivamente agli emisferi cerebrali sinistro e destro (Figura 4.14). Il nervo ottico che esce da ciascun occhio si dirige al *nucleo genicolato laterale (LGN)*, situato nel talamo. Come ricorderete dal Capitolo 3, il talamo riceve input da tutti i sensi tranne che dall'olfatto. Da lì il segnale visivo viaggia verso la parte posteriore del cervello, diretto a una

regione detta **area V1**, l'area del lobo occipitale che contiene la corteccia visiva primaria. Qui le informazioni vengono sistematicamente mappate in una rappresentazione completa della scena visiva. Vi sono approssimativamente da 30 a 50 aree cerebrali specializzate nella visione, localizzate soprattutto nel lobo occipitale situato nella parte posteriore del cervello e nel lobo temporale nella parte laterale del cervello (Orban, Van Essen e Vanduffel, 2004; Van Essen, Anderson e Felleman, 1992).

Area V1 Area del lobo occipitale che contiene la corteccia visiva primaria.

Sistemi neurali di percezione della forma

Una delle funzioni più importanti della visione riguarda la percezione della forma degli oggetti; la vita quotidiana sarebbe un caos se non riuscissimo a distinguere le singole forme una dall'altra. Ve ne farete un'idea se immaginate di non riuscire a stabilire la differenza tra una ciambella calda ricoperta di glassa e un gambo di sedano; la colazione potrebbe diventare un'esperienza traumatica se non riusciste a distinguere le forme. La percezione della forma dipende dalla posizione e dall'orientamento dei margini di un oggetto. Non c'è da stupirsi, dunque, che l'area V1 sia specializzata nella codificazione dell'orientamento dei margini.

Come avete letto nel Capitolo 3, i neuroni presenti nella corteccia visiva rispondono in maniera selettiva a barre e margini con specifici orientamenti nello spazio (Hubel e Wiesel, 1962, 1998). In effetti l'area V1 contiene popolazioni di neuroni, ciascuna "sintonizzata" per rispondere ai margini orientati in ogni specifica posizione del campo visivo. Questo significa che alcuni neuroni generano potenziali quando viene percepito un oggetto in orientamento verticale, altri neuroni producono segnali quando percepiscono un oggetto con orientamento orizzontale, ancora altri neuroni scaricano nel rilevare oggetti con orientamento diagonale di 45° e così via (Figura 4.15). Il risultato della risposta coordinata di tutti questi rilevatori di caratteristiche contribuisce al funzionamento di un sofisticato sistema visivo che riesce a stabilire dove finisce una ciambella e incomincia un sedano.

Le vie del "che cosa", del "dove" e del "come"

Nel Capitolo 2 avete appreso che gli studiosi si sono avvalsi della stimolazione magnetica transcranica (TMS) per dimostrare che una persona capace di riconoscere un certo oggetto può comunque non essere in grado di percepirne il movimento. Questa osservazione implica che un sistema cerebrale identifi-

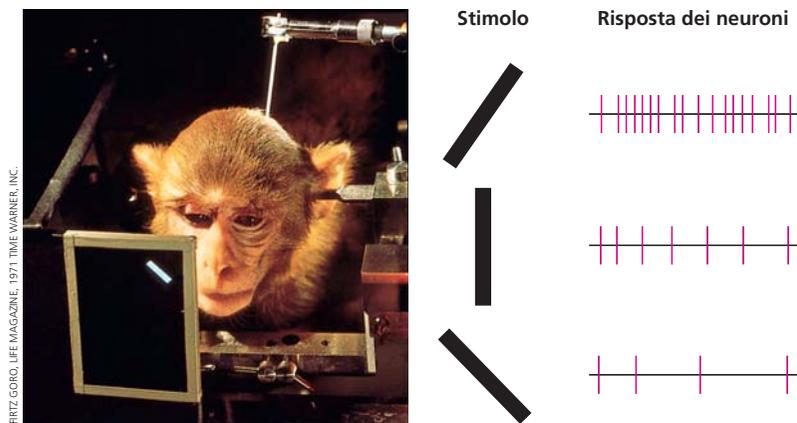


Figura 4.15 Attività di un singolo neurone rilevatore di caratteristiche. L'area V1 contiene neuroni che rispondono a specifici orientamenti dei margini. Qui sono riprodotte le risposte di un unico neurone (a destra) registrate mentre la scimmia osserva barre con orientamenti diversi (sinistra). Questo neurone genera impulsi di continuo quando la barra è inclinata a destra di 45°, mentre scarica con minore frequenza quando la barra è in posizione verticale e non scarica affatto quando lo stimolo è inclinato a sinistra di 45°.

Agnosia della forma L'incapacità di riconoscere gli oggetti mediante la vista.

ca persone e cose e un altro sistema, distinto dal primo, ne segue i movimenti o guida i nostri movimenti in relazione ad essi. Due percorsi distinti a livello funzionale, o *vie visive*, si proiettano dalla corteccia occipitale alle aree visive situate in altre parti del cervello (Figura 4.16).

- La *via ventrale* attraversa il lobo occipitale per entrare nei livelli più bassi del lobo temporale e comprende le aree del cervello deputate a identificare la forma e l'identità di un oggetto, in altri termini, che cosa è. Il danno causato dall'ictus sofferto da Betty di cui avete letto nel Capitolo 3 ha interrotto questa "via del che cosa" ("via what") (Tanaka, 1996). Il risultato fu che Betty non riusciva a riconoscere i volti familiari anche se riusciva ancora a vederli.

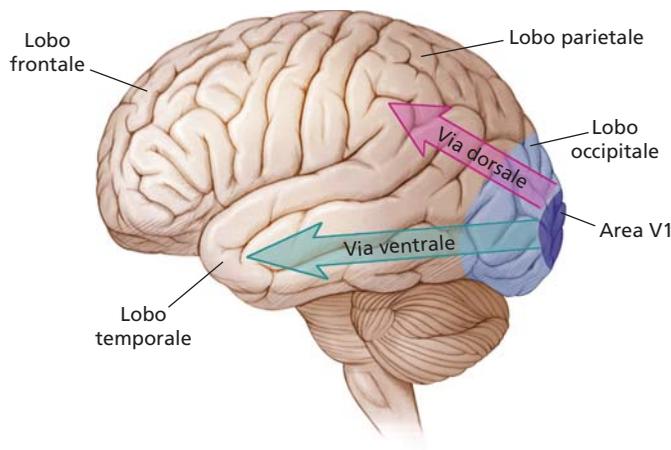


Figura 4.16 Le vie visive. Un sistema visivo forma un percorso che dalle aree visive occipitali si dirige al lobo temporale inferiore. Questa via ventrale ci consente di identificare ciò che vediamo. Una seconda via interconnessa parte dal lobo occipitale e attraversa le regioni superiori del lobo temporale dirigendosi alle regioni parietali. Questa via dorsale ci permette di localizzare gli oggetti, di seguirne i movimenti e di muoverci in relazione ad essi.

- La *via dorsale* si dirige in alto dal lobo occipitale verso il lobo parietale (comprende nel suo percorso anche le regioni intermedie e superiori del lobo temporale) collegandosi alle aree corticali che identificano la posizione e il movimento di un oggetto, in altre parole, dov'è. Poiché la via dorsale consente di percepire le relazioni spaziali, fu chiamata inizialmente dai ricercatori "via del dove" ("via where") (Ungerleider e Mishkin, 1982).
- In anni più recenti, i neuroscienziati hanno sostenuto che, dal momento che la via dorsale è essenziale per guidare i movimenti, come quello di orientarsi verso uno stimolo, cercare di raggiungerlo o seguirlo con gli occhi, la "via del dove" si dovrebbe chiamare più correttamente "via del come" ("via how") (Milner e Goodale, 1995).

Alcune delle prove più schiaccianti dell'esistenza di due vie visive distinte provengono dagli studi sugli errori derivanti da certe lesioni cerebrali. Una paziente indicata come D.F. subì un danno cerebrale permanente in seguito all'esposizione a livelli tossici di monossido di carbonio (Goodale, Milner, Jakobson e Carey, 1991). Una vasta regione della corteccia occipitale laterale era andata distrutta, vale a dire un'area della via ventrale molto attiva nel riconoscimento degli oggetti. La capacità di D.F. di riconoscere gli oggetti con la vista era stata gravemente danneggiata, mentre la sua capacità di riconoscere gli oggetti al tatto era normale. Questo fatto suggerisce che in D.F. fosse danneggiata la *rappresentazione visiva* e non la *memoria* degli oggetti. Analogamente all'incapacità di Betty di riconoscere i volti familiari, il danno cerebrale di D.F. appartiene ad una categoria detta **agnosia della forma**, cioè l'*incapacità di riconoscere gli oggetti mediante la vista* (Goodale e Milner, 1992, 2004).

Stranamente, anche se D.F. non riusciva a riconoscere gli oggetti visivamente, riusciva però a *guidare* le proprie azioni con la vista. Le venne mostrato un pannello che aveva una fessura, come si vede nella Figura 4.17. I ricercatori potevano modificare a piacimento l'orientamento della fessura. In una versione del compito, illustrata nella parte superiore della figura, D.F. doveva indicare l'orientamento dell'apertura tenendo la mano alzata nella stessa angolazione della fessura. D.F. eseguì questo compito con grande difficoltà, muovendo la mano quasi a caso, dimostrando in questo modo di non avere una rappresentazione esatta dell'orientamento spaziale.

In un'altra versione del compito, mostrata nella parte inferiore della Figura 4.17, fu chiesto a D.F. di inserire un cartoncino nell'apertura, come se stesse infilando una lettera nella buca della posta. Questa volta la donna eseguì il compito quasi perfettamente! Il paradosso è che pur essendo molto danneggiata la comprensione consapevole o esplicita di ciò che D.F. vedeva, la sua capacità di utilizzare quella stessa informazione a livello inconscio in modo da guidare i propri movimenti rimaneva intatta. Sottoponendo D.F. alla fMRI, i ricercatori scoprirono che, durante

La percezione della profondità e della grandezza

Probabilmente non avete mai apprezzato i semplici vantaggi dati dal sapere in ogni momento dove vi trovate. Ma se qualche volta vi capita per caso di trovarvi in un ambiente estraneo i vantaggi del sapere cosa c'è intorno a voi diventano immediatamente evidenti. Immaginate di trovarvi in una casa con le pareti fatte di specchi: dov'è l'uscita, a destra o a sinistra, oppure siete girati dalla parte completamente sbagliata? Immaginate di essere in un centro commerciale appena aperto: il negozio di Abercrombie e Fitch era al piano di sopra nell'ala ovest oppure si trattava dell'American Eagle? I vostri amici sono quelli laggiù al bar o si tratta solo di persone che gli assomigliano? È importante sapere cosa c'è intorno a noi. È importante anche sapere dove si trova ciascun oggetto. Il fatto che l'oggetto sia sopra, sotto, a sinistra o a destra di qualcos'altro è per prima cosa codificato nell'immagine retinica.

Gli oggetti dell'ambiente esterno sono organizzati in tre dimensioni, lunghezza, larghezza e profondità, ma le dimensioni nell'immagine retinica sono solo due: lunghezza e larghezza. Come fa il cervello ad elaborare un'immagine retinica piatta, bidimensionale, in modo da farci percepire la profondità di un oggetto e la sua distanza? La risposta risiede in una serie di *indizi di profondità* che cambiano al nostro spostarci nello spazio. Tutti gli indizi di profondità – monoculari, binoculari o basati sul movimento – contribuiscono alla percezione visiva (Howard, 2002).

Indizi monoculari di profondità

Se foste costretti a portare una benda su un occhio per qualche ora al giorno, magari per fare la parte di un pirata in un locale fast food, è facile prevedere che fareste una certa fatica a percepire le cose. Dopotutto ci sarà un buon motivo se abbiamo due occhi! Alcuni aspetti della percezione visiva si basano comunque su **indizi monoculari di profondità**, cioè *elementi di una scena che forniscono informazioni sulla profondità quando sono osservati con un solo occhio*. Tali indizi si basano sul rapporto tra distanza e grandezza. Anche con un occhio chiuso l'immagine retinica di un oggetto su cui si focalizza l'attenzione diventa più piccola man mano che l'oggetto si allontana e più grande man mano che si fa più vicino. Il cervello sfrutta normalmente queste differenze di grandezza nell'immagine retinica, ovvero la *grandezza relativa*, per percepire la distanza.

Ciò funziona particolarmente bene nel caso di un indizio di profondità monoculare detto *grandezza familiare*. Per esempio, la maggior parte degli adulti rientra in una gamma di valori dell'altezza (in genere compresi tra 1,50 metri a 2,10 metri), perciò la semplice grandezza dell'immagine retinica è un indizio di solito affidabile della distanza a cui si trovano. Il nostro sistema visivo corregge automaticamente le differenze di altezza, attribuendole a differenze di distanza. La **Figura 4.21** dimostra quanto



Figura 4.21 **Grandezza familiare e grandezza relativa** Quando osservate immagini di persone, come nella foto a sinistra, o di cose che conoscete bene, l'oggetto che percepite come più piccolo vi appare più lontano. Con una leggera manipolazione dell'immagine, si può vedere nella foto a destra che la differenza relativa di grandezza proiettata sulle vostre retine è molto maggiore di quanto in effetti percepiate. L'immagine dell'uomo con il panciotto blu è della stessa grandezza in entrambe le foto.

sia forte questa correzione del sistema percettivo nel caso delle grandezze familiari.

Gli indizi monoculari sono spesso chiamati *indizi pittorici*, perché sono presenti anche nei dipinti, nelle fotografie e nei video bidimensionali, nei quali la terza dimensione – quella della profondità – in realtà manca del tutto. In aggiunta alla grandezza relativa e alla grandezza familiare esistono molti indizi di profondità monoculari, tra i quali

- *La prospettiva lineare* è una definizione che indica il fenomeno secondo cui le linee parallele sembrano convergere con l'aumentare della distanza (**Figura 4.22a** nella pagina successiva).



Indizi di profondità monoculari Gli elementi di una scena che forniscono informazioni sulla profondità quando sono osservati con un solo occhio.



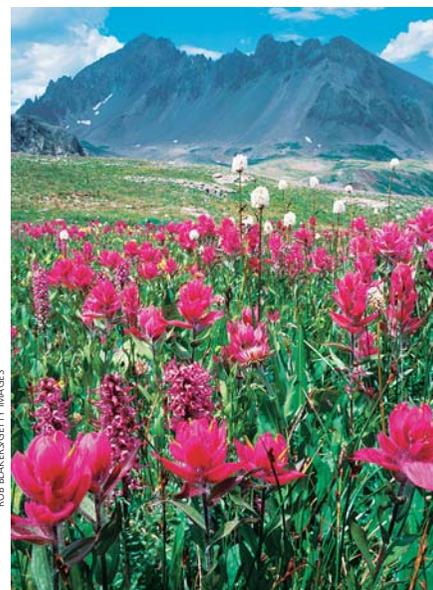
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.22 **Indizi pittorici di profondità** Nelle arti figurative si sfrutta un'ampia gamma di indizi monoculari per ottenere effetti più realistici. Ci si può basare su indizi come (a) la prospettiva lineare, (b) il gradiente di tessitura superficiale, (c) la sovrapposizione e (d) l'altezza relativa nell'immagine, tutti indizi che consentono di inferire la distanza, la profondità e la posizione persino con un occhio bendato.

- *Il gradiente di tessitura* che si ha quando si osserva una superficie con un 'pattern' più o meno uniforme perché la grandezza degli elementi che costituiscono il "pattern", così come la distanza tra di loro, diminuisce man mano che la superficie si allontana dall'osservatore. (**Figura 4.22b**).
- *La sovrapposizione*, che si verifica quando un oggetto blocca in parte la vista di un altro (**Figura 4.22c**). La nostra inferenza è che l'oggetto bloccante sia più vicino dell'oggetto bloccato. Tuttavia, la sovrapposizione in sé non fornisce informazioni su quanto lontani tra loro siano i due oggetti.
- *L'altezza relativa nell'immagine* dipende dal campo di visione (**Figura 4.22d**). Gli oggetti più vicini si trovano più in basso nel campo visivo, mentre gli oggetti lontani sono più in alto.

Indizi binoculari di profondità

Fare la parte del pirata non è un gran bel lavoro, soprattutto perché due occhi sono meglio di uno, specialmente quando si tratta di percepire la profondità. Gli indizi binoculari di profondità esistono perché abbiamo la visione stereoscopica: il fatto che i due occhi siano separati da uno spazio significa che

ciascun occhio registra una visione del mondo leggermente diversa.

Tenete l'indice destro in alto a circa 60 centimetri dalla faccia, chiudete un occhio e guardate il dito. Adesso alternate i due occhi aprendoli e chiudendoli in rapida successione. Sembra che il dito salti avanti e indietro mentre eseguite la prova.

Più vicino è l'oggetto che state guardando maggiore è la **disparità binoculare**, cioè *la differenza nelle immagini retiniche dei due occhi che è fonte di informazioni sulla profondità*. Il cervello calcola la disparità tra le due immagini retiniche in modo da percepire a che distanza sono gli oggetti, come si vede nella **Figura 4.23**. Viste dall'alto, le immagini del quadrato, più distante, e del cerchio, più vicino, cadono in punti differenti di ciascuna retina.

La disparità binoculare come indizio per la percezione della profondità fu studiata per la prima volta nel 1838 da Sir Charles Wheatstone. Wheatstone inventò poi lo stereoscopio, sostanzialmente un supporto che sosteneva un paio di fotografie o di disegni che rappresentavano la stessa scena vista da due posizioni leggermente sfalsate sulla linea orizzontale (a Wheatstone le idee originali non mancavano: inven-

Disparità binoculare La differenza nelle immagini retiniche dei due occhi che è fonte di informazioni sulla profondità.

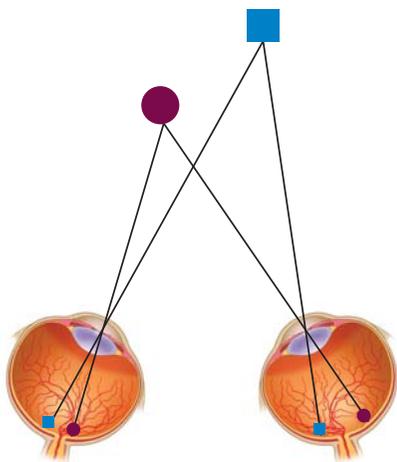


Figura 4.23 Disparità binoculare Vediamo il mondo in tre dimensioni perché i nostri occhi sono tra loro leggermente distanziati e l'immagine di un oggetto cade in una posizione leggermente diversa sulla retina di ciascun occhio. In questa scena con due oggetti, le immagini del quadrato e del cerchio cadono su punti diversi della retina di ciascun occhio. La disparità nelle posizioni delle immagini retiniche del cerchio fornisce un forte indizio della profondità.

tò anche la fisarmonica e un primo tipo di telegrafo, inoltre conio il termine *microfono*). Quando si guardava dentro l'apparecchio, le due immagini – viste ciascuna da un solo occhio – suscitavano un forte senso della profondità. Il giocattolo View Master è il moderno successore dell'invenzione di Wheatstone e i film a tre dimensioni si basano sulla stessa idea.

Indizi di profondità basati sul movimento

Quando viaggiate in auto, autobus o treno, lo scenario cambia in maniera sistematica e continua. Gli oggetti vicini sembrano sfrecciare via velocemente, mentre quelli lontani sembrano scorrere più lentamente o non muoversi affatto. Questo fenomeno è detto **parallasse di movimento**, un indizio della profondità che si basa sul movimento della testa nel tempo. La velocità e la direzione delle immagini sulla retina dipendono da dove si sta guardando e da quanto distano gli oggetti.

La percezione della profondità di cui si fa esperienza con la parallasse di movimento è sostanzialmente la stessa della disparità binoculare. Entrambi i fenomeni implicano il confronto mentale delle im-

magini retiniche derivanti da più punti di vista. Nel caso della disparità binoculare gli occhi registrano simultaneamente le informazioni da punti di vista leggermente distanziati nello spazio. Nella parallasse di movimento, i due punti di vista sono invece leggermente distanziati tra loro nel tempo.

Mentre avanzate attraverso una scena, gli indizi di profondità dovuti al movimento si comportano in maniera leggermente diversa: man mano che gli oggetti si avvicinano, la grandezza della loro immagine nella retina aumenta e i loro contorni si spostano lateralmente, fino ad uscire dalla retina. Il *flusso ottico*, il pattern che accompagna il movimento in avanti dell'osservatore attraverso una scena, è una forma di parallasse di movimento. Ad ogni dato istante, la scena che si ha davanti scorre verso l'esterno a partire dal punto verso cui l'osservatore si sta muovendo. Questa forma della parallasse di movimento, quindi, si rivela utile nella navigazione, mentre camminiamo, guidiamo o facciamo atterrare un aereo.

Se vi è mai capitato di guardare un vecchio episodio di Star Trek, riconoscerete come flusso ottico l'effetto visivo che si ha sullo schermo quando l'astronave parte a velocità 'warp'. Scie di luce stellare si espandono verso l'esterno a partire da un punto centrale. Tornando sulla Terra, potete vedere questo effetto quando guardate fuori dal parabrezza mentre guidate di notte nel bel mezzo di una tempesta di neve. Mentre le luci dei fanali illuminano i fiocchi che vi vengono incontro, i fiocchi al centro sono più lontani (vicini all'orizzonte) e i fiocchi alla periferia vi sono più vicini.

Illusioni di profondità e grandezza

Siamo tutti vulnerabili alle illusioni, che, come vi ricorderete dal Capitolo 1, sono errori di percezione, di memoria o di valutazione in cui l'esperienza soggettiva diverge dalla realtà oggettiva (Wade, 2005). Questi errori mentali ispirarono gli psicologi della Gestalt, i cui contributi continuano ad influenzare la ricerca sulla percezione degli oggetti. Tornate col pensiero all'illusione ottica Mueller-Lyer descritta nel Capitolo 1 (Figura 1.3). Anche se le linee orizzontali in quella figura sono esattamente della stessa lunghezza, la linea superiore sembra più lunga di quella inferiore. Ciò è dovuto al fatto che le due linee orizzontali non vengono percepite isolatamente: la loro percezione è in relazione con, e influenzata da, le vicine linee verticali.

Parallasse di movimento

Un indizio di profondità basato sul movimento della testa nel tempo.

TROPPO UMANO

SO CHE È QUI INTORNO

DA QUALCHE PARTE...

In Australia, nei Territori del Nord, un uomo di 44 anni venne arrestato per guida in stato di ebbrezza dopo aver chiesto ad un ufficiale di polizia la strada per Uluru (Ayers Rock), la vasta formazione rocciosa alta 348 metri che alla luce del sole appare di colore rosso, praticamente impossibile da mancare e che si trovava a meno di un chilometro da lui, in piena luce davanti ai suoi occhi.



CORBISALAMY



KODAK COLLECTIONS/ST/IMAGE WORKS

Il View Master è un giocattolo popolare da molte decine di anni. Si basa sul principio della disparità binoculare: due immagini prese da angolazioni leggermente differenti producono un effetto stereoscopico.

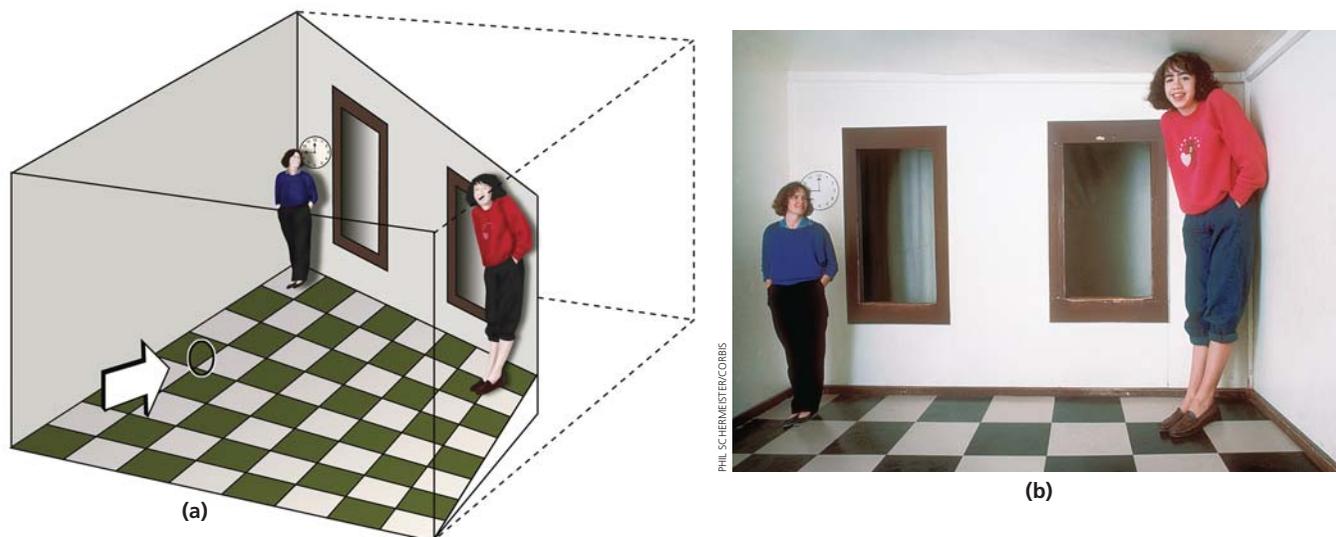


Figura 4.24 La stupefacente stanza di Ames (a) Il diagramma mostra le reali proporzioni della stanza di Ames, svelandone i segreti. La stanza ha una forma trapezoidale, con la parete di fondo non parallela all'osservatore ma obliqua. Inoltre soffitto e pavimento sono inclinati; ciò fa sì che l'altezza della stanza nell'angolo più lontano sia in realtà superiore a quella dell'altro angolo. Aggiungete indizi fuorvianti come finestre e mattonelle del pavimento progettate in modo speciale, quindi posizionate gli occupanti della stanza nei due angoli opposti della parete più lontana, e tutto sarà pronto per trarre in inganno un osservatore ignaro. (b) Guardando dentro la stanza di Ames con un solo occhio attraverso un piccolo foro, l'osservatore ha l'impressione di un rapporto grandezza-distanza apparentemente normale, cioè crede che entrambe le ragazze si trovino alla stessa distanza. La diversa grandezza delle immagini retiniche che le due ragazze proiettano induce chi guarda a concludere, in base all'indizio monoculare della grandezza familiare, che una ragazza è molto piccola e l'altra è molto alta.



La luna all'orizzonte sembra molto più grande di quando è alta nel cielo. Questa illusione è dovuta alla presenza di indizi visivi, vicino alla linea dell'orizzonte.

La relazione tra grandezza e distanza è stata usata per creare sofisticate illusioni ottiche che si ottengono ingannando il sistema visivo sulla distanza a cui si trovano gli oggetti. Tutte queste illusioni dipendono dallo stesso principio: quando si osservano due oggetti che proiettano immagini retiniche della stessa grandezza, l'oggetto che si percepisce come più lontano verrà percepito come più grande.

Una delle illusioni più famose è la cosiddetta *stanza di Ames*, costruita dall'oftalmologo americano Adelbert Ames nel 1946. La stanza è di forma trapezoidale invece che quadrata: solo due lati sono paralleli (Figura 4.24a). Una persona in piedi in un angolo del-

la stanza di Ames si trova, rispetto a chi guarda, a una distanza doppia in confronto a un'altra persona in piedi all'angolo opposto della stanza. Tuttavia, quando si guarda con un occhio solo attraverso un piccolo foro nella parete, la stanza di Ames appare quadrata perché le forme delle finestre e delle mattonelle nel pavimento sono appositamente costruite in modo da sembrare quadrate dal punto di osservazione (Ittelson, 1952).

Il sistema visivo percepisce la parete più lontana come perpendicolare alla linea di osservazione, così che le persone che stanno in piedi agli angoli opposti di quella parete sembrano trovarsi alla stessa distanza da chi guarda, e i giudizi che l'osservatore formula sulla loro altezza si basano direttamente sulla

grandezza dell'immagine retinica. Di conseguenza, la persona in piedi all'angolo destro sembra molto più alta della persona che sta in piedi nell'angolo di sinistra (Figura 4.24b).

L'*illusione della luna* è un altro caso in cui l'errata percezione della distanza influisce sulla percezione della grandezza (Hershenson, 1989). La luna piena appare spesso molto più grande quando si trova vicino all'orizzonte di quando è in alto nel mezzo del cielo. In realtà la luna proietta immagini retiniche di uguale grandezza in entrambe le posizioni. Come si spiega questo affascinante errore mentale? Quando la luna è vicina all'orizzonte, appare più grande perché molti elementi (le colline, gli alberi, gli edifici) si frappongono tra la luna e chi guarda, facendola così apparire più vicina e quindi più grande. Nulla invece si frappone tra l'osservatore e la luna alta nel cielo, che perciò appare più distante e più piccola.

La percezione del movimento

A questo punto dovrete aver le idee chiare su come facciamo a vedere che cosa sono gli oggetti e dove sono, un procedimento reso notevolmente più facile dal fatto che gli oggetti stiano fermi in un dato luogo. La vita vera, però, è piena di elementi in movimento; gli oggetti cambiano posizione nel tempo. Per percepire il movimento, il sistema visivo deve codificare informazioni riguardanti sia lo spazio che il tempo. Il caso più semplice da prendere in considerazione è quello di un osservatore fermo che cerca di percepire un oggetto in movimento.

Quando un oggetto si muove attraverso il campo visivo di un osservatore fermo, stimola dapprima una

NEL VIVO DELLA SCIENZA **Gli impianti cocleari**

Dieci giorni dopo la sua nascita, Natalie fu colpita da una febbre molto alta e persistente. La diagnosi del pediatra fu di meningite, un'infezione delle membrane che rivestono il cervello e il midollo spinale. Natalie trascorse diverse settimane in ospedale, e più di una volta fu sul punto di morire. Infine la febbre se ne andò e Natalie sembrò riprendersi completamente.

Nel corso dei mesi successivi, i genitori di Natalie cominciarono a preoccuparsi sempre di più perché la bambina non reagiva ai suoni. La portarono per un controllo da un pediatra specialista di audiologia e scoprirono che la meningite aveva danneggiato le cellule ciliate della coclea di Natalie in entrambi gli orecchi. Il danno era irreversibile.

In generale, la perdita dell'udito dipende da due cause principali. La *perdita d'udito conduttiva* si verifica perché il timpano o gli ossicini sono danneggiati a un punto tale da non riuscire più a condurre efficacemente le onde sonore alla coclea. Di per sé la coclea, tuttavia, è normale, per cui questa forma di sordità è un "problema meccanico" che coinvolge le parti mobili dell'orecchio: il martello, l'incudine, la staffa o il timpano. In molti casi, le cure mediche o la chirurgia possono correggere il problema. Anche l'amplificazione sonora prodotta da un apparecchio acustico può migliorare l'udito sfruttando i processi di conduzione alla coclea attraverso le ossa che circondano l'orecchio.

La *perdita d'udito sensorineurale* è causata da danni alla coclea, alle cellule ciliate o al nervo



AP PHOTO/GENE J. PUSKAR

Un microfono raccoglie i suoni e li invia ad un piccolo computer che elabora il linguaggio messo sulla cintura di chi lo usa o dietro l'orecchio. I segnali elettrici provenienti dal processore del linguaggio vengono trasmessi ad un ricevitore impiantato che, attraverso elettrodi, invia i segnali alla coclea dove i segnali stimolano direttamente il nervo acustico.

acustico. Era questo il problema di Natalie, raro in un bambino così piccolo ma molto comune fra le persone adulte. La perdita sensorineurale dell'udito aumenta nelle persone regolarmente esposte a rumori molto forti (come i musicisti rock o i meccanici dei jet). Amplificare semplicemente il suono non serve perché le cellule ciliate non riescono più a trasdurre le onde sonore. In questi casi un *impianto cocleare* può essere d'aiuto.

Un impianto cocleare consiste in un apparecchio elettronico che sostituisce la funzione delle cellule ciliate (Waltzman, 2006). Le parti esterne dell'apparecchio comprendono un microfono, un piccolo processore del linguaggio grande come un iPod (portato su una cintura), e un trasmettitore esterno posto dietro l'orecchio. Le parti impiantate comprendono un ricevitore subito all'interno del cranio e un filo sottile contenente elettrodi inseriti nella coclea per stimolare il nervo acustico. Il suono raccolto dal microfono viene trasformato in segnali elettrici dal processore, che in pratica è un piccolo computer. Il segnale viene trasmesso al ricevitore impiantato, che attiva gli elettrodi nella coclea.

Gli impianti cocleari sono ormai un intervento di routine e riescono a migliorare l'udito fino a consentire la comprensione del discorso. Nel 2006, erano già circa 60 000 le persone che in tutto il mondo vivevano con un impianto cocleare. I bambini piccoli, come Natalie, che non hanno ancora imparato a parlare, sono particolarmente vulnerabili perché c'è il rischio che passino il periodo critico per l'apprendimento del linguaggio (Capitolo 7). Se questo periodo si chiude senza che vi sia stato il normale feedback uditivo, è pressoché impossibile che il linguaggio possa svilupparsi normalmente. Attualmente sono in corso tentativi di introdurre impianti cocleari in bambini di 12 mesi o anche più piccoli per massimizzare le loro possibilità di sviluppare un linguaggio normale (DesJardin, Eisenberg e Hodapp, 2006).

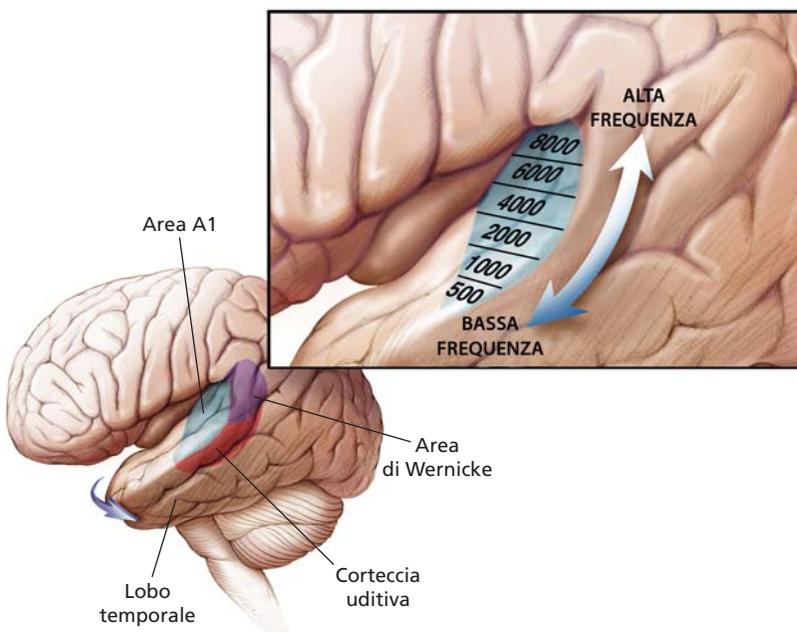


Figura 4.27 La corteccia uditiva primaria L'area A1 è contenuta in profondità nel lobo temporale sotto il solco laterale di ciascun emisfero. Nella maggioranza delle persone le aree uditive dell'emisfero sinistro controllano i suoni del discorso. (Riquadro) La corteccia A1 ha un'organizzazione topografica, con le frequenze più basse che mappano verso la parte frontale del cervello e le frequenze più alte che mappano invece verso la parte posteriore, un'organizzazione che rispecchia quella della membrana basilare lungo la coclea (Figura 4.26).

Percezione tattile L'esplorazione attiva dell'ambiente fatta toccando e afferrando gli oggetti con le mani.

re di un tamburo!) Analogamente alla rappresentazione tricromatica e ai processi antagonisti nell'elaborazione del colore, il codice di posizione e il codice temporale lavorano insieme per coprire tutta la gamma dei toni che le persone riescono a udire. (Per informazioni sulle ricerche su come si può combattere la perdita dell'udito, leggete la scheda *Nel vivo della scienza* nella pagina precedente).

La localizzazione delle fonti sonore

Allo stesso modo in cui la distanza tra i due occhi produce la visione stereoscopica, così la collocazione delle orecchie ai lati opposti della testa ci consente di avere un udito stereofonico. Il suono che arriva all'orecchio che si trova più vicino alla fonte sonora ha un'intensità maggiore del suono che arriva all'orecchio più distante, soprattutto perché la testa di chi ascolta blocca in parte l'energia delle onde sonore. Questa differenza di volume diminuisce man mano che la sorgente sonora si sposta dall'essere esattamente di lato (differenza massima) al trovarsi esattamente di fronte (nessuna differenza).

Un altro indizio per la localizzazione di un suono è dato dal tempo di ricezione: le onde sonore arrivano un po' prima all'orecchio più vicino che a quello più lontano. La differenza dei tempi può essere piccolissima, pochi microsecondi, ma insieme alla differenza d'intensità, è sufficiente a consentirci di individuare la sorgente di un suono. Quando la sorgente sonora è incerta, può capitarvi di girare la testa da una parte all'altra per localizzarla. Così facendo, cambiate l'intensità relativa e il tempo che le onde impiegano per raggiungere i vostri orecchi, quindi raccogliete migliori informazioni sulla probabile fonte del suono.

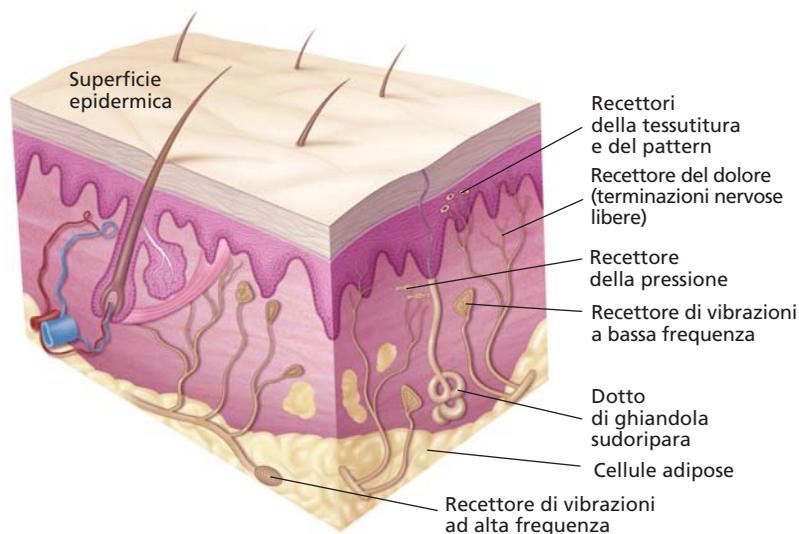


Figura 4.28 I recettori tattili Neuron sensoriali specializzati formano gruppi distinti di recettori tattili specializzati nel rilevare la pressione, la temperatura e le vibrazioni degli oggetti a contatto con la pelle. I recettori del tatto rispondono agli stimoli che ricadono entro i rispettivi campi recettivi e i loro lunghi assoni arrivano al cervello attraverso i nervi spinali o i nervi cranici. I recettori del dolore sono disseminati in tutti i tessuti corporei che sentono il dolore: sono distribuiti nelle ossa e nei muscoli, negli organi interni come sotto la superficie della pelle. Entrambi i tipi di recettori del dolore, le fibre che trasmettono velocemente le sensazioni di dolore acuto e diretto e quelle che segnalano il dolore lento e sordo che non cessa mai, sono terminazioni nervose libere.

In sintesi la percezione del suono dipende da tre dimensioni fisiche dell'onda sonora: la frequenza, che determina il tono; l'ampiezza, che determina l'intensità del suono (o volume) e le differenze di complessità delle frequenze, che determinano la qualità del suono o timbro. La percezione uditiva comincia nell'orecchio, formato da un orecchio esterno, che fa confluire le onde sonore verso l'orecchio medio, il quale a sua volta invia le vibrazioni all'orecchio interno, che contiene la coclea. I potenziali d'azione provenienti dall'orecchio interno si trasmettono lungo una via acustica che arriva al talamo e da qui va alla corteccia uditiva primaria controlaterale, l'area A1, posta nel lobo temporale. La percezione uditiva dipende sia dal codice di posizione sia dal codice temporale, che insieme coprono tutta la gamma dei toni percepiti dalle persone. La nostra capacità di localizzare le fonti sonore dipende in modo cruciale dal fatto che gli orecchi si trovano ai lati opposti della testa.

I sensi somatici: non solo epidermide

La visione e l'udito forniscono informazioni sul mondo da lontano. Rispondendo alle energie della luce e del suono presenti nell'ambiente, questi sensi della "distanza" ci consentono di identificare e localizzare gli oggetti e le persone intorno a noi. In confronto, i sensi corporei, detti anche *somatici* (dalla parola greca *soma* che significa "corpo"), sono del tutto intimi e personali. **La percezione tattile scaturisce dalla esplorazione attiva dell'ambiente fatta toccando e afferrando gli oggetti con le mani.** Utilizziamo i recettori sensoriali dei muscoli, dei tendini e delle giunture insieme ad una gran varietà di recettori presenti nella pelle per conoscere il mondo circostante (**Figura 4.28**).

Il tatto

Quattro diversi tipi di recettori collocati sotto la superficie della pelle ci consentono di sentire la pressione, la tessitura, il pattern o la vibrazione di un oggetto contro la pelle (**Figura 4.28**). I campi recettivi di queste cellule specializzate funzionano all'unisono per fornire una ricca esperienza tattile (dal latino "toccare") quando si esplora un oggetto con le mani o si cerca di afferrarlo. Inoltre, i *termorecettori*, fibre nervose che sentono il freddo e il caldo, rispondono al cambiamento della temperatura corporea. Tutte queste sensazioni, naturalmente, si mescolano insieme senza distinzione nella percezione, ma accurati studi di fisiologia hanno permesso di isolare le varie componenti del sistema tattile (Johnson, 2002).

Il tatto comincia con la trasduzione in segnali neurali delle sensazioni della pelle. Come le cellule presenti nella retina di ciascun occhio, i recettori del tatto hanno campi recettivi provvisti di zone di eccitazione circondate da zone inibitorie a forma di ciambella, la cui stimolazione relativa provoca un cambiamento nella risposta della cellula. La rappresentazione del tatto nel cervello segue uno schema

NEL MONDO REALE Gli ipersensibili ai sapori

Tutti conosciamo bambini schizzinosi nel mangiare che non amano le verdure e le lasciano nel piatto. Anche qualche adulto per tutta la vita deliberatamente evita le verdure come i cavoletti di Bruxelles, la verza e i broccoli. Se vi piacciono queste verdure, simili preferenze vi possono sembrare un po' irrazionali.

Ma cosa accade nei casi in cui le persone esperiscono il sapore dei broccoli in modo diverso, non come nella bugia che raccontavano i genitori "Ha lo stesso sapore del gelato!", ma in maniera qualitativamente differente dagli altri? Circa il 50% delle persone dice di avvertire un gusto leggermente amaro nella caffeina, nella saccarina, in certe verdure verdi e in altre sostanze, mentre circa il 25% non avverte alcun sapore amaro. Gli appartenenti al primo gruppo vengono definiti *sensibili al sapore* (o *taster*) e quelli che appartengono al secondo gruppo sono chiamati *insensibili al sapore* (o *non taster*). Il rimanente 25% delle persone è composta dagli *ipersensibili al sapore* (o *supertaster*), che definiscono le sostanze nominate sopra, in modo particolare le verdure verde scuro, talmente amare da essere immangiabili.

C'è una spiegazione evolutiva dietro questo comportamento. L'avversione nei confronti dell'amaro è presente sin dalla nascita; non c'è da meravigliarsene, dato che le sostanze dal sapore amaro sono spesso velenose. Tuttavia, molti cibi che hanno un gusto amaro, incluse le verdure di colore verde scuro, sono benefiche per la salute e ci proteggono dalle malattie. Ironia delle cose, proprio il meccanismo evolutivo



ERIC O'CONNOR/GETTY

È schizzinoso oppure ha soltanto troppi calici gustativi? La percezione del gusto diminuisce con l'età: all'età di vent'anni circa abbiamo già perso metà dei recettori del gusto. Ciò può rendere l'infanzia un periodo di delizie o di sovraccarico di sapori.

che può impedirvi di avvelenarvi vi impedisce anche di mangiare alcuni tra i cibi più sani a disposizione.

Ci sono anche differenze individuali sostanziali nelle preferenze per i sapori. Per esempio, non tutti possiedono i recettori per l'amaro, un tratto dovuto alla loro costituzione genetica (Bartoshuk, Duffy e Miller, 1994). Per portare un altro esempio le persone provenienti da Asia, Africa e Sudamerica hanno maggiori probabilità di essere ipersensibili ai sapori. Le sensibilità delle donne al gusto amaro tende a intensificarsi durante la gravidanza ma a dimi-

nuire dopo la menopausa. I bambini sono inizialmente sensibili o ipersensibili ai sapori, cosa che potrebbe spiegare la loro iniziale tendenza a mostrarsi schizzinosi nella scelta dei cibi. Tuttavia, alcuni bambini, crescendo, diventano insensibili ai sapori.

Inoltre gli ipersensibili sperimentano anche altri sapori in maniera diversa da chi è insensibile. Per esempio, gli ipersensibili avvertono di più il "bruciore" del peperoncino e una maggiore cremosità dei grassi e degli addensanti presenti nel cibo rispetto alle altre persone. Il dolore alla bocca è per loro più intenso che per i non taster (Bartoshuk, 2000). Dato che gli ipersensibili tendono ad evitare frutta e verdura con sapori da loro percepiti come estremamente amari, essi possono essere esposti ad un maggior rischio rispetto a malattie come il cancro al colon. D'altro canto, dal momento che tendono anche ad evitare i cibi grassi e cremosi, sono solitamente più magri e possono vedere ridotto il rischio di malattie cardiovascolari (Bartoshuk, 2000).

La differenza tra le esperienze di chi è insensibile e chi è ipersensibile ai sapori può essere paragonata alla differenza tra le esperienze del colore fatte da chi ha una visione cromatica normale e chi soffre di un deficit genetico per cui manca di almeno uno dei tre tipi di coni. In ciascun caso, le esperienze percettive di questi soggetti possono a tal punto differire da quelle della maggioranza da risultare per gli altri difficilmente comprensibili. In effetti un supertaster con deficit della visione cromatica probabilmente ha imparato ad evitare i broccoli grigi.

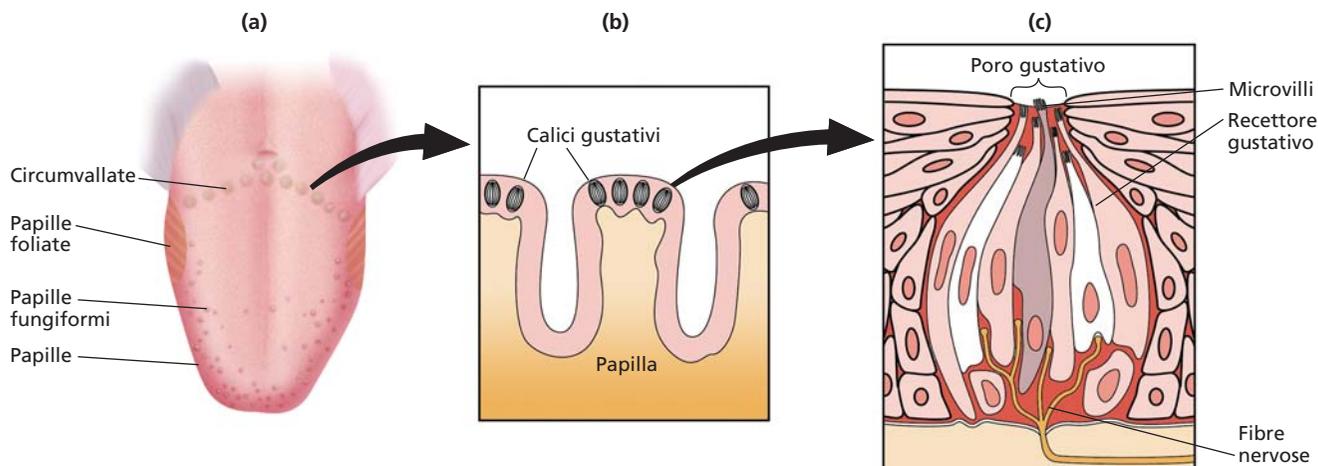
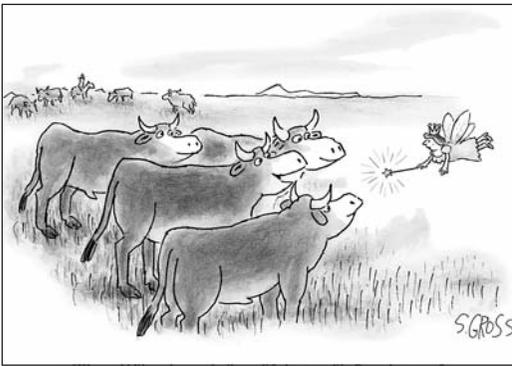


Figura 4.31 Struttura di un calice gustativo (a) I calici gustativi sono presenti nelle papille della lingua, qui mostrata, e anche nella parte posteriore, sui lati e sul palato della bocca. (b) Ciascun calice gustativo contiene un certo numero di recettori che rispondono ai componenti chimici del cibo, detti molecole gustative o *tastant*. Le molecole gustative si sciolgono nella saliva e stimolano i microvilli che formano le estremità dei recettori del gusto. (c) Ogni calice gustativo prende contatto con la ramificazione di un nervo cranico posta alla sua base.



“Vorremmo essere geneticamente modificate in modo da avere il sapore dei cavoletti di Bruxelles”.

sce con l'età: in media, quando arrivano ai vent'anni le persone hanno già perso la metà dei loro recettori del gusto. Questo può servire a spiegare perché i bambini piccoli appaiono “schizzinosi nel mangiare”: il maggior numero di recettori gustativi di cui dispongono comporta una gamma più ampia di sensazioni gustative. (Per conoscere un esempio di sensibilità gustativa estrema, leggete la scheda *Nel mondo reale* nella pagina precedente).

L'occhio umano contiene milioni di bastoncelli e di coni, il naso umano contiene qualcosa come 350 tipi differenti di recettori olfattivi, ma il sistema del gusto contiene appena cinque tipi principali di recettori gustativi, che corrispondono alle cinque sensazioni gustative primarie: il salato, l'acido, l'amaro, il dolce e l'umami (saporito). I primi quattro tipi ci sono abbastanza familiari, mentre l'*umami* forse non lo è. In effetti, la sua esistenza e ancora oggetto di discussione tra gli studiosi. Il recettore dell'umami venne scoperto da scienziati giapponesi che lo attribuirono ai sapori dei cibi contenenti un'alta concentrazione di proteine, come carni e formaggi (Yamaguchi, 1998). Se siete dei mangiatori di carne e vi viene l'acquolina in bocca a pensare a una bistecca succulenta o a un cheeseburger bello grasso, vi siete fatti un'idea della sensazione di umami.

Ogni calice gustativo contiene vari tipi di recettori, che portano alla estremità apicale prolungamenti detti *microvilli*, i quali reagiscono con le *molecole gustative (tastants)* presenti nei cibi. I recettori del gusto salato vengono attivati soprattutto dal cloruro di sodio, il sale da tavola. I recettori del gusto acido rispondono agli acidi, come l'aceto o il succo di limone. I recettori dell'amaro e del dolce sono più complessi. Un numero variabile tra i 50 e gli 80 siti di legame distinti nei recettori dell'amaro vengono attivati da un identico numero di differenti sostanze chimiche dal sapore amaro. Analogamente i recettori del dolce possono essere attivati da un'ampia gamma di sostanze oltre agli zuccheri.

Anche se i recettori dell'umami sono conosciuti meno bene degli altri, i ricercatori stanno individuando le loro caratteristiche principali (Chandra-

shekar, Hoon, Ryba e Zuker, 2006). Queste cellule rispondono con particolare forza al glutammato, un amminoacido presente in molti cibi che contengono proteine. Nel Capitolo 3, come ricorderete, si diceva che il glutammato funge da neurotrasmettitore; effettivamente è un importantissimo neurotrasmettitore eccitatorio. L'additivo alimentare *glutammato monosodico (MSG)*, spesso utilizzato nella cucina asiatica per insaporire i cibi, attiva in modo particolare i recettori dell'umami. Alcune persone accusano mal di testa o hanno reazioni allergiche dopo aver mangiato piatti con dosi elevate di MSG.

Naturalmente la gamma delle esperienze gustative supera di gran lunga i cinque tipi fondamentali di recettori di cui abbiamo discusso qui. Qualunque molecola di cibo disciolta nella saliva evoca pattern specifici di combinazioni dell'attività neurale nei cinque tipi di recettori gustativi. Anche se si pensa spesso al gusto come alla fonte primaria del sapore, il realtà il gusto e l'odorato collaborano nel produrre questa complessa percezione.

Come potrà confermare qualunque intenditore di vini, non si può godere pienamente l'esperienza dell'aroma di un vino senza avere un senso dell'odorato finemente educato. Gli odoranti presenti all'esterno della bocca entrano nella cavità nasale attraverso le narici, odoranti che si trovano nella bocca entrano dalla parte posteriore dentro la gola. Ecco perché agli aficionados (appassionati) del vino viene insegnato a far entrare aria sul vino tenuto in bocca: ciò consente alle molecole odoranti del vino di entrare nella cavità nasale attraverso questa “porta posteriore”.

Si può facilmente dimostrare il contributo apportato dall'odorato al sapore assaggiando alcuni cibi tenendo il naso chiuso, e impedendo così al sistema olfattivo di individuarne gli odori. Se avete un brutto raffreddore, probabilmente sapete già come finisce: il vostro amato burrito piccante o la pasta al sugo da voi preferita probabilmente hanno un gusto che più scipito non si può.

In sintesi la nostra esperienza dell'odorato, o olfatto, è associata a molecole odoranti che si legano a speciali siti sui recettori olfattivi, che convergono nei glomeruli situati nel bulbo olfattivo. A sua volta il bulbo olfattivo invia segnali alle parti del cervello che controllano le pulsioni primarie, le emozioni e i ricordi, ed ecco perché gli odori possono avere su di noi un effetto immediato e potente. L'odorato è coinvolto anche nel comportamento sociale, come ci rivelano i feromoni, che in molte specie sono collegati al comportamento riproduttivo e alle risposte sessuali. Le sensazioni del gusto dipendono dai calici gustativi, distribuiti nella lingua, il palato e la parte superiore della gola e dai recettori del gusto che corrispondono ai cinque gusti primari: salato, acido, amaro, dolce e umami.

TROPPO UMANO

MI PIACE IL SAPORE DELL'ASFALTO DI MATTINA

Nell'aprile del 2006, Jim Werych del club Wednesday Night Classic Car (club dell'“Auto d'epoca del mercoledì sera”) di Bookfield, nel Wisconsin, eseguendo una specie di rituale tirò fuori la lingua e leccò per bene Lisbon Road (chiusa al traffico bloccato in entrambe le direzioni) per verificare, e proclamare, che le strade non recavano traccia del sale invernale e perciò erano sicure per le delicate auto d'epoca del club.



Insieme, il gusto e l'olfatto producono la nostra percezione dell'aroma. Ecco perché annusare il “bouquet” di un vino è una parte essenziale del rituale della degustazione dei vini. Senza l'odorato sarebbe difficile gustare le sottili differenze tra vini diversi.

Qual è la tua posizione

Percezione e persuasione

Negli anni Cinquanta del secolo scorso i proprietari di sale cinematografiche sperimentarono una nuova e controversa tecnica di marketing: la pubblicità subliminale. Proiettavano film in cui le case di produzione avevano inserito durante il montaggio singole inquadrature che contenevano fotografie di pop corn, bibite o frasi scritte del tipo *Ho sete*. Alla normale velocità di proiezione, queste immagini erano troppo brevi perché gli spettatori le percepissero a livello cosciente, ma i proprietari delle sale speravano che la proiezione di quei messaggi sarebbe stata registrata inconsciamente dagli spettatori, e che durante gli intervalli sarebbe aumentata la vendita di bibite e quant'altro. Ma le prove scientifiche di questo tipo di persuasione subliminale sono state quanto meno contraddittorie.

Oggi giorno chi lancia un prodotto sul mercato ricorre ad una forma di pubblicità più sottile nota come *pubblicità sensoriale* (Lindstrom, 2005). L'idea è sfruttare tutti i sensi per promuovere un prodotto o una certa marca. Siamo abituati a vedere pubblicità che, per vendere prodotti, impiegano immagini eccitanti, provocanti o erotiche. Nelle pubblicità televisive queste immagini sono accompagnate da brani di musica molto popolari che, nelle speranze dei pubblicitari, dovrebbero favorire l'accoglienza del prodotto. Il concetto è che la vista e il suono di cose invitanti verranno associati a ciò che altrimenti potrebbe essere un prodotto che passa inosservato.

Tuttavia la pubblicità sensoriale va oltre la vista e l'udito associando a questi sensi l'odore, il gusto e il tatto. Probabilmente conosce-

te tutti il peculiare odore di una scatola appena aperta di plastilina o di pastelli a cera Crayola. I loro odori sono inconfondibili, ma probabilmente è qualcosa di completamente involontario: la plastilina fu venduta per la prima volta nel 1956 e i pastelli Crayola fecero la loro apparizione nel 1903, entrambi molto tempo prima che si pensasse al marketing come a una esperienza sensoriale totale.

La pubblicità sensoriale è un approccio al marketing molto più intenzionale. Che ne dite di quell'odore di auto nuova che pregustate nel provare una nuova auto? In realtà, si tratta di una fragranza confezionata apposta e spruzzata nell'auto, attentamente studiata per evocare sensazioni positive nei potenziali compratori. Bang e Olufsen, un produttore danese di impianti stereo ad alta definizione, ha progettato i telecomandi in modo da far percepire alla mano di chi li usa una "sensazione" caratteristica. La Singapore Airlines, che viene costantemente definita "la migliore compagnia aerea del mondo" ha brevettato l'odore delle proprie cabine aeree (si chiama Stefan Floridian Waters).

Un'altra forma di pubblicità che è cresciuta enormemente in anni recenti è il cosiddetto *product placement*, «piazzamento del prodotto». Le compagnie pagano per far sì che i loro prodotti compaiano molto spesso nei film e nelle produzioni televisive. Vi accorgete di quando in un film un attore famoso beve una lattina di una nota bevanda o guida un modello particolare di auto in una scena d'inseguimento? Anche se gli spettatori possono non fare affatto caso al prodotto, chi crea la pubbli-

cità ritiene che il *product placement* porti alla fine dei benefici.

La tecnologia video è progredita al punto che i prodotti possono essere inseriti nei film a riprese già ultimate. La Princeton Video, che fa uso del sistema L-VIS (live-video insertion = inserimento di video dal vivo), ha inserito una scatola di biscotti Snackwell sul bancone di cucina di un episodio della serie *Bewitched (Vita da strega)*, una sit com degli anni Sessanta, girata molto prima che esistesse il marchio Snackwell (Wenner, 2004)! Attualmente c'è un'ondata d'interesse nello sviluppo di pubblicità destinate ai giochi online con molti giocatori, arrivando fino al punto di creare pubblicità "su misura", che possono essere adattate alle preferenze e alle precedenti abitudini di acquisto dei singoli utenti.

C'è qualcosa di male nel marketing che ti bombarda i sensi o che si insinua in modo occulto nella vostra percezione? La pubblicità è un affare, e come qualunque affare è alimentata dall'innovazione ai fini del profitto. Forse queste ultime tendenze sono semplicemente un abile, ulteriore passo avanti verso l'indurre i potenziali compratori a prestare attenzione al messaggio pubblicitario. D'altra parte, esiste un limite oltre il quale "quando è troppo è troppo"? Volete vivere in un mondo in cui ogni singolo evento sensoriale è collegato a un marchio di fabbrica, brevettato o commercializzato prima di raggiungere il vostro sistema percettivo? La frase "Il tramonto di oggi vi è stato regalato dai produttori di..." vi mette in allarme? Qual è la vostra posizione?

Sommario del Capitolo

La porta d'accesso alla psicologia

- Sensazione e percezione sono due eventi separati che, dal punto di vista di chi percepisce, appaiono come un unico processo. La sensazione è la semplice coscienza della stimolazione di un organo di senso, mentre la percezione è un'attività cerebrale che organizza, identifica e interpreta una sensazione allo scopo di formare una rappresentazione mentale.
- La trasduzione è il processo che converte una forma di energia fisica presente nell'ambiente in segnali neurali inviati al sistema nervoso centrale. Tutti i sensi si basano sulla trasduzione, anche se varia il tipo di energia che viene percepito (per esempio, le onde luminose per la vista, le onde sonore per l'udito).

- La psicofisica, un ambito di studi sviluppatosi durante la metà e la fine del XIX secolo, cercava di comprendere il legame tra le proprietà di uno stimolo fisico e la risposta psicologica delle persone.
- I ricercatori nel campo della psicofisica svilupparono i concetti di soglia assoluta, ovvero l'intensità minima necessaria alla semplice rilevazione di uno stimolo, e soglia differenziale, cioè il più piccolo cambiamento di uno stimolo che risulta percepibile. La soglia differenziale è anche indicata come differenza appena individuabile (JND). La teoria della rilevazione del segnale rappresenta un perfezionamento di questi approcci di base e tiene conto di successi, insuccessi, falsi allarmi e rifiuti corretti nella percezione di uno stimolo.
- L'adattamento sensoriale avviene quando la sensibilità ad una stimolazione prolungata tende a de-

clinare col tempo perché l'organismo si adatta alle condizioni in cui si trova. Questo processo di adattamento è più sensibile ai cambiamenti nei livelli di stimolazione che ai livelli costanti.

La visione: più di quello che colpisce l'occhio

- La visione comporta la trasduzione delle onde luminose ad opera dei fotorecettori nell'occhio. Le onde luminose sono caratterizzate da tre proprietà fisiche – lunghezza, ampiezza e purezza – percepite rispettivamente come colore, luminosità e saturazione.
- La luce entra nell'occhio attraverso la cornea e la pupilla, e arriva fino alla retina, il tessuto che si trova sul fondo di ciascun bulbo oculare. La retina è composta da tre strati di cellule: i fotorecettori, le cellule bipolari e le cellule gangliari retiniche (RGC). I fotorecettori hanno la forma di bastoncelli o di coni; i bastoncelli sono specializzati nella visione con luce fioca, mentre i coni sono specializzati nella visione a colori.
- Il nervo ottico è composto da fasci degli assoni delle cellule gangliari della retina; lascia l'occhio attraverso il punto cieco posto sul fondo del bulbo oculare. Le cellule gangliari della retina hanno un campo recettivo che risponde alla luce incidente; alcune risposte sono eccitatorie, altre inibitorie.
- I coni specializzati nella percezione delle lunghezze d'onda rosse, verdi o blu avviano il processo della visione cromatica. Le combinazioni dei diversi pattern di attivazione di questi coni producono lo spettro di colori che vediamo. I coni funzionano anche nelle combinazioni antagoniste rosso-verde o blu-giallo che contribuiscono alla visione cromatica. Sia la mescolanza additiva di colori che quella sottrattiva determinano il modo in cui si producono tutte le sfumature di colore.
- Il nervo ottico attraversa varie parti del cervello per terminare nell'area V1, la corteccia visiva primaria, situata nel lobo occipitale. Qui neuroni specializzati rispondono a barre e margini in orientamenti diversi. La via ventrale lascia la corteccia occipitale e costituisce la via visiva del "che cosa" che arriva ad altre aree del cervello. La via dorsale rappresenta la via del "dove" e del "come".
- Sia la teoria modulare che la teoria della rappresentazione distribuita offrono spiegazioni di come percepiamo e riconosciamo gli oggetti esterni. Gli esseri umani mostrano una notevole costanza percettiva: anche se gli aspetti dei segnali sensoriali cambiano, la percezione rimane costante. Siamo talvolta indotti a pensare erroneamente che gli oggetti distanti siano minuscoli, che la luna sia più grande quando è bassa sull'orizzonte o che un amico che si sia fatto crescere i baffi sia una persona diversa.
- Gli psicologi della Gestalt individuano i principi percettivi fondamentali molto tempo fa: semplicità, chiusura, continuità e vicinanza. Gli psicologi della Gestalt osservarono inoltre che tendiamo a percepire le figure in termini di contrasto contro un qualche tipo di sfondo. Molte illusioni ottiche

traggono origine dalle ambiguità percettive collegate a questi principi.

- Sia la teoria del riconoscimento di oggetti basata sul confronto con un template, sia quella basata sul riconoscimento di parti elementari hanno punti di forza e punti di debolezza. Nessuna delle due spiegazioni coglie pienamente il modo in cui gli esseri umani percepiscono correttamente ed efficacemente gli oggetti nel loro ambiente.
- Gli indizi monoculari, binoculari e quelli basati sul movimento ci consentono di percepire la grandezza e la profondità, anche se talvolta siamo soggetti a illusioni ottiche. Gli esseri umani sono piuttosto capaci nella percezione del movimento attraverso una serie di meccanismi.

L'udito: più di quello che colpisce l'orecchio

- L'udito comporta la trasduzione delle onde sonore ad opera dei recettori nell'orecchio. Le onde sonore sono caratterizzate da tre proprietà fisiche: frequenza, ampiezza e complessità, le quali sono percepite rispettivamente come tono, volume e timbro del suono.
- Ci sono tre parti nell'orecchio umano: l'orecchio esterno, l'orecchio medio e l'orecchio interno. L'orecchio esterno convoglia le onde sonore verso l'orecchio medio, dove una catena di minuscole ossa (dette ossicini) trasmette meccanicamente e intensifica le vibrazioni dal timpano all'orecchio interno.
- L'orecchio interno contiene la coclea che è divisa su tutta la sua lunghezza dalla membrana basilare. La vibrazione della membrana basilare stimola migliaia di minuscole cellule ciliate, che sono dei recettori acustici incorporati nella membrana basilare. Queste cellule ciliate rilasciano neurotrasmettitori, i quali danno inizio ad un segnale neurale nel nervo acustico.
- Nella trasduzione delle frequenze sonore sono coinvolti sia un codice di posizione che un codice temporale. Il primo codifica i suoni ad alta frequenza, mentre il codice temporale codifica i suoni a bassa frequenza. I segnali uditivi sono inviati all'area A1, la corteccia uditiva primaria nel lobo temporale.
- La posizione degli orecchi ai due lati della testa ci permette di localizzare i suoni nell'ambiente.

I sensi somatici: non solo epidermide

- La percezione tattile implica l'esplorazione attiva dell'ambiente toccando e afferrando gli oggetti con le mani. Quattro tipi di recettori specializzati sono situati sotto la superficie della pelle con le funzioni di trasdurre la pressione, la tessitura, il pattern o la vibrazione. Ci sono inoltre recettori specializzati per percepire la temperatura e il dolore.
- L'area corticale per la sensazione somatosensoriale riproduce nella sua organizzazione un *homunculus*; alle parti del corpo più sensibili corrispondono aree più estese nella corteccia somatosensoriale. Per esempio, le punte delle dita hanno una rappresentazione maggiore dei polpacci.

- Il dolore è un importante senso somatico; senza di esso potremmo soccombere in breve tempo in conseguenza di ferite di cui non ci siamo neppure accorti. Le fibre A-delta e le fibre C sono due diverse vie con cui i segnali del dolore raggiungono il cervello.
- La teoria del gate-control prevede sia processi bottom up sia processi top down che controllano i segnali del dolore nel corpo. Ciò serve a spiegare le differenze individuali nell'esperire il dolore.
- La posizione e i movimenti del corpo sono regolati da recettori collocati nei muscoli, nelle giunture e nei tendini. L'equilibrio è controllato dai canali semicircolari nell'orecchio interno e, in certa misura, anche dagli indizi visivi.
- L'epitelio olfattivo, situato nella parte superiore della cavità nasale, contiene circa 10 milioni di recettori dell'olfatto (ORN). Ciascun neurone olfattivo ha siti di legame che, con le molecole di odoranti, funzionano come un lucchetto e una chiave. Gruppi di ORN inviano i loro assoni ad un glomerulo situato nel bulbo olfattivo.
- I feromoni sono odoranti chimici che influenzano il comportamento e la fisiologia. Evidenze contrastanti indicano che i feromoni influenzano alcuni aspetti del comportamento sessuale umano.
- La lingua è coperta di papille, che contengono i calici gustativi, ovvero gli organi di trasduzione del gusto. Ogni calice gustativo contiene recettori che rispondono alle sensazioni di salato, dolce, amaro, acido o umami. L'umami si riferisce alla sapidità dei cibi. Sia il gusto che l'odorato contribuiscono alla percezione del sapore. Gli odoranti presenti nei cibi penetrano nella cavità nasale sia attraverso le narici che attraverso la parte posteriore della bocca. Tapparsi il naso mentre si mangia può impedire di sentire il sapore dei cibi anche più gustosi oppure rendere accettabili cibi dal sapore disgustoso.

I sensi chimici: l'aggiunta del sapore

- L'odorato e il gusto sono entrambi sensi chimici; l'odorato è la sensazione provocata dalle molecole che entrano nella cavità nasale, e il gusto è la sensazione prodotta dalle molecole nella saliva. Odorato e gusto si combinano per produrre l'esperienza del sapore.

Parole chiave

sinestesia (p. 108)
 sensazione (p. 108)
 percezione (p. 108)
 trasduzione (p. 109)
 psicofisica (p. 110)
 soglia assoluta (p. 110)
 differenza appena individuabile (JND) (p. 111)
 legge di Weber (p. 111)
 teoria della rilevazione del segnale (p. 112)
 adattamento sensoriale (p. 113)
 acuità visiva (p. 115)
 retina (p. 116)
 accomodazione (p. 116)
 coni (p. 117)
 bastoncelli (p. 117)

fovea (p. 117)
 punto cieco (p. 118)
 campo recettivo (p. 119)
 rappresentazione tricromatica del colore (p. 122)
 sistema dell'opponenza cromatica (p. 122)
 area V1 (p. 123)
 agnosia della forma (p. 124)
 costanza percettiva (p. 126)
 template (p. 128)
 indizi monoculari di profondità (p. 129)
 disparità binoculare (p. 130)
 parallasse di movimento (p. 131)
 movimento apparente (p. 133)
 tono (p. 134)

volume (p. 134)
 timbro (p. 134)
 coclea (p. 135)
 membrana basilare (p. 135)
 cellule ciliate (p. 135)
 area A1 (p. 136)
 codice di posizione (p. 136)
 codice temporale (p. 136)
 percezione tattile (p. 138)
 dolore riferito (p. 139)
 teoria del gate-control (p. 140)
 sistema vestibolare (p. 140)
 recettori dell'olfatto (ORN) (p. 141)
 bulbo olfattivo (p. 141)
 feromoni (p. 142)
 calici gustativi (p. 143)

Letture raccomandate

Cytowic, R. *The man who tasted shapes*, Cambridge: MIT Press, 2003. Richard Cytowic, neurologo, ci offre in questo libro brillanti intuizioni sulla sinestesia. Le opinioni di Cytowic sul come e il perché il cervello si è sviluppato in quel modo e le implicazioni di questo processo evolutivo sulla mente, sul comportamento e sull'interazione sociale sono inframmezzate da resoconti in prima persona di esperienze sinestesiche.

Enns, J. T. *The thinking eye, the seeing brain*, New York: Norton, 2004. James Enns ci guida in un viaggio attraverso il sistema visivo, mettendo in particolare rilievo sia le sensazioni nell'occhio che la percezione nel cervello.

Questo libro è un ottimo trattato di tutti i punti chiave presentati in questo capitolo e un buon punto di partenza per affrontare anche altri argomenti di scienza della visione.

Goodale, M. e Milner, D. *Sight unseen*, Oxford University Press, 2004. In questo libro affascinante, Melvyn Goodale e David Milner esplorano la visione conscia e inconscia. Le loro argomentazioni scaturite dagli studi sui danni cerebrali e dalle neuroscienze portano a supporre che esistano sistemi duali di percezione visiva.

Illusioni

http://www.philomel.com/phantom_words/description.html

<http://www.faculty.ucr.edu/~rosenblu/VSMcG-urk.html>

http://www.psychologie.tu_dresden.de/il/kaw/diverses%20

Material/www.illusionworks.com/html/hall_of_illusions.html

Le illusioni ottiche ingannano l'occhio e il cervello, e sono certamente divertenti da dimostrare e interessanti nel loro funzionamento. Tuttavia, ci sono altri tipi di illusioni sensoriali e percettive che potete trovare interessanti. Visitate alcuni di questi siti web per vedere le dimostrazioni e ottenere ulteriori informazioni.