

Luce e visione, un binomio (quasi) perfetto

In questo articolo viene presentato in modo elementare lo straordinario meccanismo della visione umana, insieme ad alcuni processi percettivi ancora in parte sconosciuti nei loro più intimi dettagli, come il riconoscimento di forme e colori. La nostra prodigiosa capacità di riconoscere le distanze tra gli oggetti e di interpretare tratti e lineamenti può essere ingannata da alcuni disegni e situazioni particolari, le cosiddette illusioni ottiche, che tuttavia possono fornire informazioni utili a medici e studiosi per la comprensione del complesso funzionamento del nostro sistema occhio-cervello, e in definitiva ad apprezzare la notevole differenza tra visione e percezione, i cui significati non devono essere sovrapposti o confusi tra loro. La trattazione è volutamente elementare e introduttiva, ma viene fornita una bibliografia adatta ad un primo approfondimento

DOI 10.12910/EAI2014-71

■ P. Di Lazzaro, D. Murra

Nulla è più facile che illudersi, perché ciò che ogni uomo desidera, crede anche che sia vero (Demostene, 384 – 322 a.C.)

Tutte le forme di vita hanno sviluppato diversi metodi per utilizzare la luce visibile, nel corso del processo di evoluzione. Piante, batteri, occhi, tutto funziona in modo da trasformare la luce in qualcos'altro. Nel caso di piante e batteri, la luce fornisce l'energia necessaria a realizzare importanti reazioni chimiche attraverso il processo di fotosintesi (per inciso, la fotosinte-

si agisce anche nell'uomo, quando la luce solare trasforma un composto prodotto dal nostro fegato, il deidrocolesterolo, in vitamina D). Negli organismi superiori, gli occhi trasformano la luce in reazioni chimiche che generano impulsi nervosi inviati al cervello, in modo da rivelare rapidamente i cambiamenti che avvengono nei dintorni: un pericolo, una preda, un riparo. Informazioni essenziali per sopravvivere. Si capisce, quindi, come la selezione naturale abbia perfezionato i sistemi di percezione della luce.

Due esempi di questa "evoluzione verso la perfezione" sono la visione binoculare (da due occhi) e la densità di fotorecettori sulla retina, che ora andiamo a commentare. Gli occhi di molti animali, uomo compreso, sono posti

ad una distanza più di dieci volte maggiore della dimensione della pupilla (cioè del diametro di ingresso della luce nell'occhio). A causa di questa distanza, ciascun occhio vede un'immagine un poco diversa da quella dell'altro occhio (Figura 1). Il cervello fonde le due immagini e utilizza le lievi differenze per ricreare lo spessore, la profondità della scena percepita. Il risultato di questa prodigiosa ricostruzione è la visione tridimensionale, che fornisce informazioni sulla distanza degli oggetti osservati.

La visione binoculare è essenziale per valutare la distanza da un predatore e quindi l'imminenza di un pericolo, o la distanza da una preda e quindi l'opportunità di procurarsi cibo: in altre parole, la visione binoculare è importante

■ Paolo Di Lazzaro, Daniele Murra
ENEA

Contatto: Paolo Di Lazzaro
paolo.dilazzaro@enea.it

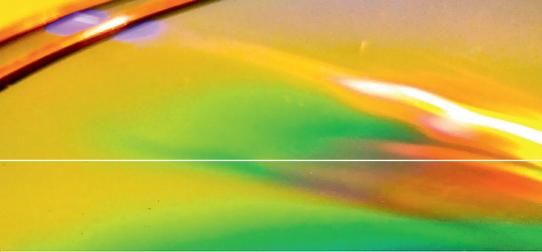


FIGURA 1 Immagini stereoscopiche percepite dall'occhio destro (immagine a sinistra) e dall'occhio sinistro (immagine a destra). Per accorgerci che si tratta di due immagini diverse, bisogna notare alcuni dettagli, ad esempio la posizione della scritta "Bar" rispetto al cappello del ballerino, oppure la posizione delle persone sullo sfondo rispetto a quelle in primo piano. Il cervello riceve queste due immagini bidimensionali distinte e le fonde in una unica immagine, utilizzando le lievi differenze per ottenere informazioni sulla profondità della scena, ovvero per creare la terza dimensione. Con un poco di esercizio, incrociando gli occhi in modo da mettere a fuoco a circa un terzo della distanza tra i vostri occhi e le due immagini (aiutandosi con un dito, ad esempio) vedrete le due foto sullo sfondo che si muovono: se cambiate la messa a fuoco fino a sovrapporle, potete vedere una terza immagine tridimensionale, molto realistica
Tratto da www.stereoscopy.com/gallery/

per la sopravvivenza. Il mitico ciclope Polifemo, anche se non fosse stato accecato, avrebbe trovato difficoltà a catturare Ulisse e i suoi compagni con un solo occhio. Ancora più sorprendente è l'esempio della densità dei recettori di luce sulla retina. Tramite il "criterio di Rayleigh" [1] si può dimostrare che due segnali luminosi che entrano attraverso la pupilla e vengono focalizzati dal cristallino, appaiono distinti quando la loro distanza sulla retina è uguale o superiore a circa 2,45 millesimi di millimetro. Di conseguenza, la massima densità media di punti distinguibili sulla retina è pari a circa 16,7 milioni di punti per

centimetro quadrato. Ebbene, la densità di recettori sensibili alla luce al centro della retina è pari a 16 milioni per centimetro quadrato! Di fronte a un simile risultato, possiamo pensare ad una coincidenza, a un caso fortuito, oppure dobbiamo ammettere che Madre Natura ha fatto le cose alla perfezione, mettendo il numero di recettori giusto: un numero maggiore sarebbe stato inutile (non avrebbe migliorato l'acutezza visiva) mentre un numero inferiore avrebbe portato ad una visione insufficiente, o almeno migliorabile. Cerchiamo di capire meglio come funziona il meccanismo della visione. La parte fotosensibile dell'oc-

chio è la retina, una membrana che si trova sul fondo del globo oculare, formata da diversi strati. Fra gli altri, c'è uno strato di recettori sensibili alla luce connessi con diversi strati di neuroni. Questi recettori sono di due specie: i "coni", che si trovano nella regione centrale della retina e sono sensibili ai colori, e i "bastoncelli", distribuiti maggiormente nella regione periferica della retina e sensibili ai contorni degli oggetti osservati. Le cellule neuronali connesse alla retina confluiscono nelle fibre del nervo ottico, e da qui al cervello. Quando un raggio di luce giunge sulla retina è assorbito da due proteine che circondano i recettori, la

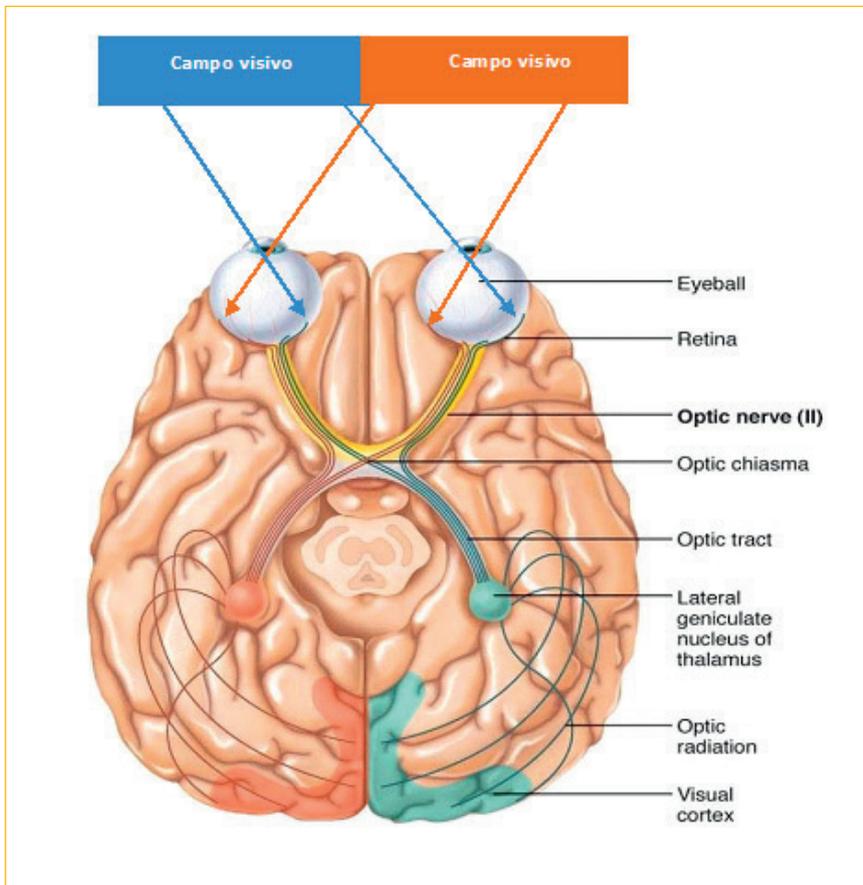


FIGURA 2 Vista dall'alto del percorso degli impulsi elettrici generati dai fotorecettori della retina fino alla corteccia visiva dove avviene la ricostruzione e la interpretazione dell'immagine. È da notare che le parti destra e sinistra della corteccia visiva ricevono impulsi dai campi di vista controlaterali di entrambi gli occhi

Tratto da W. Kahle, M. Frotscher: *Color atlas and textbook of human anatomy*, Ed. Thieme, vol. 3, p. 355 (2003)

rodopsina (sui bastoncelli) e la iodopsina (sui coni). La luce assorbita provoca una serie di reazioni chimiche che modificano la struttura delle due proteine. Il risultato finale è la chiusura dei canali normalmente usati dagli ioni sodio per entrare all'interno del cono o

del bastoncello. Ne segue un accumulo di ioni all'esterno del recettore, e quindi una polarizzazione elettrica positiva che si diffonde fino al neurone dove si genera un impulso elettrico che si propaga attraverso le fibre del nervo ottico. In altre parole, un raggio di luce

che entra nell'occhio provoca una serie di reazioni chimiche nella retina che producono un eccesso di carica elettrica, che si traduce in un segnale trasmesso al cervello attraverso il nervo ottico.

Nella zona centrale della retina ad ogni cono o coppia di coni corrisponde un neurone, mentre nelle zone periferiche molti bastoncelli sono connessi allo stesso neurone che quindi trasmette la somma dei tanti segnali elettrici ricevuti. Il fatto che la carica elettrica di tanti bastoncelli si sommi in un solo neurone spiega la nostra capacità di visione notturna (quando la pupilla è maggiormente aperta e quindi la luce raggiunge anche la zona periferica della retina, dove si trovano i bastoncelli): la somma di tanti segnali permette di vedere anche gli oggetti scarsamente illuminati. Allo stesso tempo, la visione notturna è meno precisa di quella diurna nel riconoscere i dettagli degli oggetti osservati: infatti, i segnali provengono da un gruppo di bastoncelli, cioè da un'area della retina invece che da un punto preciso, e quindi la risoluzione spaziale peggiora.

Torniamo al viaggio del nostro impulso elettrico generato dalla retina e trasmesso attraverso le fibre del nervo ottico. Con l'aiuto della Figura 2, vediamo che le fibre del nervo di ciascun occhio si dividono a metà per raggiungere due zone del cervello (i corpi genicolati laterali), dove si combinano con la metà delle fibre dell'altro occhio: in questo modo si possono mescolare ed elaborare gli impulsi elettrici di entrambi gli occhi

per ottenere la fusione delle due diverse stimolazioni elettriche, che comunque conservano memoria sia dell'occhio che delle zone della retina da cui provengono.

In particolare, dalla Figura 2 si vede che il corpo genicolato laterale destro riceve impulsi elettrici provenienti dalla parte destra della retina di ciascuno dei due occhi (linee azzurre in Figura 2), dove arrivano prevalentemente le immagini del campo visivo posto a sinistra degli occhi. Viceversa, il corpo genicolato laterale sinistro riceve impulsi (attraverso le linee arancioni in Figura 2) generati nella parte sinistra della retina di entrambi gli occhi, dove arrivano le immagini del campo visivo destro. Di seguito, gli impulsi che escono dai corpi genicolati laterali si dividono in una moltitudine di fibre che si dirigono alla corteccia visiva, posta nel retro del cervello, dove si dispongono con una collocazione precisa: i segnali di ciascuna zona della retina sono inviati in una determinata zona della corteccia, dove avviene l'interpretazione.

La corteccia esegue un'analisi in parallelo delle varie proprietà dell'immagine: esistono zone della corteccia dedicate all'analisi delle dimensioni e dell'orientamento, oltre al colore, oltre al movimento. Nei primati esiste perfino una zona specializzata nel riconoscimento del solo volto! E immaginate cosa può accadere in caso di una lesione in questa zona della corteccia visiva: ne parla il neurologo Oliver Sacks in un saggio dall'eloquente titolo *L'uomo che*

scambiò sua moglie per un cappello [2]. In ogni caso, analizzare le immagini in parallelo consente di ridurre il tempo di interpretazione e riconoscimento, e il fattore tempo è importante per prendere decisioni rapide, utili a sopravvivere in caso di pericolo.

Il processo di riconoscimento delle immagini è ancora in parte sconosciuto: alcuni studiosi ipotizzano una similarità con il riconoscimento dei suoni nella coclea dell'orecchio, per cui la corteccia visiva opererebbe una operazione matematica chiamata Trasformata di Fourier [3] dei segnali nervosi per ottenere informazioni sui contorni dell'immagine.

Di sicuro, il nostro cervello ha una straordinaria capacità di riconoscere linee e simboli complessi, come le parole aventi differente orientamento e stile: provate a leggere le righe della Figura 3.

Facile, vero? Eppure, leggere queste righe è tutt'altro che semplice: si tratta di parole scritte con diversi caratteri aventi dimensioni diverse, orientati in verticale con

direzione verso l'alto e verso il basso, o invertendo la parte sotto e quella sopra. Quanto sia difficile la lettura di queste parole è testimoniato dal fatto che i programmi di "riconoscimento testo" usati nei computer non sono ancora in grado di interpretarle.

Ma c'è di più. Il nostro cervello ha una straordinaria capacità di ricostruire parti di immagini o di testo mancanti, per fornirci la figura o la scritta più probabile. D'accordo con lo psicologo Gaetano Kanizsa [4] "Certe combinazioni di figure incomplete danno luogo a contorni chiaramente visibili anche quando non esistono fisicamente. Tali contorni sono quindi una creazione del nostro sistema visivo". Ad esempio, provate a leggere le righe seguenti:

QU3570 M3554GG10 PROV4
CH3 L4 N057R4 M3N73 PU0'
L3GG3R3 UN4 L3773R4 53NZ4
P4R0L3 .
1MPR35510N4N73 !
4LL'1N1Z10 3R4 D1FF1C1L3,
M4 G14' 1N QU3574 R1G4 L4
7U4 M3N73 574 L3GG3ND0



FIGURA 3 Prova di lettura



FIGURA 4 Prova di lettura

4U70M471C4M3N73 53NZ4
P3N54RC1 5U .
CONGR47UL4Z10N1 !

Nonostante si tratti di un messaggio in cui molte lettere sono sostituite da numeri, la maggior parte dei lettori non ha difficoltà a capire cosa è scritto. Il nostro cervello elabora e adatta la forma del numero alla lettera più simile graficamente, e se il significato della parola ha un senso, procede oltre senza indugio. In altre parole, il cervello integra le informazioni mancanti, basandosi sulla similarità tra numero e forma della lettera che abbiamo in memoria e sul significato della parola risultante, che deve "avere senso compiuto" rispetto alla frase. Questo processo di ricostruzione, molto complicato, viene eseguito inconsciamente e in tempi rapidissimi.

Un altro esempio della capacità del nostro cervello di ricostruire i contorni è dato nella Figura 4.

Anche in questo caso non abbiamo difficoltà a riconoscere le lettere che vanno a comporre una frase di senso compiuto. Come nell'esempio precedente, dove la nostra mente interpreta i numeri come lettere, anche in questo caso il cervello sceglie la soluzione più "probabile" secondo la quale i segni spezzettati fanno parte di un contesto più ampio, e ricomponi i contorni mancanti in modo da creare lettere, controllando se il tentativo di ricostruzione porta ad una frase di senso compiuto, senza soffermarsi sul perché e da che cosa la frase sia parzialmente coperta.

Tuttavia, la nostra straordinaria

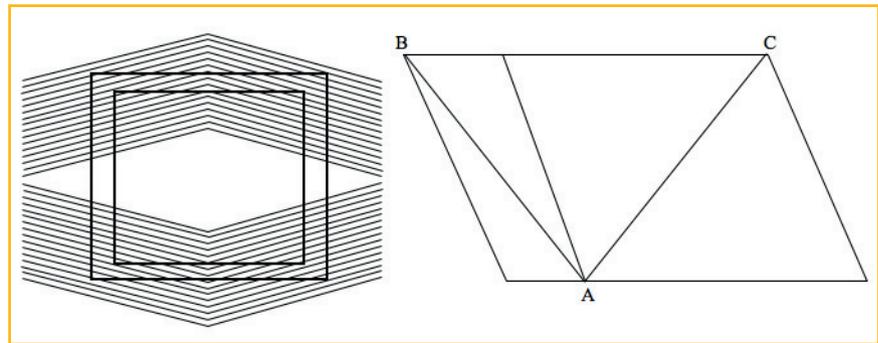


FIGURA 5 Due illusioni ottiche geometriche. A sinistra: illusione di Hering delle rette parallele (1861). A destra: illusione del parallelogramma di Sander (1926)
Fonte: elaborazione ENEA

capacità di riconoscere e interpretare tratti e lineamenti può essere messa in difficoltà da alcuni disegni particolari, come gli esempi nella Figura 5, che mostrano due celebri illusioni ottiche di tipo geometrico. Nel disegno a sinistra (variante dell'illusione di Hering delle rette parallele [5]) percepiamo un'apparente curvatura della parte alta e bassa della cornice, mentre in realtà la cornice è rettangolare e i segmenti in alto e in basso sono paralleli: per verificarlo, si può usare un righello. Nel disegno a destra (illusione del parallelogramma di Sander [6]) il segmento AB sembra più corto di AC, e invece sono uguali: se vi sembra impossibile, potete convincervi misurando i due segmenti con un righello graduato. Le illusioni ottiche non sono soggettive, perché inducono in errore tutte le persone, o quasi. Ad esempio, provate a dare un'occhiata alle sorprendenti illusioni nel sito web [7]. Per quale motivo il nostro sofisticato sistema visivo/percettivo è tratto in inganno da questi disegni? I risultati di molti esperimenti sug-

geriscono che le immagini viste dagli occhi vengono interpretate dal nostro cervello sulla base di situazioni già vissute. In pratica, il cervello confronta le immagini appena viste con immagini simili memorizzate in precedenza, e utilizza questo confronto in modo da dare un senso e un contesto appropriato (o più probabile) ad un oggetto o ad un insieme di oggetti. Si tratta della differenza tra visione e percezione: sulla retina arrivano le immagini reali (processo visivo) ma il nostro cervello addiziona, sottrae, elabora, modifica le immagini reali in modo da ottenere quello che ci aspettiamo di vedere in base alla nostra esperienza, al *deja vu* (processo percettivo). Ad esempio, i componenti di alcune tribù africane, che non hanno occasione di vedere oggetti disposti parallelamente o ad angoli retti, non conservano in memoria immagini di rotaie, scatole appoggiate alle pareti, angoli di strade e palazzi, e per questo motivo non subiscono l'illusione di Hering nella Figura 5!

Lo studio delle differenze tra vi-

sione e percezione propone un affascinante intreccio di fisica, fisiologia, prospettiva geometrica e psicologia: in questo articolo non abbiamo spazio per entrare in maggiori dettagli, ma il lettore può trovare interessanti approfondimenti nelle referenze [8, 9, 10, 11,

12, 13, 14]. In conclusione, dobbiamo ammettere che il nostro sistema di percezione delle immagini è molto sofisticato ma non è perfetto, in quanto condizionato dalle forme e dai colori a noi familiari. Tuttavia, è anche vero che nessuno degli errori generati dalle illusioni ottiche

mette in pericolo la sopravvivenza dell'individuo nei termini discussi all'inizio dell'articolo: di questi "giochi di illusione" la selezione naturale si disinteressa...

Paolo Di Lazzaro, Daniele Murra
ENEA, Unità Tecnica Applicazioni delle Radiazioni,
Laboratorio sorgenti

bibliografia

- [1] Vedi ad esempio http://it.wikipedia.org/wiki/Criterio_di_Rayleigh
- [2] O.W. Sacks: L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello (Adelphi, Milano, 2008). Una descrizione di questo interessante saggio può essere trovata alla pagina web http://it.wikipedia.org/wiki/L%27uomo_che_s cambi%C3%B2_sua_moglie_per_un_cappello [3] Una descrizione informale e semplificata della trasformata di Fourier e delle sue applicazioni si trova alla pagina <http://www.blogzero.it/2010/12/10/la-trasformata-di-fourier-e-una-figata/>
- [4] G. Kanizsa: Contorni soggettivi, *Le Scienze* n. 96 pp. 31-36 (1976).
Gaetano Kanizsa è uno psicologo italiano autore di numerosi articoli e saggi che hanno contribuito alla comprensione dei meccanismi della percezione visiva. Un elenco delle sue opere si può trovare sul sito <http://www.ephplab.eu/page.php?15>
- [5] Il fisiologo tedesco Eward Hering ha descritto questa illusione geometrica in un libro pubblicato nel 1861: *Beiträge zur Physiologie vol. I. Zur Lehre vom Ortssinne der Netzhaut.* (Leipzig Engelmann).
Altre informazioni su http://en.wikipedia.org/wiki/Hering_illusion
- [6] Lo psicologo tedesco Friedrich Sander ha descritto l'illusione detta "del parallelogramma" nel 1926. Vedi ad esempio http://it.wikipedia.org/wiki/Illusione_di_Sander
- [7] Vedi ad esempio www.illusionsciences.com
- [8] J. Beck: La percezione del colore delle superfici, *Le Scienze* n. 88 pp. 58-70 (1975)
- [9] D. Murra, P. Di Lazzaro: Sight and brain, an introduction to the visually misleading images, *Atti dell'International Workshop on the Scientific approach to the Acheiropoietos Images*, a cura di P. Di Lazzaro, edito da ENEA (2010) pp. 31-34. Disponibile alla pagina web www.acheiropoietos.info/proceedings/MurraWeb.pdf
- [10] Due trasmissioni di Geo-Scienza su RAI 3 in cui gli autori presentano alcune illusioni ottiche e commentano i meccanismi di psicofisiologia della percezione visiva possono essere visti in <http://www.rai.tv/dl/RaiTV/programmi/media/ContentItem-75d28411-7121-4af8-a302-39d71ca63eef.html#p=> e in <http://www.rai.tv/dl/RaiTV/programmi/media/ContentItem-9013d9a5-7baa-4499-a34f-b9277709a6cd.html#p=>
- [11] A. Farini: "Occhio specchio dell'anima: il sistema visivo umano visto dalla fisica", *Il Nuovo Saggiatore* vol. 28, pp. 35-44 (2012)
- [12] P. Di Lazzaro, D. Murra: L'anamorfose tra arte, percezione visiva e prospettive bizzarre, *Rapporto Tecnico ENEA RT/2013/5* (2013)
Questo articolo è stato selezionato tra i finalisti del Primo Premio Nazionale di Divulgazione Scientifica del 2013, organizzato da CNR e AIL. L'articolo è disponibile alla pagina web <http://openarchive.enea.it/bitstream/handle/10840/4479/RT-2013-5-ENEA.pdf?sequence=1>
- [13] P. Di Lazzaro, D. Murra, B. Schwartz: Pattern recognition after image processing of low-contrast images, the case of the Shroud of Turin, *Pattern Recognition* vol. 46, pp. 1964-1970 (2013). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320312005377>
- [14] P. Di Lazzaro: Luce, visione, percezione: un sorprendente viaggio tra i colori e le illusioni dell'arte figurativa. Lezione al liceo scientifico Touschek di Grottaferrata (Dicembre 2013).
Il contenuto della lezione, in formato pdf, è disponibile alla pagina web www.academia.edu/5372694/Luce_visione_percezione_un_sorprendente_viaggio_tra_i_colori_e_le_illusioni_dellarte_figurativa