Introduzione alla Percezione

Dispensa per il corso “Percezione e Psicofisica”, Corso di Laurea Specialistica in “Psicobiologia e Neuroscienze Cognitive”, Università di Parma, 2013-2014.

seconda versione

© Nicola Bruno (2014)

non citare senza il permesso dell’autore

1. Premessa

La percezione ha inizio con la codifica, da parte di specifici canali sensoriali, dell'informazione disponibile nelle variazioni dell'energia contenuta in uno stimolo informativo. I processi percettivi, tuttavia, non si esauriscono nella codifica iniziale dell'informazione che giunge ai recettori. Quando percepiamo la nostra mente attua una vera e propria forma di interpretazione degli stimoli ambientali in ingresso, attiva, sofisticata e dinamica nella misura in cui si giova di una continua esplorazione dell'ambiente. La percezione è quindi a tutti gli effetti uno dei processi cognitivi (cioè, "conoscitivi") della mente umana, sia perché consiste in una vera e propria attività di elaborazione di informazioni, sia perché ci consente di scoprire sempre nuove cose sull'ambiente che ci circonda e sui nostri simili che lo popolano. In questa dispensa presento un'introduzione allo studio della percezione, discutendone i principali problemi e ambiti di ricerca. La dispensa non può sostituire la frequenza alle lezioni. Per arrivare ad una buona comprensione degli ambiti di studio della percezione, l'esperienza diretta dei fenomeni oggetto di studio svolge un ruolo fondamentale. Un confronto attento fra la dispensa e gli altri testi dovrebbe comunque fornire perlomeno un'idea della struttura generale del corso e degli argomenti da approfondire, soprattutto agli studenti che non possono frequentare o lo possono fare solo saltuariamente.

2. Catena psicofisica e ciclo percezione-azione

Chi si accinge per la prima volta ad affrontare lo studio della percezione fa spesso fatica a capire dove stia il problema. Quando apro gli occhi, percepisco il mondo che mi circonda in modo immediato, senza alcuno sforzo, e i contenuti percettivi di cui divento consapevole mi consentono di interagire con gli oggetti ambientali con successo. Ad

esempio, davanti a me adesso percepisco una sedia: un oggetto unitario, distinto da altri oggetti e dalla superficie su cui è posato, dotato di una certa grandezza, una certa forma, un colore. Percepisco inoltre che potrei sedermici sopra, o afferrare lo schienale in un certo punto e spostarlo -- e se lo facessi ne avrei conferma. E naturalmente riconosco che si tratta di un oggetto noto, di cui possiedo una categoria linguistica. Una sedia, appunto. Ma cosa accade effettivamente quando percepisco una sedia?

Il riconoscimento degli oggetti avviene in modo quasi istantaneo -- e straordinariamente accurato. Provate a pronunciare ad alta voce la parola "mille" (più o meno, la durata di un secondo) e poi a immaginare una durata cento volte più breve. Simon Thorpe, un ricercatore del CNRS di Toulouse in Francia, ha dimostrato che in determinate condizioni siamo in grado di svolgere un compito di riconoscimento con immagini che abbiamo visto per un tempuscolo appena superiore, due centesimi di secondo (20 millisecondi). Ad esempio, riusciamo a decidere correttamente se una scena naturale contiene un animale (Thorpe, Fize & Marlot, 1996) o, in un altro studio, un mezzo di trasporto (vanRullen & Thorpe, 2001). Utilizzando una tecnica elettroencefalografica (la registrazione dei potenziali evento-correlati, o ERP), Thorpe e il suo gruppo hanno anche dimostrato che l'informazione necessaria a svolgere questo compito è disponibile, nel cervello, già circa 150 ms dopo la comparsa dell'immagine. Il che consente a chi partecipa ad esperimenti come questi di emettere la risposta di riconoscimento in 250-600 millisecondi. Insomma, molto prima di avere finito di pronunciare la fatidica parola, la nostra mente riesce ad elaborare l'informazione, effettuare il riconoscimento, ed emettere la risposta premendo un tasto. Non c'è da stupirsi se facciamo fatica a renderci conto di come la percezione sia invece il risultato di una complessa sequenza di eventi, il cui esito finale è tutt'altro che scontato. Per capirlo, riflettiamo su cosa accade quando, ad esempio, vediamo qualcosa. Per fare questo, gli studiosi di percezione utilizzano il concetto

di catena psicofisica (Fig. 1).

2.1 La catena psicofisica

Torniamo allora alla nostra sedia. Chiameremo ciò che vedo, il contenuto percettivo della mia esperienza cosciente, usando il termine **percetto**. Il percetto è l'esito finale della sequenza descritta dalla **catena psicofisica**. È quell'insieme unitario di grandezza, forma, colore, eccetera che riconosco come "sedia" e che descrivo sulla base della mia esperienza introspettiva -- che è privata ed accessibile direttamente solo a me. Chiameremo invece l'oggetto fisico corrispondente, nelle sue caratteristiche indipendenti da un organismo che le osservi, usando il termine **stimolo distale**. Lo stimolo distale corrisponde al complesso delle caratteristiche, misurabili per mezzo di strumenti opportuni, di cui possiamo dare una descrizione fisico-chimica o stimando il valore di certi parametri in modelli geometrici.

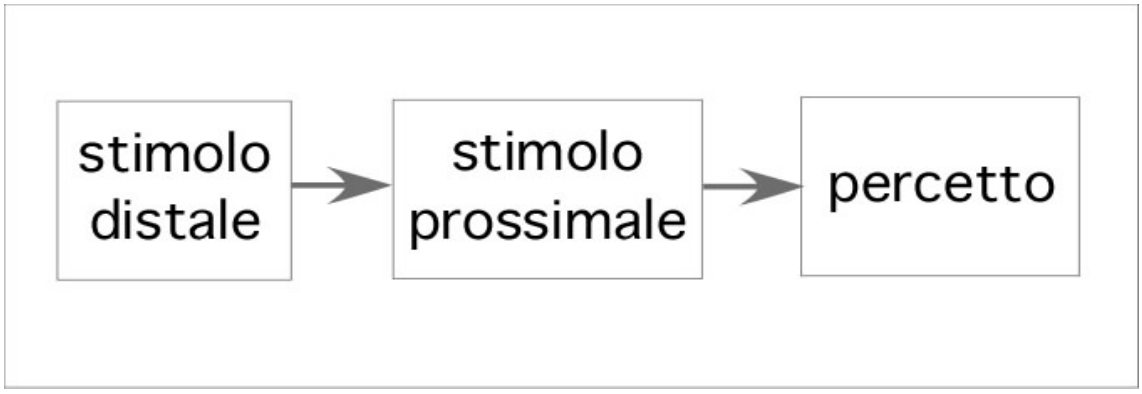

Figura. 1. La catena psicofisica.

La distinzione fra percetto e stimolo distale rappresenta il primo passo per comprendere la sequenza di eventi che porta a percepire la sedia. Il fatto che gli studiosi di percezione operino una distinzione fra la sedia come percetto e la sedia come stimolo distale è spesso fonte di confusione in chi si avvicina allo studio della disciplina. In fondo, la sedia è sempre la sedia, o no? Noi la vediamo, col suo colore, forma e tutto il resto proprio là fuori, nella nostra stanza. Non abbiamo certo

l'impressione che ve ne sia un'altra nella nostra testa. Eppure, in un certo senso, di sedie ce ne sono due: una, soggettiva, che troviamo nella nostra esperienza introspettiva, e una seconda, oggettiva, che possiamo descrivere indipendentemente da un atto di osservazione. La prima esiste solo per me; la seconda è disponibile a tutti. Questa conclusione riecheggia quella del filosofo e matematico francese René Descartes (1650), quando suggeriva che il fondamento della conoscenza sta appunto nella distinzione fra il pensiero, la *res cogitans,* di cui abbiamo esperienza cosciente diretta, e il mondo esterno a noi, la r*es extensa*, che conosciamo solo indirettamente. Ancor prima, Platone (427a.C- 348a.C.) distingueva fra la conoscenza derivabile attraverso la percezione, il *fenomeno,* e la conoscenza che deriva dal ragionamento, il *noumeno.* Distinzione ripresa dal filosofo tedesco Immanuel Kant (1724-1804), che distingueva anche fra il noumeno platonico, ciò che possiamo pensare della realtà, e la *cosa in sé,* la realtà in quanto esterna alla mente del soggetto e in quanto tale inconoscibile. La distinzione fra percetto e stimolo distale richiama quelle dei filosofi, ma non coincide con esse. Gli studiosi della percezione non affermano, infatti, che l'esistente è fatto di due sostanze qualitativamente diverse (da scienziati empirici, preferiscono semmai evitare i problemi di metafisica). Essi affermano invece che, per capire come funziona la percezione, è utile descrivere gli eventi che la caratterizzano a due diversi livelli e con diversi linguaggi (dualismo metodologico). Insomma, non ci sono due sedie, ma è utile dare due descrizioni diverse della stessa entità.

Non fare confusione fra percetto e stimolo distale è il primo passo per capire il concetto di catena psicofisica. Il secondo passo consiste nel capire che percetto e stimolo distale sono solo il terzo e il primo anello della catena. Il secondo anello, quello intermedio fra i due, è lo **stimolo prossimale**. Useremo questo termine per descrivere le proprietà degli eventi neurali che avvengono al livello della superficie recettoriale e che,

nel processo di trasduzione, codificano l'informazione in ingresso. Ad esempio, nel caso della visione, sappiamo che la luce forma una sorta di immagine sul mosaico retinico dei fotorecettori. Questa sorta di immagine va tenuta ben distinta dalla sedia distale e dalla sedia-percetto. La sedia prossimale infatti è sulla retina, non nella mente o nel mondo: si potrebbe dire che è "sull'interfaccia" fra mente e mondo. Per questo motivo, le proprietà di questa sorta di immagine non coincidono né con quelle dello stimolo distale, né con quelle del percetto. Per capirlo torniamo a chiederci come è fatta la catena psicofisica in cui vediamo la sedia.

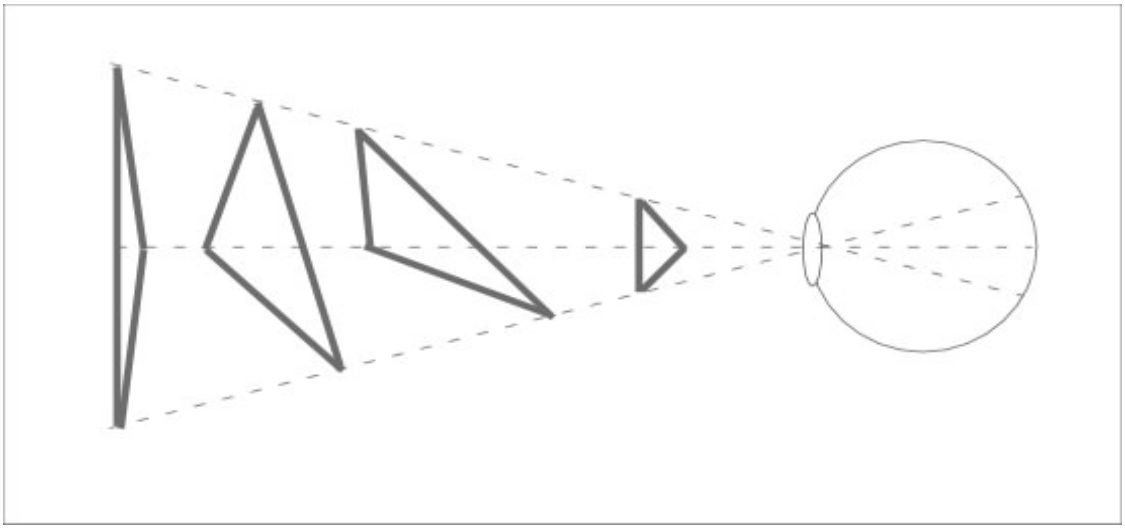

Figura 2. Un esempio di indeterminazione ottica. Alla stessa configurazione prossimale possono corrispondere infinti oggetti diversi per grandezza, forma e inclinazione.

La sedia distale è un oggetto solido, esteso in tre dimensioni spaziali, dotato di forma e grandezza. Sulla retina, una delle due dimensioni va persa, perché la luce viene proiettata sulla superficie retinica, che è piatta (a rigore, non è nemmeno piatta perché l'occhio è approssimativamente sferico, ma si tratta comunque di due dimensioni). E anche la forma e la grandezza vanno perse, perché la proiezione della sedia sulla superficie retinica è ambigua. La natura di questa ambiguità varia a seconda delle condizioni e degli oggetti coinvolti, ma è sempre riconducibile ad una forma di **indeterminazione ottica** (Gerbino e Bruno, 1991): ad ogni configurazione 2D sulla retina possono corrispondere moltissime situazioni

distali diverse (Figura 2). Pensate ad esempio ad una configurazione retinica che abbia la forma di un ellisse. Si potrebbe trattare di una moneta, ruotata nello spazio rispetto alla linea di mira. Oppure di un ellisse frontoparallelo, o ancora di altri ellissi di forma diversa, ruotati un po' meno della moneta. Da una singola configurazione prossimale è impossibile decidere quale di queste diverse situazioni distali l'abbia originata.

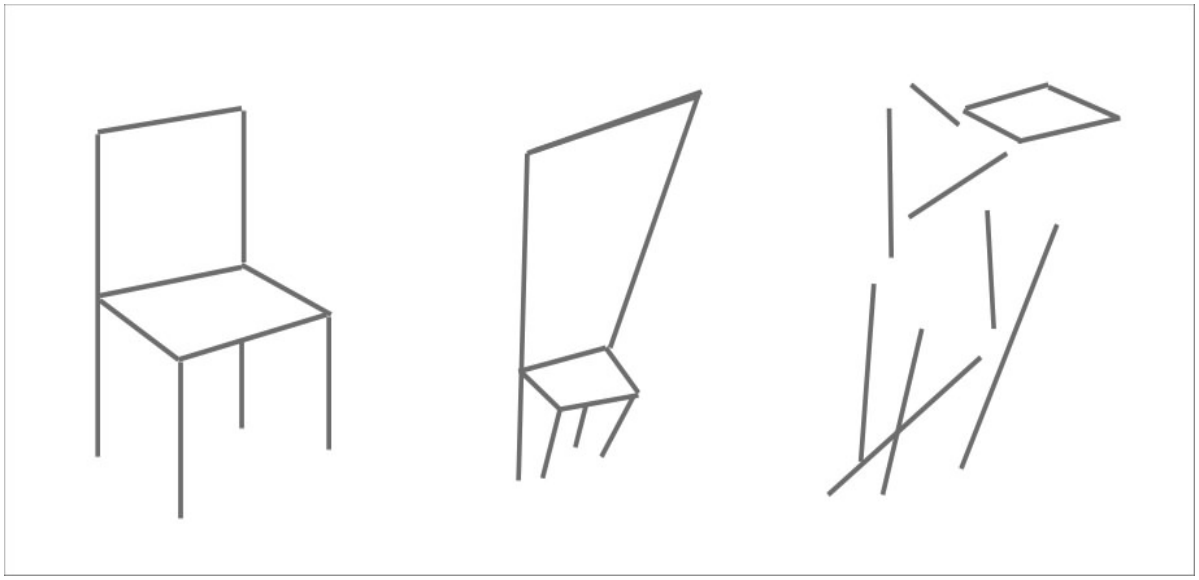

Figura 3. La sedia di Ames: tre oggetti che appaiono come la stessa sedia quando vengono osservati da specifici punti di vista.

Il problema dell'indeterminazione ottica non è circoscritto solo a geometrie relativamente semplici come nel caso della moneta. In una celebre dimostrazione, lo psicologo americano Adalbert Ames (vedi Ittelson, 1952) costruì una grande scatola con tre spioncini su uno dei lati. Accostando l'occhio ad ognuno degli spioncini, l'osservatore vede tre sedie uguali. Ma aprendo la scatola, le tre sedie si rivelano come tre oggetti molto diversi: una sedia tridimensionale vera e propria, una configurazione schiacciata che assomiglia ad una sedia deformata per allungamento, e un insieme di segmenti disconnessi sostenuti da fili, in una configurazione che non sembra avere alcuna logica apparente (Fig. 3). La dimostrazione funziona perché ai tre stimoli distali corrispondono, dai punti di vista fissi

degli spioncini, tre stimoli prossimali identici. Analizzato con lo strumento della catena psicofisica, il processo di percezione ci appare adesso assai meno scontato di prima. Percepire significa conoscere quali oggetti ed eventi sono presenti nell'ambiente esterno (distale). Ma l'informazione che la luce veicola all'occhio (dal distale al prossimale) è spesso incompleta ed ambigua. Come fa la mente a recuperare (percetto) ciò che nell'occhio è andato perso?

Storicamente, l'analisi della catena psicofisica e delle indeterminazioni che caratterizzano il passaggio di informazione dallo stimolo distale allo stimolo prossimale è alla base della concezione della percezione visiva come **ottica inversa**. Di cosa si tratta è presto detto. Quando un fisico descrive il percorso nello spazio dei raggi luminosi verso un punto di vista e ne calcola la proiezione su una superficie bidimensionale, sta risolvendo un problema diretto che ammette una soluzione unica. Se conosco la geometria delle superfici distali e delle sorgenti di luce ambientale, dato un punto di vista dove collocare una superficie su cui mettere a fuoco i raggi posso determinare in maniera univoca come è fatta la proiezione su quella superficie. Lo studioso di percezione si occupa invece di un processo che procede in senso inverso: i sistemi percettivi non conoscono direttamente le proprietà dello stimolo distale, ma debbono ricostruirle a partire dall'informazione disponibile. Uno dei maggiori studiosi di percezione del secolo scorso, l'americano Irvin Rock (1922-1995), sosteneva che il percetto può essere considerato come una specie di soluzione al problema posto dallo stimolo prossimale, soluzione che verrebbe ricavata grazie a una sorta di logica della percezione (Rock, 1985). In questo, Rock riprendeva alcune idee di uno dei pionieri delle neuroscienze moderne, Hermann von Helmholtz (1821-1894). In un celebre passo del suo *Handbuch der Physiologischen Optik* (Manuale di ottica fisiologica, 1867), Helmholtz aveva proposto infatti che i percetti sono l'equivalente neurale della conclusione di un sillogismo le cui premesse

sono date dallo stimolo prossimale e da regole a priori incorporate nell'organismo. Questa idea è ben viva nella scienza moderna della percezione, in cui i processi percettivi sono studiati come computazioni naturali descrivibili con algoritmi analoghi a quelli di un calcolatore (Marr, 1982). In particolare, le idee di Helmholtz sono alla base di una delle formalizzazioni più utilizzate per descrivere la percezione come ottica inversa, il modello bayesiano su cui torneremo più avanti.

L'analisi del processo di percezione come soluzione a problemi inversi è utile, tra l'altro, nello studio delle cosiddette **costanze percettive** di cui ci occuperemo in seguito. Prima di esaminare in dettaglio alcuni dei problemi che interessano gli studiosi di percezione, tuttavia, è utile chiarire che la catena psicofisica e la nozione di problema inverso isolano solo un aspetto del processo percettivo, che è invece più complesso e articolato. Per rendere conto di questa complessità è necessario impadronirsi di uno schema concettuale diverso, che gli studiosi di percezione chiamano **ciclo percezione-azione**.

2.2 Il ciclo percezione-azione

Lo schema concettuale offerto dalla catena psicofisica è incompleto perché trascura un aspetto importante. Se è vero infatti che la percezione ha luogo grazie a un passaggio di informazione dal mondo distale alla mente che percepisce, questo processo non si svolge in una sola direzione. Percepire non è qualcosa che ci accade passivamente, in funzione degli stimoli che ci arrivano dall'ambiente. È piuttosto qualcosa che facciamo attivamente, attraverso una continua esplorazione. Siamo percettori mobili, e per mezzo dei nostri movimenti modifichiamo la nostra relazione con gli oggetti esterni, e i conseguenti stimoli prossimali di volta in volta disponibili. Pensate, ad esempio, ai movimenti oculari rapidissimi con cui portiamo sulla fovea, la piccola zona retinica che ha migliore capacità di risolvere il dettaglio, le zone di interesse del campo visivo. O

pensate alla vera e propria esplorazione dell'ambiente che possiamo mettere in atto muovendo la testa o tutto il corpo con i movimenti di locomozione. Dobbiamo pensare alla percezione come a un processo cognitivo che non ha solo la funzione di produrre una rappresentazione cosciente del mondo (i percetti), ma anche la funzione di guidare le azioni. Questa constatazione è alla base di tutti i modelli contemporanei della percezione. Inoltre, e questo è ancora più importante per il discorso che stiamo sviluppando adesso, dobbiamo pensare alla percezione come a un processo ciclico più che come al semplice flusso di informazione da una sorgente a un ricevitore descritto dalla catena psicofisica.

Il ricercatore che più di ogni altro ha avuto il merito di chiarire la natura ciclica della percezione è stato il grande psicologo americano James J. Gibson (1904-1979). In un libro destinato a diventare uno dei classici della psicologia, *The senses considered as perceptual systems* (I sensi considerati come sistemi percettivi), Gibson ha scritto: "Un animale vivente non viene stimolato solo dall'ambiente, ma anche da se stesso. Producono stimoli i suoi organi interni, ma anche il movimento delle sue estremità coi loro organi di senso, così come anche la locomozione del suo intero corpo nello spazio. [...] La stimolazione prodotta da un'azione è ottenuta, non imposta. [...] Essa è intrinseca al fluire dell'attività, non estrinseca ad esso; dipende da quel fluire. [...] L'input non è solo afferente, nella terminologia usata dai neurologi, ma riafferente, ossia contingente all'output efferente." (Gibson, 1966; p. 31; corsivo nell'originale, trad. mia). Dunque la percezione non è una sequenza unidirezionale di eventi, come nella catena psicofisica, ma un processo ciclico (Figura 4). Intepretando gli stimoli in ingresso (l'input, nella terminologia di Gibson), gli organismi producono rappresentazioni coscienti dell'ambiente esterno (i percetti). Queste rappresentazioni possono essere utilizzate per guidare movimenti esplorativi, grazie ai quali si rendono disponibili nuovi stimoli prossimali, che possono risultare in nuovi

percetti e indurre nuove attività esplorative. Il ciclo percezione-azione non si interrompe mai.

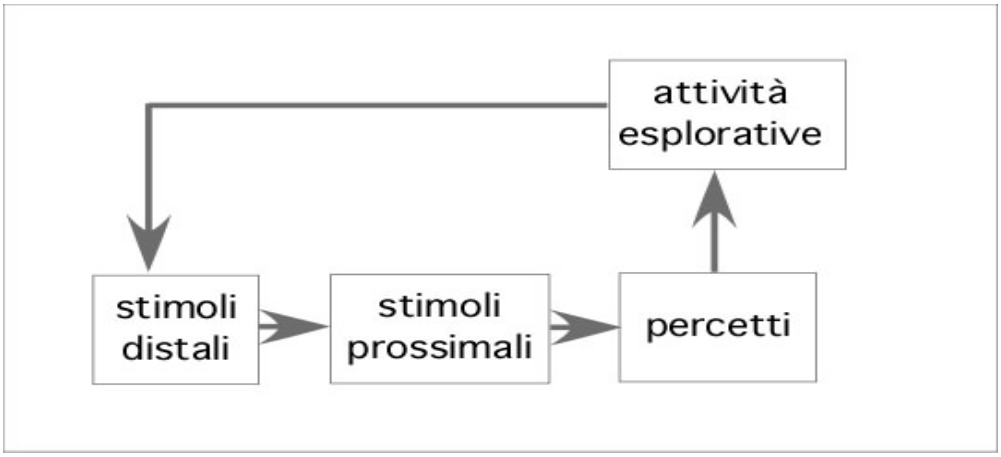

Figura 4. Il ciclo percezione-azione.

Le idee di Gibson sulla natura ciclica della percezione hanno una conseguenza interessante e, per certi versi, controintuitiva. Gli stimoli prossimali che si rendono disponibili in conseguenza dei movimenti esplorativi (la stimolazione "ottenuta", nelle parole di Gibson) dovrebbero avere uno status in qualche maniera privilegiato rispetto a quelli indipendenti dall'esplorazione attiva (stimolazione "imposta"). I risultati di moltissimi esperimenti hanno confermato questa previsione. In un esperimento tanto semplice quanto ingegnoso, lo stesso Gibson (1962) chiese a un gruppo di studenti di svolgere un compito di riconoscimento tattile utilizzando come stimoli dei semplici stampi per biscotti (Figura 5). I partecipanti erano bendati e dovevano identificare le forme degli stampi in tre condizioni diverse. Nella prima, gli stampi venivano premuti dallo sperimentatore sul palmo della mano (tatto passivo). Nella seconda, erano invece gli stessi partecipanti a muovere il palmo sullo stampo, attuando dunque un movimento esplorativo (tatto attivo). Nella terza condizione, infine, era lo sperimentatore a muovere lo stampino sul palmo (tatto con movimento passivo).

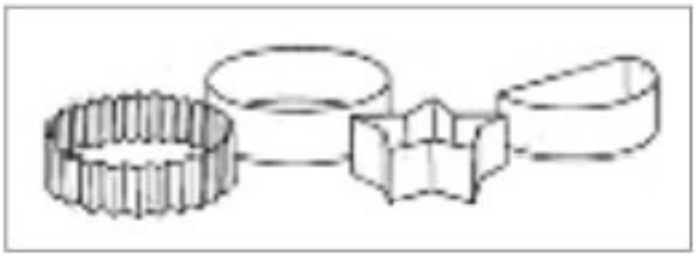

Figura 5. I famosi stampini per biscotti utilizzati nell'esperimento di Gibson (1962) sul tatto attivo.

Nella condizione di tatto passivo, i partecipanti non se la cavavano molto bene: le identificazioni corrette erano attorno al 50%. Questo significa che sbagliavano una volta su due, anche se non andavano del tutto a caso (su quattro alternative, andando a caso le identificazioni corrette dovrebbero collocarsi intorno al 25%). Nella condizione di tatto attivo, invece, le identificazioni corrette superavano il 95%. In sostanza, i partecipanti commettevano solo qualche piccolo errore, forse solo per distrazione. Nella condizione con movimento passivo, infine, le identificazioni corrette si collocavano attorno al 70%. I risultati di quest'ultima condizione sono importanti, perché suggeriscono che il vantaggio del tatto attivo non può essere attribuito semplicemente ai cambi di posizione della mano rispetto all'oggetto. Occorre invece che questi cambi di posizione avvengano in funzione di movimenti esplorativi, esplicitamente guidati dalla mente che esplora. L'esperimento di Gibson è diventato talmente famoso da meritare un posto fra i *Venti esperimenti che hanno cambiato la nostra visione del mondo* (un saggio del filosofo Rom Harré, 1981). Ma l'importanza dello schema offerto dal ciclo percezione-azione è testimoniata da molte altre osservazioni, e altre ne citeremo più avanti.

3. Problemi nello studio della percezione

La gamma di problemi che caratterizzano la nostra disciplina è assai

vasta, e in questa dispensa potremo solo accennare ad alcuni temi particolarmente rappresentativi. Una premessa di ordine generale ci può aiutare a capire la natura dei problemi che affronteremo. Kurt Koffka (1886-1941) è stato uno dei fondatori della scuola della Psicologia della Gestalt ed autore del libro che più di ogni altro ha contribuito a diffondere le idee gestaltiste fra gli psicologi anglosassoni dopo la seconda guerra mondiale, *The Principles of Gestalt Psychology* (I principi della psicologia della Gestalt; Koffka, 1935). In un celebre passo del libro, Koffka suggerisce che il problema fondamentale della percezione può essere riassunto da questa domanda: "Perché le cose appaiono come appaiono?" La domanda di Koffka suggerisce, correttamente, che gli studiosi di percezione sono interessati a spiegare le proprietà dei percetti (come le cose appaiono). Tuttavia lo stesso Koffka, dopo avere posto la domanda, ammette che la domanda può essere interpretata in due modi. Il primo di questi si riferisce al livello dei percetti in quanto tale, indipendentemente dal loro essere veridici o illusori. Il secondo si riferisce invece al fatto che i percetti, di norma, corrispondono alle caratteristiche dell'ambiente distale perlomeno nel senso che ci consentono di agire con successo. Scrive Koffka: "In questo primo senso, dunque, il problema si applicherebbe anche a un mondo di pure illusioni [...] Ma [...] di regola le cose sono così come appaiono, ossia, espresso in altra maniera, la maniera in cui appaiono ci dicono cosa fare con esse." (pp. 75-76, trad. mia). Per questo motivo, aggiunge Koffka, gli studiosi di percezione non possono limitarsi a rendere conto delle proprietà dei percetti, ma debbono anche spiegare come è possibile che le proprietà percepite siano ben adattate a quelle dell'ambiente distale. Nel descrivere alcuni dei problemi della psicologia della percezione, adotteremo anche noi questa prospettiva.

3.1 I costituirsi dei percetti: l'unificazione-segregazione

Prima ancora di venire riconosciuti come appartenenti a categorie

concettuali, gli oggetti sono percepiti come oggetti unitari, cioè formati da elementi che percettivamente "si appartengono", e come oggetti segregati dagli altri oggetti e dalle zone che "rimangono vuote", cioè dallo sfondo contro cui percepiamo delle figure. La formazione di unità percettive segregate, spesso chiamata anche **organizzazione percettiva**, è un processo cruciale perché i singoli elementi presenti nello stimolo prossimale non contengono di per sé informazioni sufficienti alla costituzione di percetti unitari e organizzati.

Figura 6. Sinistra: i contorni e le regioni codificate dai processi percettivi di base non corrispondono necessariamente ai margini e alle superfici degli oggetti (fotografia: Nikos Kostantinidis). Destra: una immagine e la rilevazione dei contorni a tre diversi livelli di dettaglio utilizzando l'algoritmo di Marr & Hildreth (1980).

Per capire che le cose stanno proprio così, consideriamo di nuovo la relazione fra stimolo distale e stimolo prossimale. Questa relazione è caratterizzata da un passaggio di informazione garantito da un mezzo: ad esempio, nel caso della visione, dall'informazione ottica contenuta nella struttura spaziotemporale della luce che arriva al punto di vista. La struttura dell'informazione ottica che arriva ai recettori è caratterizzata da omogeneità e da disomogeneità. Le disomogeneità vengono chiamate contorni mentre le zone che non presentano variazioni apprezzabili vengono dette regioni (o regioni uniformemente connesse; Palmer e Rock,

1994). I contorni e le regioni costituiscono le caratteristiche fondamentali codificate dai processi percettivi di base, tradizionalmente studiati soprattutto in riferimento al sistema visivo (Hubel e Wiesel, 1968; per una discussione specifica sui modelli per l'estrazione di contorni visivi, vedi Bruce, Green e Georgeson, 2003). A causa dei fattori che determinano la struttura della luce a un punto di vista, tuttavia, le zone omogenee e le disomogeneità presenti nello stimolo prossimale non corrispondono sempre a regioni e contorni. Fattori come ombre, riflessi, specularità possono generare discontinuità in punti dello stimolo distale in cui l'oggetto è continuo, o anche fare il contrario, producendo zone dello stimolo prossimale in cui non vi sono discontinuità mentre l'oggetto in quel punto si interrompe. La sola codifica dei contorni e delle regioni non fornisce dunque informazioni sufficienti a produrre unità percettive unitarie, né garantisce che queste corrispondano agli oggetti distali (Figura 6).

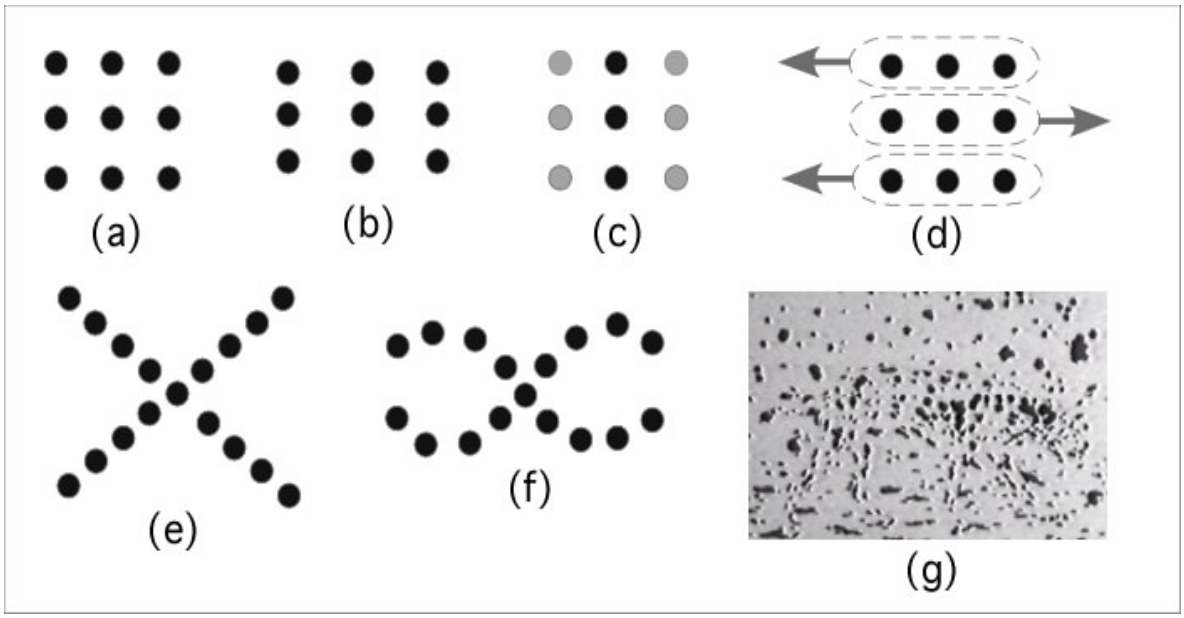

Figura 7. Le leggi di Wertheimer. Partendo dalla configurazione omogenea in (a), possiamo formare tre unità segregate per prossimità (b), per somiglianza (c), o per destino comune (d). In (e), per buona continuazione prevale la formazione di due unità rettilinee piuttosto che spezzate > e <. In (g), grazie all'impostazione soggettiva l'organizzazione degli elementi è facilitata se so che la figura rappresenta un cane. In tutti gli esempi, infine, per impostazione oggettiva il sistema tende mantenere le unificazioni raggiunte.

Per arrivare alla formazione di unità, il sistema percettivo deve raggruppare fra di loro contorni e regioni. Ma come avviene questo processo di raggruppamento? Storicamente, il merito di avere identificato alcuni dei principi che regolano i processi percettivi di unificazione e segregazione va alle ricerche della scuola gestaltista nella prima metà del secolo scorso, e in particolare ad un altro dei fondatori della scuola, lo psicologo di origine ceca Max Wertheimer (1880-1943). In uno dei lavori fondamentali della scuola gestaltista, Wertheimer (1923) descrisse sette leggi dell'organizzazione percettiva. Le leggi possono essere enunciate sinteticamente in questo modo: (i) a parità di altre condizioni, tendono a formare unità gli elementi più vicini (legge della prossimità); (ii) a parità di altre condizioni, tendono a formare unità gli elementi più simili (legge della somiglianza); (iii) a parità di altre condizioni, tendono a formare unità gli elementi che si muovono in modo simile (legge del destino comune); (iv) a parità di altre condizioni, elementi che hanno formato una certa unità tendono a mantere quell'unità (legge della dell'impostazione oggettiva); (v) a parità di altre condizioni, viene preferita l'organizzazione che comporta meno cambiamenti di curvatura nei margini percepiti (legge della buona continuazione); (vi) a parità di altre condizioni, viene preferita l'organizzazione che genera margini percepiti chiusi (legge della chiusura); (vii) a parità di altre condizioni, viene favorita l'organizzazione coerente con le conoscenze dell'osservatore (legge dell'impostazione soggettiva o esperienza passata).

Wertheimer identificò le leggi sulla base di semplici osservazioni con disegni a tratto, simili a quelli in Figura 7. La validità delle osservazioni di Wertheimer è stata tuttavia confermata da un gran numero di osservazioni successive. In particolare, oggi sappiamo che è possibile fare previsioni molto precise sulle unità percepite in certi insiemi di stimoli utilizzando modelli probabilistici sofisticati (Kubovy, 1994), che le leggi di

Wertheimer valgono in larga misura anche per la formazione di unità sonore (Bregman, 1990), e che vi sono interessanti punti di contatto fra la formazione di unità visive e tattili (Harrar & Harris, 2007; Serino et al, 2008). Inoltre alcuni ricercatori contemporanei hanno proposto nuovi principi applicabili a stimoli prossimali più complessi e rappresentativi della percezione naturale rispetto a quelli delle ricerche classiche (per uno degli esempi più interessanti vedi Ghose & Palmer, 2010). Le leggi di Wertheimer sembrano quindi descrivere bene i principi fondamentali utilizzati dal sistema percettivo per formare unità a partire dall'informazione disponibile nello stimolo prossimale. Ma per quale motivo il sistema dovrebbe utilizzare questi principi? La maggior parte degli studiosi di percezione oggi concorda nel ritenere che le leggi di Wertheimer funzionano perché corrispondono a regolarità statistiche dell'ambiente distale e degli oggetti che lo popolano. Per la precisione, le leggi di Wertheimer descrivono proprietà del mondo distale, che tendono, probabilisticamente, ad essere preservate in proprietà dello stimolo distale.

Ad esempio, molti oggetti sono costituiti da materiale approssimativamente omogeneo. La sedia che ho davantì e tutta di materiale plastico chiaro. Per questo motivo, tende a riflettere la luce in maniera approssimativamente simile e quindi a produrre regioni attivate in maniera (approssimativamente, con probabilità diversa da zero) simile sulla retina. Moltissimi oggetti tendono inoltre ad essere coesi. Per questo motivo, le diverse parti di uno oggetto tendono ad essere vicine fra loro, e queste relazioni di vicinanza sono in una certa misura preservate negli stimoli prossimali. Applicando le leggi di Wertheimer, dunque, il sistema percettivo tenderà a produrre, con un buon livello di probabiità, unità segregate che tendono a corrispondere alle unità distali. I processi di unificazione-segregazione risulteranno quindi ben adattati alle proprietà dell'ambiente (ricordate la domanda di Koffka?), ma commetteranno errori

in certe condizioni, prevedibili proprio in base alle leggi di Wertheimer. Un ottimo esempio di questi errori sono le forme di mimetismo evolute da molte specie animali, il cui corpo tende ad assumere forme e colorazioni che li rendono poco visibili ai predatori. La strategia consiste nel rendersi difficilmente segregabili dagli sfondi su cui quegli animali vivono di solito. Questo è possibile quando colori e forme sul mantello dell'animale, pur rimanendo ben visibili, tendono ad unificarsi, per le leggi di Wertheimer, con altri colori e forme che non fanno parte dell'animale.

3.2 I fenomeni di completamento

Come abbiamo appena imparato, le regioni e i contorni derivabili dallo stimolo prossimale in molti casi non corrispondono esattamente alle superfici oggettuali e ai loro confini nel mondo distale. Nelle situazioni considerate nella sezione precedente, questo poteva accadere per il gioco di luci, ombre e riflessi, oppure, nelle situazioni di mimetismo, per la configurazione e la colorazione degli elementi su oggetti e superfici. Nel formare unità segregate, dunque il sistema percettivo di fatto completa informazioni che sono in parte frammentate. La parziale incompletezza dello stimolo prossimale nel fornire informazioni su oggetti e superfici è una caratteristica del tutto comune dell'ambiente in cui viviamo. La maggioranza delle superfici ambientali sono opache, ossia bloccano i raggi luminosi provenienti dalle altre superfici collocate dietro ad esse rispetto al punto di vista. Gli studiosi di percezione chiamano **occlusione** questa caratteristica fondamentale della relazione fra stimoli distali e stimoli prossimali. Ad esempio, in questo momento sto scrivendo davanti al mio portatile: nella parte inferiore del campo visivo ci sono le mie mani, che occludono parte della tastiera; la superficie del portatile a sua volta occlude parte del ripiano che fa da superficie di supporto e, sulla destra, alcuni libri che vi sono posati; di questi ultimi il libro più vicino a me occlude parzialmente il libro sottostante, che a sua volta occlude quello

successivo, e così via. Se vi guardate intorno, dovunque siate in questo momento, è quasi certo che potrete individuare numerosi casi di occlusione fra superfici di oggetti.

A causa delle occlusioni, gli stimoli prossimali molto spesso contengono informazioni incomplete sulle superfici che percepiamo. La cosa veramente notevole è che solo raramente ci rendiamo conto di questa incompletezza: mentre scrivo non ho certo l'impressione che dietro alle mie mani la tastiera si interrompa, o che il tavolo non continui dietro al portatile che ci sta sopra. È come se il processo di formazione delle unità percettive fosse in grado di completare l'informazione mancante, un fenomeno che gli studiosi di percezione chiamano appunto completamento. Una distinzione importante, a questo proposito, è quella fra **completamento amodale** e **completamento modale**. Useremo il primo termine quando l'impressione percettiva di completezza non comporta la comparsa, nel percetto, di parti che non erano date nello stimolo prossimale. Il termine, dovuto ad Helmholtz ma reso popolare dallo psicologo belga Albert Michotte (1881-1965), sottolinea appunto che il vissuto di completezza non si accompagna, nella parte occlusa, alla percezione vera e propria di qualità caratteristiche di una modalità di senso (ad esempio, per la visione, il colore e la forma). Io non vedo realmente la porzione di tavolo che sta dietro al computer. Tuttavia ne percepisco, amodalmente, la presenza. Useremo invece il secondo termine quando l'esito del completamento è la comparsa di una vera e propria superficie, dotata di contorni e "riempita" di un colore superficiale.

Una dimostrazione efficace di entrambi i tipi di completamento è il triangolo di Kanizsa (Figura 8). Descritto per la prima volta dal triestino Gaetano Kanizsa (1913-1993), uno dei principali esponenti della scuola gestaltista italiana, in un articolo apparso sulla Rivista di Psicologia più di cinquant'anni fa (Kanizsa, 1955), il triangolo è uno dei fenomeni percettivi più indagati e noti anche al di fuori della psicologia. Una ricerca su Google

usando le parole chiave *Kanizsa triangle,* ad esempio, individua quasi 19.000 siti che ne parlano. Osserviamo allora anche noi la figura descritta da Kanizsa. Sul foglio di carta (e nello stimolo prossimale) ci sono una superficie omogenea, bianca, tre settori circolari neri e sei segmenti. Il percetto tuttavia è ben diverso. Al centro fa infatti la sua comparsa un triangolo dotato di contorni visibili, anche se un po' tenui, e di un colore opaco e compatto, in qualche modo più bianco di quello dello sfondo circostante. Allo stesso tempo, i settori circolari non appaiono come tali ma vengono invece percepiti come dischi neri completi, ma occlusi dal triangolo centrale. Analogamente, i segmenti neri non si interrompono in corrispondenza del margine del triangolo centrale ma continuano dietro alla sua superficie. La dimostrazione comprende dunque sia un esempio di completamento modale, la comparsa del triangolo centrale, sia ben quattro casi di completamento amodale: quello dei tre dischi, e quello del triangolo a tratto che si colloca anch'esso dietro al triangolo centrale occludente.

Il triangolo di Kanizsa è un po' il capostipite di una ampia famiglia di fenomeni di completamento modale, che oggi viene chiamata col termine di figure illusorie. In particolare, completamenti modali assai convincenti, quasi indistinguibili da un margine effettivamente presente sulla pagina, possono essere ottenuti in varianti in cui compare una figura trasparente (chiamate anche effetto neon, secondo esempio in Figura 8), o in cui viene aggiunta informazione legata al movimento. Fra queste ultime, particolarmente impressionante è la figura illusoria generata dal movimento coerente di punti casuali rispetto ad uno sfondo con altri punti casuali. Quest'ultimo effetto, descritto per la prima volta da un allievo di Gibson (Kaplan, 1969), si può ottenere ad esempio utilizzando uno sfondo con punti casuali bianchi e neri e un piccolo quadratino con la stessa distribuzione di punti (ultimo esempio in Figura 8). Ponendo il quadratino sullo sfondo, non si vede ovviamente alcuna figura ma solo una specie di

“rumore visivo”, simile a quello di uno schermo televisivo non sintonizzato. Lo stimolo prossimale statico non contiene infatti alcuna informazione utile a codificare un contorno. Se tuttavia si crea una piccola animazione, in cui il quadratino occupa successivamente posizioni successive rispetto allo sfondo, fa la sua comparsa una figura quadrata dotata di un margine percettivamente molto ben contrastato.

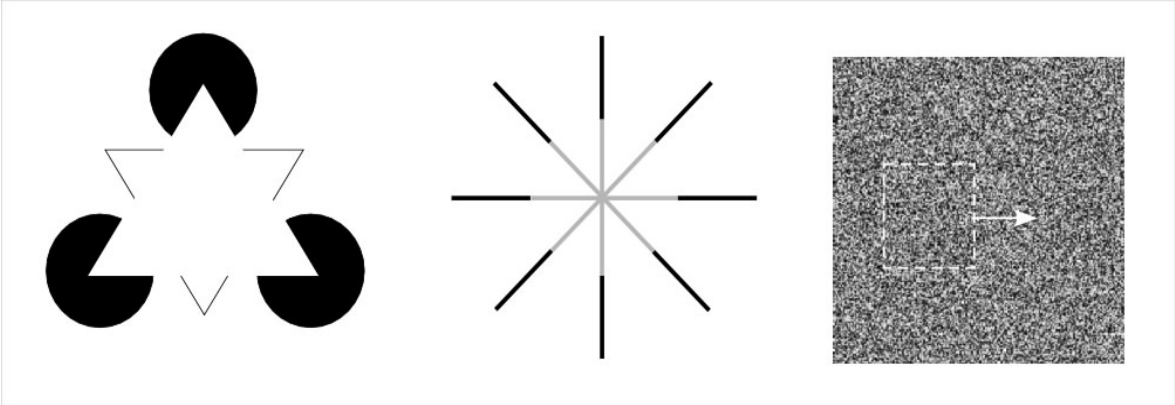

Figura 8. Alcuni esempi di completamento. Sinistra. triangolo di Kaniza. Centro: variante in cui il completamento genera una figura trasparente. Destra: schema di animazione per il completamento modale dal movimento in assenza di contorni nelle immagini statiche.

I fenomeni di completamento possono essere interpretati come manifestazioni dei meccanismi di unificazione-segregazione, in particolare di quelli descritti dalle leggi della buona continuazione, della chiusura e del destino comune. Hanno avuto un ruolo importante, negli anni più recenti, nello studio dei sostrati neurali del raggruppamento percettivo (Field, Hayes & Hess, 1993; Peterhans e von der Heydt, 1989). Ma per quale motivo il sistema percettivo dovrebbe essere costruito in modo da “inventare” figure illusorie dove queste oggettivamente non ci sono? Non sembra questa una violazione di quanto abbiamo affermato poco fa sull’adattamento della percezione rispetto all’ambiente distale? In effetti, no. Se è vero infatti che un effetto come il triangolo di Kanizsa può essere considerato un’illusione (nella misura in cui il triangolo, sulla carta, non c’è), è anche vero che, in condizioni naturali, succede di frequente che il

margine distale di un oggetto non sia specificato, nello stimolo prossimale, da discontinuità ottiche ugualmente salienti in tutti i suoi punti. Può succedere come abbiamo già detto per effetti legati all'illuminazione, alle ombre, a nebbia, come anche a causa delle occlusioni che sono dappertutto. Inoltre, per un organismo che si procura il cibo predando altri organismi, un problema costante è quello di riuscire ad individuare le prede quando queste utilizzano forme di mimetismo per mascherare la propria forma. Un sistema percettivo che è in grado di collegare correttamente elementi frammentati a livello prossimale e di completarli formando figure chiuse comporta dunque un chiaro vantaggio evolutivo. In questo senso, le figure illusorie possono essere considerate il sottoprodotto di processi percettivi che si sono evoluti proprio perché consentivano un migliore adattamento all'ambiente e maggiori probabilità di sopravvivenza.

3.3 Percepire un mondo stabile

Se avete capito la distinzione fra stimolo distale e stimolo prossimale, vi sarà forse venuto in mente che lo stimolo prossimale non è solo ambiguo e incompleto rispetto alle sue origini distali, ma è anche continuamente mutevole. Infatti ogni volta che muoviamo gli occhi o spostiamo il nostro corpo rispetto all'ambiente circostante, tutte le proiezioni degli oggetti visibili si spostano sulla retina. Allo stesso modo, quando allontaniamo da noi un oggetto, la sua proiezione sulla retina si rimpicciolisce, e viceversa quando ci avviciniamo. Inoltre, ogni cambiamento nell'inclinazione nelle tre dimensioni di un oggetto causa una modifica nella proiezione. Infine, ogni cambiamento nell'intensità e nella composizione spettrale dell'illuminazione produce concomitanti variazioni nella luce che arriva all'occhio. Dunque lo stimolo prossimale è soggetto a continui spostamenti e distorsioni, che non vengono però percepite. Percepiamo invece un mondo sostanzialmente stabile e popolato di oggetti di cui riconosciamo facilmente forma, grandezza e colore, movimento e collocazione nello spazio.

Con il termine di **costanze percettive** ci si riferisce all'insieme di fenomeni in cui le proprietà percepite rimangono sostanzialmente stabili a dispetto delle variazioni prossimali viene chiamato. Si parla così di costanza di posizione per fare riferimento alla collocazione percepita nello spazio, che non muta quando ci muoviamo; di costanza di forma e grandezza in riferimento alla struttura tridimensionale e alle dimensioni degli oggetti percepite, che rimangono sostanzialmente costanti quando gli oggetti stessi si spostano o cambia il punto di vista perché ci spostiamo noi; di costanza del colore superficiale in riferimento al colore percepito delle superfici, che rimane anche largamente invariato a dispetto dei continui mutamenti nelle caratteristiche dell'illuminazione; e così via per molti altri aspetti del mondo percepito. Il problema delle costanze è assai vasto, e qui potremo occuparci solo di alcuni aspetti generali, rilevanti per comprendere come il problema delle costanze viene di solito affrontato nello studio della percezione e quali sembrano essere le strategie che il sistema percettivo adotta per risolverlo.

Un primo aspetto a cui gli studiosi hanno dedicato molto attenzione è quello della quantificazione delle costanze percettive. Quanto è buona la stabilizzazione di cui stiamo parlando? Ossia, detto in altri termini, i percetti rimangono perfettamente costanti al variare degli stimoli prossimali, o la stabilizzazione è più approssimativa e può fallire in certe condizioni? Moltissimi esperimenti convergono verso una risposta univoca a queste domande. Ad esempio, in un esperimento classico venne studiata la costanza di grandezza al variare della distanza di un oggetto-bersaglio (Holway & Boring, 1941). L'oggetto era un semplice disco e la grandezza percepita veniva misurata con il **metodo dell'aggiustamento** (di cui parleremo ancora nella quarta sezione). Per la precisione, l'esperimento era congegnato in questa maniera. I partecipanti venivano collocati all'intersezione di due corridoi. Nel primo di questi veniva posto, a distanze

variabili da 3 a più di 30 metri, il disco da valutare. Nel secondo veniva invece proiettato, su uno schermo a tre metri dal punto di osservazione, un disco luminoso di cui era possibile modificare il diametro. La consegna sperimentale consisteva appunto nell'aggiustare la grandezza del disco luminoso, in modo che la sua grandezza percepita corrispondesse a quella del disco-bersaglio. Inoltre questo compito veniva svolto in tre condizioni principali: osservazione binoculare, monoculare, o attraverso uno spioncino. I risultati hanno dimostrato che, nella condizione di osservazione binoculare, i partecipanti aggiustavano il disco luminoso sempre nella stessa maniera a tutte le distanze del disco-bersaglio. La costanza di grandezza era quindi pressoché perfetta. Nella condizione monoculare, la costanza era meno perfetta ma gli aggiustamenti si avvicinavano abbastanza a quelli della condizione binoculare. Nella condizione con lo spioncino, invece, le cose cambiavano molto. Non solo i partecipanti non aggiustavano il disco sempre nella stessa maniera, ma addirittura tendevano a riferire che i due dischi apparivano uguali quando si assomigliavano per angolo visivo, ossia nella loro grandezza prossimale invece che quando erano di grandezze fisicamente identiche. Risultati analoghi sono stati ottenuti per altre forme di costanza percettiva.

Gli studi dedicati a quantificare le costanze suggeriscono dunque che queste non sono perfette, anche se funzionano piuttosto bene in condizioni in cui l'informazione disponibile è ricca. In condizioni di informazione ridotta, invece, si possono verificare fallimenti clamorosi. Una seconda direzione in cui è stata fatta molta ricerca ha quindi puntato a cercare di comprendere meglio quali condizioni rendono possibile una buona costanza percettiva. Tornando all'esperimento di Holway e Boring, possiamo renderci conto che queste condizioni hanno a che fare con i processi di percezione della distanza. Guardando con due occhi, la distanza del disco-bersaglio viene percepita in modo accurato grazie alla stereopsi binoculare, il processo in cui il sistema percettivo utilizza le differenze fra

gli stimoli prossimali presenti sulle due retine (disparità retiniche) per ricavare la posizione relativa degli oggetti ambientali. Con uno occhio solo, questa informazione potenziale viene rimossa, ma resta comunque disponibile quella legata alle variazioni nello stimolo prossimale dovute ai movimenti del capo e del corpo (parallasse di movimento). Guardando da uno spioncino, invece, l'osservatore è vincolato a un solo punto di vista fisso. In assenza di altre informazioni statiche (e nella situazione di Holway e Boring non ve ne sono), la distanza del disco-bersaglio rimane ambigua, e prevale quindi l'unica informazione disponibile, ossia l'angolo visivo prossimale. Questa ricerca, come anche molte altre, suggerisce quindi che la costanza di grandezza dipende da un meccanismo che in qualche modo "tiene conto" della distanza percepita, sfruttando le informazioni spaziali disponibili.

Per la natura introduttiva di questa dispensa, non è possibile qui trattare in dettaglio il tema delle informazioni utilizzate dal sistema percettivo dell'uomo per percepire lo spazio e le distanze. Alcune distinzioni fondamentali possono aiutare tuttavia a capire meglio il problema, e a chiarire l'interpretazione dell'esperimento appena descritto. Per percepire le distanze, il sistema percettivo umano utilizza tre tipi fondamentali di informazioni ottiche: **binoculari**, **monoculari legate al movimento** e **monoculari statiche**. Sono informazioni binoculari la **convergenza**, ossia l'angolo formato dalla linea di mira dei due occhi (quanto più un oggetto è vicino, tanto più gli occhi sono convergenti) e la **disparità binoculare**, ossia l'insieme delle differenze fra l'immagini che si formano sulla retina sinistra e destra (le due immagini vengono combinate dal processo di fusione binoculare e le differenze trasformate in distanze nello spazio). Informazione monoculare legata al movimento è invece la **parallasse di movimento** citata prima: ad ogni movimento del capo o del corpo, le proiezioni retiniche di tutti gli oggetti (eccetto quella corrispondente al punto di fissazione) si spostano con velocità

proporzionali alla distanza distale rispetto al punto fissato. Sono infine informazioni monoculari statiche tutte quelle caratteristiche geometriche che sono in parte associate a variazioni in profondità in una singola vista di una scena: ad esempio, la **grandezza relativa** (oggetti più lontani proiettano angoli visivi più piccoli), l'**altezza sul piano** (per oggetti posati sul terreno, più sono lontani più sono in alto sul piano di proiezione), l'**occlusione** (se una superficie è parzialmente nascosta da una seconda superficie, quest'ultima è davanti e la prima è dietro), la **prospettiva aerea** (per oggetti grandi e molto distanti, come le montagne all'orizzonte, tanto maggiore la distanza e tanto minore il contrasto con lo sfondo). Le informazioni monoculari statiche sono proprio quelle che usiamo per rappresentare le distanze nei quadri e nei disegni, e che formano la base delle tecniche che chiamiamo con il termine generico di prospettiva. Nella situazione di Holway e Boring però non ce ne sono, ed ecco spiegato il motivo del risultato.

Quale che sia l'informazione spaziale disponibile, comunque, rimane vero che la costanza di grandezza è funzione della percezione della distanza. Può essere utile, a conferma di questa conclusione, prendere in esame una previsione facilmente controllabile utilizzando un altro effetto percettivo piuttosto noto (Figura 9). La previsione è questa: se due figure proiettano uguali angoli visivi prossimali, ma sono inserite in un contesto di informazioni spaziali che suggerisce che una è più lontana ed una più vicina, la figura più lontana dovrebbe apparire più grande. Come si vede dall'esempio nella figura, una variante di una classica illusione descritta per la prima volta da un altro ricercatore italiano, Mario Ponzo (1882-1960), la previsione è pienamente confermata. Ancora una volta, dunque, un effetto illusorio si rivela in realtà una conseguenza di meccanismi percettivi che si sono sviluppati per consentire una buon adattamento della percezione all'ambiente.

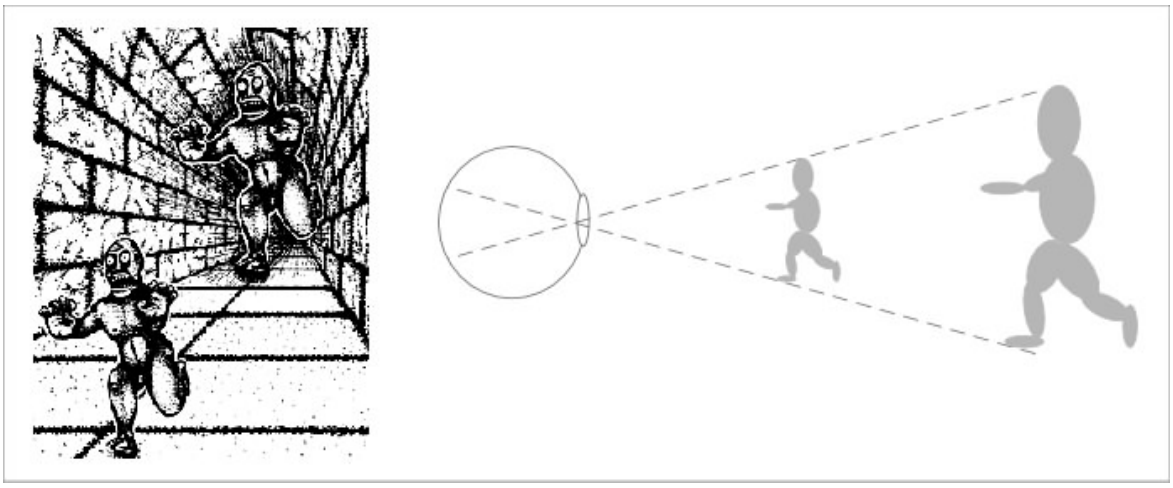

Figura 9. In *Terror subterra* di Roger Shepard (vignetta a sinistra), le due figure sono esattamente identiche (verificate con un righello). L'angolo visivo sulla retina è dunque anch'esso identico. Tuttavia la figura che appare più lontana appare anche più grande. Questa interpretazione percettiva è coerente con il meccanismo della costanza di grandezza (vedi schema a destra).

L'idea che le costanze percettive siano rese possibili da meccanismi che tengono conto di informazioni contestuali non si applica alla sola costanza di grandezza, ma si rivela utile anche nell'interpretazione di altri tipi di costanze. Per fare un altro esempio, prendiamo in considerazione la costanza del **colore superficiale**. In questo caso, una delle caratteristiche distali rilevanti è la **riflettanza**, ossia il rapporto fisico fra luce riflessa da una superficie e luce ad essa incidente. Materiali a bassa riflettanza (neri o grigi scuri) riflettono solo parte della luce proveniente da un illuminante. Materiali ad alta riflettanza (bianchi o grigi chiari) riflettono quasi tutta la luce. Tuttavia il sistema visivo non ha modo di misurare direttamente la proprietà fisica, ma deve elaborare il colore utilizzando l'intensità della luce che arriva alla retina. L'intensità prossimale infatti è il prodotto di riflettanza e **illuminazione**, per cui un oggetto a bassa riflettanza, se molto illuminato, può benissimo corrispondere alla stessa intensità retinica di un oggetto ad alta riflettanza, ma poco illuminato. Moltissimi dati convergono nel suggerire che, per risolvere il problema, il sistema percettivo utilizza informazioni contestuali per scomporre la scena visiva in zone sotto illuminazione

comune, e poi tiene conto di questa distribuzione stimata dell'illuminazione per arrivare al colore percepito (Gilchrist, Kossyfidis, Bonato, Agostini, Catalliotti, Spehar, Annan & Economou, 1999). Possiamo controllare questa proposta teorica applicando la logica che abbiamo utilizzato poco fa per la costanza di grandezza. In un disegno o in una fotografia, due figure che hanno uguale colore sulla carta (e a cui corrisponde dunque uguale intensità prossimale) dovrebbero apparire di colore diverso se le informazioni contestuali suggeriscono che una si trova in una zona poco illuminata mentre l'altra in una zona molto illuminata. Anche in questo caso, sono state descritte molte situazioni in cui questa previsione viene confermata. In Figura 10, ad esempio, del ricercatore dell'MIT di Boston Ted Adelson, i quadrati marcati A e B hanno lo stesso colore sulla carta (per verificarlo, coprite i quadrati circostanti ad A e B con dei fogli di carta bianca). Riuscite a spiegarvi adesso perché sembrano invece di colore molto diverso quando guardate l'immagine complessiva?

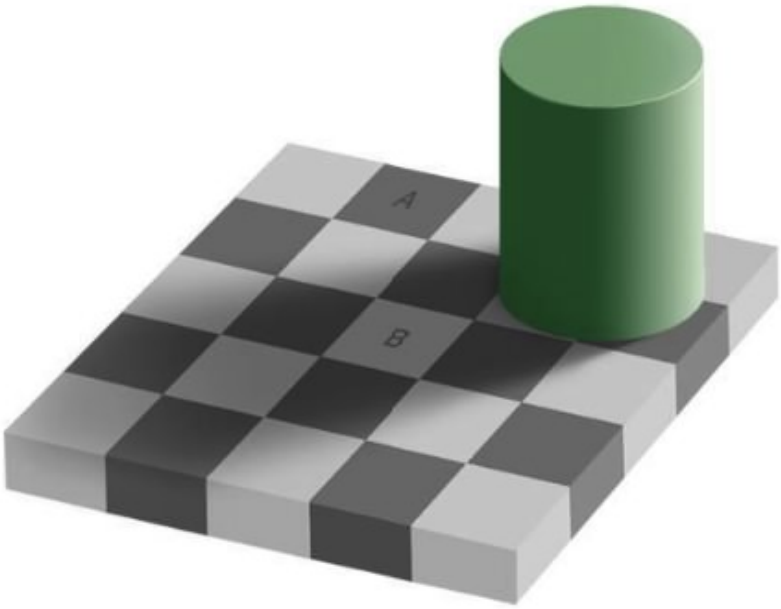

Figura 10. La cosiddetta illusione ombra-scacchiera (da Adelson, 1993).

Un discorso a parte, infine, merita il problema della stabilizzazione percettiva durante i **movimenti oculari saccadici** (per una rassegna aggiornata su questo problema, vedi Bridgeman, 2010). Le saccadi sono

quei movimenti rapidi degli occhi in cui lo spostamento avviene in modo balistico. Una volta iniziata la saccade, l'occhio accelera bruscamente e altrettanto bruscamente decelera quando giunge in prossimità del bersaglio. Di conseguenza, la maggior parte delle saccadi ha una durata brevissima, fra i 30 e i 100 millisecondi, e il movimento una volta iniziato non può più essere modificato se non in condizioni particolari. I movimenti saccadici possono essere eseguiti in risposta a uno stimolo esterno improvviso (saccadi riflessive), ma molto spesso sono invece eseguite per portare la fissazione verso una zona di interesse (saccadi volontarie). Quest'ultimo tipo di movimento saccadico ha dunque un ruolo importante in quei comportamenti di esplorazione di cui abbiamo accennato parlando del ciclo percezione-azione. Ma se quando esploriamo il mondo l'occhio esegue rapidi salti da un punto all'altro della scena, evidentemente la proiezione di tutti gli oggetti presenti si sposterà sulla retina in modo corrispondente. Come è possibile allora che gli oggetti percepiti posseggano costanza di posizione, ossia che gli spostamenti prossimali dovuti alle saccadi non siano percepiti?

Secondo una ipotesi (Gibson, 1979), la costanza di posizione è garantita dalle informazioni afferenti sullo spostamento dell'occhio che arrivano dal segnale retinico globale. Quando l'occhio si sposta, tutto lo stimolo prossimale viene traslato in maniera corrispondente. Questo movimento globale consentirebbe dunque al sistema visivo di "sapere" come l'occhio si è mosso, e di tenerne conto per stabilizzare gli oggetti che sono effettivamente fermi. Questa ipotesi è però confutata da numerosi fatti. Ad esempio, è stato fatto notare che la rapidità dei movimenti saccadici è incompatibile col tempo che sarebbe necessario perché un segnale afferente arrivi in corteccia e venga elaborato per la stabilizzazione. Inoltre, una semplice osservazione effettuata già dal grande istologo e fisiologo ceco Jan Evangelista Purkinje (1789-1869) dimostra che il segnale retinico afferente non è sufficiente per

stabilizzare il mondo. Provate a picchiettare dolcemente sul lato esterno di un occhio mentre tenete l'altro chiuso. Noterete che il mondo percepito sembra muoversi leggermente. Dato che l'azione meccanica di spostamento dell'occhio produce un segnale di movimento globale sulla retina, l'informazione utile dovrebbe essere disponibile ma la stabilizzazione non avviene.

In alternativa all'ipotesi del segnale retinico afferente, è stato proposto che la stabilizzazione del mondo potrebbe basarsi sul comando efferente inviato ai muscoli per effettuare una saccade. Notate che in questo caso il sistema percettivo "saprebbe" fin dall'inizio come stabilizzare il mondo, senza alcun ritardo. Inoltre, dato che nel caso dello spostamento meccanico dell'occhio non c'è alcun comando relativo a movimenti saccadici, in base a questa spiegazione dovremmo aspettarci che la costanza di posizione fallisca in quel caso. L'ipotesi del comando efferente, formalizzata da Von Holst e Mittelstaedt (1950), prevede dunque che la costanza di posizione durante le saccadi sia resa possibile da un circuito neurale che, in concomitanza del comando ai muscoli oculomotori, invia una copia di quel comando (chiamata anche scarica corollaria) a un meccanismo dedicato, il comparatore. Il compito del comparatore sarebbe appunto quello di confrontare il movimento prossimale sulla retina con la copia efferente del movimento oculare, calcolando l'equivalente neurale di una sottrazione. Tutto ciò che, dopo la sottrazione, ha movimento nullo viene percepito come fermo; le componenti residue di movimento vengono attribuite invece a movimenti reali di oggetti rispetto al mondo stabile.

L'ipotesi del comando efferente è oggi la spiegazione comunemente accettata della costanza di posizione durante le saccadi. Anche questa ipotesi incontra però una difficoltà, che ha spinto alcuni ricercatori contemporanei a sostenere che la costanza di posizione benefici anche del contributo di altri meccanismi di stabilizzazione. La difficoltà ha a che fare

con il problema che la scarica corollaria è predittiva: dice al sistema visivo dove l'occhio dovrebbe trovarsi alla fine della saccade, non dove si troverà effettivamente. Per una serie di fattori legati alle limitazioni dei segnali neurali, sembra implausibile che questa previsione possa sempre essere esatta, eppure la costanza di posizione durante le saccadi è perfetta -- non abbiamo mai l'impressione che il mondo si sposti durante una sequenza di fissazioni. Per uscire dal dilemma è stato quindi proposto che la costanza di posizione non sia basata su una sorta di annullamento del movimento oculare, ma su un meccanismo diverso che in sostanza ricalcola la posizione relativa di tutti gli oggetti ad ogni fissazione (Bridgeman, van der Heijden e Velichkovsky, 1994). Questo meccanismo sfrutta i segnali afferenti dalla retina ma anche i segnali afferenti provenienti dai muscoli dell'occhio (propriocezione oculare), un fattore prima ritenuto marginale, e li combina con le informazioni efferenti legate alle scariche corollarie, che continuano ad avere il peso maggiore. Tuttavia, il ruolo di queste ultime non sarebbe quello di correggere la posizione sulla retina, ma di cancellare le posizioni precedentemente registrate. In sostanza, la percezione della posizione ricomincerebbe da capo ad ogni fissazione.

L'ipotesi di Bridgeman, piuttosto radicale, non è condivisa da tutti i ricercatori. Essa ha tuttavia il merito di ricordarci che non dobbiamo necessariamente pensare che problemi come quelli delle costanze siano risolti da un singolo meccanismo percettivo. Sembra invece plausibile pensare che l'evoluzione naturale favorisca la comparsa di molteplici meccanismi simultaneamente in grado di contribuire allo svolgimento dello stesso compito percettivo. Sfruttando più fonti di informazione, un sistema percettivo sarà infatti in grado di generare percetti più robusti ed affidabili e, se danneggiato in parte da un trauma o una malattia, avrà qualche probabilità di continuare a funzionare ancora, almeno in parte. Come vedremo adesso, una conclusione di questo tipo sembra valere

anche per l'ultimo dei problemi che affrontiamo qui, quello del riconoscimento.

3.4 Riconoscere

Forse la funzione più importante della percezione è "sapere cosa c'è la fuori", una frase che dobbiamo all'inglese David Courtnay Marr (1945-1982), uno degli studiosi di percezione che hanno avuto più influenza su tutte le scienze della mente. Riconoscere gli oggetti infatti significa attuare un collegamento fra informazione in ingresso e rappresentazioni che definiscono categorie concettuali nella memoria a lungo termine. Attraverso questa forma di categorizzazione la percezione diventa un presupposto per l'accesso all'etichetta verbale e a alla conoscenza semantica sull'oggetto, che include anche la rappresentazione delle sue funzioni. In questo senso, riconoscere costituisce quindi anche uno dei presupposti per la pianificazione delle azioni. Come accennato all'inizio della seconda sezione, il processo di riconoscimento è straordinariamente efficiente. Cercheremo qui di capire come la mente umana risolve il problema secondo gli studiosi di percezione.

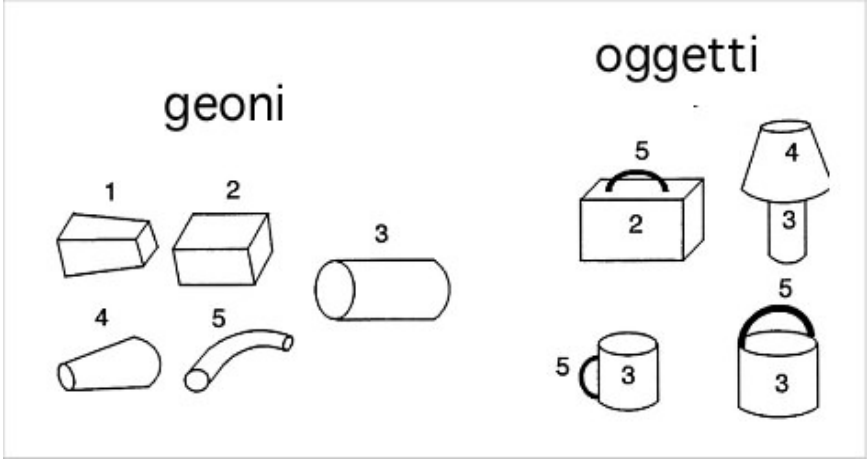

Figura 11. Esempi di oggetti e della corrispondente descrizione strutturale in termini di geoni (da Biederman, 1987).

Secondo l'ipotesi più autorevole, ideata proprio da Marr (1982) ma

sviluppata nella sua forma attuale da uno studioso americano, Irving Biederman, il riconoscimento avviene grazie a processi che generano una **descrizione strutturale** dell'oggetto (Biederman, 1987). Studiando le caratteristiche degli oggetti artificiali, come una tazza o un telefono, Biederman constatò che la struttura tridimensionale di questi oggetti non è arbitraria, ma presenta due regolarità notevoli: gli oggetti sono fatti di parti e queste parti hanno una struttura relativamente semplice che può essere descritta da un numero limitato di primitive volumetriche (Figura 11), da lui chiamate **geoni**. Biederman giunse alla conclusione che con un "alfabeto" di soli 36 geoni è possibile descrivere qualsiasi oggetto artificiale. Propose quindi che la rappresentazione in memoria a lungo termine degli oggetti consiste in una descrizione astratta dei geoni che li compongono e che il processo di riconoscimento è un confronto fra questa descrizione astratta e la descrizione strutturale ricavabile dallo stimolo prossimale di volta in volta disponibile. Il problema diventa quindi quello di capire come il sistema visivo possa ricavare dallo stimolo prossimale questa descrizione.

La soluzione, secondo Biederman, sta di nuovo nelle caratteristiche strutturali dei geoni. Queste strutture tridimensionali infatti posseggono una proprietà importante: la loro proiezione bidimensionale tende a preservare alcune caratteristiche della struttura tridimensionale proiettata. Ad esempio, se i contorni codificabili dall'informazione retinica si incontrano formando una Y, con altissima probabilità nel mondo distale ci sono tre superfici che si incontrano formando uno spigolo. O ancora, se un contorno sulla retina è curvo, con altissima probabilità nel mondo c'è un margine superficiale anche curvo. I matematici che si sono occupati di teoria della visione chiamano caratteristiche come queste proprietà non-accidentali dello stimolo prossimale. Le proprietà non-accidentali sono proprietà "altamente diagnostiche" di una certa situazione nel mondo distali, nel senso che solo da punti di vista molto particolari

("accidentali"), un margine curvo 3D proietta sulla retina un contorno rettilineo, o una configurazione di superfici che non forma uno spigolo proietta una Y. Il riconoscimento mediato opererebbe dunque grazie a un confronto fra i geoni in memoria e quelli ricavati dallo stimolo prossimale utilizzando le proprietà non accidentali.

Il modello di Biederman prevede correttamente due caratteristiche evidenti del riconoscimento di oggetti. La prima è che siamo in grado di riconoscere con facilità oggetti da moltissimi punti di vista diversi. Per Biederman questo è possibile grazie alle proprietà non accidentali che rimangono disponibili a dispetto delle variazioni nel punto di vista. La seconda è che falliamo quando gli oggetti sono presentati da punti di vista molto inusuali. Secondo Biederman questo accade perché in quelle situazioni, molto rare, la proiezione retinica non contiene più informazioni sufficienti a ricostruire i geoni che formano le parti dell'oggetto. Immaginate ad esempio di presentare il secchio in Figura 11 in modo che il fondo punti verso un osservatore e sia frontoparallelo alla sua linea di mira. Sulla retina di costui si disegnerà un cerchio, non ci saranno informazioni sulla maniglia, ed è plausibile che il riconoscimento sarà difficoltoso.

Problema risolto dunque? Non proprio. Secondo il modello di Biederman, infatti, il riconoscimento dovrebbe essere ugualmente efficiente da qualsiasi punto di vista non accidentale. Molti esperimenti hanno dimostrato invece che i tempi di reazione in compiti di riconoscimento crescono in maniera sistematica al crescere della differenza fra i punti di vista di due figure da confrontare (Shepard e Metzler, 1971; Tarr e Bülthoff, 1998). Sembra quindi plausibile che esista anche almeno una seconda strategia per il riconoscimento, non mediata dalla costruzione di rappresentazioni strutturali ma basata sul confronto diretto con immagini mentali dell'aspetto degli oggetti da punti di vista comuni *(view-based recognition).* Una possibilità che ha generato negli

ultimi anni un notevole dibattito, con aspetti molto tecnici, per i quali rimandiamo a testi più specialistici. .

Può essere invece utile, a conclusione di questa sezione, menzionare un altro tema rilevante per il problema del riconoscimento. Finora si è discusso del riconoscimento vero e proprio, ossia quel processo che categorizza gli oggetti percepiti mettendoli in relazione con informazioni semantiche già disponibili in memoria. Ma è solo questa la maniera in cui possiamo avere informazioni su cosa potrebbe essere un oggetto e quali funzioni potrebbe avere? Se lo è, incontriamo una difficoltà. Non si capisce infatti come si possa imparare a riconoscere: per farlo, sarebbe necessario avere in memoria la rappresentazione di almeno alcuni oggetti noti. Ma prima di essere noti questi dovevano essere ignoti e questo produce un regresso all'infinito. Una via d'uscita è ipotizzare che alcuni aspetti del "significato" e in particolare delle funzioni di un oggetto siano rilevabili senza attivare rappresentazioni semantiche, ma solo grazie alla relazione fra le caratteristiche fisiche dell'oggetto e il corpo del percipiente. Per riferirsi a questi particolari aspetti Gibson (1979) ha coniato un neologismo, che è diventato parte della terminologia tecnica della nostra disciplina (e che non si traduce): **affordance.**

In inglese, *to afford* vuol dire offrire, rendere disponibile, e il neologismo indica appunto quel carattere di "disponibilità a subire una certa azione" che l'informazione prossimale veicola, se sussiste una certa relazione con il potenziale effettore. Ad esempio, un oggetto che viene percepito come dotato di una certa forma e grandezza ha per me l'affordance della "afferrabilità" se forma grandezza sono compatibili con le dimensioni della mia mano. Una superficie a una certa altezza dal suolo quella della "scalabilità" in relazione alle mie gambe. E così via. Il concetto di affordance ha avuto grande influenza, non solo perché risolve il problema del regresso all'infinito, ma anche per le sue implicazioni per coloro che si occupano di design e progettazione. Se infatti determinati

stimoli elicitano automaticamente certe azioni piuttosto che altre, indipendentemente dalle conoscenze dell'organismo, allora oggetti o strumenti progettati tenendo conto di questo saranno facili da usare e non indurranno a commettere errori. Oggetti mal progettati ci daranno invece problemi. Provate a rifletterci sopra, la prossima volta che non riuscite a mettere assieme i pezzi del nuovo gioco di vostro figlio, o a sintonizzare il digitale terrestre sul vostro televisore.

4. Teorie della percezione

Come per altri settori della psicologia e delle neuroscienze cognitive, anche la scienza della percezione ha prodotto moti tentativi di catturare il suo oggetto di studio con un modello teorico unitario. Storicamente, questi tentativi sono stati caratterizzati da contrapposizioni nette fra modelli ispirati dalla fisiologia e modelli più squisitamente psicologici. Inoltre i ricercatori si sono spessi divisi fra **teorie dello stimolo** e **teorie costruttiviste**. Le prime traggono origine dal lavoro teorico di un autore che abbiamo già citato molte volte, James J. Gibson. Nel suo ultimo libro, Gibson (1979) sostenne infatti che, in condizioni naturali, la percezione è interamente determinata dall'informazione ottica nello stimolo. Il lavoro dello psicologo consiste dunque nell'analisi dell'informazione ambientale, senza che sia necessario ipotizzare ulteriori processi interpretativi. Per questo motivo le teorie dello stimolo sono state anche chiamate teorie ecologiche o della percezione diretta. Le teorie costruttiviste rifiutano invece la posizione gibsoniana, suggerendo che la sola analisi dell'informazione non è sufficiente per spiegare perché le cose appaiono come appaiono. Sono esempi di questo approccio la teoria della Gestalt (pensate al ruolo dei fattori di organizzazione di cui abbiamo parlato nella terza sezione) e le teorie di stampo neo-helmoholtziano (pensate alla metafora della percezione come inferenza, di cui abbiamo parlato nella

seconda sezione). I modelli contemporanei si caratterizzano per approcci più eclettici, che includono elementi di entrambe le posizioni e cercano di armonizzare le conoscenze sui sostrati neurali con quelle sulle funzioni psicologiche, tenendo conto delle complesse interazioni fra informazioni in ingresso e vincoli interni. Per motivi di spazio, ci limiteremo qui a un breve accenno ai due modelli attualmente più influenti, il **modello percezione-azione** e il **modello bayesiano**. Il primo è fortemente ancorato sulle strutture neurali e sulla loro interpretazione funzionale; il secondo si caratterizza per una maggiore enfasi sulla modellistica computazionale.

4.1. Dorsale e ventrale

Vi sono molti motivi di ritenere che la percezione non sia un processo unitario ma vada invece pensata come un insieme di processi distinti sia dal punto di vista anatomico sia dal punto di vista funzionale. Nel caso della visione, ad esempio, sappiamo che esistono circa 30 aree corticali coinvolte in processi visivi e che queste sono organizzate in due proiezioni principali dall'area visiva primaria nel lobo occipitale: la **via ventrale** verso il lobo temporale e la **via dorsale** verso la parte posteriore del lobo parietale. Sulla base di studi su primati non umani, i neuroscienziati americani Leslie Ungerleider e Mortimer Mishkin avevano inizialmente ipotizzato che la via dorsale si occupa di elaborare le informazioni spaziali (via del dove), mentre la ventrale di elaborare gli attributi come colore e forma utili a riconoscimento (via del cosa). La proposta di Ungerleider e Mishkin è stata in seguito modificata da due neuropsicologi, l'inglese David Milner e il canadese Melvyn Goodale, secondo i quali entrambe le vie si occupano in realtà di elaborare sia attributi visivi sia spaziali, ma lo fanno per due scopi differenti: il riconoscimento cosciente (via ventrale) e la guida dei movimenti (via dorsale). Secondo questi ricercatori, la distinzione percezione-per-il-riconoscimento e percezione-per-l'azione rappresenta la dicotomia fondamentale attorno alla quale sono organizzate sia le funzioni

del sistema percettivo umano sia i diversi circuiti neurali che le implementano. La via ventrale sarebbe, nel modello di Milner e Goodale, la base dell'esperienza cosciente, e quindi di quei processi di costanza e di riconoscimento di cui abbiamo parlato. Per questo motivo, essa sarebbe caratterizzata da una elaborazione relativamente lenta e da un collegamento con le conoscenze in memoria. La via dorsale sarebbe invece coinvolta nella guida di processi motori parzialmente inconsci e sarebbe più veloce e automatica. Inoltre, vi sarebbe una differenza fondamentale nel tipo di elaborazione spaziale operato dalle due vie. Nella via ventrale sarebbe privilegiata la codifica dello spazio in termini relazionali (ossia sensibili al contesto: mi interessa sapere dove sono gli oggetti rispetto agli altri oggetti). Questo tipo di codifica ha lo scopo di rappresentare la struttura tridimensionale del mondo in un sistema di riferimento independente dal punto di osservazione, utile quindi alle costanze e al riconoscimento. Nella via dorsale sarebbero invece privilegiati i sistemi di riferimento riferiti al corpo dell'agente piuttosto che al contesto della scena. Questo secondo tipo di codifica è necessario per guidare i movimenti (se devo afferrare un oggetto, mi interessa sapere dove si trova rispetto alla mia mano).

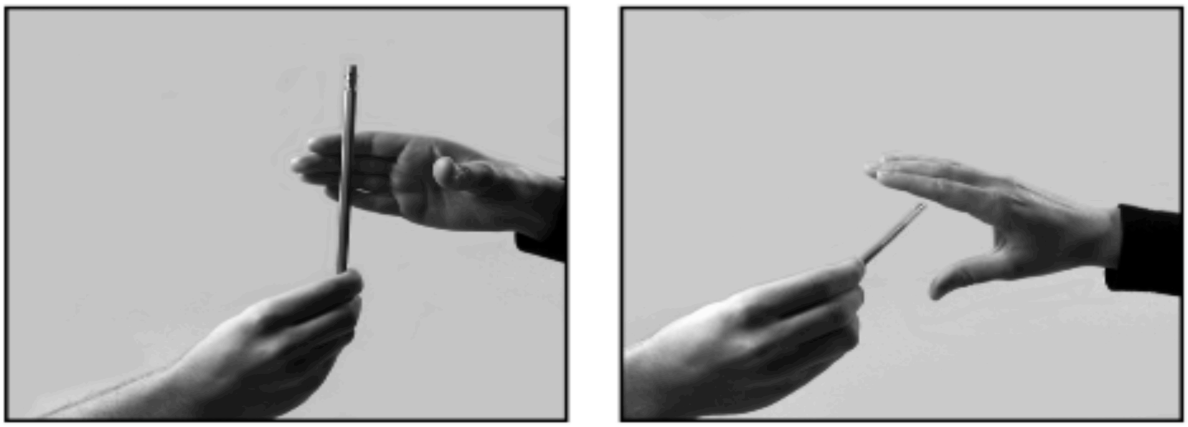

Figura 12. La paziente DF non è in grado di discriminare verbalmente l'orientazione nello spazio di un oggetto ma ruota il polso correttamente se deve andare ad afferrarlo.

I dati più convincenti a sostegno della proposta di Milner e Goodale

vengono da osservazioni su pazienti cerebrolesi e in particolare da quelli sul celebre caso della paziente DF. La lesione focale alla via ventrale da lei subita la rendeva incapace di percepire le caratteristiche dell'oggetto ai fini del suo riconoscimento consapevole (**agnosia visiva**; Figura 12), ma non di rilevare inconsapevolmente quelle stesse caratteristiche per guidare i suoi movimenti . Altri studi, sia degli stessi Milner e Goodale sia di altri ricercatori, hanno dimostrato deficit speculari a questi in pazienti con lesioni alla via dorsale. In questi pazienti, la cui sindrome viene chiamata **atassia ottica**, si riscontra una grave compromissione nel controllo visivo dei movimenti fini della mano. Ad esempio, se viene loro richiesto di infilare una busta in una fessura la cui orientazione viene modificata di prova in prova, arrivano in prossimità della fessura con la busta orientata in modo arbitrario e devono ricorrere al segnale tattile per concludere la prova. Tuttavia, se viene loro richiesto di riportare verbalmente l'orientazione della fessura, questi pazienti lo fanno correttamente. L'atassia ottica e l'agnosia visiva sembrano dunque esibire un doppia dissociazione: gli atassici falliscono nella guida visiva del movimento ma non nel riconoscimento, mentre gli agnosici falliscono nel riconoscimento ma non nella guida visiva. In neuropsicologia cognitiva, le doppie dissociazioni sono considerate dimostrazioni dell'esistenza di sistemi almeno parzialmente indipendenti: le osservazioni sui pazienti sono in accordo quindi con la distinzione percezione-azione.

Parecchio più controversi sono invece i dati provenienti da esperimenti su dissociazioni fra percezione e azione nel sistema percettivo non patologico. In una ricerca molto nota, il gruppo canadese di Goodale presentò dei dischi circondati da dischi di diametro maggiore o minore (la cosidetta illusione di Titchener-Ebbinghaus, Figura 13) e chiese ai partecipanti di svolgere due compiti diversi. Nel primo compito, essi dovevano stimare il diametro dei dischi centrali. Nel secondo, invece, dovevano muovere la mano per afferrarli. I risultati furono sorprendenti.

Nel compito di stima, nel contesto di dischi piccoli il disco-bersaglio veniva giudicato più grande rispetto a quello nel contesto di dischi grandi. I partecipanti erano dunque vittima di un effetto di contrasto di grandezza. Nel compito motorio, invece, l'apertura della mano durante il gesto di afferramento era la stessa in entrambe le condizioni. I risultati suggerivano dunque che la codifica della grandezza del disco era immune dall'effetto del contesto, se finalizzata alla guida del movimento piuttosto che al riconoscimento e alla verbalizzazione (Aglioti, de Souza e Goodale, 1995).

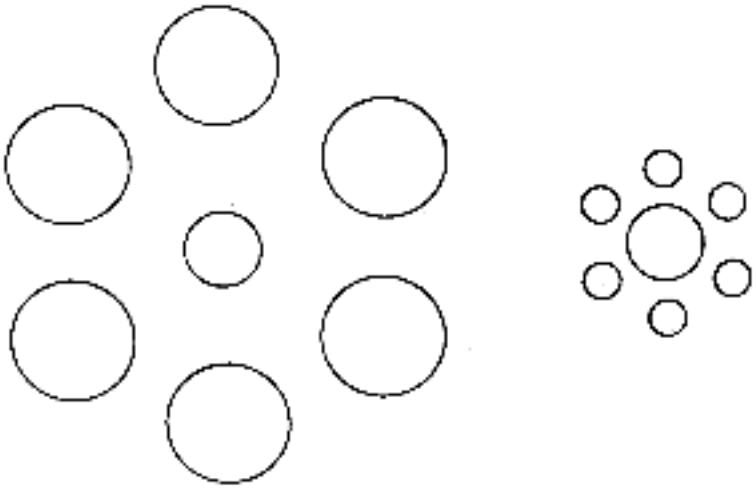

Figura 13. L'illusione di Titchener-Ebbinghaus. I due dischi centrali hanno lo stesso diametro in termini assoluti, ma appaiono più piccolo e più grande in relazione al contesto.

Questo risultato appare in linea con le previsioni del modello percezione-azione. Quando il compito richiede un giudizio cosciente, la grandezza del disco viene codificata in relazione al contesto e si osserva un effetto illusorio. Quando richiede invece una risposta motoria, la grandezza viene codificata rispetto alla mano del partecipante e l'effetto del contesto scompare. Moltissimi lavori successivi hanno tuttavia messo in dubbio la generalità di questo risultato. In una serie di recenti lavori che hanno utilizzato il metodo della meta-analisi, ad esempio, sono stati

esaminati più di cento esperimenti indipendenti in cui vengono confrontati compiti percettivi e motori sullo stesso stimolo (Bruno, Bernardis e Gentilucci, 2008; Bruno e Franz, 2009; Bruno, de Grave e Knox, 2010). I risultati suggeriscono che una vera e propria immunità dagli effetti di contesto si ottiene solo in condizioni molto specifiche, e non in generale quando la risposta è un movimento.

Per questo ed altri motivi, gli stessi Milner e Goodale hanno riconosciuto, nei loro contributi più recenti (Milner e Goodale, 2008), che la via ventrale può contribuire anch'essa alla guida delle risposte motorie. In particolare, essa sarebbe importante per la guida dei movimenti che richiedono il recupero di informazioni in memoria, come ad esempio i movimenti mimati o eseguiti a memoria dopo la scomparsa dello stimolo. Inoltre la via ventrale avrebbe un ruolo importante nella selezione delle azioni da compiere. La via dorsale sarebbe invece responsabile delle azioni automatiche e veloci, programmate ed eseguite in risposta ad uno stimolo che rimane disponibile durante l'esecuzione o perlomeno durante la programmazione della risposta. Altri ricercatori hanno proposto versioni più articolate del modello percezione-azione, suggerendo ulteriori suddivisioni e possibilità di interazione fra le funzioni percettive e sensomotorie. La versione che appare attualmente maggiormente in grado di rendere conto dei dati fisiologici, neuropsicologici e psicofisici propone una ulteriore suddivisione del sistema visivo in una via ventrale, che implementa i processi di percezione e riconoscimento di oggetti, e due vie dorsali: una via dorso-dorsale, che coinvolge le aree del lobo parietale superiore e una via ventro-dorsale che coinvolge le aree del lobo parietale inferiore e del lobo frontale (vedi ad esempio Rizzolatti e Matelli, 2006). Secondo questa proposta, le funzioni della via dorso-dorsale conciderebbero sostanzialmente con quelle dorsali nel modello di Milner e Goodale. La via dorso-dorsale sarebbe quindi coinvolta nel controllo automatico dei movimenti (in particolare di quelli della mano), basato su

informazioni visive e somatico-propriocettive. La via ventro-dorsale avrebbe invece funzioni più complesse. Essa sarebbe infatti coinvolta nel l'elaborazione spaziale necessaria alla preparazione dell'azione, in particolare nella codifica delle affordance (di cui abbiamo parlato nella sezione sul riconoscimento) e nel controllo dell'attenzione spaziale. Questo spiegherebbe i deficit di tipo spaziale-attentivo che si osservano a seguito dei danni cerebrali nelle aree parietali (il cosidetto neglect). Inoltre, la via ventro-dorsale sarebbe coinvolta nella percezione delle azioni grazie a funzioni implementate dai sistemi specchio, ossia da circuiti neurali che codificano i modelli interni delle azioni e sono in grado di mettere in relazione le azioni eseguite dal percettore con quelle osservate nell'esecuzione di altre persone (per una introduzione vedi Rizzolatti e Sinigaglia, 2006).

5.2 Modellistica bayesiana

Il modello bayesiano della percezione deriva dalle idee di Helmholtz e dei costruttivisti neohelmoholtziani, di cui cui abbiamo già parlato. Come per Helmholtz, per i bayesiani I percetti sono una sorta di conclusione sul mondo con cui entriamo in contatto attraverso i sensi, conclusione tratta a partire da premesse in parte esterne (gli stimoli disponibili) e in parte interne (le conoscenze dell'osservatore). Rispetto alla metafora helmoltziana della percezione come inferenza inconscia, il modello bayesiano contemporaneo presenta tuttavia alcune differenze importanti. Se infatti per Helmholtz percepire è un'inferenza deduttiva, un processo che ha una struttura logica simile a quella del sillogismo, per i bayesiani la percezione è invece una forma di inferenza probabilistica e la sua struttura logica corrisponde quindi ad una regola di calcolo della probabiità: la **regola di Bayes**. Per i fini di questa dispensa, possiamo definire la regola di Bayes come un metodo per modificare il "grado di plausibilità" di una credenza una volta ottenute nuove informazioni. Nella terminologia

bayesiana, e trascurando i formalismi, l'idea può essere riassunta con questa frase: la probabilità a posteriori di una credenza dipende dalla sua probabilità a priori (quanto era plausibile prima di avere nuove informazioni) e dalla sua verosimiglianza (quanto è plausibile acquisire proprio quelle informazioni, se la credenza è corretta).

Applicata alla percezione, la regola dice dunque che la plausibilità di una interpretazione percettiva (probabilità a posteriori) dipende dalla sua plausibilità prima di avere nuove informazioni sensoriali (probablità a priori) e dalla specificità delle nuove informazioni sensoriali (verosimiglianza). In questo senso, dunque, il modello bayesiano è sia una teoria dello stimolo (ruolo della verosimiglianza), sia una teoria costruttivista (ruolo delle probabilità a priori). Inoltre, la regola di Bayes si presta molto bene a modellizzare il ciclo percezione-azione. Durante l'azione esplorativa, il sistema percettivo acquisce nuove informazioni. Queste a loro volta diventano credenze a priori che guidano la ricerca di nuove informazioni esplorative, e così via. Infine, la regola di Bayes può essere generalizzata in modo da combinare fra loro diverse fonti di informazioni (verosimiglianza) e diverse assunzioni a priori in una interpretazione percettiva finale. Per questo motivo, il modello bayesiano ha avuto molto successo nello studio di processi integrativi in percezione visiva (ad esempio, nell'integrazione di diverse fonti di informazione spaziale, vedi ad esempio Hillis, Watt, Landy e Banks, 2004; per una voce critica su questo approccio, Domini e Caudek, 2003) e nello studio dei processi di integrazione multisensoriale (ad esempio, Ernst e Banks, 2002; Alais e Burr, 2004).

Una delle ragioni di questo successo è che l'approccio bayesiano consente di affrontare in maniera matematicamente rigorosa un tema classico della psicologia della percezione: quello del rapporto fra percezione e conoscenza. Già le ricerche classiche dei gestaltisti avevano individuato, fra i fattori che concorrono al costituirsi delle unità

percettive, anche un fattore di impostazione soggettiva. I gestaltisti tendevano tuttavia a considerare questo fattore relativamente poco importante rispetto agli altri, più direttamente legati a caratteristiche dello stimolo (vedi ad esempio Kanizsa, 1980). Nel modello bayesiano, invece, l'esito percettivo dipende sempre da un compromesso probabilistico fra verosimiglianza e conoscenze a priori. Ma il peso relativo delle due componenti varia in funzione della situazione. Quando l'informazione sensoriale è ambigua o debole, le conoscenze a priori hanno un ruolo più importante; quando l'informazione è ricca, il percetto è determinato principalmente dallo stimolo.

Figura 14. La stanza di Ames (foto: Ian Stannard, http://www.flickr.com/photos/)

L'idea è ben illustrata da un'altra celebre dimostrazione di Adalbert Ames, visibile in moltissimi musei della scienza nel nostro e in altri paesi. Immaginate allora di essere in uno di questi musei: vi trovate davanti ad una parete e venite invitati a guardare attraverso uno spioncino. Ciò che vedete è una stanza normale, con un pavimento, delle finestre, perfino un orologio appeso su una parete. Adesso nella stanza entrano delle persone, ad esempio due amici che stanno visitando il museo con voi.

Improvvisamente accade qualcosa di molto sorprendente. In uno degli angoli della stanza, uno dei vostri amici appare gigantesco; mentre l'altro amico, nell'angolo opposto, appare minuscolo (Figura 14). Ora leggete la spiegazione dei curatori del museo, su un poster accanto allo spioncino. La stanza appare normale ma in realtà ha una pianta trapezoidale. Di questo non vi siete accorti perché tutto nella stanza è distorto in maniera da proiettare sulla vostra retina delle configurazioni compatibili con una stanza e con oggetti normali (ricordate la sedia?). Ecco allora che l'amico gigantesco in realtà era più vicino, quello minuscolo più lontano. Ma apparivano a uguale distanza perché la stanza non sembra trapezoidale ma rettangolare. E se due oggetti appaiono a uguale distanza, ma hanno proiezioni retiniche diverse, saranno percepiti di grandezza diversa (ricordate le costanze?).

Ma, direte voi, non è questa allora una dimostrazione del prevalere dei fattori percettivi (grandezza e distanza) sulla conoscenza (io so benissimo che i miei amici non sono un gigante e un nano)? Non proprio. Dire che l'esito percettivo dipende dalle conoscenze a priori non equivale a dire, come si potrebbe pensare, che si percepisce ciò che si sa o ci si aspetta, o che le esperienze individuali influenzano come percepiamo il mondo. Questa versione rozza dei rapporti fra percezione e conoscenza è errata, come dimostrano gli innumerevoli effetti in cui conoscenze ed aspettative non ci impediscono di cadere vittima di un'illusione. Ciò che sostiene l'approccio bayesiano è invece che il sistema ha incorporate delle aspettative molto generali su regolarità statistiche che caratterizzano gli oggetti, l'ambiente, e le nostre attività esplorative. Una di queste ha a che fare con la bassissima probabilità di essere in un punto di vista accidentale (vedi la sezione sul riconoscimento): è praticamente impossibile, a meno di non essere nel laboratorio di Adalbert Ames a Princeton, occupare un punto di vista da cui una stanza distorta proietti sulla retina una configurazione equivalente a quella di una stanza normale. Questa

aspettativa a priori fa propendere il sistema per l'interpretazione alternativa, causando l'illusione.

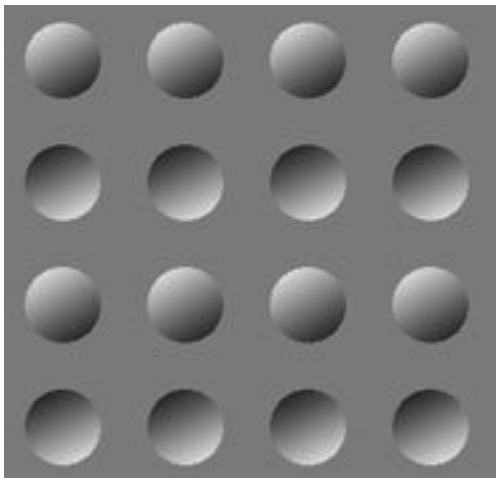

Figura 15. Il sistema visivo tende ad interpretare il chiaroscuro assumendo che l'illuminazione provenga dall'alto. I dischi nella prima e nella terza riga della figura sono identici a quelli nella seconda e nella quarta riga, a meno di una rotazione di 180 gradi. Tuttavia nelle righe uno e tre si vedono delle collinette, mentre nelle righe due e quattro degli avvallamenti.

Dato che le aspettative a priori dipendono da conoscenze che vengono incorporate con l'esperienza, individuale o della specie, l'approccio bayesiano implica anche che le informazioni sensoriali dovrebbero, a lungo andare, anche essere in grado di modificare le probabilità a priori. Una situazione di questo tipo è stata studiata di recente da Wendy Adams, dell'università inglese di Southampton (Adams, Graf & Ernst, 2004). La Adams ha sfruttato l'effetto rappresentato in Figura 15, in cui l'interpretazione di una superficie come concava o convessa sembra dipendere dalla cosiddettetta assunzione della luce dall'alto. Nell'approccio bayesiano, questa assunzione corrisponde all'elevata probabilità a priori che la luce provenga dal sole, la quale influenza la conclusione sulla forma tridimensionale in condizioni in cui la convessità o concavità deve essere inferita probabilisticamente a partire dal chiaroscuro nell'immagine. Nel suo esperimento, la Adams ha misurato, per ogni partecipante, la preferenza per l'interpretazione concava o convessa in funzione

dell'orientazione del chiaroscuro più o meno verso l'alto o il basso. A questa misura iniziale ha poi fatto seguire una fase di addestramento multisensoriale, in cui i partecipanti toccavano con la mano superfici effettivamente concave o convesse, associate a configurazioni visive ruotate rispetto a quelle iniziali (e quindi non piu coerenti con l'assunzione che la luce provenga dal'alto). Infine la Adams ha misurato nuovamente le preferenze per l'interpretazione concava o convessa in funzione del chiaroscuro. I risultati hanno evidenziato che le preferenze per l'una o l'altra interpretazione non erano più completamente coerenti con l'assunzione che la luce provenga dall'alto, ma si erano spostate verso l'interpretazione imparata durante l'addestramento visuotattile. Il risultato è quindi in accordo con l'idea che l'esperienza multisensoriale può modificare, nel corso di un'attività esplorativa, la probabilità a priori relativa alla direzione da cui proviene la luce, e di conseguenza anche quella a posteriori che orienta la scelta della soluzione percepita.

Glossario

Agnosia visiva: incapacità di riconoscere gli oggetti, pur essendo in grado di vederli; tipicamente associata a un danno neurologico alla via corticale ventrale

Atassia ottica: deficit nella guida visiva dei movimenti, in particolare dei movimenti della mano, tipicamente associata a un danno neurologico alla via corticale dorsale

Catena psicofisica: modello in cui la percezione è descritta come una sequenza di eventi, a tre livelli o stadi diversi: il livello distale, il livello prossimale, e quello percettivo; eventi fisici consentono il passaggio di informazione dal livello distale al livello prossimale; eventi neurali quello dal livello prossimale al livello percettivo; l'informazione viaggia in un'unica direzione

Canale: detto anche canale psicofisico, meccanismo neurale ipotetico che funziona come un filtro rispetto ad un continuum di stimolazione fisica; il

canale è sintonizzato su una gamma ristretta dei valori fisici, elaborando solo quelli; esempi sono i canali per le frequenze spaziali o l'orientazione dei contorni

Descrizione strutturale modello geometrico della forma tridimensionale di un oggetto

Geoni: secondo Biederman, sono descrizioni strutturali primitive utilizzate dal sistema visivo per rappresentare la forma tridimensionale degli oggetti artificiali

Illuminazione: intensità e composizione spettrale della luce incidente ad una superficie

Movimento di inseguimento lento: movimento oculare con cui il sistema visivo mantiene in fovea un oggetto che si sposta nel campo visivo; a differenza delle saccadi non è balistico ma guidato dal feedback visivo

Percetto: il contenuto dell'esperienza percettiva cosciente; il fenomeno

Regola di Bayes: teorema che esplicita la relazione fra una probabilità condizionale a posteriori $p(A \mid B)$, la verosimiglianza ossia la sua conversa $p(B \mid A)$, e la probabilità a priori $p(A)$;

Riflettanza: rapporto fra luce riflessa e luce incidente, proprietà di un materiale

Saccade: movimento oculare rapido e balistico, utilizzato per portare in fovea un oggetto di interesse; può essere di tipo riflessivo, deliberato, o guidato dalla memoria

Stimolo prossimale: l'energia stimolante che determina l'attivazione dei recettori in un canale sensoriale; nel caso della visione, la distribuzione di intensità e lunghezza d'onda della luce che colpisce la retina (talvolta impropriamente chiamata immagine retinica)

Stimolo distale: l'entità nel mondo che, interagendo con un mezzo informativo, produce un potenziale stimolo distale

Via dorsale: circuito neurale dall'area visiva primaria alla corteccia parietale posteriore; aree corticali incluse nella via dorsale sono V1, V2, DM, V5/MT, PPT; danni neurologici alla via dorsale possono produrre simultagnosia, atassia ottica, neglect, akinetopsia e aprassia

Via ventrale: circuito neurale dall'area visiva primaria alla corteccia temporale; aree corticali incluse nella via dorsale sono V1, V2, V4, ITC; danni neurologici alla via ventrale possono produrre deficit di riconoscimento come agnosia, prosopagnosia, alessia (per danni all'emisfero sinistro)

Bibliografia

ADAMS, W. J., GRAF, E. W., & ERNST, M. O. (2004). "Experience can change the 'light-from-above' prior". In *Nature Neuroscience*, *7*(10), pp. 1057-58.

ADELSON, E.H .(1993), "Perceptual organization and the judgment of brightness". In *Science,* 262, pp. 2042–2044.

ALAIS, D. & BURR, D. (2004). "The ventriloquist effect results from near-optimal bimodal integration". In *Current Biology*, 14(3), pp. 257-62.

BIEDERMAN, I. (1987). "Recognition-by-components: a theory of human image understanding". In *Psychological Review*, *94*(2), pp. 115-47.

BREGMAN, A.S. (1990), A*uditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound.* Cambridge, Mass: MIT Press.

BRIDGEMAN, B., VAN DER HEIJDEN A. H. C., & VELICHKOVSKY, B. (1994), "Visual stability and saccadic eye movements". In *Behavioral and Brain Sciences,* 17, pp. 247–258.

BRIDGEMAN, B. (2010), "How the brain makes the world appear stable". In *i-Perception*, 1, pp. 69-72.

BRUNO, N. & FRANZ, V. (2009), "When is grasping affected by the Müller-Lyer illusion? A quantitative review". In *Neuropsychologia*, 47, pp. 1421-33.

BRUNO, N., BERNARDIS, P., & GENTILUCCI, M. (2008) ,"Visually guided pointing, the Müller-Lyer illusion, and the functional interpretation of the dorsal-ventral split: Conclusions from 33 independent studies". In *Neuroscience and Biobehavioral Reviews,* 32, pp. 423-437.

BRUNO, N., KNOX, P.C.& DE GRAVE , D.J. (2010), “A metanalysis of the effect of the Müller-Lyer illusion on saccadic eye movements: No general support for a dissociation between perception and oculomotor action”. In *Vision Research,* 50(24), pp. 2671-82.

DOMINI, F. & CAUDEK, C. (2003). “3D structure perceived from dynamic information: A new theory”. In *Trends in Cognitive Sciences,* 7, pp. 444-449.

ERNST, M. O. & BANKS, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. In *Nature*, 415(6870), pp. 429-33.

FIELD, D., HAYES, T., & HESS, R.F. (1983), “Contour integration by the human visual system: evidence for a local “association field”. In *Vision Research,* 33, pp.173-193.

GERBINO, W., & BRUNO, N. (1991, “ Indeterminazione ottica e visione”. In BIONDI E., MORASSO, P. & TAGLIASCO, V. (A cura di), *Neuroscienze e scienze dell'artificiale: dal neurone all'intelligenza.* Bologna: Patron.

GHOSE, T. & PALMER, S.E. (2010), “Extremal edges versus other principles of figure-ground organization”. In *Journal of Vision,* 10(8), pp. 1-17.

GIBSON, J. J. (1962), “Observations on Active Touch”. In *Psychological Review,* 69, pp. 477–491.

GIBSON, J.J. (1966), *The senses considered as perceptual systems.* Boston, MA: Hougton Mifflin.

HARRAR, V. & HARRIS, L. R. (2007), “Multimodal Ternus: visual, tactile, and visuo-tactile grouping in apparent motion”. In *Perception*, *36*(10), pp. 1455-64.

HARRÉ, R. (1981). *Great scientific experiments: twenty experiments that changed our view of the world.* Oxford, UK: Oxford University press; trad. it. 1981, *Grandi esperimenti scientifici : 20 esperimenti che hanno cambiato la nostra visione del mondo,* Roma : Editori riunit.

HELMHOLTZ, H. VON (1867), *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Leopold Voss.

HOLWAY, A.H., & BORING, E.G. (1941), "Determinants of apparent visual size with distance variant". In *American Journal of Psychology,* 54, pp. 21-37.

KANIZSA, G. (1955), "Margini quasi-percettivi in campi con stimolazione omogenea". In *Rivista di Psicologia,* 49 (I), pp. 7-30.

KANIZSA, G. (1980), *Grammatica del vedere.* Bologna, Il Mulino.

KOFFKA, K. 1935, *The Principles of Gestalt Psychology.* New York, Hartcourt Brace; trad. It. 1970, *Principi di psicologia della forma.* Torino: Bollati Boringheri.

GILCHRIST, A., KOSSYFIDIS, C., BONATO, F., AGOSTINI, T. CATALLIOTTI, J., HILLIS, J. M., ERNST, M. O., BANKS, M. S., & LANDY, M. S. (2002). Combining sensory information: mandatory fusion within, but not between, senses. In *Science*, *298*(5598), 1627-30.

ITTELSON, W.H. (1952), *Ames demonstrations in perception: a guide to their construction and use.* Princeton, NJ: Princeton University press.

KUBOVY, M. (1994), "The perceptual organization of dot lattices". In *Psychonomic Bulletin& Review,* 1(2), pp. 182-190.

MARR, D. & HILDRETH, E. (1980), "Theory of edge detection". In *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 201, *pp.* 187-217.

MARR, D. (1982), *Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information.* Cambridge, MA: MIT press.

MILNER, A. D. & GOODALE, M. A. (1995), *The visual brain in action.* Oxford, UK: Oxford University press.

MILNER, A. D. & GOODALE, M. A. (2008), "Two visual systems re-viewed". In *Neuropsychologia*, 46(3), pp. 774-85.

PETERHANS, E. & VON DER HEYDT, R. (1989), "Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. II. Contours bridging gaps". In *Journal*

of Neuroscience, 9, pp. 1749-1763.
RIZZOLATTI, G., & GALLESE, V. (2006), "Do perception and action result from different brain circuits? The three visual systems hypothesis". In VAN HEMMEN, J. L., & SEJNOVSKY, T. J. (A cura di.), *23 problems in systems neuroscience*. Oxford university press, pp. 367-93.
RIZZOLATTI, G., & SINIGAGLIA, C. (2006), *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio.* Milano: R. Cortina editore.
ROCK, I. (1985), *The logic of perception.* Cambridge, MA: MIT press, Bradford books.
SERINO, A., GIOVAGNOLI, G., DE VIGNEMONT, F., & HAGGARD, P. (2008), "Spatial organisation in passive tactile perception: is there a tactile field?" In *Acta Psychologica,* 128(2), pp. 355-60.
SHEPARD, R & METZLER. J. (1971), "Mental rotation of three dimensional objects". In *Science,* 171, pp. 701-3.
SPEHAR, B., ANNAN, V. & ECONOMOU, E. (1999), "An anchoring theory of lightness perception". In *Psychological Review,* 106(4), pp. 795-834.
SWETS, J. A. (1964), *Signal detection and recognition by human observers.* Los Altos, CA: Peninsula publishing.
TARR, M.J. & BÜLTHOFF, H.H. (1998), "Image based object recognition in man, monkey and machine. In *Cognition,* 67, pp. 1-20.
THORPE, S. J., FIZE, D., & MARLOT, C. (1996) "Speed of processing in the human visual system". In *Nature*, 381, pp. 520-22.
UNGERLEIDER, L.G. & MISHKIN, M. (1982), "Two cortical visual systems." In INGLE, D.J. , GOODALE, M.A. & MANSFIELD, R.J.W. (A cura di) *Analysis of visual behavior,* Cambridge, MA: MIT press, pp. 549-586.
VAN RULLEN, R. & THORPE, S. J. (2001), " Is it a bird? Is it a plane? Ultra-rapid visual categorisation of natural and artifactual objects*".* In *Perception*, 30, pp. 655-68.
WERTHEIMER, M. (1923), "Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II". In *Psycologische Forschung*, *4,* pp. 301-350.