

In P. Moderato P. e F. Rovetto (a cura di).
Psicologo: verso la professione. III ed., 2006. Milano: McGraw-Hill.

Capitolo 19

PERCEZIONE LE RAGIONI DELL'APPARENZA

Walter Gerbino

INTRODUZIONE

Gli psicologi operano in ambiti professionali molto diversi, nei quali è importante il possesso di varie conoscenze sulla percezione. Lo psicologo dello sviluppo e il neuropsicologo, quando utilizzano una prova come il Bender Gestalt Test, devono aver chiari i fattori che determinano l'organizzazione percettiva di semplici configurazioni grafiche. Chi esamina le capacità sensoriali per stabilire l'idoneità a svolgere particolari compiti, deve conoscere i metodi psicofisici. Chi collabora alla progettazione di interfacce deve saper valutare l'efficacia di una data distribuzione spaziotemporale dell'informazione, applicando quanto si sa sull'attenzione visiva e sui rapporti tra percezione e azione. Più in generale, chi opera con la soggettività e l'intersoggettività deve essere ben consapevole del senso di metafore quali "punto di vista", "visione del mondo" o *insight* (il "vedere dentro"); metafore che sono radicate nella fenomenologia dell'esperienza visiva.

Adottando la prospettiva della *scienza della visione*, la parte di scienza cognitiva riguardante il sistema visivo, il capitolo mette in evidenza che lo studio del sistema mente-cervello integra i contributi della psicologia, delle neuroscienze e della modellistica simulativa. Al termine della lettura, dovrebbe risultare chiaro che la percezione è il risultato di complessi processi di acquisizione ed elaborazione dell'informazione sensoriale, che vengono studiati combinando vari metodi di indagine scientifica.

LA SCIENZA DELLA VISIONE

La scienza della visione evita di enfatizzare le differenze tra le teorie che si sono contrapposte nella storia del pensiero scientifico (Palmer, 1999a); cerca piuttosto di offrire una sintesi entro una comune intelaiatura concettuale, identificabile nell'*approccio computazionale* (Marr, 1982).

Secondo Marr, in ogni sistema di elaborazione dell'informazione è opportuno distinguere almeno tre livelli: il livello della teoria computazionale, il livello degli

algoritmi, il livello dell'implementazione. Per esempio, qualsiasi sistema di visione (sia naturale sia artificiale) per stabilire la grandezza di un oggetto deve risolvere un problema computazionale, attivando una procedura di calcolo che utilizza dati in input e regole di elaborazione. A livello della *teoria computazionale*, si può dimostrare che il problema è insolubile per un sistema di visione che possieda una sola immagine istantanea dell'oggetto e ignori la sua distanza, mentre diviene solubile se la distanza è nota. A livello degli *algoritmi*, cioè delle specifiche procedure di calcolo, si possono ipotizzare due modelli: uno simbolico, in cui la grandezza dell'immagine retinica, registrata come numero, viene moltiplicata per un altro numero che rappresenta la distanza; e uno analogico, in cui l'immagine retinica viene assimilata a una diapositiva che la mente proietta all'esterno (come pensava Keplero), in modo che l'oggetto assuma una grandezza corrispondente alla distanza tra osservatore e piano di proiezione. A livello dell'*implementazione*, si presuppone che nell'uomo qualsiasi algoritmo (non importa se numerico o analogico) si materializzi, all'interno nel sistema nervoso, in specifici processi di elaborazione di segnali bioelettrici; ma assumendo che in un sistema artificiale come un robot, il supporto materiale potrebbe essere molto diverso.

In generale, la scienza cognitiva presuppone che ciascun problema computazionale – se ben posto – può essere risolto mediante una molteplicità di algoritmi e che ciascun algoritmo è compatibile con una molteplicità di implementazioni. Un uomo e un robot potrebbero dimostrarsi capaci di risolvere lo stesso problema percettivo in modi diversi: tale diversità potrebbe sussistere a livello o solo algoritmico o solo implementativo, oppure a entrambi i livelli.

Funzioni della visione

Possiamo definire la visione come esperienza diretta del mondo esterno, ottenuta grazie al funzionamento del sistema visivo. La visione serve all'osservatore come supporto per varie attività: alcune più legate all'azione, come la pianificazione dei movimenti e la locomozione; altre all'estrazione ed elaborazione di conoscenze sugli oggetti, come il confronto visivo, la categorizzazione e la descrizione verbale. È possibile che queste attività siano mediate da più rappresentazioni mentali, solo parzialmente integrate, e non ugualmente accessibili alla consapevolezza (Milner e Goodale, 1995). Tale ipotesi, coerente con affascinanti evidenze neuropsicologiche (Goodale e Milner, 2004), non deve far dimenticare che nell'esperienza ordinaria la scena visiva appare come un mondo coerente, popolato di fenomeni osservabili e descrivibili. In questo capitolo il sistema visivo sarà quindi descritto come un insieme di processi che rendono disponibile all'osservatore un *mondo percepito*, che tuttavia è ben diverso da una rappresentazione completa e veridica del *mondo fisico*.

In generale, la percezione visiva è una rappresentazione *incompleta* perché un sistema in grado di codificare tutte le proprietà degli oggetti esterni (e di farlo rapidamente, per offrire un efficace supporto all'azione) sarebbe molto difficile da realizzare e, forse, non del tutto conveniente. Consideriamo un esempio classico della parzialità della percezione visiva, il cosiddetto quadrato di Mach (1886). Osserviamo la Fig. 19.1: pur essendo geometricamente identiche, le due forme appaiono



Figura 19.1 Nel 1886 il fisico e filosofo Ernst Mach (1838-1916) discusse per la prima volta un fenomeno che aiuta a capire come la mente rappresenta la forma visiva. La stessa forma geometrica, ruotata di 45 gradi, viene percepita in modi molto diversi, a seconda degli elementi che si ancorano agli assi cardinali dello spazio percettivo: a sinistra i lati, a destra le diagonali.

diverse. A livello linguistico, ciò è rivelato dal fatto che il termine “quadrato” è usato tranquillamente per la forma di sinistra ma non per quella di destra, che appare più simile a un oggetto con delle punte, come una stella o un diamante, e che in inglese viene chiamata appunto *diamond* (non *square*). Questa differenza dipende probabilmente dal modo in cui la forma viene rappresentata all’interno del sistema visivo: non come una sorta di immagine fotografica (in tal caso dovrebbe valere l’invarianza alla rotazione), ma come una descrizione strutturale riferita agli assi cardinali dello spazio percettivo. Nella forma a sinistra gli angoli retti sono salienti e l’allineamento dei lati con la verticale e l’orizzontale rende la struttura molto stabile; mentre nella forma di destra ciascun angolo appare come una punta di ampiezza non ben definita, orientata in una delle direzioni cardinali. A livello geometrico un quadrato gode di molte proprietà: quattro lati uguali e quattro angoli uguali (quindi retti), diagonali uguali bisecantesi ad angolo retto, diagonali coincidenti con le bisettrici degli angoli. A livello percettivo sono rappresentate solo alcune di queste proprietà, in funzione dell’orientamento: nell’orientamento canonico sono rappresentate le proprietà che il quadrato geometrico condivide con l’insieme dei rettangoli (angoli retti e diagonali uguali ma non necessariamente bisecantesi ad angolo retto); in quello obliquo sono rappresentate le proprietà che il quadrato geometrico condivide con l’insieme dei rombi (diagonali bisecantesi ad angolo retto ma non necessariamente uguali).

Il quadrato di Mach è anche un buon esempio di percezione *non veridica* (oltre che incompleta). La forma di destra appare più grande di quella di sinistra, probabilmente perché la grandezza percepita dipende in qualche modo dall’ingombro degli attributi salienti, che sono sempre gli elementi allineati con gli assi cardinali (lati a sinistra e diagonali a destra). Nel quadrato di Mach si produce un’illusione della grandezza visiva.

Le *illusioni visive* sono interessanti perché dimostrano che la percezione, pur essendo in genere adeguata agli scopi dell'osservatore, non sempre è in tutto e per tutto veridica; ma probabilmente sono effetti eterogenei, che in comune hanno soltanto la sorpresa dell'osservatore per le aspettative tradite. Alcune illusioni dipendono dalla natura dei meccanismi sensoriali; altre dal modo in cui il sistema visivo utilizza l'input ottico per fornire all'osservatore una rappresentazione dell'ambiente. È bene rendersi conto che tale rappresentazione spesso *deve* entrare in conflitto con l'input ottico: deve rendere diverso ciò che l'occhio ha raccolto come uguale, e rendere uguale ciò che l'occhio ha raccolto come diverso. Il capitolo illustra il modo in cui il sistema visivo analizza l'input ottico, non riproducendo le proprietà fotometriche (intensità, cromaticità) e geometriche (grandezza, orientamento) delle immagini retiniche, ma estraendo informazione utile alla costruzione di una buona rappresentazione del mondo esterno.

Limiti della scienza della visione

Alcune domande suscitate dall'osservazione dei fenomeni non trovano risposta in ambito scientifico. Per illustrare questo limite di solito si ricorre a un argomento classico, basato su un esperimento di pensiero noto come *inversione dello spazio dei colori* (Gerbino, 1983; Palmer, 1999b). L'argomento serve a definire entro quali limiti possiamo fare scienza della visione, senza contaminare le domande suscettibili di risposte empiricamente fondate con quelle di tipo metafisico.

L'esperimento di pensiero comincia così. Immaginiamo due individui identici in tutto, salvo per il diverso modo di percepire i colori. Il primo guarda una foglia e la vede verde, mentre il secondo guarda la stessa foglia e la vede rossa (anche se entrambi la chiamano allo stesso modo, per esempio verde, essendo cresciuti in un ambiente in cui il colore delle foglie si chiama verde). Lo stesso accade per ogni superficie, che viene ad avere una tonalità cromatica per il primo individuo e quella opposta per il secondo. Poniamoci ora alcune domande. È sensato, da un punto di vista logico, immaginare l'inversione di un sistema di qualità fenomeniche? Se sì, esiste un modo per distinguere il primo individuo, portatore del sistema "normale", dal secondo, portatore del sistema "invertito"? In altre parole, riusciremo mai a scoprire che due individui non condividono gli stessi *qualia*?

Un sistema inverso è ipotizzabile

La risposta alla prima domanda è affermativa: l'argomento può apparire astruso, ma se posto in modo corretto si dimostra molto utile. Esso poggia sulla distinzione logica, fondamentale per la scienza cognitiva, tra esperienze fenomeniche e simboli linguistici utilizzati per descriverle. La condivisione del lessico dei colori (cioè il fatto che le superfici colorate siano denominate in modo univoco) non permette di inferire che i corrispondenti *qualia* sono identici, ma soltanto che tra essi sussistono le stesse relazioni di somiglianza/diversità.

Immaginare l'inversione dello spazio dei colori è un'operazione sensata perché esso è organizzato più o meno come un doppio cono (Fig. 19.2). Sulla circonferenza del cerchio massimo stanno i colori cromatici massimamente saturi, ordinati secondo

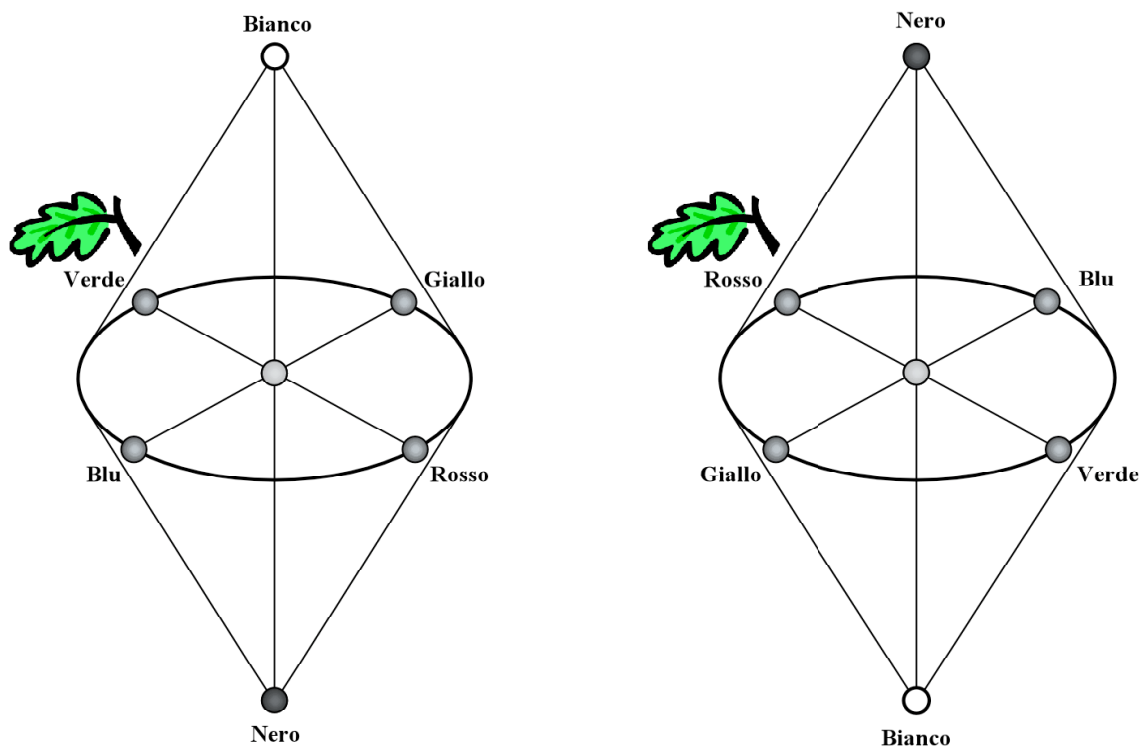


Figura 19.2 Lo spazio dei colori nella versione convenzionale (a sinistra) e nella versione invertita (a destra). I nomi indicano il colore effettivamente veduto dall'individuo. L'esperimento di pensiero presuppone che entrambi gli individui dicano che la foglia è verde, anche se l'individuo che è portatore dello spazio invertito la vede rossa.

relazioni di somiglianza che costituiscono degli universali. Tutti gli individui con visione tricromatica (trascuriamo per ora chi è portatore di una discromatopsia) li ordinano nello stesso modo: l'arancione tra il giallo e il rosso, il giallo pieno tra il giallo limone e l'arancione, il viola tra il rosso e il blu. Naturalmente non ci stiamo riferendo al modo in cui certi colori possono essere ottenuti miscelando luci o pigmenti, ma alla struttura dello spazio dei colori; in altri termini, alla rete di somiglianze indagabile, per esempio, chiedendo a un osservatore di scegliere fra tanti campioni di colore quello che si colloca meglio tra due colori dati.

I due individui non sono discriminabili

Ferma restando la rete di somiglianze tra i colori, l'orientamento assoluto del solido dei colori è empiricamente indeterminabile, nel senso che la differenza illustrata nella figura 19.2 può essere apprezzata soltanto da un osservatore che confronti i due solidi dall'esterno, come possiamo fare noi quando li guardiamo uno accanto all'altro, ma non può emergere dalla comunicazione tra due individui che siano portatori di spazi diversamente orientati, né dall'osservazione dei loro comportamenti. Inutile chiedere a entrambi gli individui di mostrare un oggetto rosso: entrambi mostreranno lo stesso oggetto, sia che condividano la stessa esperienza sia che abbiano esperienze opposte.

Le prove di tipo comportamentale, che alla fine sono la sola fonte di evidenza scientifica, non ci permettono di decidere se abbiamo di fronte due individui con lo stesso sistema di *qualia* o due individui con sistemi opposti.

Quanto grave è questo limite?

Dobbiamo concludere che la natura qualitativa dell'esperienza visiva è impenetrabile. Tale conclusione potrebbe far pensare che la psicologia della percezione, essendo fondata sulla registrazione del comportamento degli osservatori, soffra di un limite che altre discipline non hanno: non sia cioè in grado di descrivere completamente il proprio oggetto di studio.

In realtà si tratta di un limite accettabile, che non pregiudica la possibilità di studiare la struttura dell'esperienza visiva. Anzi, proprio l'argomento degli spazi invertiti presuppone che i colori appaiano all'osservatore non come elementi isolati, privi di relazioni reciproche e collocabili in un qualunque ordinamento. Fate una semplice prova. Prendete cinque cartoncini di colore diverso e disponeteli in fila sul tavolo: se l'insieme dei colori non fosse organizzato, qualunque ordinamento apparirebbe ugualmente buono. Invece, alcune file appaiono ordinate e altre no.

Due colori possono apparire più o meno vicini; un colore può apparire come intermedio tra altri due; una serie di colori può apparire come una variazione graduale da un estremo a un altro. Proprietà di questo tipo sono alla base dei giudizi forniti dagli osservatori, che permettono di costruire un modello spaziale dell'insieme dei colori in cui la somiglianza/dissomiglianza corrisponde alla prossimità/distanza.

Anche se il contenuto qualitativo di ciascun punto rimane indeterminabile, si possono determinare molte proprietà dello spazio dei colori: la sua dimensionalità (3-D, inferiore o superiore), la forma del solido risultante, l'andamento dei percorsi tra un punto e un altro, la possibilità che alcuni punti e alcuni assi svolgano una funzione cardinale (ponendosi come fuochi o assi di riferimento dello spazio). Sono queste le proprietà su cui si concentra lo studio sperimentale della percezione dei colori, che rappresenta un'importante area di intersezione tra fenomenologia, neuroscienze e modellistica computazionale.

Perché le cose stanno così?

Nella scienza della visione una domanda molto feconda è quella posta da Koffka (1935): "Why do things look as they do?". Proviamo a capire che cosa significhi la domanda "Perché le cose appaiono come appaiono?" nel caso dello spazio dei colori. Stabilito che nell'osservatore umano normale lo spazio dei colori è tridimensionale e che, per esempio, il verde e il rosso si trovano agli antipodi, ci si può chiedere perché mai le cose stiano così e non altrimenti.

La risposta del senso comune si situa a due livelli. A un primo livello il senso comune dice che le cose stanno così (esistono certe somiglianze tra i colori) perché gli stimoli sono fatti così (le miscele di luce che arrivano agli occhi contengono porzioni comuni). La percezione non farebbe altro che catturare e riflettere la struttura del mondo reale, mettendo a disposizione dell'osservatore la rete di

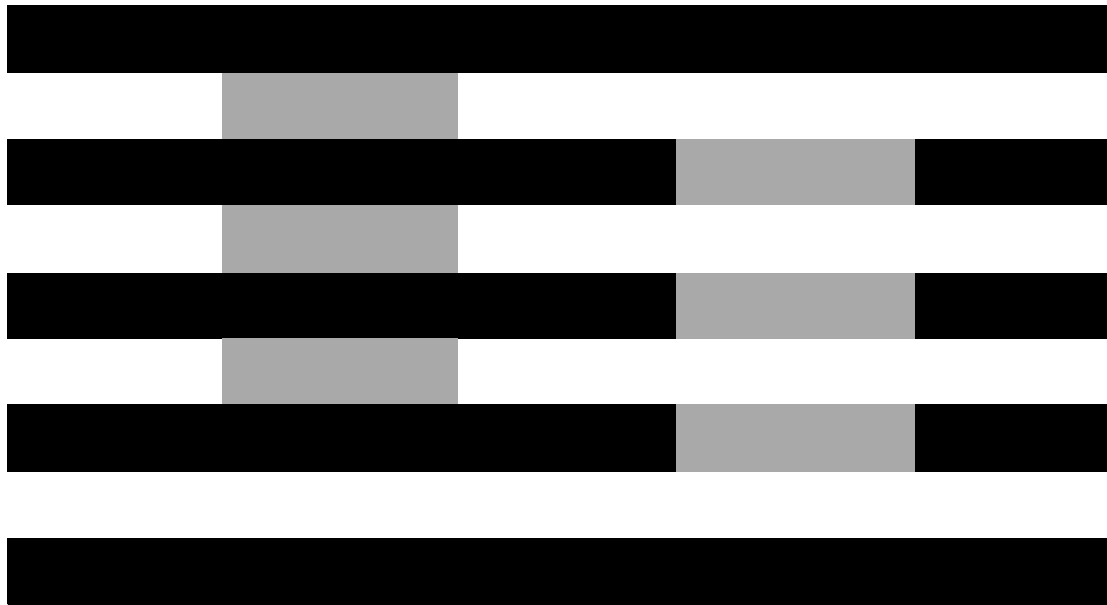


Figura 19.3 Illusione di White (1979). I rettangoli grigi allineati con le strisce bianche (a sinistra) appaiono più scuri dei rettangoli grigi allineati con le strisce nere (a destra), pur avendo la stessa riflettanza (e quindi la stessa luminanza, se osservati in un'illuminazione omogenea).

somiglianze/differenze presente negli stimoli esterni. Questa risposta è coerente con il *realismo ingenuo*, che in pratica non distingue tra mondo fisico e mondo percepito. Ma in molti casi il realismo ingenuo si dimostra errato, per esempio perché – come accade nell'illusione di White (fig. 19.3) – stimoli identici corrispondono a percezioni diverse. Per spiegare le illusioni, spesso il senso comune ricorre a un'ipotesi molto radicata nei vissuti personali, basata sull'apprendimento individuale e sull'adattamento alle circostanze più frequenti. L'individuo si abitua a vedere in un certo modo, in funzione della probabilità con cui gli stimoli si trovano associati, nell'ambiente naturale ma anche culturale. A questo livello la risposta del senso comune è coerente con l'*associazionismo*. Per il colore, sia nel senso comune sia in ambito scientifico (Hardin e Maffi, 1997) si è fatta strada l'ipotesi che individui appartenenti a culture diverse, anche in funzione di fattori linguistici, siano portatori di differenti spazi del colore. Non non senso dell'inversione (che rimane un esperimento di pensiero), ma nel senso della diversa salienza di alcuni punti, che assumerebbero la funzione di fuochi in virtù della loro importanza all'interno di una data cultura e lingua.

Nella scienza della visione, il realismo ingenuo deve lasciare il posto al *realismo critico*, che parte da un'accurata distinzione fra tre entità fondamentali (mondo fisico, informazione ottica, mondo percepito) e pone come problema empirico la misura del grado di corrispondenza tra mondo fisico e mondo percepito. Quest'ultimo viene considerato come un modello vincolato al rispetto di due requisiti fondamentali: adeguatezza della rappresentazione (vincolo meno severo della veridicità

ipotizzata dal realismo ingenuo) e aderenza all'informazione ottica (necessaria come fondamento della relazione di dipendenza tra percezione e realtà). Le componenti prettamente cognitive sono incorporate nella *percezione categoriale* (Harnad, 1987), che consiste nella presenza di confini non giustificabili soltanto in base alle proprietà dell'informazione ottica.

Prima di analizzare i rapporti tra mondo fisico, informazione ottica e mondo percepito, che permettono anche di definire il significato dei confini categoriali, è comunque opportuno anticipare la risposta che la scienza della visione ritiene di poter dare alla domanda di Koffka. L'esperienza visiva è fatta così perché il sistema mente-cervello, sulla base delle immagini raccolte dagli occhi e rimanendo a esse aderente, genera un modello del mondo che risulta (quasi sempre) adeguato agli scopi dell'azione e della descrizione verbale. L'adeguatezza di tale rappresentazione deve fare i conti sia con la parziale indeterminazione nell'informazione ottica sia con alcune limitazioni dei sistemi sensoriali. Nella codificazione dell'informazione spettrale, di cui parleremo adesso, prevalgono alcuni limiti sensoriali; più avanti, ci concentreremo sull'indeterminazione ottica e sui molti fenomeni visivi a essa collegati.

RAPPRESENTARE L'INFORMAZIONE SPETTRALE

È opinione diffusa che la percezione del colore costituisca una sorta di microcosmo (Gerbino, 1998; Palmer, 1999a), che ben esemplifica problemi di diversa natura e soluzioni paradigmatiche, trovate dall'evoluzione per fare del sistema visivo un efficiente strumento di rappresentazione. In questo paragrafo parleremo di un argomento specifico, la codificazione dell'informazione spettrale, che è preliminare alla trattazione di altri aspetti del colore (da Pos 1999; Oleari, 1998; Wandell, 1995). Faremo riferimento ad alcuni meccanismi fisiologici, ma catturare l'informazione contenuta nelle differenze di composizione spettrale è un tipico problema computazionale, comune a qualsiasi sistema visivo, biologico o artificiale.

Nella parte alta della figura 19.4 è illustrato il bordo tra due zone con diversa riflettanza spettrale, descritte da due funzioni con picchi nelle zone dello spettro rispettivamente corrispondenti alle lunghezze d'onda medie, per A(l), e lunghe per B(l). Come codificare questo bordo?

Per capire dove sta il problema, pensiamo al funzionamento di un generico fotorecettore, la cui risposta dipende dalla capacità di assorbire la luce: in misura maggiore o minore e in funzione del tipo di radiazione (cioè della posizione nello spettro). Ogni fotorecettore funziona quindi come un filtro, che trasmette più o meno informazione sui contorni, in rapporto alla propria funzione di assorbimento e alle funzioni che descrivono la composizione spettrale delle due zone dell'immagine. Nei sistemi di visione biologica (incluso quello umano) le funzioni di assorbimento dei fotorecettori coprono un'ampia porzione dello spettro; ma, per semplicità, nella figura 19.4 ciascuna classe di fotorecettori è descritta come un filtro passabanda molto stretto.

È importante ricordare che a livello dei singoli fotorecettori l'informazione sulla composizione spettrale della radiazione assorbita viene perduta, poiché la risposta di ciascun fotorecettore varia soltanto in intensità. In ciò consiste il cosiddetto principio dell'*univarianza*, che costituisce una caratteristica della codificazione neu-

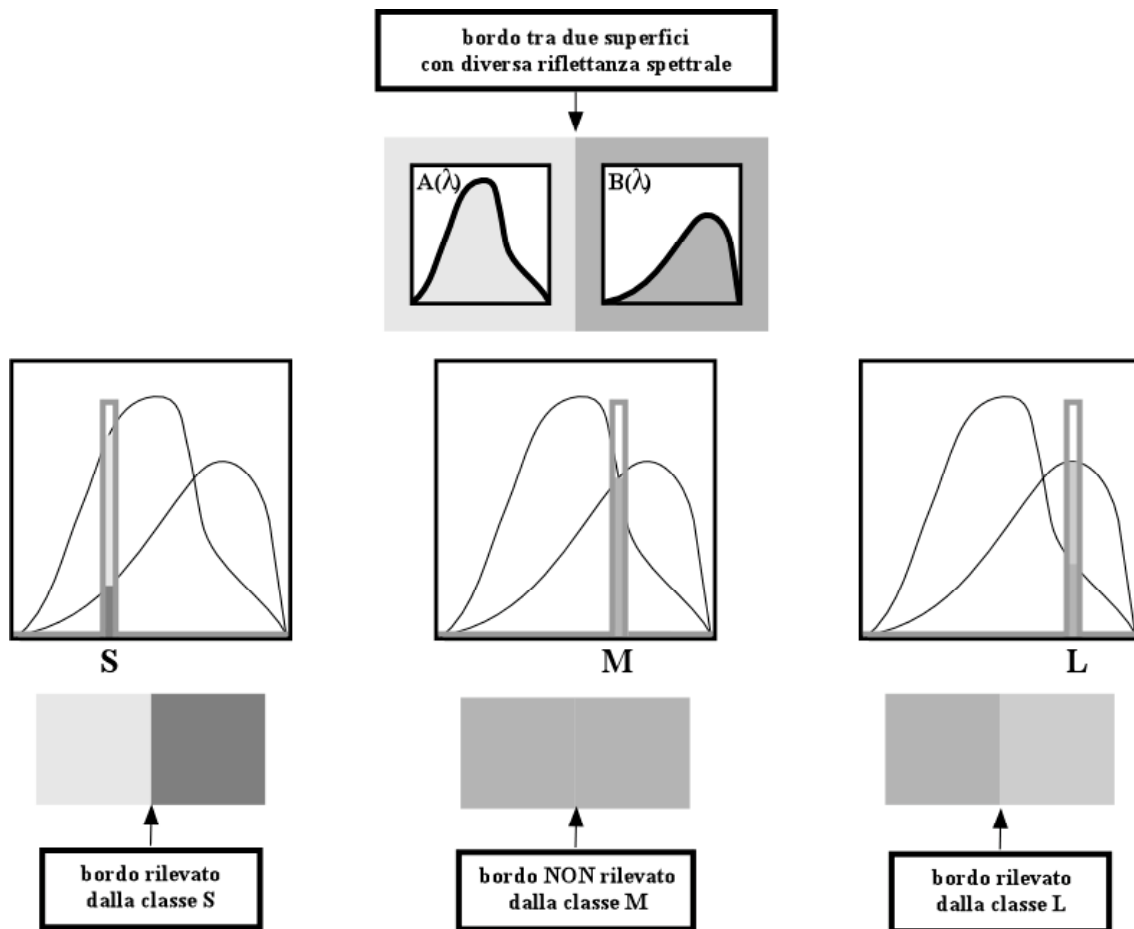


Figura 19.4 Il bordo tra le due regioni in alto, descritte dalle funzioni $A(\lambda)$ e $B(\lambda)$, viene codificato utilizzando la risposta indipendente di tre canali univarianti che simulano un sistema con tre classi di fotorecettori (S, M, L). Le risposte delle tre classi di fotorecettori sono rappresentate in basso: bordo chiaro/scuro nel canale S, omogeneità nel canale M, bordo scuro/chiaro nel canale L.

rale all'interno dei sistemi sensoriali naturali. Per la classe S (i fotorecettori specializzati per le lunghezze d'onda corte, *Short*) il bordo ha la stessa polarità chiaro/scuro illustrata dai grigi in alto, scelti in modo da riflettere il dislivello tra le aree sotto le due curve spettrali (maggiore a sinistra e minore a destra), poiché i fotorecettori assorbono nella zona dello spettro in cui l'intensità della zona A è maggiore. Per la classe M (i fotorecettori specializzati per le lunghezze d'onda medie, *Medium*) il bordo scompare, perché questi fotorecettori sono ugualmente attivati da entrambe le miscele di radiazioni A e B (che in quel punto hanno la stessa altezza). Per la classe L (i fotorecettori specializzati per le lunghezze d'onda lunghe, *Long*) il bordo ha polarità inversa a quella della classe S, perché questi fotorecettori sono attivati più dalla regione B che non dalla A.

La figura 19.4 fa capire che un sistema visivo dotato soltanto di fotorecettori della classe M vedrebbe come identiche le due miscele di radiazioni descritte dalle funzioni $A(\lambda)$ e $B(\lambda)$; miscele che quindi sarebbero dei *metameri*, stimoli fisicamente diversi che il sistema tratta come indistinguibili.

Maggiore è il numero di classi di recettori e minore è la probabilità che il sistema visivo fallisca nella rilevazione di un bordo tra regioni con diversa composizione spettrale. Per il sistema visivo umano, che possiede tre classi di recettori con picchi di assorbimento su punti diversi dello spettro, i metameri naturali sono rari: è molto improbabile che i petali di due fiori diversi appaiano uguali, pur riflettendo la luce in modo diverso. Diverso è il caso dei metameri artificiali, come quelli prodotti dai monitor che sfruttano le miscele additive delle radiazioni RGB (*Red, Green, Blue*; rosso, verde, blu); in quel caso la possibilità di ingannare l'occhio, facendolo rispondere nello stesso modo a miscele di luce obiettivamente diverse, rientra negli scopi delle tecnologie di riproduzione del colore.

Esistono diversi difetti della visione dei colori, riconducibili o alla minore separazione fra i tre canali (nei tricromati anomali, oltre il 6% della popolazione caucasica, il canale M è poco distinguibile dal canale S o dal canale L) o all'assenza di un canale (nella protanopia, il caso più frequente pari allo 0,8% della popolazione caucasica manca del tutto il canale L). Tutti questi difetti, su base genetica, comportano la perdita parziale della capacità discriminativi e quindi l'aumento dei potenziali metameri. La perdita può essere concettualizzata come una compressione del normale spazio dei colori a tre dimensioni, che diviene uno spazio a due dimensioni quando manca uno dei tre canali. Nell'osservatore privo di una delle tre classi di fotorecettori, alcuni colori che nello spazio 3D sono separati (e quindi discriminabili dall'osservatore normale) collassano in un unico punto dello spazio 2D, risultando non discriminabili.

INDETERMINAZIONE OTTICA E MAPPAGGIO INPUT-OUTPUT

La sequenza {mondo fisico \Rightarrow informazione ottica \Rightarrow mondo percepito} viene definita *catena psicofisica*, per sottolineare il collegamento, attraverso una serie di relazioni funzionali, tra realtà psicologica e realtà fisica. Questa definizione, comunque, non mette in evidenza una differenza sostanziale tra i due passaggi della catena.

Il primo, quello da mondo fisico a informazione ottica, è un mappaggio *distruttivo*, che comporta due inevitabili conseguenze negative:

- la confusione tra componenti che nel mondo fisico sono ben separate, quelle relative all'illuminazione e quelle relative alle proprietà delle superfici;
- la riduzione, da 3 a 2, del numero di dimensioni dello spazio entro cui si collocano rispettivamente gli oggetti e le corrispondenti immagini.

Il secondo, quello da informazione ottica a mondo percepito, è un mappaggio *ricostruttivo*, in cui il sistema visivo cerca (quasi sempre con successo) di recuperare le proprietà del mondo fisico che i raggi di luce si sono perduti per strada.

Naturalmente non bisogna esagerare nel caratterizzare la mediazione ottica in termini distruttivi. La luce è uno straordinario veicolo di informazione sul mondo fisico, in virtù di due proprietà: la regolarità della propagazione rettilinea e la virtuale istantaneità. La scienza della visione deve molto all'*approccio ecologico* (Gibson, 1966, 1979) che ha posto l'enfasi sulla ricchezza dell'informazione disponibile in un punto di vista, anche in funzione dell'esplorazione attiva dell'osservatore.

Per comprendere in che cosa consista l'*indeterminazione* conseguente al mappaggio distruttivo tra mondo fisico e informazione ottica, è utile contrapporre l'immagine in input sia al mondo fisico sia al mondo visivo. I paragrafi seguenti sono articolati facendo riferimento alla distinzione tra proprietà fotometriche e proprietà geometriche dell'immagine: le prime sono direttamente legate alla natura della luce, le seconde alla sua struttura spaziale.

PROPRIETÀ FOTOMETRICHE DELL'INPUT E PERCEZIONE DEL COLORE

La figura 19.5 illustra il caso più semplice di *indeterminazione fotometrica*, quello in ambito acromatico, che coinvolge la reciprocità tra la componente intensiva dell'illuminazione I e la riflettanza r . La riflettanza esprime la percentuale di luce riflessa da una superficie ed è una proprietà del mondo fisico che l'occhio deve discriminare indipendentemente dalla quantità di illuminazione, in quanto può servire a identificare l'oggetto (riconoscerlo come un pezzo di gesso o di carbone): nell'interazione con l'ambiente, ricostruire le proprietà intrinseche delle superfici è ben più importante che rappresentare la distribuzione di luci e ombre. Tuttavia, la quantità di luce che raggiunge l'occhio, la luminanza L , non è in corrispondenza biunivoca con la riflettanza.

Come mostra la figura 19.5, la stessa luminanza L (40 unità) può corrispondere a tre diversi prodotti rI : il 20% di 200 unità di illuminazione, il 40% di 100 oppure l'80% di 50. Siccome i possibili prodotti sono infiniti, si deve concludere che il colore è otticamente indeterminato, almeno localmente: la superficie potrebbe essere bianca (il normale corrispettivo di una riflettanza elevata, superiore all'80%), grigia (il normale corrispettivo di una riflettanza intermedia) o nera (il normale corrispettivo di una riflettanza bassa, inferiore al 5%).

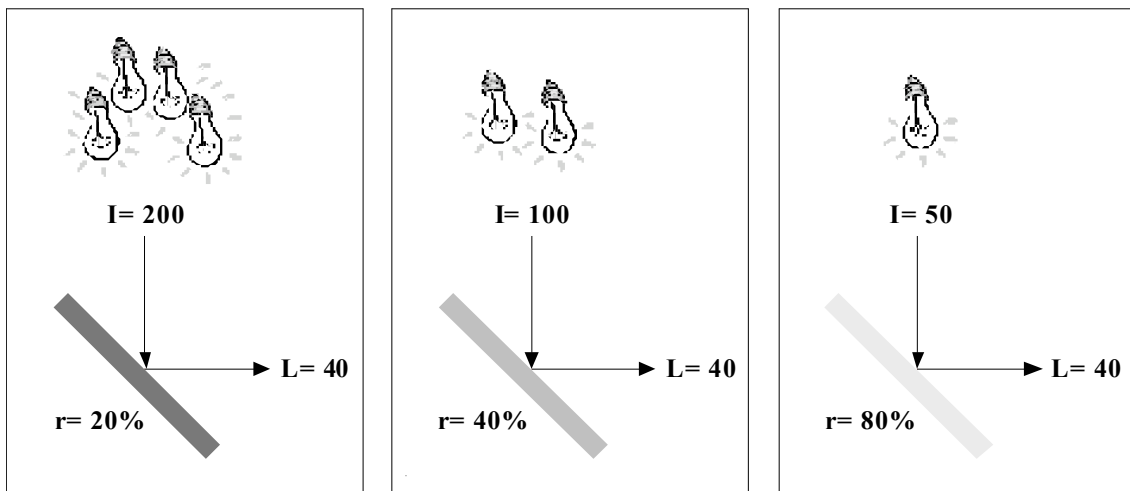


Figura 19.5 Indeterminazione fotometrica: la stessa luminanza L può corrispondere a differenti prodotti della riflettanza r e dell'illuminazione I .

Condizioni per la costanza del colore acromatico

Un esperimento cruciale, condotto originariamente da Gelb (1929) e poi riprodotto con importanti varianti (Gilchrist, 2006), dimostra che il colore di ogni superficie è localmente indeterminato, ma che per fortuna il sistema visivo non utilizza isolatamente le luminanze locali per ricostruire le varie riflettanze presenti in una scena.

L'*effetto Gelb* è il corrispettivo artificiale di una potente illusione naturale, quella relativa al colore della luna. La luna appare sempre bianca: più o meno luminosa, a seconda del cielo in cui è immersa, ma sempre bianca. Non appare mai con il vero colore delle sue rocce, simili all'antracite. Per riprodurre l'effetto è sufficiente simulare la luna con un disco di cartone nero (più correttamente, di riflettanza molto bassa) e il sole con un comune proiettore di diapositive o con un faro abbastanza potente (Fig. 19.6). Avvertenza importante: il disco di cartone va sospeso a mezz'aria, evitando che il fascio di luce illumini anche il suo supporto; la luce superflua ha scarsa influenza, a condizione che cada lontano dal disco (per esempio sulla parete di fondo). Tutti gli osservatori, anche a conoscenza della presenza del proiettore, vedono il disco appeso bianco o quasi bianco; comunque, di un grigio ben più chiaro del nero effettivo. Le cose cambiano radicalmente se si avvicinano al disco illuminato uno o più cartoncini a riflettanza più elevata (dal grigio chiaro al bianco), facendoli cadere nel fascio del proiettore, in prossimità del disco.

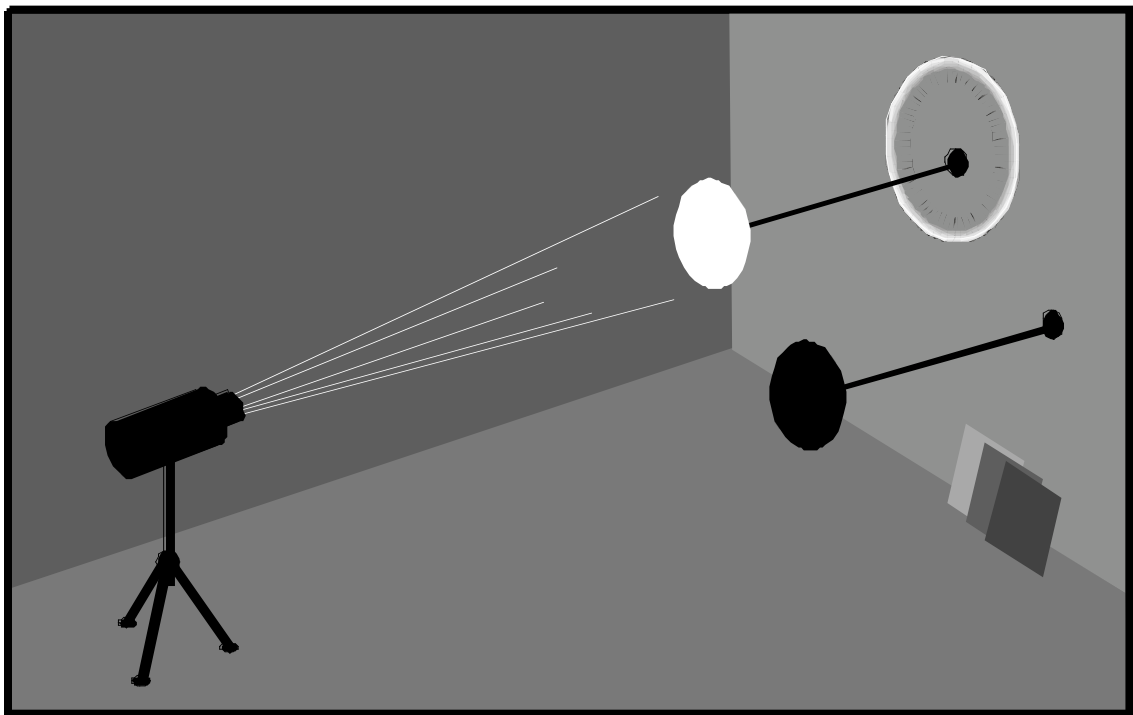


Figura 19.6 Nell'effetto Gelb un cartone nero, se illuminato isolatamente, appare bianco; lo stesso cartone appare nero quando è inserito in un'unica illuminazione omogenea. Più o meno, questo accade di notte quando il sole illumina la luna e la fa apparire bianca, a dispetto del fatto che le rocce lunari sono grigio antracite.

Con una qualche inerzia, molto curiosa da osservare, il sistema visivo progressivamente sposta il colore del disco dal bianco iniziale verso un grigio scuro, che risulta molto vicino al nero se la scala dei grigi via via aggiunti è abbastanza ampia.

Cosa accade nell'effetto Gelb? L'indeterminazione fotometrica si conferma come la condizione per il prodursi di una poderosa illusione. Normalmente, un cartoncino nero portato dalla penombra in piena illuminazione non cambia colore: anche quando ci rendiamo conto che il cartoncino riflette molta luce, esso non appare mai bianco. In condizioni ordinarie prevale la *costanza del colore acromatico*: indipendentemente dall'illuminazione, il bianco rimane bianco e il nero rimane nero. Sotto un fascio di luce localizzata, invece, le cose vanno altrimenti. Il disco appare radicalmente diverso nelle due fasi della dimostrazione, che comunque sono coerenti con l'ipotesi che l'informazione ottica per il colore di superficie sia diversa dalla luminanza locale. Per farci vedere il colore di una superficie, il sistema visivo va oltre la luminanza locale e sfrutta i rapporti tra luminanza della regione critica e luminanze delle regioni percepite come appartenenti a un insieme omogeneamente illuminato. Quando l'illuminazione aggiuntiva cade solo sul disco, esso viene fatto appartenere al resto della scena, sotto un'unica illuminazione ambientale; siccome in questo ambiente il disco è la regione che manda all'occhio più luce, il sistema visivo si basa sull'euristica della luminanza più elevata (*highest luminance rule*; Gilchrist, 2006) e assegna al disco il valore massimo sulla scala dei colori acromatici, il bianco. L'aggiunta di altri cartoncini a riflettanza maggiore, collocati sotto lo stesso fascio di luce, modifica l'ancoramento della scala dei grigi, perché il ruolo del bianco non viene più svolto dal disco ma da un altro cartoncino, a riflettanza più elevata.

Interazioni locali e appartenenza

Per spiegare sia l'effetto Gelb sia altri fenomeni inerenti il colore acromatico (Agostini, 1999) sono state utilizzate varie ipotesi. Quella più comune fa riferimento a una combinazione di processi locali chiamati in causa in un fenomeno noto anche ai meno esperti, il contrasto simultaneo: un grigio collocato su sfondo bianco appare più scuro dello stesso grigio collocato su sfondo nero (Fig. 19.7a). Un processo sarebbe l'accentuazione del contrasto di luminanza prodotta dall'inibizione laterale, un meccanismo fisiologico che probabilmente compensa la perdita di qualità dell'immagine retinica; l'altro consisterebbe nel *filling-in*, il riempimento delle zone delimitate da bordi.

L'inibizione laterale è coerente con quanto si osserva nell'effetto scala (Fig. 19.8), in cui ciascun grigio, pur fisicamente uniforme, appare digradante, come accadrebbe se ciascun contrasto locale di luminanza fosse accentuato.

Il *filling-in*, cioè la propagazione e omogeneizzazione degli effetti di contrasto entro ogni zona delimitata da bordi netti, spiega molto bene l'anello di Wertheimer-Benussi-Koffka (Fig. 19.7b). Contrariamente a quanto potremmo attenderci sulla base della figura 19.7a, l'anello non suddiviso appare pressoché omogeneo, anche se è vero che restringendo l'attenzione sulle zone estreme dell'anello (più vicine rispettivamente al bianco e al nero) i grigi appaiono un po' diversi. Ma la differenza è piccola e tende a sfuggire. Invece, nel caso dell'anello diviso a metà da una linea, la

differenza è facilmente osservabile. Il mezzo anello sul bianco appare omogeneamente più scuro dell'altro, come predetto dal *filling-in* entro zone delimitate da bordi.

L'ipotesi che il colore acromatico di una zona dipenda unicamente dal contrasto locale (quello misurabile lungo i bordi) ha, tuttavia, serie limitazioni. Osserviamo la figura 19.9, che illustra alcune varianti dell'anello di Wertheimer-Benussi-Koffka studiate da Adelson (2000). La figura 19.9a è coerente con quanto già detto sul *filling-in*; mentre nella figura 19.9b si osserva una differenza illusoria tra i due grigi molto superiore a quella osservata nella figura 19.7a, contrariamente a quanto ci si potrebbe attendere se il grigio percepito dipendesse soltanto dalla direzione del contrasto lungo il bordo (si noti che nella figura 19.7a i grigi sono totalmente circondati dal bianco o dal nero, mentre nella figura 19.9b lo sono in parte, il che dovrebbe attenuare la differenza percepita). Come sostengono vari autori

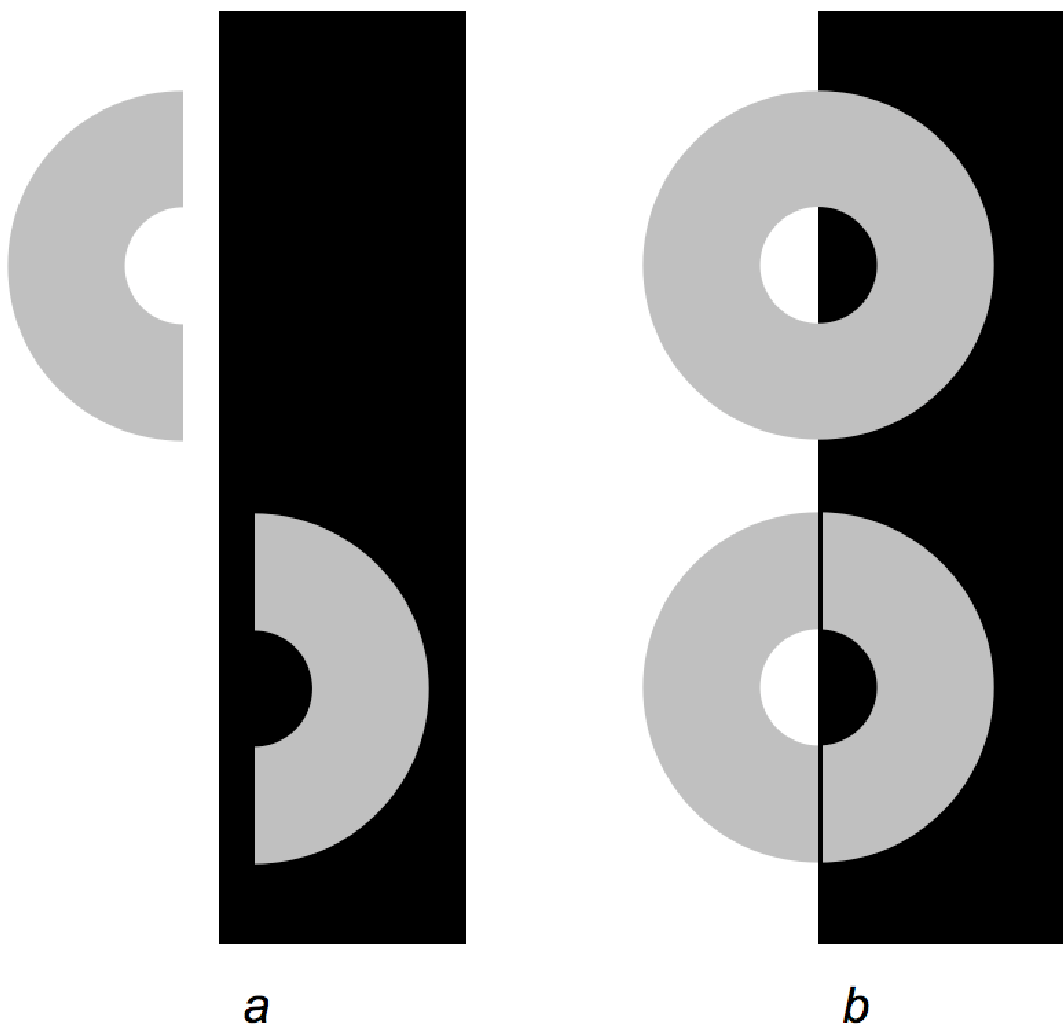


Figura 19.7 Contrasto simultaneo (a): la regione grigia su sfondo bianco appare più scura della regione grigia su sfondo nero. Anello di Wertheimer-Benussi-Koffka (b): quando le due regioni sono accostate in modo da formare un anello (in alto), il grigio appare quasi perfettamente omogeneo, indipendentemente dallo sfondo locale; quando le due regioni sono divise da un contorno a tratto (in basso), i grigi dei due semianelli appaiono diversi, nella direzione del contrasto locale con lo sfondo.



Figura 19.8 In una scala di grigi adiacenti, ogni salto tra due grigi fisicamente omogenei è accompagnato da un'accentuazione illusoria del contrasto al bordo.

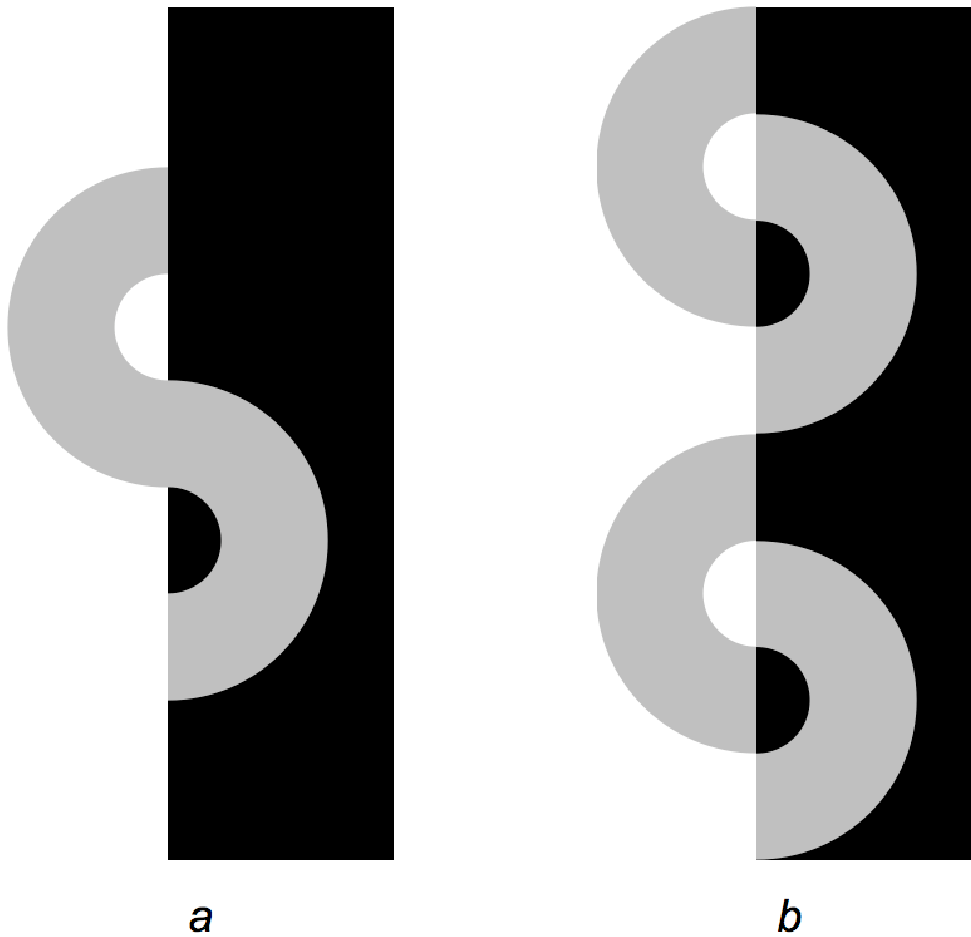


Figura 19.9 In *a* i due semianelli continuano l'uno nell'altro formando una S di colore quasi perfettamente omogeneo, come nell'anello di Wertheimer-Benussi-Koffka, quando non c'è il contorno a tratto. In *b* i semianelli sono allineati in modo da produrre la percezione di uno strato trasparente, o di due zone diversamente illuminate, che si associa a una sorprendente diversità tra i grigi percepiti (Adelson, 2000).

(Anderson, 1997; Adelson, 2000), più che il contrasto ai bordi conta l'appartenenza a totalità stratificate, che danno luogo a effetti descrivibili come sovrapposizioni di materiali trasparenti, oppure di luce e ombra (Kanizsa, 1955; Metelli, 1975; Gerbino, 1994, 1999; Gerbino, Stultiens, Troost e de Weert, 1990).

L'ipotesi della *scissione* della luminanza in componenti è confermata dalla figura 19.10, in cui i due quadrati centrali appaiono molto diversi (pur avendo la stessa intensità fisica), poiché la configurazione complessiva porta a percepire una distribuzione tridimensionale di superfici diversamente illuminate: il quadrato al centro della faccia anteriore sinistra appare scuro, più o meno come la faccia interna in ombra; mentre il quadrato al centro della faccia anteriore destra appare chiaro, più o meno come la faccia interna in luce. La differenza percepita è davvero molto

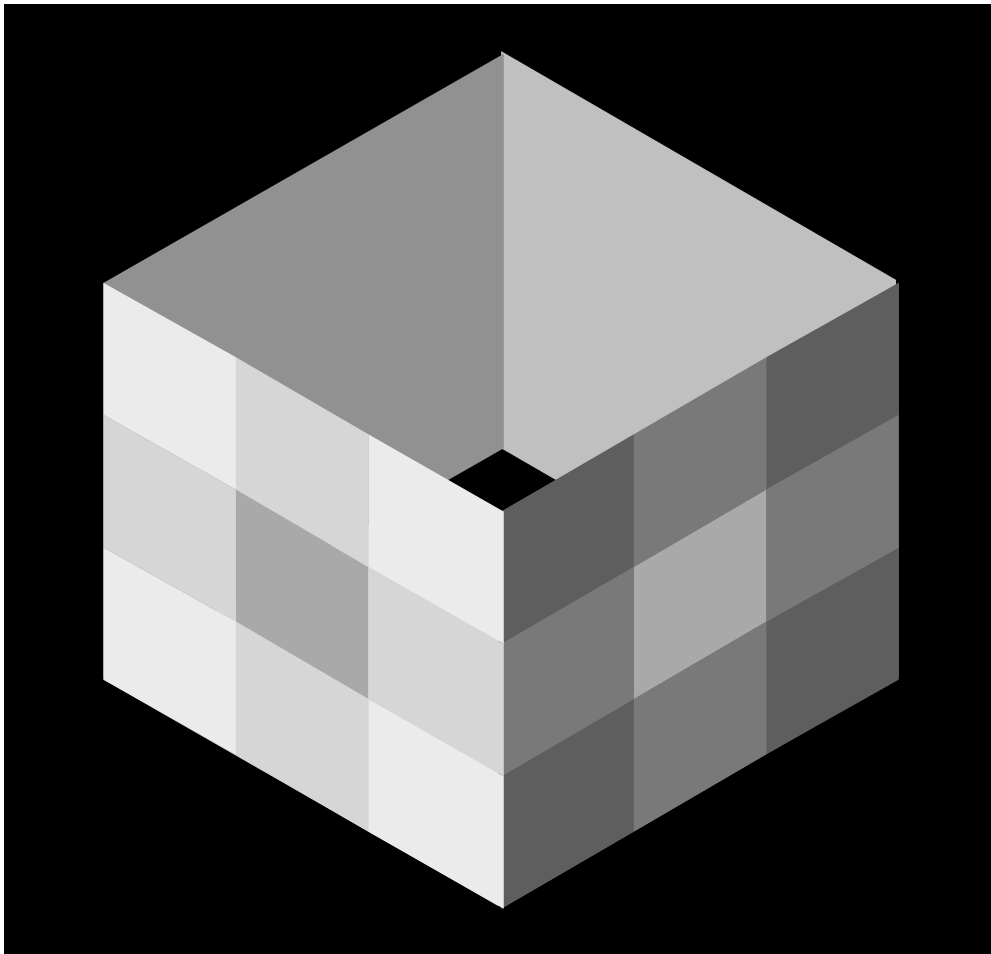


Figura 19.10 Quando la geometria dell'immagine è coerente con una disposizione tridimensionale di superfici, una in luce e una in ombra, la differenza apparente tra i quadrati centrali è simile a quella osservata nella figura 19.9b. Anche se non sembra, la luminanza dei quadrati centrali è identica.

forte e per convincersi che i due grigi centrali sono fisicamente identici bisogna ricorrere allo schermo di riduzione (un cartone nero con due fori attraverso i quali i grigi, essendo visti nel medesimo contesto, appaiono identici).

Per dimostrare che il contrasto ai bordi spiega solo in parte l'effetto osservato nella figura 19.10, si osservi la figura 19.11, in cui i due grigi centrali (fisicamente identici tra loro e ai grigi centrali della figura 19.10) sono circondati da grigi con lo stesso contrasto locale presente nella figura 19.10. La differenza c'è ancora, ma è molto minore. Il contrasto ai bordi – o rapporto tra luminanze adiacenti, come lo chiamava Wallach (1948, 1976) – non spiega tutto. L'effetto osservato quando è in gioco un dislivello dell'illuminazione è sempre nella direzione del contrasto, ma ha un'ampiezza molto superiore, probabilmente dipendente dall'*ancoramento* della scala dei grigi alla luminanza massima in ciascun sottogruppo di regioni, che definisce il bianco di riferimento (Gilchrist, 2006).

Ricordate la figura 19.3? L'illusione di White – chiamata così in onore del suo ideatore (White, 1979; Ripamonti e Gerbino, 2001) – va contro l'ipotesi che il colore dipenda soltanto dal contrasto ai bordi. L'effetto osservato nella figura 19.3 è incompatibile con il contrasto locale, perché il grigio a sinistra, che confina con molto nero e poco bianco, appare più scuro di quello a destra, che confina con poco nero e molto bianco: evidentemente il contrasto ai bordi non è la variabile rilevante. Ma nemmeno l'ipotesi dell'ancoramento sembra funzionare molto bene, posto che si osserva una differenza tra due grigi immersi (sia pure in modo subdolamente diverso) in un reticolo che include la luminanza più elevata, che dovrebbe fungere da riferimento comune per tutte le regioni che compongono la configurazione.



Figura 19.11 I due grigi centrali sono fisicamente identici tra loro e identici ai due grigi centrali della Figura 19.10. I due sfondi sono tra loro diversi ma hanno la stessa luminanza delle zone che nella Figura 19.10 sono adiacenti ai quadrati centrali. Nonostante il contrasto ai bordi sia uguale, l'effetto che si ottiene qui è minore, in assenza di una chiara differenza di illuminazione.

L'illusione di White illustra bene la relazione tra informazione fotometrica e informazione geometrica. L'effetto sembra governato dalle relazioni di appartenenza/segmentazione tra regioni, che a loro volta sono influenzate dalle cosiddette giunzioni a T tra contorni, che funzionerebbero come un segnale locale di stratificazione (Ripamonti e Gerbino, 2001). Il contorno corrispondente alla linea superiore della T funziona come una sorta di barriera figurale, che porta a far emergere a sinistra un rettangolo grigio parzialmente occluso dalle strisce nere e a destra un rettangolo grigio parzialmente occluso dalle strisce bianche. Ogni superficie grigia risultante dal completamento dietro alle strisce ocludenti si ancora al rispettivo sfondo, bianco a sinistra e nero a destra, con effetti analoghi (anche se ben più forti, per ragioni non facili da spiegare) a quelli osservati nel contrasto simultaneo (Fig. 19.7a).

PROPRIETÀ GEOMETRICHE DELL'INPUT E PERCEZIONE DEGLI OGGETTI

La figura 19.12 illustra per l'informazione geometrica ciò che la figura 19.5 illustrava per l'informazione fotometrica. La propagazione rettilinea della luce fa sì che lo stesso angolo ottico corrisponda a diverse combinazioni di grandezza dell'oggetto e distanza dal punto di vista, oppure di forma e inclinazione rispetto all'asse dello sguardo; combinazioni tutte riconducibili all'indeterminazione radiale.

Molti fenomeni indicano che il funzionamento del sistema visivo incorpora le semplici leggi proiettive illustrate nella figura 19.12. I principi generali prima enunciati – adeguatezza della rappresentazione e aderenza all'informazione ottica – si manifestano in due importanti regolarità, note come *invarianza forma/inclinazione* e *invarianza grandezza/distanza*. Tali regolarità diventano evidenti nel momento in cui l'angolo ottico è mantenuto costante, condizione che si può ottenere in due modi:

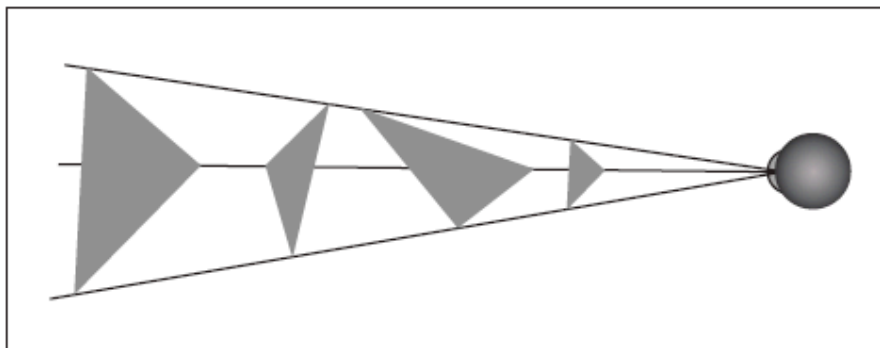


Figura 19.12 Indeterminazione radiale. La stessa piramide ottica, con il vertice in un dato punto di vista, corrisponde a un numero infinito di configurazioni equivalenti: triangoli più grandi ma più lontani, oppure più allungati ma più inclinati.

- 1) con la fissazione prolungata di uno stimolo ad alto contrasto, che genera un'immagine consecutiva la cui forma e grandezza covariano, rispettivamente, con l'inclinazione e con la distanza, in accordo con la *legge di Emmert* (descritta, per esempio, in Gerbino, 1997);
- 2) confrontando regioni identiche sul piano pittorico ma che assumono una diversa distanza o un diverso orientamento in funzione del contesto (come illustra il paragrafo seguente).

Invarianze visive e vincoli proiettivi

Osservate la figura 19.13 e ponetevi la seguente domanda. Quale delle due scatole a sinistra somiglia di più alla scatola a destra? Magari la forma non appare esattamente la stessa, ma tutti gli osservatori indicano quella in alto; quella in basso appare troppo allungata. Provate ora a ricalcare su un foglio la faccia superiore della scatola di destra e a farla coincidere, dopo averla ruotata, con ciascuna delle altre due. Sorpresa. Il contorno della faccia superiore della scatola di destra coincide perfettamente con quello della scatola in basso, mentre è molto diverso da quello della scatola in alto.

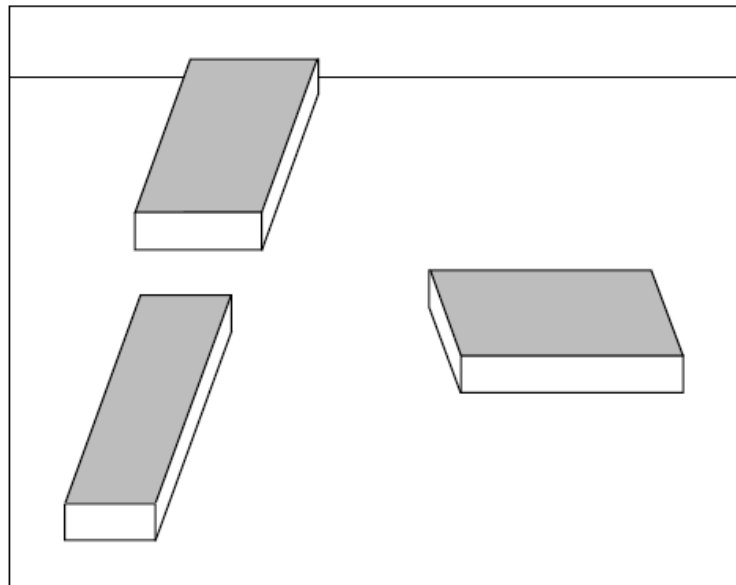


Figura 19.13 Parallelepipedi di Shepard (1981). Quale delle due scatole a sinistra somiglia di più alla scatola a destra? Quella in alto o quella in basso?

Qui succede, per la forma e per la grandezza, più o meno quello che succede nella figura 19.10 per il colore superficiale. In entrambi i casi la conoscenza di come stanno le cose sul piano pittorico non aiuta molto. Sapere che i due grigi centrali della figura 19.10 hanno la stessa intensità obiettiva oppure sapere, come in questo caso, che la faccia in basso a sinistra e quella a destra sono geometricamente uguali non modifica di molto l'effetto percepito, che dipende in gran parte dal diverso orientamento nello spazio 3-D. Un debole effetto nella stessa direzione si osserva anche quando viene eliminata l'informazione sulla tridimensionalità; ma la differenza di forma è assolutamente coercitiva quando sono presenti le regioni che fungono da facce verticali. Per quanto scarna, l'informazione grafica è sufficiente a evocare uno spazio 3-D in cui le facce superiori delle tre scatole appaiono inclinate rispetto al piano frontoparallelo. Il sistema visivo costruisce una rappresentazione in cui i lati obliqui sul piano pittorico diventano spigoli orientati in profondità, comunque *più lunghi* degli spigoli frontoparalleli di pari lunghezza pittorica.

Si noterà che nella figura 19.13 – come in tutte le assonometrie – i parallelepipedi non appaiono giusti. Il disegno sembra sbagliato, in quanto i lati obliqui, paralleli sulla carta, appaiono divergere verso l'alto. Anche questo effetto è coerente con l'idea che i processi visivi incorporino vincoli proiettivi: linee convergenti sul piano pittorico sono percepite come parallele e linee parallele sono percepite come divergenti.

Un altro modo per apprezzare l'effetto dei vincoli proiettivi consiste nell'invertire il verso della profondità percepita in un disegno a tratto come quello della figura 19.14. In via di principio il disegno corrisponde a un'infinità di strutture tridimensionali, ma due sono quelle che si impongono all'osservatore: un parallelepipedo e un tronco di piramide. Entrambe le rappresentazioni sono adeguate e aderenti all'informazione disponibile. Semmai, si tratterebbe di capire perché il siste-

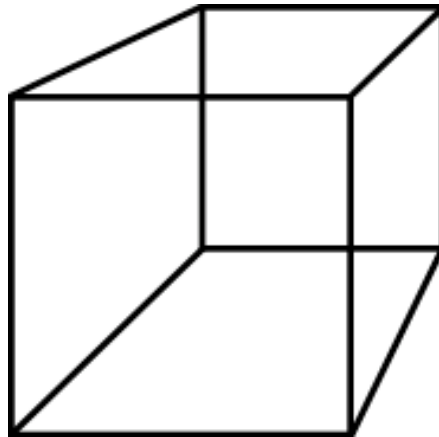


Figura 19.14 La struttura appare o come un parallelepipedo o come un tronco di piramide con le facce inclinate e con la base minore molto più piccola della base maggiore.

ma visivo oscilla soltanto tra queste due rappresentazioni, posto che molte altre sono geometricamente giustificate. Come in altri casi, probabilmente sono attivi dei vincoli ulteriori, riferibili all'economia della rappresentazione. Le due soluzioni percepite ottimizzano, o in un verso o nell'altro, l'equilibrio della struttura, coerentemente con il *principio di minimo* ipotizzato dalla teoria della Gestalt (Koffka, 1935; Hatfield e Epstein, 1985).

Un effetto analogo si produce per la grandezza (Fig. 19.15). Oggetti identici nell'immagine assumono una diversa grandezza percepita, se appaiono dislocati a distanze differenti dall'osservatore. L'uguaglianza delle grandezze pittoriche e quella dei corrispondenti angoli ottici non sono accessibili all'osservatore, per il quale il modello 3-D della scena visiva funziona come uno schema obbligato entro il quale percepire gli oggetti. L'effetto non deve meravigliare troppo, essendo coerente con quanto accade ordinariamente nella visione. Nell'osservazione quotidiana gli oggetti tendono a mantenere costanti le loro proprietà (forma, grandezza, colore) anche a dispetto di forti variazioni dell'informazione ottica locale, le cui caratteristiche metriche non sono normalmente accessibili. In una scena complessa e ricca di informazione spaziale, nemmeno l'osservatore allenato e

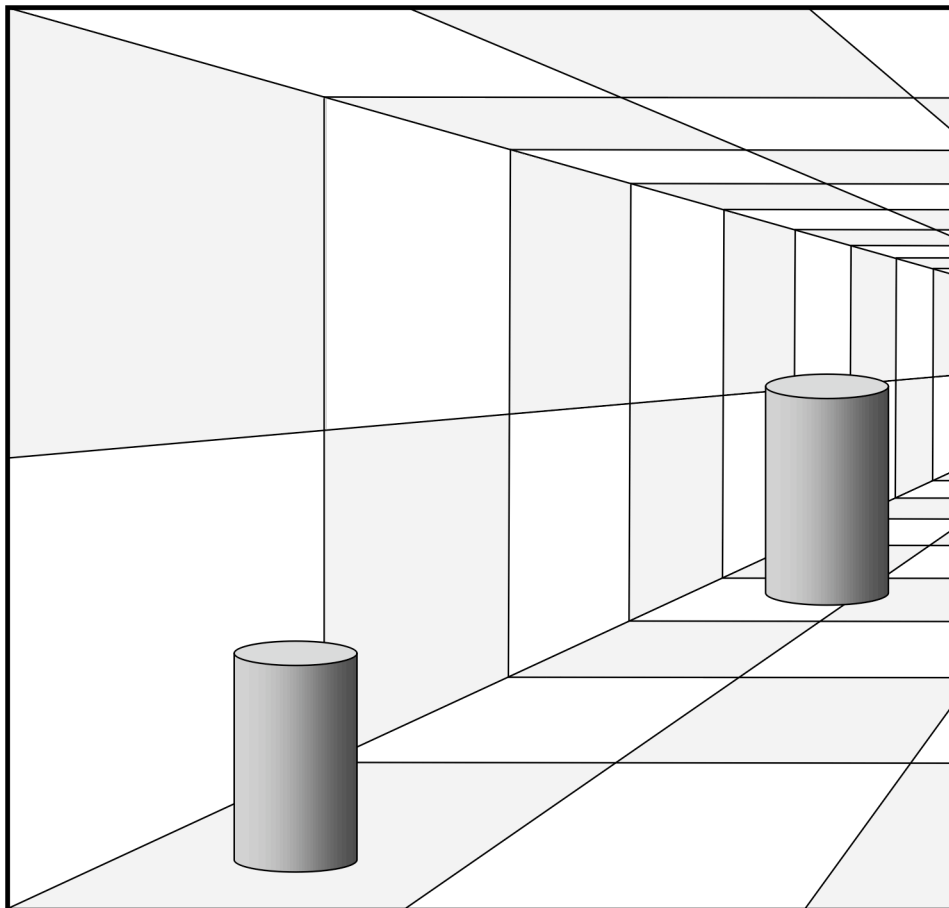


Figura 19.15 Il cilindro che appare più lontano appare anche più grande (Gibson, 1950; Rock, 1984).

preavvertito riesce a cogliere i rapporti di forma, grandezza e intensità presenti nell'immagine retinica, nonostante l'organizzazione percettiva si basi proprio su tali rapporti.

I processi che portano alle costanze percettive rimangono in parte controversi. È largamente condivisa l'idea che le leggi dell'ottica macroscopica valide per la formazione dell'immagine retinica siano interiorizzate sotto forma di vincoli per la costruzione del modello della scena (Shepard, 1981, 1994). Ma la ricerca non ha ancora completamente chiarito in quale misura i vincoli naturali incorporati nel funzionamento del sistema visivo derivino dalla filogenesi, dall'ontogenesi o dagli specifici apprendimenti individuali. Certamente l'accordo tra gli osservatori, perlomeno sugli aspetti più salienti dei fenomeni, è coerente con l'idea che il funzionamento del sistema visivo dipenda in larga misura da determinanti biologiche.

Occlusione, stratificazione figura-sfondo e completamento amodale

Oltre all'indeterminazione radiale, un altro tipo di indeterminazione grava in modo pesante sull'informazione ottica. Si tratta dall'indeterminazione oclusiva, conseguente al fatto che gran parte dei corpi che popolano il nostro mondo non lasciano passare la luce. Rispetto a un qualsiasi punto di vista, ogni corpo occlude una parte di se stesso (auto-occlusione), nonché parti di altri oggetti e dello sfondo (etero-occlusione).

L'occlusione, ineliminabile nell'ecologia ottica, pone al sistema visivo una serie di problemi curiosi. Quello affrontato per primo, nella storia della psicologia, è stato il problema dell'*articolazione figura/sfondo*. Rubin (1921) notò che alcune regioni dell'immagine vengono percepite come figure con una forma specifica, mentre altre (tipicamente quelle adiacenti alle regioni percepite come figure) si unificano completandosi dietro alle figure e vengono assorbite in uno sfondo amorfo. Molti dei fattori che determinano quali regioni diventano figura sono riconducibili al principio di minimo, citato nel paragrafo precedente.

Per esempio, una delle dimostrazioni di Rubin riguarda il ruolo dell'*area minore*. A parità di altre condizioni, tendono a diventare figure le regioni più piccole (Fig. 19.16). Questa preferenza può essere interpretata come espressione della tendenza a minimizzare il costo del completamento amodale dello sfondo. Se a diventare figura fossero le regioni più grandi, il sistema visivo dovrebbe completare una quantità complessivamente maggiore di sfondo.

Nei pattern periodici in cui si alternano regioni diversamente colorate, un importante fattore di organizzazione figurale è la *costanza di larghezza* (Morinaga, 1941; Metzger, 1954; Hoffman, 1998). La figura 19.17 mette a confronto due pattern: in *a* il reticolo è perfettamente equilibrato, con bande bianche e nere uguali per larghezza, orientamento e numero; in *b* il reticolo alterna bande nere a larghezza costante e bande bianche a larghezza variabile, bilanciate per area e per distribuzione degli orientamenti. Nella figura 19.17*b* la costanza di larghezza porta a una preferenza per le figure nere, attribuibile al minor costo associato alla rappresentazione di una forma delimitata da bordi paralleli.

Per una discussione degli altri fattori di articolazione figura/sfondo si veda Kanizsa (1980). Per segnalare che alcuni di questi fattori riguardano il rapporto con

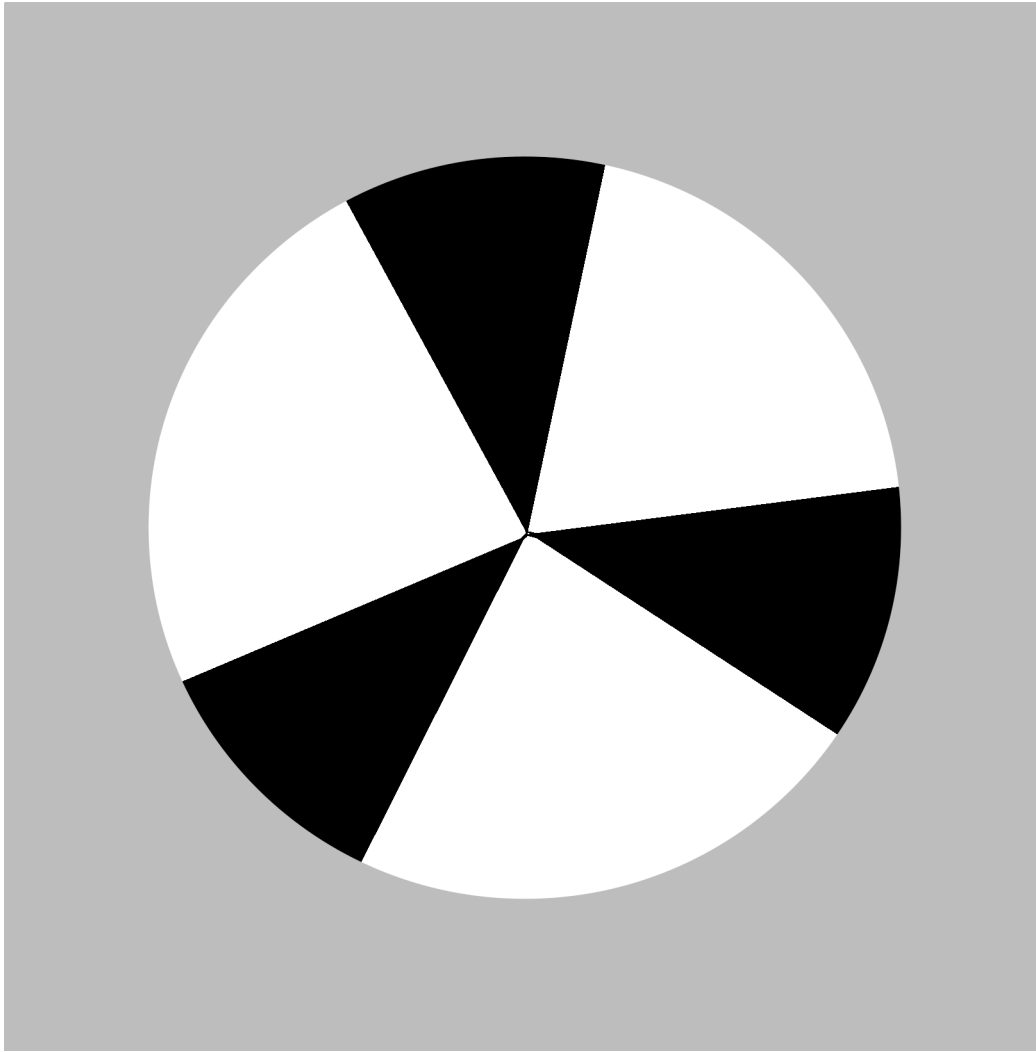


Figura 19.16 A parità di altre condizioni, diventano figure i settori più piccoli.

il contesto esterno alla configurazione, ricordiamo un effetto attribuibile all'orientamento gravitazionale (Metzger, 1953). Nella figura 19.18 le due greche appaiono diverse: a sinistra, il motivo ornamentale appare bianco su nero; a destra, nero su bianco. A parità di altre condizioni, la zona più bassa tende ad apparire come figura. Siccome asimmetrie alto-basso si ritrovano in altri campi della percezione, non dobbiamo stupirci se anche l'articolazione figura/sfondo si dimostra influenzabile dall'orientamento gravitazionale. È abbastanza logico che, per gli osservatori terrestri, la parte bassa del campo visivo sia tendenzialmente occupata da oggetti e la parte alta dallo sfondo del cielo; ma potrebbero esserci altre interpretazioni.

I casi finora discussi riguardano una stessa tipologia di fenomeni, in cui ciascuna regione omogenea può assumere il ruolo di figura o di sfondo, senza che si crei un'articolazione interna alla regione. Ma non sempre è così: Koffka (1935) notò che una zona omogenea può scindersi in due oggetti, dando luogo alla cosiddetta

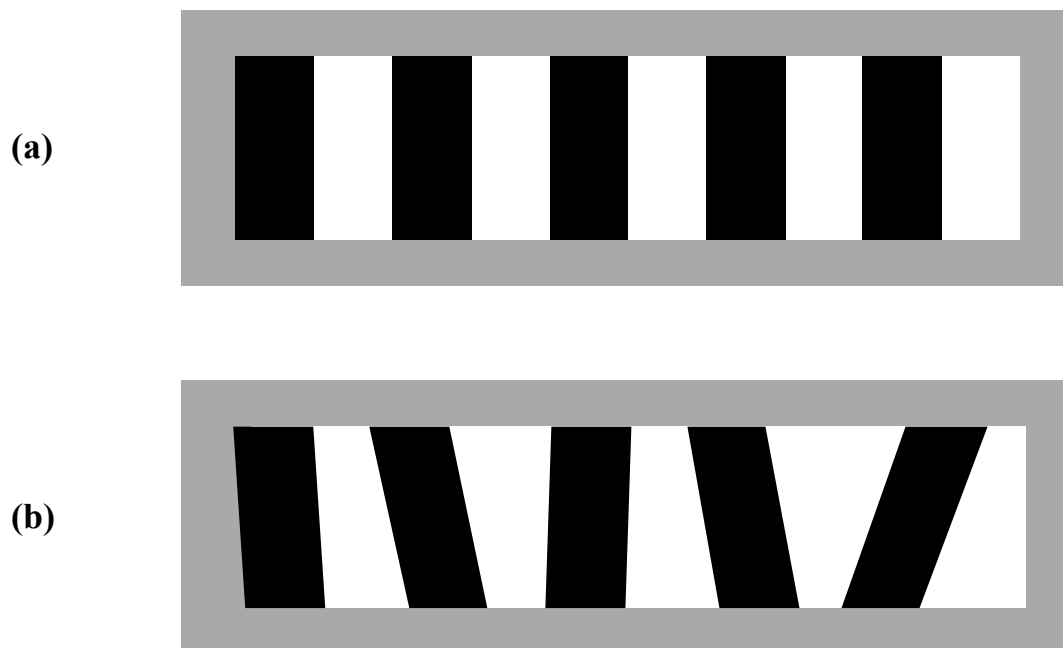


Figura 19.17 In *a* le due soluzioni, bianco su nero e nero su bianco, sono perfettamente bilanciate. In *b* prevale la soluzione nero su bianco, in accordo con il principio secondo cui tendono ad apparire come figure le regioni di larghezza costante.

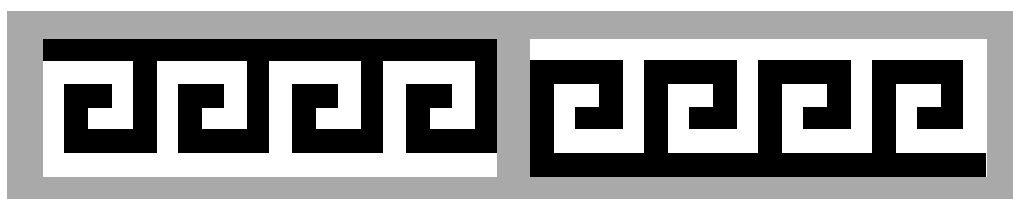


Figura 19.18 Orientamento gravitazionale e ruolo figurale. A parità di altre condizioni, appare come figura la zona più in basso, indipendentemente dal colore.

organizzazione duale. Il fenomeno ha una grande importanza teorica, in quanto dimostra che il sistema visivo non tratta l'assenza di un bordo nello stimolo locale come evidenza contraria all'esistenza di un corrispondente bordo oggettuale, che può fare la sua comparsa con un inatteso grado di salienza.

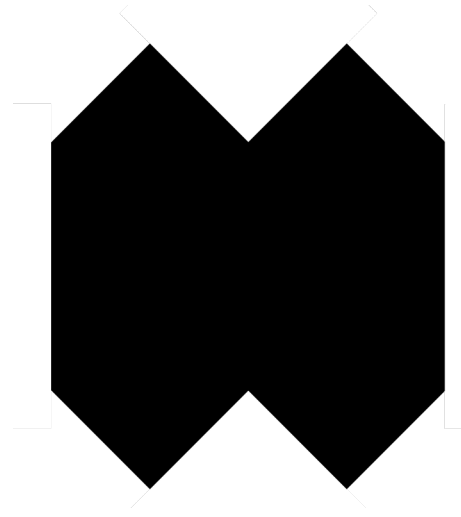


Figura 19.19 Organizzazione duale: il caso dell'adiacenza. Una regione omogenea ma con delle concavità si scinde in due forme convesse con una parte di contorno in comune.

Esistono due forme di organizzazione duale. Una è illustrata nella figura 19.19, in cui una regione omogenea viene segmentata in due figure adiacenti, delimitate (oltre che dai bordi che le dividono dallo sfondo) da un bordo virtuale che congiunge i due vertici concavi. Invece di un unico poligono con 10 lati e due concavità, l'osservatore percepisce due forme convesse e regolari. Il ruolo della regolarità geometrica non va sopravvalutato (Kanizsa, 1980, Cap. V), ma in questo caso probabilmente prevale e impedisce che si produca l'altra forma di organizzazione duale, quella in cui una regione omogenea si scinde in due figure, una stratificata davanti all'altra.

L'organizzazione duale con stratificazione è illustrata nella figura 19.20, dove la presenza di contorni allineati favorisce la percezione di un incrocio che, in via di principio, potrebbe realizzarsi in vari modi. Invece la maggior parte degli osservatori vede un intreccio in cui i rettangoli grandi stanno sopra alle strisce sottili, coerentemente con la *regola di Petter*, una specifica applicazione del principio di minimo. Secondo l'ipotesi originariamente formulata da Petter (1956) e confermata da ricerche recenti (Singh, Hoffman e Albert, 1999; Vallortigara, 2000), per il sistema visivo è più costoso generare i contorni modali (quelli che delimitano la figura in primo piano e devono assumere un'evidenza illusoria) che non generare dei contorni amodali (quelli che delimitano le zone percepite dietro alle figure ocludenti e la cui presenza non ha carattere illusorio). Nell'intorno di ogni incrocio tra regioni omogenee – in cui manca l'informazione locale sul verso dell'occlusione, rappresentata dalle giunzioni a T – il sistema visivo risolve l'indeterminazione locale in modo da ridurre al minimo la lunghezza dei contorni modali.

La regola di Petter funziona soltanto quando mancano altre informazioni sulla stratificazione oppure i suoi effetti si manifestano anche in presenza di informazioni contestuali? Nella figura 19.21 (una variante dell'originale di Kanizsa, 1991, pag. 35) i rettangoli e la cornice quadrata appaiono curiosamente incurvati, anche se potrebbero apparire piatti: basterebbe percepire la cornice nera in primo piano. L'in-

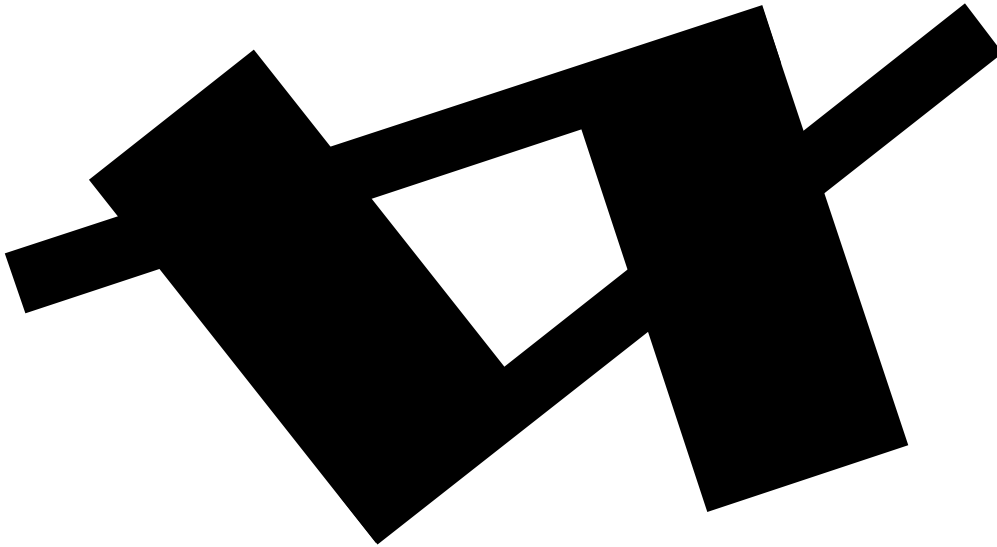


Figura 19.20 Organizzazione duale: il caso della stratificazione. La configurazione illustra la preferenza per la soluzione in cui i contorni modalî hanno lunghezza minore, in accordo con la regola di Petter (1956).

curvamento percepito dipende dall'azione della regola di Petter, che porta a stratificare la cornice dietro al rettangolo verticale, che a sua volta appare dietro al rettangolo grigio orizzontale, come specificato dalle giunzioni a T. L'indeterminazione relativa ai due incroci tra regioni nere (cornice e rettangolo), invece di essere disambiguata dall'informazione contestuale, viene risolta localmente. La figura 19.21 è importante perché aiuta a capire a quale livello vada applicato il principio di minimo. Per spiegare il funzionamento di un sistema complesso, infatti, non è sufficiente chiamare in causa il principio di minimo; bisogna specificare quali parametri, locali o globali, vengono minimizzati (Ullman, 1979). In questo caso il sistema visivo preferisce minimizzare un parametro locale (il rapporto tra la lunghezza dei contorni modalî e quella dei contorni amodalî) piuttosto che un parametro globale come il grado di curvatura delle superfici.

Un caso speciale di organizzazione duale è rappresentato dalle *figure anomale* delimitate da contorni illusori. L'esempio più noto è il triangolo di Kanizsa (1955) riprodotto nella figura 19.22. Le concavità dei dischi troncati e l'interruzione delle linee danno luogo all'emergere di una superficie occludente delimitata da un contorno che appare evidente anche nei tratti "bianco su bianco", in cui l'informazione ottica è priva del corrispettivo salto di luminanza. Il triangolo di Kanizsa è un caso speciale di organizzazione duale, in cui una delle due superfici in cui si scinde la regione bianca diventa la figura in primo piano e l'altra va a costituire lo sfondo (diversamente da quanto accade nelle Figg. 19.19, 19.20 e 19.21, in cui la regione omogenea si scinde in due figure).

Le figure anomale sono interessanti non soltanto perché emerge un occludente

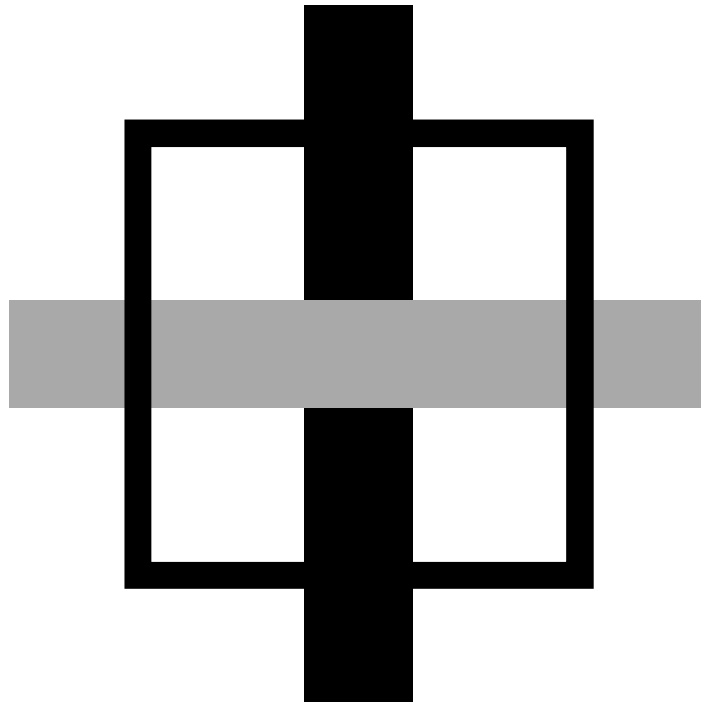


Figura 19.21 L'informazione contestuale non prevale sulla soluzione dell'indeterminazione locale in base alla regola di Petter (1956).

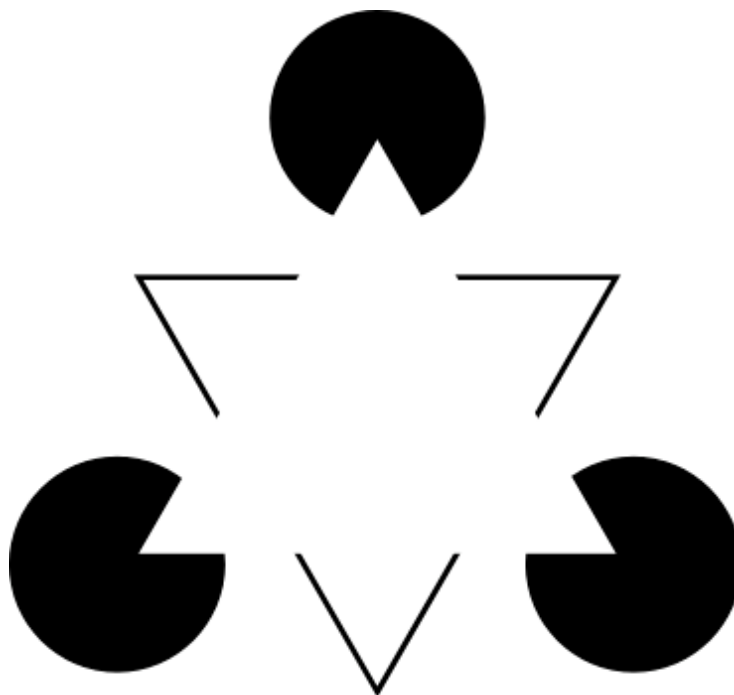


Figura 19.22 Il triangolo di Kanizsa (1955).

sottospecificato nell'immagine ottica, ma anche perché si verifica il completamento amodale delle superfici parzialmente occluse. La presenza amodale è un aspetto costitutivo dell'esperienza visiva (Kanizsa e Gerbino, 1982), che contribuisce a determinare la proprietà più importante degli oggetti: la loro identità.

Nella figura 19.23 si vedono tanti quadrati neri disposti in ordine, ma niente di più. Nella figura 19.24, invece, gli stessi quadrati svolgono ruoli differenti: in alto sono i pezzi di quattro lettere, che ci permettono di leggere senza difficoltà la parola OTTO; in basso sono i pezzi di due croci e di due rettangoli. Il tutto accade perché i rettangoli grigi favoriscono completamenti amodali molto diversi, resi per altro possibili dalle stesse semplici condizioni: buona continuazione dei contorni e somiglianza di colore dei quadrati neri. Il confronto tra la figura 19.23 e la figura 19.24 dimostra che l'immagine in input è soltanto un mosaico di pezzi che fornisce il materiale per la percezione degli oggetti. Senza che cambi la loro posizione reciproca, gli stessi pezzi possono dar luogo a oggetti differenti, a seconda delle relazioni di appartenenza determinate dall'aggiunta delle forme occludenti.

Oggetti e totalità organizzate

Nella figura 19.23, in cui sono presenti soltanto i quadrati neri su sfondo bianco, comunque si percepisce qualcosa di più che 14 quadrati. Saltano all'occhio alcuni allineamenti, il gruppetto formato dai due quadrati centrali in alto, la disposizione complessivamente simmetrica. L'organizzazione non è molto stabile, perché alcune unificazioni interferiscono tra loro, andando l'una a spese dell'altra. Tuttavia, i quadrati si raggruppano in modo non arbitrario. Non tutte le unificazioni teoriche sono percepibili. Prova ne sia che anche dopo aver visto la figura 19.24 diventa difficile vedere la scritta OTTO nella figura 19.23. Si può arrivare a constatare che alcuni pezzi sono compatibili con la presenza delle lettere O e T, che tuttavia non raggiungono il livello dell'evidenza fenomenica.

Wertheimer (1923) fu il primo a studiare le condizioni per la formazione delle unità percettive, intese come totalità dotate di proprietà autonome, indipendenti dalle proprietà degli elementi. In verità, le cosiddette leggi di Wertheimer sono abbastanza eterogenee e la loro sistematizzazione rimane un problema aperto. Il lettore interessato può trovare una sintesi del lavoro originale di Wertheimer nel testo di Anolli, Gerbino, Legrenzi e Roncato (1996) ed esposizioni classiche in Bozzi (1969) e in Kanizsa (1980).

Limitiamoci a un esempio relativo al raggruppamento di punti che, essendo poveri di proprietà intrinseche, sono il materiale ideale per dimostrare il ruolo dei fattori di unificazione/segregazione. Nel riquadro superiore della figura 19.25, in base alla *prossimità* (il primo dei fattori individuati da Wertheimer) si segregano due file orizzontali, ciascuna delle quali si articola ulteriormente in due coppie di punti vicini con un resto a ogni lato oppure, in base alla tendenza all'*articolazione senza resti*, in tre coppie di punti lontani. Si potrebbe pensare che per il sistema visivo tutti i collegamenti tra due punti, lungo la via più breve, siano ugualmente facili da generare, in particolare quando sono coerenti con un risultato finale dal quale emergano parole di senso compiuto. Gli altri due riquadri dimostrano che non è così. Anche dopo aver constatato che i punti possono essere colle-

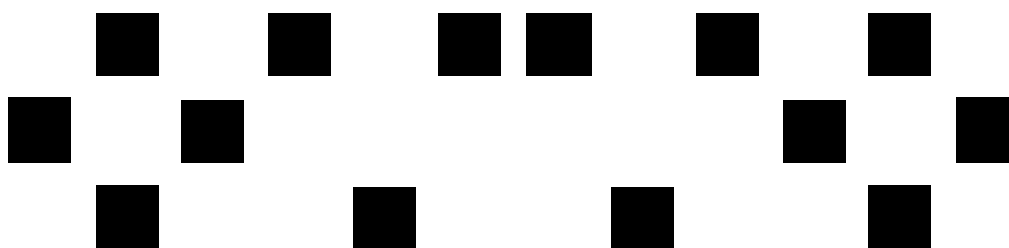


Figura 19.23 Quattordici quadrati neri.

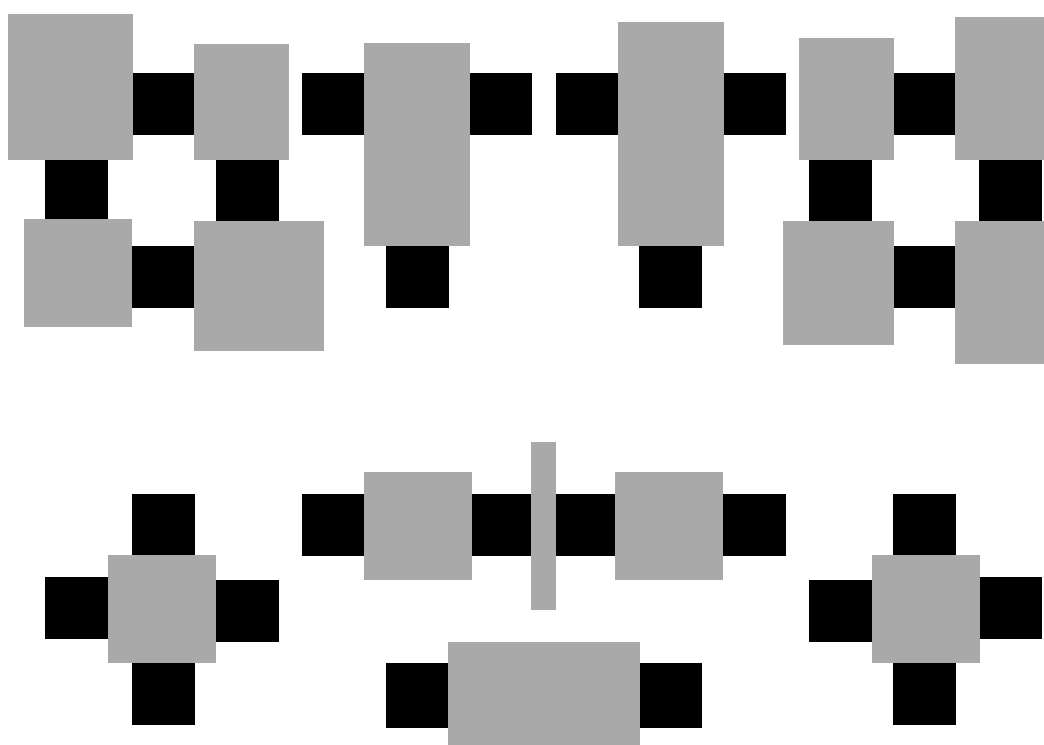


Figura 19.24 Gli stessi quadrati della Figura 19.23 completati in due modi diversi.

gati in modo da formare UNO, oppure IONI, l'osservatore si ritrova, guardando il riquadro superiore, più o meno nella medesima situazione. Quello che i suoi occhi gli suggeriscono non è molto influenzato dalla conoscenza delle unificazioni teoricamente possibili.

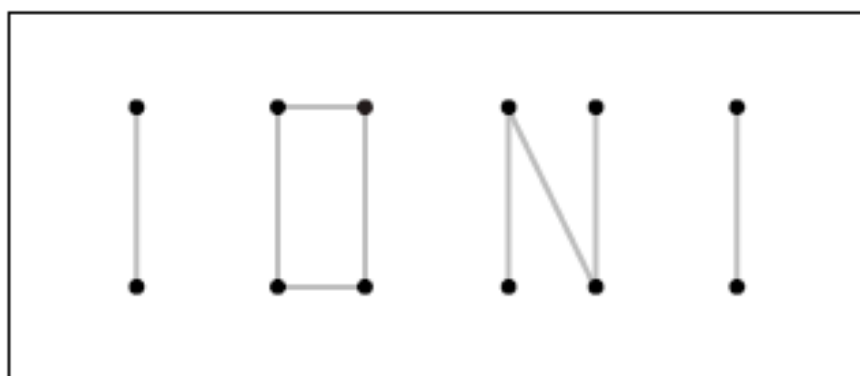
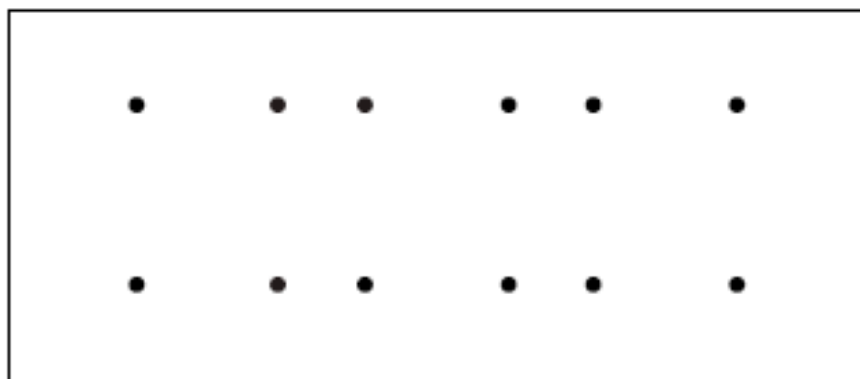


Figura 19.25 I punti che in alto appaiono organizzati in due file potrebbero essere unificati, in via di principio, in modo da formare lettere che compongono parole dotate di senso.

Somiglianza

Il secondo fattore descritto da Wertheimer è la *somiglianza*. In molte dimostrazioni classiche la somiglianza di colore prevale sulla prossimità e sull'articolazione senza resti (Fig. 19.26). Inoltre, altri fattori di unificazione sono riducibili alla somiglianza, nell'accezione generica fatta propria per esempio da Musatti (1931), che introdusse come fattore di ordine superiore l'*omogeneità massimale*.

Tuttavia, la somiglianza è un concetto problematico sia in ambito filosofico (Goodman, 1970) sia in ambito percettivo. Come dimostra la penetrante analisi di Goldmeier (1972), il fondamento percettivo della somiglianza non è ovvio e soprattutto non è unico. La ragione per cui un osservatore vede X più simile a S1 che non a S2 dipende dai casi. Conclusione non proprio incoraggiante, se si vuol fare della somiglianza uno dei fondamenti su cui si basano i processi di formazione degli oggetti.

La figura 19.27 illustra alcuni passaggi dell'analisi di Goldmeier. Nel riquadro *a* il pattern X somiglia più a S1 o a S2? Viene da dire a S1, coerentemente con l'idea che la somiglianza sia una sorta di approssimazione all'identità, basata sulla maggiore o minore condivisione degli elementi costitutivi. Maggiore è il numero di elementi condivisi, maggiore è la somiglianza.

L'*ipotesi degli elementi comuni* è tuttavia smentita in *b*, perché ad apparire decisamente simili sono X e S2. Hanno la stessa forma, direte voi. Verissimo. Ma noterete che l'altezza dei rettangoli X e S1 è esattamente identica e che, per quanto riguarda l'area, X è più vicino a S1 che non a S2. Il meno che si possa dire è che l'ipotesi degli elementi comuni non funziona sempre. L'*ipotesi relazionale* è, invece, avvalorata sia dal caso *b* sia dal caso *a*. In *b*, S2 deriva dall'ingrandimento proporzionale di X, con perfetto mantenimento delle relazioni tra le parti. Mentre in *a* il rapporto tra i lati cambia sia in S1 sia in S2; ma in S1 cambia meno e, quindi, la somiglianza si instaura tra X e S1, nel verso del *minimo cambiamento delle relazioni* (che appare come una riformulazione dell'ipotesi degli elementi comuni).

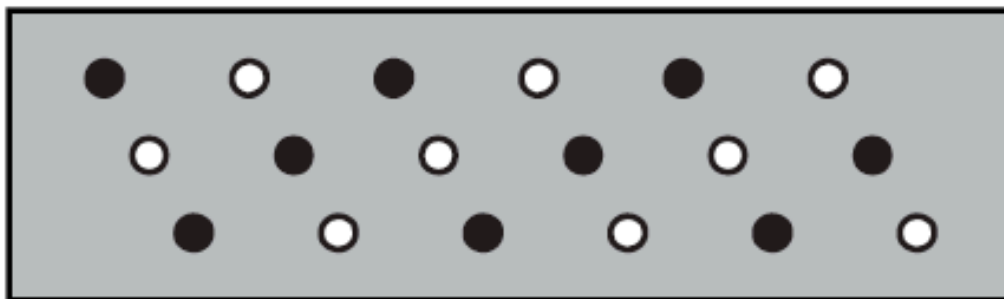


Figura 19.26 Quando prevale l'unificazione per somiglianza si formano delle file inclinate verso destra, contro la prossimità (che favorirebbe le file inclinate verso sinistra) e contro la tendenza a produrre un'articolazione senza resti.

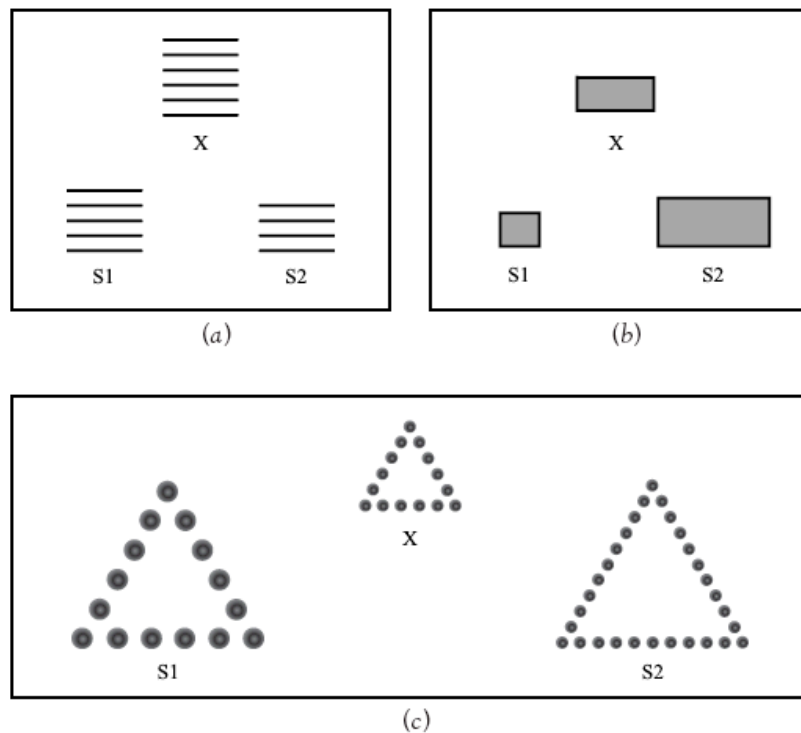
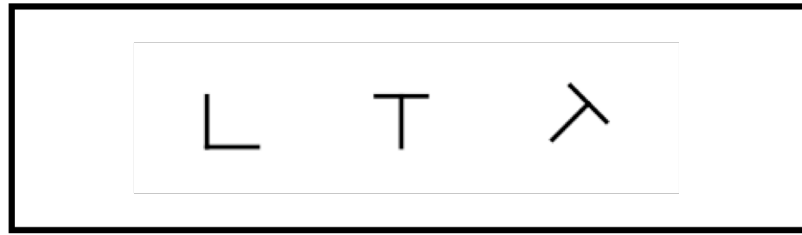


Figura 19.27 In *a* la somiglianza percepita, a favore dell'accoppiamento X-S1, è coerente con l'ipotesi degli elementi comuni. In *b* va a favore dell'accoppiamento X-S2, in cui sono mantenute costanti le relazioni tra le parti. In *c* va a favore dell'accoppiamento X-S2, contro l'ingrandimento proporzionale (il fattore che invece agisce in *b*).

Ma abbiamo ancora un problema. In *c* appaiono più simili X e S2, non X e S1, contrariamente alle attese basate sull'ipotesi relazionale, dato che S1 (e non S2) deriva dall'ingrandimento proporzionale di X. Qui dobbiamo far ricorso a un'ulteriore ipotesi. Quando l'oggetto viene percettivamente articolato in due *dimensioni separabili*, per usare la terminologia di Garner (1975), come sono la forma e il materiale, la somiglianza finisce per dipendere dalla microstruttura del materiale.

Chiudiamo questo paragrafo sulla somiglianza con una famosa dimostrazione di Beck (1966). Guardate il riquadro *a* nella figura 19.28 in alto. La T centrale vi sembra più simile alla T ruotata di destra, con la quale condivide la forma globale, oppure con la L diritta di sinistra, con la quale condivide l'orientamento degli elementi, pur congiunti in modo diverso? Per la maggioranza degli osservatori la somiglianza va a favore delle due T, a dispetto del diverso orientamento. Ma guardate adesso il riquadro *b*, dove sono distribuiti tanti elementi uguali a quelli

a



b

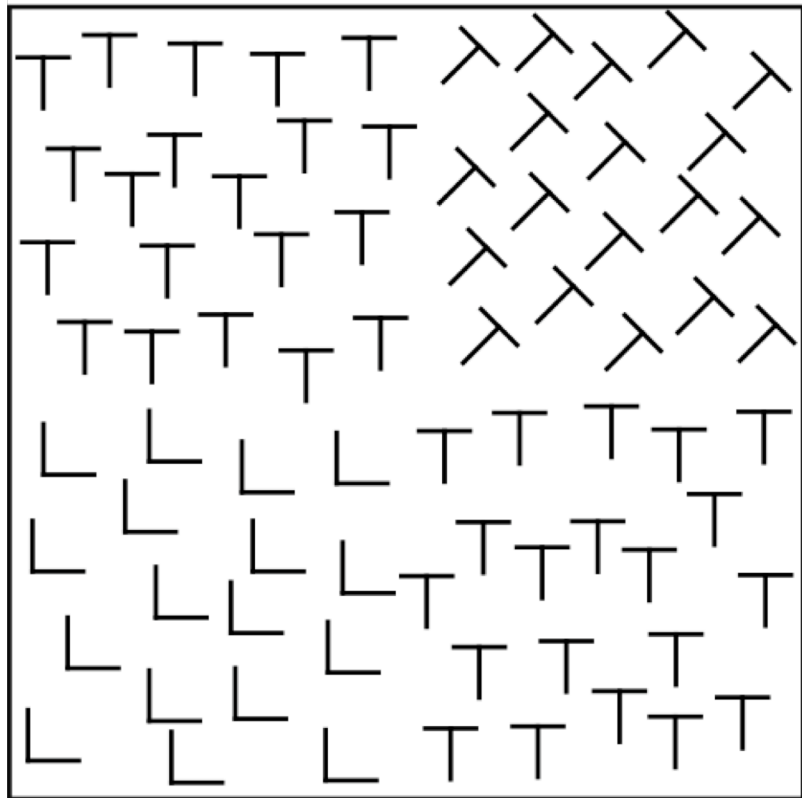


Figura 19.28 In *a* la T diritta appare simile alla T ruotata e diversa dalla L. Ma questa somiglianza, colta sotto attenzione focale, non spiega perché nella tessitura in *b* il quadrante che contiene le T ruotate si segrega da quelli che contengono le T diritte e le L.

presentati isolatamente in *a*. Quale dei quattro quadranti vi sembra diverso? A staccarsi dal resto è il quadrante in alto a destra, che contiene le T ruotate. Sembra strano, perché la segregazione di tessiture (Julesz, 1975, 1981) è un tipo di articolazione percettiva sensibile alla somiglianza.

Ovviamente, il problema sta nel fatto che non basta chiamare in causa la somiglianza. Bisogna specificare quali sono le dimensioni di somiglianza che, di volta in volta, risultano rilevanti. La dimostrazione di Beck indica che sotto attenzione focale, quando abbiamo la possibilità di confrontare la forma isolata di ciascun oggetto, la somiglianza della struttura intrinseca dell'oggetto è più importante dell'orientamento, che è vissuto come una proprietà esterna all'identità dell'oggetto; sotto attenzione distribuita, quando i singoli tratti sono semplicemente il materiale della tessitura, conta invece l'orientamento locale dei singoli elementi.

CONCLUSIONI

Una trattazione così sintetica non poteva fornire un quadro completo ed esauriente né della percezione né della visione: il capitolo fornisce soltanto alcune idee guida, utili per seguire gli sviluppi della scienza della visione. Richiamiamo queste idee guida, rinviando alle letture consigliate per un approfondimento.

La visione ha fundamentalmente la funzione di rendere disponibile all'osservatore un buon modello del mondo esterno. Per produrre tale rappresentazione il sistema visivo segue regole che quasi sempre sono interpretabili come adattamenti alle caratteristiche generali dell'ambiente. Il risultato è una rappresentazione normalmente adeguata agli scopi dell'organismo, pur in carenza di informazione locale su alcune proprietà fisiche. È interessante notare che, per superare l'indeterminazione locale, il sistema visivo tende a non utilizzare informazioni contestuali a livello globale, ma preferisce applicare principi di organizzazione che agiscono come euristiche locali.

Nella visione ordinaria, in cui l'osservatore raccoglie continuamente nuove evidenze convergenti sull'ambiente, i processi di organizzazione dei dati sensoriali si risolvono nel mantenimento di una rappresentazione tendenzialmente coerente e veridica. In condizioni artificiali, nelle quali il flusso ottico è ridotto e l'input contiene informazioni parziali sugli oggetti (come accade nella percezione di immagini pittoriche), spesso si verificano casi di ambiguità e di instabilità percettiva, che rivelano il peso assegnato dal sistema visivo alle varie fonti di informazione e la natura dei vincoli incorporati nel suo funzionamento.

BIBLIOGRAFIA

- Adelson, E. H. (2000). Lightness perception and lightness illusions. In: M Gazzaniga (Ed.) *The New Cognitive Neurosciences* (2nd edition). Cambridge MA: MIT Press, 339-351.
- Agostini, T. (1999). Il colore acromatico. In: F. Purghé, N. Stucchi, A. Olivero (a cura di), *La percezione visiva*. Torino: UTET, 460-495.
- Anderson, B. (1997). A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: the role of contour junctions. *Perception*, 26, 419-431.
- Anolli, L., Gerbino, W., Legrenzi, P., Roncato, S. (1996). *Psicologia generale*. Bologna: Cisalpino.
- Beck, J. (1966). Effects of orientation and shape similarity on perceptual grouping. *Perception & Psychophysics*, 1, 300-302.
- Bozzi, P. (1969). *Unità Identità Causalità*. Bologna: Cappelli.
- da Pos O. (1999). La percezione del colore. In F. Purghé, T. Costa, N. Stucchi (a cura di), *La percezione visiva* (pp. 538-591). Torino: UTET-Libreria.
- Garner, W. R. (1974) *The Processing of Information and Structure*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gelb, A. (1929). Die "Farbenkonstanz" der Sehdinge. In: A. Bethe, G. W. Bergmann, G. Emdben, A. Ellinger (a cura di), *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, 12, 594-678. Selezione inglese in: W. D. Ellis (1938), *A Source Book of Gestalt Psychology*, London: Routledge and Kegan, Selection 16, 196-209.
- Gerbino, W. (1983). *La percezione*. Bologna: Il Mulino.
- Gerbino, W. (1994). Achromatic transparency. In: A. L. Gilchrist (ed.), *Lightness, Brightness and Transparency*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 215-255.
- Gerbino, W. (1997). Percezione. In: P. Legrenzi (a cura di), *Manuale di psicologia generale* (II ed.). Bologna: Il Mulino, 111-183.
- Gerbino, W. (1998). Percezione del colore. In: C. Oleari (a cura di), *Misurare il colore*. Milano: Hoepli, 101-120.
- Gerbino, W. (1999). Illuminazione, trasparenza e ombre. In: F. Purghé, N. Stucchi, A. Olivero (a cura di), *La percezione visiva*. Torino: UTET, 518-537.
- Gerbino, W., Stultiens, C., Troost, J. de Weert, C. M. M. (1990). Transparent Layer Constancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 3-20.
- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the Visual World*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gilchrist, A.L. (2006). *Seeing Black and White*. Oxford: Oxford University Press.
- Goldmeier, E. (1972). Similarity in visually perceived forms. *Psychological Issues*, 8, 1-135.
- Goodale, M.A. e Milner, A.D. (2004). *Sight Unseen: An Exploration of Conscious and Unconscious Vision*. Oxford: Oxford University Press.
- Goodman, N. (1970). Seven strictures on similarity. In: L. Foster, J.W.Swanson (ed.), *Experience and Theory*. University of Massachusetts Press, 19-29.
- Hardin, C. L., Maffi, L. (1997). *Color Categories in Thought and Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harnad, S. (1987). *Categorical Perception: The Groundwork of Cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Hatfield, G. C., Epstein, W. (1985). The status of the minimum principle in the theoretical analysis of visual perception. *Psychological Bulletin*, 97, 155-186.
- Hoffman, D.D. (1998). *Visual Intelligence*. New York: Norton.
- Julesz, B. (1975). Experiments in the visual perception of texture. *Scientific American*, 232, 34-43.
- Julesz, B. (1981). Textons, the elements of texture perception, and their interactions. *Nature*, 290, 91-97.
- Kanizsa G. (1980). *Grammatica del vedere*. Bologna: Il Mulino.
- Kanizsa G. (1991). *Vedere e pensare*. Bologna: Il Mulino.
- Kanizsa G., Gerbino W. (1982). Amodal completion: Seeing or thinking? In J. Beck (Ed.) *Organization and Representation in Perception*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Kanizsa, G. (1955). Condizione ed effetti della trasparenza fenomenica. *Rivista di psicologia*, 44, 3-19.

- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Mach, E. (1886). *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*. Jena: Fischer. Trad. it.: *L'analisi delle sensazioni e il rapporto fra fisico e psichico*. Milano: Feltrinelli-Bocca, 1975.
- Marr, D. (1982) *Vision*. San Francisco: Freeman.
- Metelli, F. (1975). The perception of transparency. In: G. B. Flores D'Arcais (a cura di) *Studies in Perception: Festschrift for Fabio Metelli*. Milano: Martelli-Giunti.
- Metzger, W. (1953). *Gesetze des Sehens* (II ed.). Frankfurt: Kramer.
- Milner, A. D. e Goodale, M. A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Morinaga, S. (1941). Beobachtungen über Grundlagen und Wirkungen anschaulich gleichmässiger Breite, *Archiv für die gesamte Psychologie*, 110, 310-348.
- Musatti, C. L. (1931). Forma ed assimilazione. *Archivio Italiano di Psicologia*, 9, 61-156.
- Oleari, C. (a cura di) (1998). *Misurare il colore*. Milano: Hoepli.
- Palmer, S. E. (XXXX). Color, consciousness and the isomorphism constraint. *Behavioral and Brain Sciences*. XXX
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Petter, G. (1956). Nuove ricerche sperimentali sulla totalizzazione percettiva. *Rivista di psicologia*, 50, 213-227.
- Ripamonti, C., Gerbino, W. (2001). Classical and inverted White's effects. *Perception*, 30, 467-488.
- Rock, I. (1984). *Perception*. New York: Freeman, Scientific American Books.
- Rubin, E. (1921). *Visuell Wahrgenommene Figuren, Studien in psychologischer Analyse*. Copenhagen, Glydendalske.
- Shepard, R. N. (1981) Psychophysical complementarity. In: M. Kubovy, J. R. Pomerantz (eds.) *Perceptual Organization*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 279-341.
- Shepard, R. N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 2-28. Reprinted in: *Behavioral and Brain Sciences* 2001, 24(3).
- Singh, M., Hoffman, D. D., Albert, M. K. (1999). Contour completion and relative depth: Petter's rule and support ratio. *Psychological Science*, 10, 423-428.
- Ullman, S. (1979). *The Interpretation of Visual Motion*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vallortigara, G. (2000). *Altre menti*. Bologna: Il Mulino.
- Wallach, H. (1948). Brightness constancy and the nature of achromatic colors. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 310-324.
- Wallach, H. (1976). *On Perception*. New York: Quadrangle.
- Wandell, B. A. (1995). *Foundations of Vision*. Sunderland, MA: Sinauer Ass..
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350. Riassunto in lingua inglese in: W. D. Ellis (1938), *A Source Book of Gestalt Psychology*, London: Routledge and Kegan, Selection 5, 71-88. Altro riassunto in lingua inglese in: Beardslee, D. C., Wertheimer, M. (1958), *Readings in Perception*, Princeton: Van Nostrand, Selection 8, 115-135. Selezione in lingua italiana in: L. Anolli, W. Gerbino, P. Legrenzi, S. Roncato (1996). *Psicologia generale*. Bologna: Cisalpino, 139-163.
- White, M. (1979). A new effect of pattern on perceived lightness. *Perception*, 8, 413-416.

LETTURE CONSIGLIATE PER L'APPROFONDIMENTO

- GERBINO, W. (1997). Percezione. In: P. Legrenzi (a cura di), *Manuale di psicologia generale*, II ed. Bologna: Il Mulino.
- GERBINO, W. (2004). Processi percettivi di base. In: M. Zorzi e V. Girotto (a cura di). *Fondamenti di psicologia generale*. Bologna: Il Mulino.
- GERBINO, W. (2006). Sensazione e percezione. In: C. Cacciari e C. Papagno (a cura di), *Psicologia generale e neuroscienze cognitive*. Bologna: Il Mulino, cap. 3, pp. 47-74.
- GOLDSTEIN, E.B. (2006). *Sensation and Perception*, VII ed. Pacific Grove: ITP.
- MATHER, G. (2006). *Foundations of Perception*. London: Taylor and Francis Group.
- PURGHÉ, F., COSTA, T. e STUCCHI, N. (a cura di) (1999). *La percezione visiva*. Torino: UTET-Libreria.
- WOLFE, J.M., KLUENDER, K.R., LEVI, D.M., BARTOSHUK, L.M., HERZ, R.S., KLATZKY, R.L. e LEDERMAN, S.J. (2005). *Sensation and Perception*. Sunderland, MA: Sinauer.