



## La percezione della profondità e della grandezza

### CONTENUTO DEL CAPITOLO

- **indizi oculomotori**
- **Indizi monoculari**
- Indizi pittorici
- Indizi prodotti dal movimento
- **informazione binoculare di profondità**
- vedere la profondità con due occhi
- disparità binoculare
- disparità (geometrica) che crea stereopsi (percettiva)
- il problema della corrispondenza
- **la fisiologia della percezione binoculare della profondità**
- **percezione della grandezza**
- l'esperienza Holway e Boring
- costanza di grandezza
- **illusioni visive**
- l'illusione Muller – Lyer
- l'illusione Ponzo
- la stanza di Ames
- l'illusione della luna
- **-QUALCOSA DA CONSIDERARE: informazione sulla profondità negli animali**
- **Applicazioni nell'età evolutiva: percezione della profondità nei bambini**
- disparità binoculare
- grandezza familiare
- ombre portate

**VL.** Le icone del Laboratorio Virtuale ti indirizzano a specifiche animazioni e video costruite per aiutarti a visualizzare quello di cui stai leggendo. I laboratori virtuali sono elencati alla fine del capitolo, e indicano la pagina di dove appaiono, e puoi accedervi attraverso Psychology Course eMate.

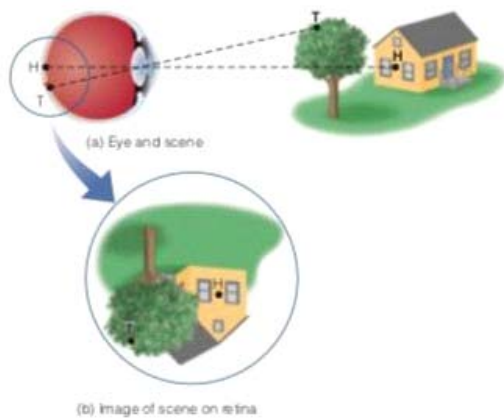
### ALCUNE DOMANDE CHE CONSIDEREREMO:

- Come possiamo interpretare la distanza a partire dall'immagine piatta del mondo sulla retina? (p.231)
- Perchè vediamo meglio la profondità con due occhi invece che con un occhio? (p.236)
- Perchè le persone non sembrano ridursi di dimensioni quando si allontanano da noi? (p.248)

Puoi facilmente dire che questo libro è all'incirca a 12-18 pollici di distanza, così come sei in grado di capire se gli oggetti intorno a te sono collocati in un range ampio di distanze che va da distanze molto ravvicinate come quelle vicino al tuo naso, a distanze più ampie come quelle degli oggetti nella stanza, o ancora di più a quelle delle strade che vedi fuori dalla finestra o addirittura all'orizzonte, a seconda di dove sei. Quello che è sorprendente di questa abilità di vedere le distanze degli oggetti nel tuo ambiente è che la percezione di questi oggetti, e della scena nella sua interezza, è basata su una immagine piatta bidimensionale sulla tua retina.

Possiamo iniziare ad approcciarci al problema della percezione della profondità basandoci sull'informazione bidimensionale sulla retina considerando due punti sulla scena nella **figura 10.1a**. La luce è riflessa dal punto T sull'albero e dal punto H sulla casa sui punti T e H sulla retina nel retro dell'occhio. Guardando solo a questi punti sulla superficie piatta della retina (**figura 10.1b**), non abbiamo modo di vedere quanto lontano ha viaggiato la luce per raggiungere ciascun punto. Per quel che ne sappiamo, la luce che stimola ciascun punto sulla retina potrebbe venire da un piede di distanza così come dalla distanza di una stella.

- La nostra percezione della profondità è creata da molte fonti di informazione nell'ambiente. In questa figura, la percezione della profondità è creata dalla convergenza prospettica: il modo in cui le linee parallele si avvicinano nella distanza – e da un gradiente della tessitura – il modo in cui gli elementi strutturali marroni e bianchi dell'edificio diventano collocati più vicino all'aumentare della distanza. In questo capitolo, oltre a considerare la percezione della grandezza, considereremo molte altre fonti di informazione sulla distanza.



**Figura 10.1 a)** nella scena, la casa è più lontano dell'albero, ma le immagini dei punti H sulla casa e T sull'albero cadono entrambi sulla superficie bidimensionale della retina nel retro dell'occhio **b)** questi due punti sull'immagine della retina, considerati da soli, non dicono niente a proposito della reale distanza della casa e dell'albero

Chiaramente, abbiamo bisogno di espandere la nostra visuale al di là dei singoli punti sulla retina fino a determinare dove sono localizzati gli oggetti nello spazio. Quando espandiamo la nostra visione da due punti isolati all'intera immagine della retina, aumentiamo l'ammontare di informazioni a noi disponibili, perchè ora possiamo vedere le immagini della casa e dell'albero. In ogni caso, dato che questa immagine è bidimensionale, abbiamo ancora bisogno di spiegare come passiamo dall'immagine piatta della retina alla percezione tridimensionale della scena.

L'approccio principale a questo problema è basato sullo studio degli **indizi di profondità**, che si focalizza sull'identificazione dell'informazione nell'immagine retinica, che è correlata con la profondità della scena. Per esempio, quando un oggetto è parzialmente coperto da un altro oggetto, come l'albero in primo piano nella **figura 10.1a** che copre parte della casa, l'oggetto che è parzialmente coperto deve essere per forza più lontano dell'oggetto che lo sta coprendo. Questa informazione, che è chiamata **occlusione**, è un indizio che un oggetto è di fronte ad un altro. Secondo la teoria degli indizi di profondità, abbiamo imparato la connessione tra questo indizio e la profondità attraverso la nostra precedente esperienza con l'ambiente. Dopo che abbiamo appreso questo, l'associazione tra particolari indizi e profondità diventa automatica,

e quando questi indizi di profondità sono presenti, esperiamo il mondo in tre dimensioni. E' stato identificato un numero di diverse tipologie di indizi profondità tipici di una scena. Possiamo dividere questi indizi in tre gruppi principali:

1. *Oculomotori*: segnali basati sulla nostra abilità di percepire la posizione dei nostri occhi e la tensione nei nostri muscoli oculari
2. *Monoculari*: segnali che si basano sull'informazione derivante da un solo occhio.
3. *Binoculari*: segnali che dipendono dall'informazione derivante dai due occhi.

### Indizi oculomotori

Gli indizi oculomotori sono creati dalla (1) **convergenza**, il movimento verso l'interno degli occhi che avviene quando guardiamo ad un oggetto nelle vicinanze, e dall' (2) **accomodazione**, il cambiamento della forma del cristallino che avviene quando ci focalizziamo su un oggetto a varia distanza. Il sistema percettivo è sensibile al movimento interno degli occhi che avviene quando convergono su un oggetto vicino, così come alla contrazione del muscolo oculare che cambia la forma del cristallino per la messa a fuoco di un oggetto ravvicinato. Puoi fare esperienza delle sensazioni nei tuoi occhi associate con convergenza e accomodazione facendo la seguente dimostrazione **VL**

#### DIMOSTRAZIONE:

##### Sensazioni dei tuoi occhi:

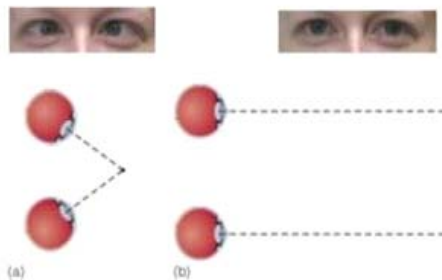
Guarda le tue dita davanti a te con il braccio disteso. Nota come avvicinando progressivamente le tue dita al tuo naso e mantenendo lo sguardo su di esse, la contrazione oculare aumenta e i tuoi occhi tendono a assumere una vista interna.

Le sensazioni che hai esperito quando muovi le tue dita vicino al tuo naso sono causate (1) dal cambiamento di angolo di convergenza prodotto dai muscoli oculari che consente ai tuoi occhi di guardare verso l'interno, come nella **figura 10.2a**, e (2) dal cambiamento nella forma del cristallino prodotta dall'accomodazione per la messa a fuoco di un oggetto progressivamente più vicino. Se muovi le tue dita lontano, le lenti si appiattiscono, e i tuoi occhi divergono (ruotano lontano dal naso) fino a che non assumono assi di vista quasi paralleli, come nella **figura 10.2b**. La convergenza e l'accomodazione indicano quando l'oggetto è vicino e sono utili per la codifica di

distanze che non eccedono quelle della lunghezza del braccio, con la convergenza che è ritenuta un indizio più efficace dell'accomodazione (Cutting e Vishton, 1995; Mon-Williams e Tresilian, 1999; Tresilian et al, 1999)

### Indizi monoculari

Gli indizi **monoculari** funzionano solo con un occhio. Essi includono l'accomodazione, che abbiamo (già) descritto nei segnali oculomotori; *indizi pittorici*, che sono fonte di informazione



**Figura 10.2 (a)** convergenza degli occhi che avviene quando una persona guarda qualcosa che è molto vicino. **(b)** gli occhi guardano dritto in avanti quando la persona osserva qualcosa che è lontano.

di profondità in un'immagine bidimensionale, e i indizi di movimento, che sono fonti di informazione create dal movimento.

### Indizi pittorici

Gli indizi di profondità sono sorgenti di informazione sulla profondità che possono essere raffigurati in un'immagine pittorica, come per esempio le illustrazioni in questo libro o un'immagine sulla retina.

**Occlusione.** Abbiamo già descritto l' indizio di profondità di occlusione. L'occlusione avviene



**Figura 10.3 (a)** Una scena a Tucson, Arizona, contenente un certo numero di segnali di profondità: occlusione (il cactus sulla destra occlude la collina, che occlude a sua volta la montagna); altezza relativa (la moto lontana è più alta nel campo della vista della moto più vicina); grandezza relativa (la moto lontana e il palo del telefono sono più piccoli di quella vicina); e convergenza prospettica (i lati della strada convergono nella distanza). **(b)** 1, 2 e 3 indicano l'aumentare di altezza nel campo visivo della base delle moto e dal palo del telefono più lontano, che rivela che essere più in alto nel campo visivo causa che gli oggetti sul terreno appaiono più distanti; 4 e 5 rivelano che essere più in basso nel campo visivo causa che gli oggetti nel cielo appaiono più lontani.

quando un oggetto è nascosto o parzialmente nascosto da un altro. L'oggetto parzialmente nascosto è visto come più lontano, quindi le montagne nella **Figura 10.3** sono percepite come più lontane del cactus e delle colline. Da notare che l'occlusione non fornisce una informazione metrica riguardo alla distanza dell'oggetto. Indica che l'oggetto che è parzialmente nascosto è più lontano di un altro oggetto, ma dalla sola occlusione non possiamo dire quanto sia lontano.

**Altezza relativa.** Nella fotografia della scena nella **figura 10.3.a**, alcuni oggetti sono vicini al bordo inferiore della cornice, e altri vicini a quello superiore. L'altezza nella cornice della foto corrisponde all'altezza nel nostro campo visivo, e gli oggetti che sono più in alto nel campo visivo sono di solito più lontani. Un esempio di questo indizio si ha nella **figura 10.3.b**, in cui sono tratteggiate le linee 1, 2 e 3 che rispetto al bordo inferiore corrispondono alla moto più vicina, più lontana e uno dei pali del telefono ancora più lontano. Nota che le linee tratteggiate più alte nell'immagine sono sotto gli oggetti più lontani. Puoi dimostrare questo indizio, guardando una scena e indicando con il tuo dito in oggetti sul terreno a varia distanza. Noterai che il tuo dito si situa più in alto quanto più gli oggetti che indichi sono lontani. In accordo con il segnale di altezza relativa, gli oggetti le cui basi si collocano più vicine alla linea di orizzonte sono di solito visti come più distanti. Coerentemente con questo indizio oggetti al suolo che stanno più in alto nel campo visivo appaiono più distanti (vedi le linee 1, 2, 3, 2 nella **figura 10.3.b**), mentre essere più in basso nel campo visivo provoca che gli oggetti nel cielo appaiono più lontani (vedi linee 4 e 5).



**Figura 10.4** Pietro Perugino. Cristo consegna le Chiavi a San Pietro (Cappella Sistina). La convergenza delle linee sulla piazza illustra l'effetto dell'indizio di convergenza prospettica. Le dimensioni delle persone in primo e secondo piano illustrano l'effetto della grandezza relativa.

**Grandezza relativa.** Coerentemente con l'indizio di grandezza relativa, quando due oggetti hanno la stessa grandezza, quello più lontano occuperà uno spazio minore nel nostro campo visivo di quello più vicino. Questo indizio dipende, in una certa misura, dalla nostra conoscenza della grandezza fisica dell'oggetto - per esempio, affinché l'indizio sia informativo di deve assumere che i due pali del telefono nella **figura 10.3** siano circa della stessa altezza, così come le due moto siano circa della stessa dimensione.

**Convergenza prospettica.** Quando guardi in basso, e i binari paralleli della ferrovia sembrano convergere in lontananza, stai aspettando la **convergenza prospettica**. Questo indizio fu spesso usato dagli artisti Rinascimentali per arricchire i loro dipinti di profondità, come nel caso del dipinto di Pietro Peruginoin Figura 10.4. Si noti come Perugino per enfatizzare la sensazione di profondità oltre alle linee di convergenza prospettica sul suolo ha aggiunto persone sullo sfondo, avvalendosi quindi anche l'indizio di grandezza relativa. La **figura 10.3** illustra sia la convergenza prospettica (la strada) sia la grandezza relativa (le moto) nella nostra scena della montagna di Tucson.



**Grandezza familiare.** Usiamo l'indizio di grandezza familiare quando giudichiamo la

distanza basata sulla nostra conoscenza pregressa delle dimensioni degli oggetti. Possiamo applicare quest'idea alle monete nella **figura 10.5**. Se sei influenzato dalla tua conoscenza delle effettive dimensioni del decimo di dollaro, quarto di dollaro, mezzo dollaro, probabilmente dirai che il decimo di dollaro è più vicino del quarto di dollaro. Un esperimento di William Epstein (1965) dimostra che, la nostra conoscenza sulla dimensione di un oggetto influenza la nostra percezione della distanza dell'oggetto. Lo stimolo nell'esperimento di Epstein erano fotografie con le stesse dimensioni di decimi di dollaro, quarti di dollaro e mezzo dollaro, che erano posizionati alla stessa distanza dall'osservatore. Mettendo queste fotografie in una stanza buia illuminandole con un fascio di luce e chiedendo ai soggetti di osservare le figure con un solo occhio, Epstein creò l'illusione che queste fossero reali monete. In questa situazione sperimentale, quando l'osservatore giudicava la distanza di ogni moneta, stimava che il decimo di dollaro fosse più vicino, del quarto di dollaro che a sua volta risultava più lontano del decimo: il mezzo dollaro appariva più lontano di tutti. I giudizi dei soggetti erano influenzati dalla loro conoscenza delle misure dei veri decimi di dollaro (piccoli), quarti di dollaro (più grandi) e del mezzo dollaro (il più grande di tutti). Questo effetto non avviene quando gli osservatori guardano la scena con entrambi gli occhi aperti, perché, come vedremo quando parleremo della visione binoculare, l'uso dei due occhi fornisce una informazione metrica riguardo alla distanza effettiva delle monete. Il segnale di grandezza familiare è quindi il più efficace in assenza di altre informazioni sulla profondità.

**Prospettiva atmosferica/aerea.** La prospettiva atmosferica avviene quando oggetti distanti appaiono meno definiti di quelli vicini e spesso hanno una lieve tinta bluastra. La **figura 10.6** illustra la prospettiva atmosferica. I dettagli in primo piano sono nitidi e ben definiti, mentre i dettagli diventano sempre meno visibili più ci allontaniamo con la distanza. Più un oggetto è lontano, più dobbiamo guardare attraverso ad aria e particelle (polvere, gocce d'acqua, inquinamento dell'aria), rendendo gli oggetti più lontani come meno definiti e più blu di quelli vicini.

La ragione per cui gli oggetti più lontani sembrano più blu è collegata alla ragione per cui il cielo appare blu. La luce del sole contiene la



**Figura 10.6** Una scena sulla costa del Maine che mostra l'effetto della prospettiva atmosferica.

distribuzione di tutte le lunghezze d'onda dello spettro, ma l'atmosfera disperde preferibilmente la luce con una lunghezza d'onda piccola (vedi **figura 9.4**), che appare blu. Questa luce dispersa conferisce al cielo la sua tinta blu e quando guardiamo un'oggetto a grande distanza o quando ci sono più particelle nell'atmosfera che disperdono la luce.

Se invece di vedere questa scogliera lungo la costa del Maine stavi sulla luna, dove non c'è atmosfera e quindi nemmeno prospettiva atmosferica, i crateri lontani probabilmente non ti apparirebbero bluastri e sembrerebbero chiari come quelli vicini. Ma nella terra c'è una prospettiva atmosferica, la cui quantità dipende esattamente della natura stessa dell'atmosfera.

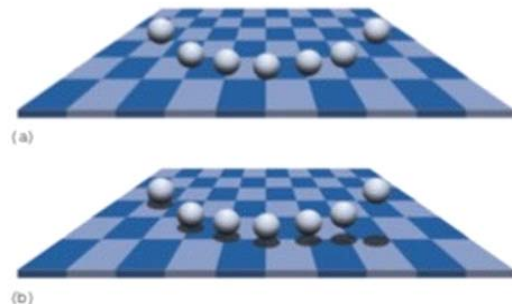
**gradiente di tessitura:** un'altra fonte di informazione sulla profondità di una superficie è il gradiente tessiturale: elementi equamente distanziati in una scena appaiono più riavvicinati



all'aumentare della distanza come nella **Figura 10.7**.

La ricorrenza di elementi ripetuti in profondità come nel caso di gruppi di corridori o di fiori che si manifesta come una progressiva riduzione della dimensione degli elementi e della loro distanza in profondità, magnifica la sensazione di tridimensionalità della scena.

**Ombre portate:** le ombre portate da un oggetto-diminuzioni nell'intensità luminosa causate da un'interposizione tra sorgente luminosa e oggetto-possono fornire informazioni sulla posizione di dell'oggetto stesso. Considera, per esempio, la figura 10.8a che mostra 7 sfere e una scacchiera. In questa figura, la posizione delle sfere in relazione alla scacchiera non è chiara. Esse potrebbero essere appoggiate sulla superficie della scacchiera o galleggiare sopra di essa. Ma l'aggiunta di ombre, come mostrata in figura 10.8b, rende più chiara la posizione delle sfere-quelle sulla sinistra appaiono adesso appoggiate sulla scacchiera, e quelle a destra



**Figure 10.8(a)** dove sono posizione le sfere in relazione alla scacchiera? (b) aggiungendo le ombre si rende chiara la loro posizione.



**Figure 10.7** Gradiente di tessitura creati dai maratoneti e dai fiori. La crescente finezza della tessitura e della distanza magnifica la percezione della profondità.



**Figura 10.9** (a) Le ombre di prima mattina enfatizzano i contorni della montagna. (b) Quando il sole è in alto, le ombre scompaiono e diventa più difficile vedere i contorni delle montagne.

fluttuano al di sopra di essa. Questo dimostra come le ombre possono aiutare a determinare la posizione degli oggetti (Mamassian et al., 1998). Le ombre inoltre hanno la capacità di magnificare e conferire tridimensionalità agli oggetti. Ad esempio, le ombre fanno in modo che i cerchi nella Figura 10.8 appaiano sferici e in **Figura 10.9** definiscono alcuni dei contorni delle montagne conferendo una forte sensazione di tridimensionalità, di prima mattina quando sono presenti (**Figura 10.9a**), che si contrappone alla ridotta sensazione di tridimensionalità esperita in loro assenza durante il giorno quando il sole è direttamente sopra le montagne (**Figura 10.9b**).

### Indizi prodotti dal movimento.

Tutti gli indizi che abbiamo descritto finora funzionano se l'osservatore è fermo. Ma nel momento in cui inizia a muoversi, emergono nuovi indizi che aumentano ulteriormente la nostra percezione della profondità. Descriveremo due indizi prodotti dal movimento: (1) parallasse di movimento e (2) delezione e accrescimento.

**Parallasse di movimento.** La parallasse di movimento si verifica quando, nel momento in cui ci muoviamo, gli oggetti vicini sembrano scorrere davanti a noi più rapidamente degli oggetti più lontani. Pertanto, quando guardiamo fuori dal finestrino di un treno o di una macchina in movimento, vediamo gli oggetti vicini muoversi velocemente e apparire sfocati, mentre vediamo gli oggetti che sono situati lontani da noi muoversi solo leggermente.<sup>1</sup> È possibile capire perché la parallasse di movimento si verifica prestando attenzione a come l'immagine di un oggetto vicino (l'albero nella **Figura 10.10a**) e un oggetto lontano (la casa nella **Figura 10.10b**) si muovono lungo la retina come se un occhio si muovesse dalla posizione 1 alla posizione 2 senza ruotare. Come prima cosa prendiamo in considerazione l'albero: la Figura 10.10a mostra

un occhio che si muove da 1 a 2, quindi l'immagine dell'albero attraversa gran parte della retina da  $T_1$  a  $T_2$  come indicato dalla freccia tratteggiata. La figura 10.10b fa vedere che l'immagine della casa percorre sulla retina un percorso più breve, da  $H_1$  a  $H_2$ . Dato che l'immagine dell'albero percorre la retina con uno spostamento maggiore di quello sotteso dalla casa, nella stessa quantità di tempo, l'albero ci apparirà muoversi più rapidamente della casa. La parallasse di movimento è una delle più importanti fonti di informazioni sulla profondità per molti animali. Le informazioni procurate dalla parallasse di movimento sono state usate per consentire ai robot meccanici progettati dagli umani di determinare quanto sono lontani da eventuali ostacoli durante la navigazione attraverso l'ambiente (Srinivasan & Venkatesh, 1997). La parallasse di movimento è molto usata anche per creare l'impressione di profondità nei cartoni animati e nei videogiochi.

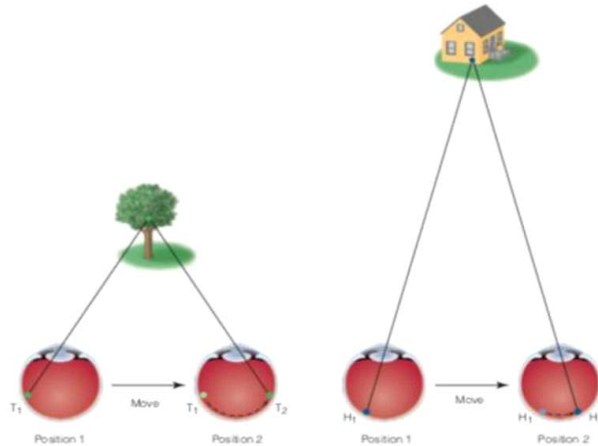
**Delezione e accrescimento.** Nel momento in cui un osservatore si muove di lato, alcuni oggetti della scena visiva vengono coperti, e altri scoperti. Prova la seguente dimostrazione.

### DIMOSTRAZIONE

#### *Delezione e accrescimento.*

Chiudi un occhio. Posiziona le tue mani come mostrato nella **Figura 10.11**, in modo che la tua mano destra sia a un braccio di distanza e la mano sinistra sia a metà di quella distanza, appena a sinistra della mano destra. Dunque, mentre guardi la tua mano destra, muovi la testa di lato a sinistra, assicurandoti di tenere le mani ferme. Mentre muovi la testa, la mano sinistra sembra coprire la mano destra. Il processo secondo il quale la mano destra sembra coperta si chiama **delezione**. Se poi muovi la testa di nuovo verso destra, la mano più vicina torna al suo posto e scopre la mano destra. Il processo secondo il quale la mano sinistra viene scoperta si

chiamata **accrescimento**. Delezione e accrescimento avvengono in ogni momento mentre ci muoviamo attraverso l'ambiente e creano informazioni riguardanti l'ordine di profondità degli oggetti: solo gli oggetti lontani a livello ottico sono infatti soggetti a accrescimento/delezione (Kaplan, 1969).



**Figura 10.10** un occhio si sposta oltre (a) un albero vicino (b) un casa lontana. Dato che l'albero è più vicino, la sua immagine effettua un percorso più lungo attraverso la retina rispetto all'immagine della casa.



**Figura 10.11** la posizione delle mani per la dimostrazione di "delezione e accrescimento".

La nostra discussione fino ad ora ha descritto un numero di indizi che contribuisce alla nostra percezione della profondità. Come mostrato nella tabella 10.1 questi indizi lavorano su distanze diverse: alcuni solo in un intervallo ristretto (adattamento, convergenza); alcune a intervalli ristretti e medi (parallasse di movimento, delezione e accrescimento);

**TABELLA 10.1** Intervallo di efficacia di diversi indizi di profondità

Informazione di profondità	0-2 metri	2-20 metri	Oltre 30 metri
Delezione e accrescimento	✓	✓	
Occlusione	✓	✓	✓
Grandezza relativa	✓	✓	✓
Adattamento e convergenza	✓		
Parallasse di movimento	✓	✓	
Altezza relativa		✓	✓
Prospettiva atmosferiche			✓

Fonte: Cutting e Vishton 1995



Alcuni cues sono efficaci per intervalli ampi (prospettiva atmosferica e altezza relativa); e alcuni sull'intero intervallo della percezione della profondità (occlusione, dimensione relativa; Cutting & Vishton, 1995).

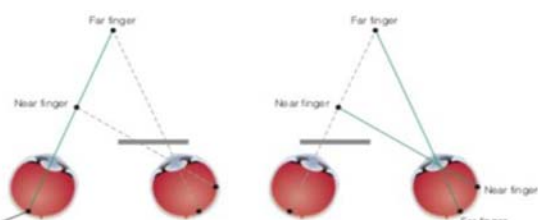
### Informazione binoculare sulla profondità.

Uno dei miti che alle volte ho sentito durante la mia infanzia è che ti servono entrambi gli occhi per percepire la profondità. Presto ho realizzato che ciò non era vero, perché quando chiudevo un occhio, riuscivo comunque a dire cos'era vicino e cos'era lontano. Ma alle volte i miti posso essere in parte veri. Anche se è possibile usare gli indizi monoculari per vedere la profondità, c'è qualcosa di qualitativamente differente riguardo la percezione della profondità quando vengono usati entrambi gli occhi. La percezione della profondità mediata dai due occhi, chiamata visione stereoscopica, coinvolge meccanismi che tengono in considerazione minime differenze nelle immagini formate nell'occhio sinistro e destro. La dimostrazione che segue, illustra queste differenze.

#### DIMOSTRAZIONE

**Due occhi: due punti di vista.**  
Chiudi il tuo occhio destro. Tieni un dito della tua mano sinistra alla distanza di un braccio. Posiziona un dito della mano destra a circa un piede di distanza, così che copra l'altro dito. Poi apri l'occhio destro e chiudi il sinistro. Quando fai quest'ultima inversione, come cambia la posizione del dito frontale, rispetto al dito posteriore.

Quando sei passato dal guardare con l'occhio sinistro al farlo con l'occhio destro, probabilmente hai notato che il dito frontale, sembrava muoversi verso sinistra relativamente al dito posteriore. La **figura 10.12** crea un diagramma di ciò che è successo sulle tue retine. La linea verde nella **figura 10.12a** mostra che quando l'occhio sinistra era aperto, le immagini del dito vicino e di quello lontano erano allineate lungo lo stesso asse ottico sulla retina. Questo si

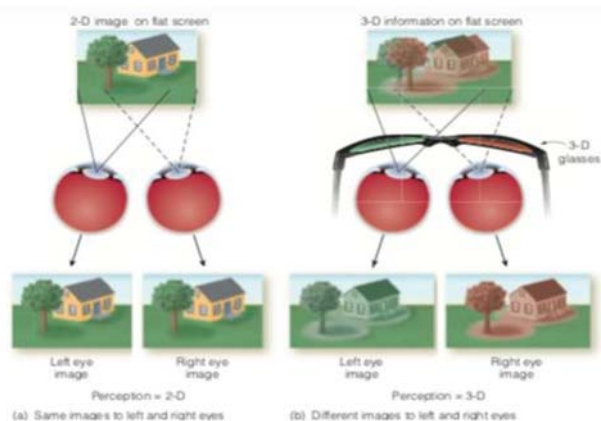


**Figura 10.12** La posizione delle immagini sulla retina per la dimostrazione "Due occhi: due punti di vista". Guarda il testo per la spiegazione.

verificava perché stavi guardando direttamente a entrambi gli oggetti, quindi entrambe le immagini cadevano sulla fovea dell'occhio sinistro. Le linee verdi nella **figura 10.12b** mostrano che quando invece l'occhio destro viene aperto, l'immagine del dito lontano continua a cadere sulla fovea perché la stavi guardando, ma l'immagine del dito vicino ora è spostata di lato. Se si considera il fatto che le dita erano allineate rispetto all'occhio sinistro, sarebbe un po' come immaginarsi che l'occhio destro sbirciasse "attorno" al dito vicino in maniera da rivelare la vista del dito lontano. Il fatto che gli occhi guardino il mondo da punti di vista diversi costituisce la base della percezione stereoscopica della profondità - la percezione della profondità creata dagli input provenienti da entrambi gli occhi. Prima di descrivere questi meccanismi, considereremo cosa significa affermare che la percezione stereoscopica della profondità è qualitativamente differente da quella monoculare.

#### Vedere la profondità con due occhi.

I film in 3D furono introdotti al pubblico su larga scala negli anni '50, quando furono sviluppati i primi occhiali per la visione in 3D, e "The house of Wax" divenne il film in 3D con incassi più alti. I film in 3D presto persero il loro fascino, sia per la qualità delle storie, che per la scomodità dell'indossare gli occhiali per la visione in 3D, e furono impiegati principalmente per cortometraggi mostrati nei parchi a tema. Ma recentemente, con lo sviluppo di una migliore tecnologia 3D e film come "Avatar" (2009) e "Hugo" (2011), i film in 3D sono diventati un dispositivo standard della cinematografia e solo poco più tardi della TV (approfondimento più avanti). Se hai visto un film in 3D è facile apprezzare la dimensione aggiunta dalla profondità stereoscopica. Le scene viste in 3D sembrano aver aggiunto profondità in confronto a quelle in 2D, con oggetti che alle volte danno l'impressione di sporgere al di fuori dello schermo. Il motivo principale della differenza tra la nostra percezione dei film in 2D e in 3D è illustrato in **figura 10.13**. Anche se noi vediamo un film in 2D con entrambi gli occhi, lo schermo



**Figura 10.13** (a) quando guardiamo un film in 2D l'occhio sinistro e destro ricevono essenzialmente le stesse immagini, quindi la profondità è indicata solo da indizi monoculari di profondità pittorica. (b) quando guardiamo un film 3D l'occhio destro e sinistro ricevono diverse immagini, quindi ha luogo la percezione stereoscopica della profondità.

è piatto, quindi entrambi gli occhi ricevono essenzialmente le stesse immagini (**Figura 10.13a**). Quindi ogni profondità percepita in quei film è il risultato di indizi di profondità monoculare o pittorica. La situazione dei film in 3D è diversa, perché la tecnologia 3D causa la ricezione di immagini leggermente diverse all'occhio destro e sinistro, come illustrato nella **figura 10.13b**. Queste visualizzazioni diverse copiano le due viste leggermente diverse di ciò che succede nel reale mondo 3D, come illustrato nella dimostrazione delle dita.

Un altro modo per apprezzare la differenza qualitativa tra la percezione della profondità monoculare e la percezione della profondità stereoscopica è quello di prendere in considerazione la storia di Susan Barry, una neuroscienziata al Mt. Holyoke College. La sua storia- prima descritta dal neurologo Oliver Sacks che la soprannominò "Stereo Sue" (Sachs, 2006, 2010) e successivamente nel suo stesso libro "Fixing My Gaze" (Barry, 2011)- inizia con il suo problema di vista d'infanzia. Lei era strabica, quindi quando guardava qualcosa con un occhio, l'altro guardava da un'altra parte. Per la maggior parte delle persone, entrambi gli occhi sono direzionati verso lo stesso punto nello spazio e lavorano in coordinazione tra di loro, ma nel caso di Susan, l'input era scoordinato. Situazioni come questa, insieme a una condizione chiamata "walleye" nella quale gli occhi divergono accoppiando viste che puntano all'esterno, sono forme di strabismo, o di cattivo allineamento degli occhi. Quando questo si verifica, il sistema visivo sopprime la visione in uno dei due occhi per evitare che la persona veda doppio, così la persona tende a vedere il mondo con un occhio alla volta.

Susan ebbe un numero di operazioni da bambina, che resero più difficile notare il suo strabismo, ma la sua vista era comunque dominata da un

occhio. Allorchè la sua percezione della profondità era ottenuta attraverso indizi monoculari, fu capace di condurre una vita per lo più normale. Riusciva a guidare, a giocare a softball, e a fare la maggior parte delle cose che riescono a fare le persone dotate di visione stereoscopica. Per esempio, descrisse la sua visione in un'aula di un college come segue:

"Ho guardato intorno a me. La classe non mi sembrava completamente piatta. Sapevo che lo studente seduto di fronte a me era posizionato tra me e la lavagna perché lo studente mi impediva la una porzione di vista della lavagna. Quando ho guardato fuori dalla finestra della classe, sapevo quali alberi erano più lontani, perché questi apparivano più piccoli di quelli più vicini" (Barry, 2011, Capitolo 1).

Anche se Susan per percepire la profondità poteva usare gli indizi monoculari descritti precedentemente, la sua conoscenza della letteratura neuroscientifica e varie altre esperienze che descrisse nel suo libro, la portarono a realizzare che stava ancora guardando con un solo occhio, pur avendo sostenuto diversi interventi durante l'infanzia. Quindi consultò un optometrista, che le confermò che guardava con un solo occhio e le assegnò esercizi per gli occhi pensati per aumentare la coordinazione tra i suoi occhi. Questi esercizi resero Susan capace di coordinare i suoi occhi, e un giorno, dopo aver lasciato lo studio dell'optometrista, ebbe la sua prima reale esperienza di percezione stereoscopica della profondità, che descrive come segue:

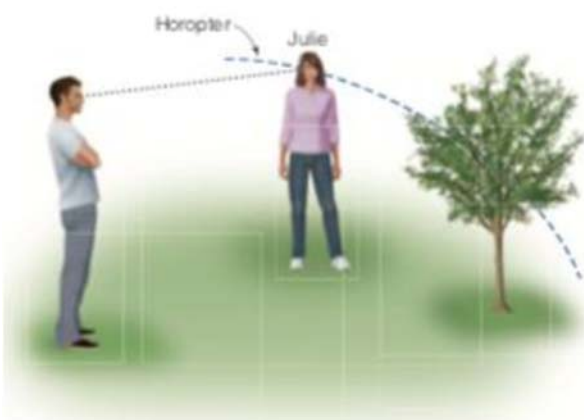
"Sono entrata nella mia macchina, mi sono seduta al posto del guidatore, ho infilato le chiavi nel quadro d'accensione, e ho dato un'occhiata al volante. Era un normale volante su un normale cruscotto, ma che quel giorno aveva assunto una forma completamente diversa. Il volante

fluttuava nel suo stesso spazio, con un volume palpabile così come palpabile era lo spazio vuoto tra volante e cruscotto. Ho chiuso un occhio e il volante appariva di nuovo “normale”; tutto qua, giaceva piatto proprio di fronte al cruscotto. Ho riaperto l’occhio chiuso, e il volante fluttuava davanti a me.” (Barry, 2011, Capitolo 6).

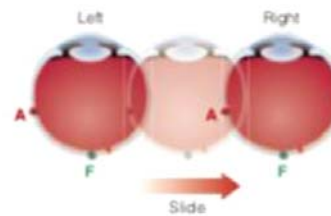
Da quel momento in poi, Susan ebbe molte altre esperienze che la stupirono, proprio come qualcuno che non ha mai sperimentato la visione stereoscopica potrebbe reagire se potesse mettersi degli occhiali per la visione 3D e improvvisamente vedere con una visione stereoscopica tridimensionale. È importante sapere che Susan non ottenne improvvisamente una visione stereoscopica equivalente a quella riscontrata da una persona con visione stereoscopica dalla nascita. La sua visione stereoscopica si manifestò inizialmente per gli oggetti più vicini e poi, con il proseguirsi del suo allenamento, si estese a distanze maggiori. Ma ciò che sperimentò evidenzia drasticamente la ricchezza che la visione stereoscopica aggiunge all’esperienza della percezione della profondità.

### Disparità-Binoculare

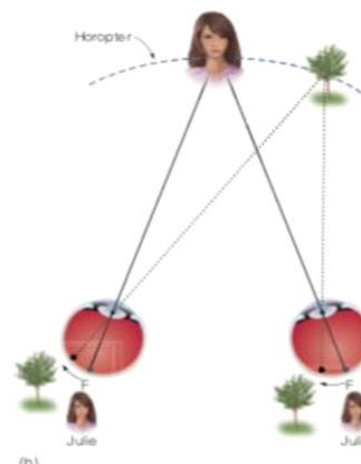
La **disparità binoculare**, ossia la differenza nella posizione dell’immagini sulla retina destra e sinistra di uno stesso oggetto, è la base della visione stereoscopica che Susan sperimentò. Adesso guardiamo più attentamente alle informazioni sulla retina destra e sinistra che il cervello usa per creare un’impressione di profondità.



**Punti retinici corrispondenti:** Iniziamo introducendo il concetto di punti retinici corrispondenti - punti sulla retina che coincidono se gli occhi sono sovrapposti l’uno sull’altro (Figura 10.14). Possiamo illustrare i punti corrispondenti considerando l’osservatore nella Figura 10.15a che sta guardando direttamente Julie. La Figura 10.15.b mostra dove si trovano le immagini di Julie sulla retina dell’osservatore. Dato che l’osservatore sta guardando direttamente verso Julie, le sue immagini cadono sulle fovee di entrambi gli occhi dell’osservatore, indicate dai puntini verdi. Le due fovee sono punti corrispondenti, quindi le immagini di Julie cadono su punti corrispondenti. Inoltre, le immagini di altri oggetti cadono anch’esse su punti corrispondenti. Considerando



**Figura 10.14** Punti corrispondenti sulle due retine. Per determinare i punti corrispondenti, immagina che l’occhio sinistro sia scivolato sopra l’occhio destro. F indica la fovea, dove l’immagine di un oggetto si presenta quando un osservatore guarda direttamente l’oggetto stesso, e A è un punto nella retina periferica. Le immagini nella fovea cadono sempre su punti corrispondenti. Si noti che i punti A, i quali cadono allo stesso modo su punti corrispondenti, sono alla stessa distanza dalla fovea nell’occhio destro e nel sinistro.



**Figura 10.15 (a)** Un osservatore che guarda la faccia di Julie, con un albero a lato. (b) gli occhi dell’osservatore che mostrano dove le immagini di Julie e dell’albero cadono su ogni occhio. Le immagini di Julie cadono sulla fovea, quindi sono su punti corrispondenti. Le frecce indicano che le immagini degli alberi sono posizionate alla stessa distanza dalla fovea nei due occhi, quindi sono anch’essi su punti corrispondenti. La linea blu tratteggiata è l’ “horopter” (il locus di tutti i punti nello spazio che stimolano punti su ogni occhio che produce la stessa direzione visiva su entrambi). Le immagini degli oggetti situati sull’horopter cadono su punti corrispondenti.

per esempio, l'albero nella figura 10.15b rispetto alla fovea, le immagini dell'albero sono nello punto -a sinistra della fovea e alla stessa distanza (indicato dalle frecce). Questo significa che le immagini dell'albero sono su punti corrispondenti (se dovessi far scivolare gli occhi uno sull'altro, le immagini di Julie si sovrapporrebbero, così come quelle dell'albero). Perciò, qualsiasi cosa una persona stia guardando direttamente (come Julie) cade su punti corrispondenti, e alcuni altri oggetti (come l'albero) cadono anch'essi su punti corrispondenti. Julie, l'albero e ogni altro oggetto che cade su punti corrispondenti sono situati su una superficie chiamata Oroptero (*Horopter* in inglese). La linea blu tratteggiata in Figura 10.15a e 10.15b mostrano parte dell' Oroptero.

### La disparità assoluta indica la distanza dall'oroptero.

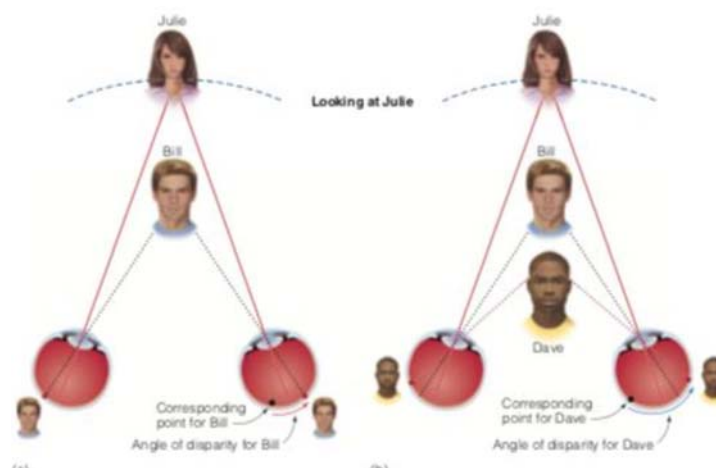
Le immagini degli oggetti che non giacciono sull'oroptero, cadono su punti non corrispondenti della retina. Il grado di deviazione dalla mancata corrispondenza di questi oggetti è chiamato disparità assoluta. Questo è illustrato nella **Figura 10.16a** che mostra di nuovo Julie, con le sue immagini su punti corrispondenti, e un nuovo personaggio, Bill, le cui immagini sono su punti non corrispondenti. La quantità di disparità assoluta, che è chiamata l'angolo di disparità, è indicata dalla freccia rossa, che mostra l'angolo tra il punto corrispondente per l'immagine dell'occhio sinistro di Bill (puntino rosso) e dove l'immagine è effettivamente situata.

La **Figura 10.16b** mostra che l'angolo di disparità è più grande per oggetti a distanze maggiori

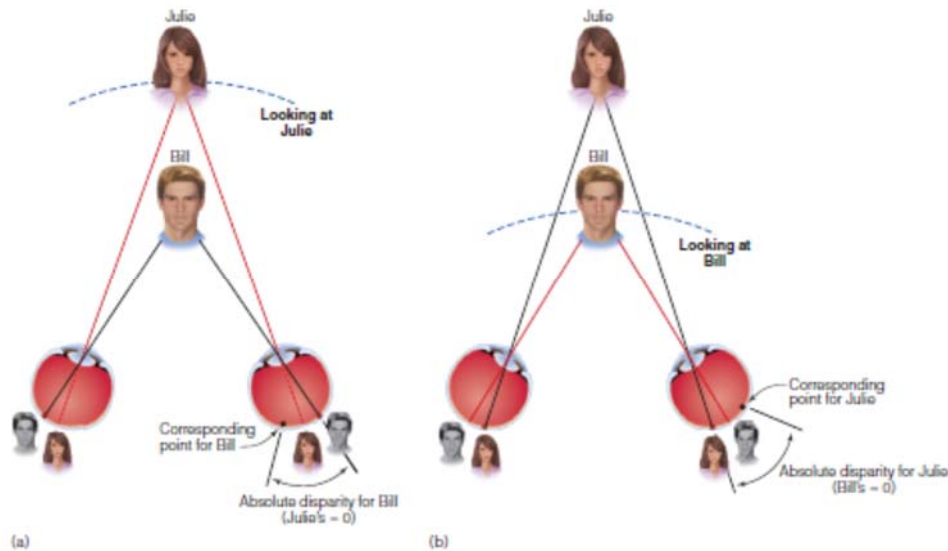
dall'oroptero. L'osservatore sta ancora guardando Julie, e Bill è dov'era prima, ma ora abbiamo aggiunto Dave, che è situato ancora più lontano dall'Oroptero rispetto a Bill. Quando compariamo l'angolo di disparità di Dave in questa figura (freccia blu) con quello di Bill in Figura 10.16 a (freccia rossa), notiamo che la disparità di Dave è maggiore. (La stessa cosa accade per oggetti più lontani dell'oroptero, con distanze maggiori associate anche con grandi disparità). L'angolo di disparità pertanto fornisce informazioni riguardo la distanza di un oggetto dall'oroptero, con angoli di disparità maggiori che indicano distanze maggiori dall'oroptero.

### La disparità relativa indica la posizione relativa tra oggetti.

Consideriamo ora cosa succede quando l'osservatore sposta il suo sguardo da un oggetto all'altro. Quando l'osservatore sta guardando Julie (**Figura 10.17 a**), le immagini di Julie ricadono sulle fovee dell'osservatore (quindi la disparità di Julie è pari a 0), ma le immagini di Bill ricadono su punti non corrispondenti (quindi c'è disparità). Ma quando l'osservatore sposta lo sguardo su Bill (**Figura 10.17b**) le immagini di Bill cadono sulle fovee (quindi la disparità di Bill è 0) e le immagini di Julie cadono su punti non corrispondenti (quindi c'è disparità).



**Figura 10.16** (a) quando l'osservatore guarda Julie, le immagini di quest'ultima cadono su punti corrispondenti. Le immagini di Bill cadono su punti non corrispondenti. L'angolo di disparità indicato dalla freccia rossa è determinato misurando l'angolo tra il luogo in cui i punti corrispondenti delle immagini di Bill sarebbero collocati (puntino nero) e il luogo in cui l'immagine di Bill è effettivamente situata (puntino rosso). (b) Dave è stato aggiunto alla Figura 10.16 a: l'angolo di disparità di Dave (freccia blu) è maggiore di quello di Bill, perché Dave è situato più lontano dell'oroptero.



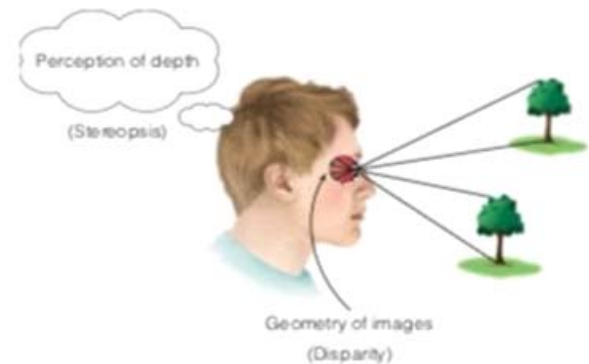
**Figura 10.17** Le disparità assolute cambiano quando lo sguardo di un osservatore si sposta da un luogo ad un altro. (a) quando l'osservatore guarda Julie la disparità della sua immagine è 0. La disparità dell'angolo di Bill è indicato dalla freccia. (b) quando l'osservatore guarda Bill la disparità dell'immagine di Bill diventa zero. La disparità dell'angolo di Julie è indicato dalla freccia. Poiché una delle disparità in ciascuna coppia è 0, la freccia indica la differenza di disparità tra l'immagine di Julie e Bill. Si nota la differenza di disparità nello stesso in (a) e (b). Questo significa che la disparità relativa di Julie e Bill resta la stessa come l'osservatore guarda in posti diversi.

Se noi compariamo le due situazioni nella 10.17 a e b, notiamo che la differenza in termini di disparità assoluta tra Julie e Bill (indicata dalla lunghezza della freccia) è la stessa in entrambi le situazioni. La *differenza* delle disparità assolute degli oggetti in una scena, chiamata **disparità relativa**, rimane la stessa quando l'osservatore muove lo sguardo attorno ad una scena. La disparità relativa aiuta ad indicare dove un oggetto in una scena è posizionato rispetto ad un'altro fornendo una informazione della loro profondità relativa. Come vedremo di seguito, vi sono prove sperimentali che sia le informazioni di disparità assoluta che relativa sono rappresentate dall'attività neurale nel sistema visivo.

### La disparità (geometrica) crea stereopsi (percettiva)

Abbiamo visto che le informazioni relative alla disparità assoluta e relativa contenute nelle immagini sulle retine forniscono informazioni che indicano la distanza di un oggetto da dove sta guardando l'osservatore e la distanza relativa tra gli oggetti. Si noti, tuttavia, che la nostra descrizione della disparità si è concentrata sulla *geometria*-osservando dove le immagini degli oggetti cadono sulla retina-ma non ha menzionato la *percezione*, l'esperienza dell'osservatore della profondità di un oggetto o

la sua relazione con altri oggetti nell'ambiente (**Figura 10,18**)



**Figura 10,18** la disparità è correlata alla geometria-le posizioni delle immagini sulla retina. La stereopsis è legata alla percezione- l'esperienza di profondità creata dalla disparità.



**Figura 10.19** le due immagini di una fotografia stereoscopica. La differenza tra le due immagini, come la distanza tra i due cactus in primo piano e la finestra nelle due viste, crea disparità retinea. Questo crea una percezione della profondità quando l'immagine di sinistra è vista dall'occhio sinistro e quella di destra dall'occhio destro

Consideriamo ora la relazione tra disparità e ciò che gli osservatori percepiscono introducendo la stereopsi - l'impressione di profondità che deriva dalle informazioni fornite dalla disparità binoculare. Un esempio di stereopsi è fornito dall'effetto di profondità ottenuto dallo stereoscopio, uno strumento introdotto dal fisico Charles Wheatstone (1802-1875), che produce una convincente illusione di profondità usando due figure leggermente diverse. Questo strumento divenuto estremamente popolare nel 1800 e reintrodotta più recentemente nel 1940 come il "View Master", presenta due fotografie di uno stesso oggetto fatte con una fotocamera con due lenti separate dalla stessa distanza che c'è tra gli occhi. Il risultato è quello di due viste leggermente diverse, come quelle mostrate nella **Figura 10.19**. Lo stereoscopio, attraverso un gioco di specchi, presenta la foto di sinistra all'occhio sinistro e la foto di destra all'occhio destro. Questo crea la stessa disparità binoculare che c'è quando una persona osserva la scena naturalmente, quindi queste immagini leggermente diverse compaiono nell'occhio di sinistra e in quello di destra. Il principio che sta dietro allo stereoscopio è anche usato nei film 3D. Le immagini dell'occhio sinistro e dell'occhio destro sono presentate sovrapposte sullo schermo, leggermente separate l'una dall'altra, per creare disparità. Ci sono più modi per realizzare questo fenomeno. Un modo è quello di colorare un'immagine di rosso e l'altra di verde e per vedere il film si usano degli occhiali con un filtro rosso per un occhio e verde per l'altro.

Un altro modo per separare l'immagine di sinistra da quella di destra, che è stato usato nei film "Avatar" e "Hugo" è di creare l'immagine di sinistra e l'immagine di destra con luci polarizzate - onde di luce che vibrano solo in una

direzione. Un'immagine è polarizzata così da produrre un campo elettromagnetico di onde verticali e l'altra è polarizzata così da generarne uno di onde orizzontali. Vedendo il film attraverso lenti polarizzate, la luce polarizzata verticalmente in un occhio e quella polarizzata orizzontalmente nell'altro, crea la disparità che risulta nella percezione tridimensionale. Questo metodo è da preferire rispetto a quello basato sul colore rosso-verde, dato che consente di riprodurre gli stessi colori della scena senza modificarli.



**Figura 10.20.** Tre Tipi di di TV 3D

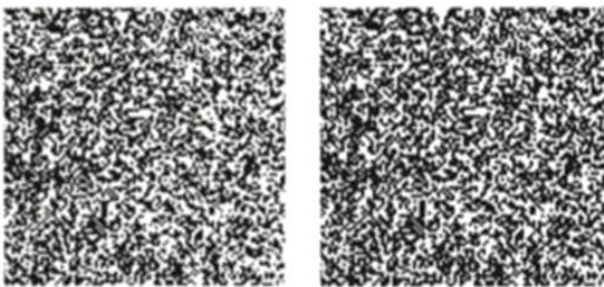
Tecniche simili sono state usate per creare la percezione 3D delle immagini televisive, ma con alcune variazioni basate sul modo in cui sono state create le TV. I metodi principali sono illustrati nella **Figura 10.20**. Il metodo passivo lavora secondo i principi che abbiamo descritto per i film in 3D con due immagini polarizzate sovrapposte osservate attraverso occhiali polarizzati (**Figura 10.20**). Il metodo attivo alterna l'immagine dell'occhio sinistro e quella dell'occhio destro sullo schermo per 30 o più volte al secondo. Questo metodo è detto attivo perché gli occhiali per osservare hanno un sistema osservatore che è sincronizzato con l'alternarsi delle immagini che compaiono sullo schermo della TV, quindi l'otturatore per l'occhio sinistro è aperta quando l'immagine dell'occhio sinistro è presentata sullo schermo, e l'otturatore

per l'occhio destro è aperta quando l'immagine dell'occhio destro è presentata ( **Figura 10.20b** ). Uno svantaggio di questo metodo è che gli occhiali sono costosi e alcune persone riportano mal di testa dopo averli usati a lungo; un vantaggio è che la qualità dell'immagine è migliore rispetto a quella possibile con il metodo passivo.

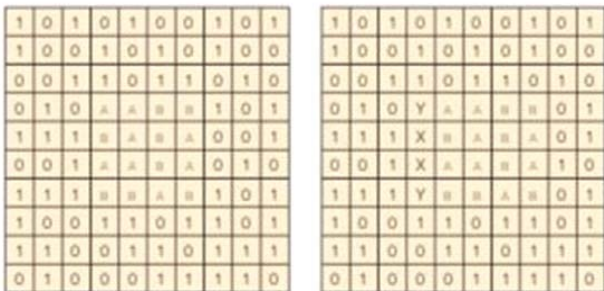
In un terzo metodo, detto proiezione autostereoscopica o lenticolare, lo schermo è rivestito con una pellicola che contiene due gruppi di lenti che dirigono differenti immagini all'occhio sinistro e all'occhio destro (**Figura 10.20c**). Puoi avere esperienza delle immagini lenticolari nelle cartoline che mostrano differenti immagini quando si guardano da diversi angoli o che creano un'impressione 3D quando sono viste da un solo punto di vista. Un vantaggio di questo metodo è che non sono richiesti gli occhiali. Uno svantaggio è che l'effetto di 3D dipende dal punto di vista dell'osservatore, e guardare queste immagini provoca chinetosi in alcune persone. La tecnologia delle televisioni -D si sta evolvendo molto rapidamente così che alcuni degli svantaggi descritti qui potrebbero diventare meno importanti mentre stai leggendo questo libro! Ritornando alle nostre considerazioni sul se la disparità crea stereopsi, noi possiamo indicare che tutti i metodi che abbiamo descritto usano la disparità per creare la percezione 3D.

perché le immagini come quella nella Figura 10.19 contengono anche altre fonti di informazioni di profondità, come l'occlusione e l'altezza relativa, che possono contribuire alla nostra percezione della profondità. A tal proposito, Bela Julesz (1971) ideò uno stimolo atto a dimostrare che la disparità da sola è in grado di generare percezione di profondità: si parla in questo caso di stereogramma a punti casuali che non contengono indizi pittorici. Creando immagini stereoscopiche composte da soli punti random, Julesz mostrò che gli osservatori possono percepire la profondità anche in condizioni di stimolazione in cui nessun'altra fonte di informazione sulla profondità è presente a parte la disparità. Le due immagini di punti casuali simili, che costituiscono uno stereogramma a punti casuali è riportata in **Figura 10.21**. Queste immagini sono costruite al computer a partire da una stessa matrice di punti casuali di cui una sola delle due viene modificata spostando parte della matrice originaria di una cella a destra o a sinistra.

Nello stereogramma in Figura **10.21a**, una sezione di punti dalla matrice sinistra è stata spostata di un'unità verso destra per formare la matrice sulla destra. Questo spostamento è troppo piccolo per essere visibile dalle singole immagini fatte di punti, ma possiamo capire come è stato ottenuto guardando il diagramma sotto ciascuna immagine (**Figura 10.21b**). In questi diagrammi, i punti neri sono indicati con O, A e X e i punti bianchi con 1, B e Y. I punti A e B indicano la sezione quadrata dove lo spostamento è stato effettuato. Notiamo che A e B sono spostati di un'unità sulla destra nello schema di destra. I punti X e Y indicano aree non coperte dallo spostamento che deve essere riempito con nuovi punti neri e bianchi per completare la matrice.



(a)



(b)

**Figura 10.21** (a) uno stereogramma a punti casuali. (b) il principio per costruire lo stereogramma. Vedi il testo per la spiegazione.

Tuttavia, questi esempi non provano conclusivamente che la disparità crea stereopsi,

Anche se non è possibile dire che i punti sono stati spostati quando guardi la Figura 10.21a, il sistema visivo nota una differenza quando l'immagine di sinistra è presentata all'occhio

sinistro e l'immagine di destra all'occhio destro. La disparità creata dalle sezioni spostate risulta come la percezione di un piccolo quadrato galleggiante sopra lo sfondo. Dato che la disparità binoculare è l'unica informazione di profondità presente nello stereogramma, la disparità da sola può quindi causare la percezione della profondità. Esperimenti psicofisici, in particolare quelli che usano gli stereogrammi a punti casuali di Julesz, mostrano che la disparità crea la percezione di profondità. Ma prima che possiamo completamente comprendere il meccanismo responsabile della percezione della profondità; dobbiamo rispondere ancora a una domanda: come il sistema visivo mette insieme le parti dell'immagine dell'occhio di sinistra e dell'occhio di destra per farle corrispondere a una sola? Questo è detto problema della corrispondenza, e come vedremo, continua a non essere del tutto spiegato.

### Il problema della corrispondenza

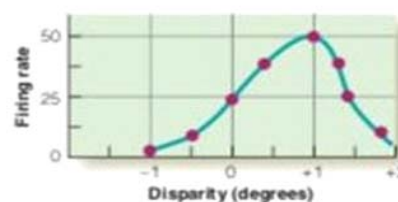
Torniamo all'immagine stereoscopica della Figura 10.19. Quando guardiamo quest'immagine in uno stereoscopio, vediamo parti diverse dell'immagine a diverse profondità data la loro disparità retinica prodotta da immagine dell'occhio destro e sinistro. Così, il cactus e la finestra appaiono a diverse distanze perché sottendono una disparità diversa. Tuttavia, il sistema visivo per computare la profondità a partire dalle disparità deve comparare l'immagine del cactus sulla retina di sinistra con quella sulla retina di destra e l'immagine della finestra sulla retina di sinistra con quella di destra. Questo accoppiamento tra parti di immagini corrispondenti definisce il problema della corrispondenza. Come fa il sistema visivo a creare una corrispondenza tra le immagini dei due occhi?

Una possibile risposta a questa domanda è che il sistema visivo potrebbe unire le immagini della retina di destra e sinistra sulla base della similarità tra specifiche caratteristiche dell'immagine. Per esempio, la finestra in alto a sinistra dell'immagine destinata all'occhio sinistro possiede le stesse caratteristiche locali/geometriche dello specchio in alto a sinistra dell'immagine destra, e così via. Spiegata in questo modo la soluzione sembra semplice. La maggior parte delle cose del mondo sono abbastanza discriminabili le une dalle altre,

quindi è facile unire un'immagine della stessa cosa sulla retina di sinistra con quella sulla retina di destra. Tuttavia, come fa il sistema visivo a risolvere il problema anche nel caso di immagini localmente simili come quelle fatte di punti random, nello stereogramma di Julesz?

Puoi comprendere la complessità del problema che il sistema visivo deve fronteggiare per risolvere la visione 3D in uno stereogramma a punti random cercando di abbinare i punti sull'immagine di sinistra e di destra dello stereogramma nella Figura 10.21. Troverai il compito molto difficile: dovresti infatti comparare piccole regioni delle due immagini una dopo l'altra spostando l'attenzione continuamente da una immagine all'altra. Nonostante unire caratteristiche simili in uno stereogramma a punti casuali sia un compito difficile e che richiede tempo, il sistema visivo lo risolve istantaneamente e automaticamente unendo le caratteristiche simili, calcolandone la disparità, e quindi creandola la percezione di profondità. Molti modelli, tutti troppo complessi per essere descritte in questo capitolo, sono stati usati per spiegare come il sistema visivo risolve il problema della corrispondenza, anche se una risposta completamente esaustiva deve ancora essere proposta (vedi Blake & Wilson, 1991. Menz & Freeman, 2003. Oh Zawa, 1998. Ringback, 2003).

### La fisiologia della visione stereoscopica



**Figura 10.22** Curva di attivazione alla disparità per un neurone sensibile alla disparità assoluta. Questa curva indica la risposta neurale che avviene quando stimoli presentati all'occhio sinistro e destro creano differenti livelli di disparità.

L'idea che la disparità binoculare fornisca informazioni per la posizione degli oggetti nello spazio implica che ci devono essere dei neuroni specializzati a segnalare la quantità di disparità (Barlow et al., 1967; Hubel & Wiesel, 1970).

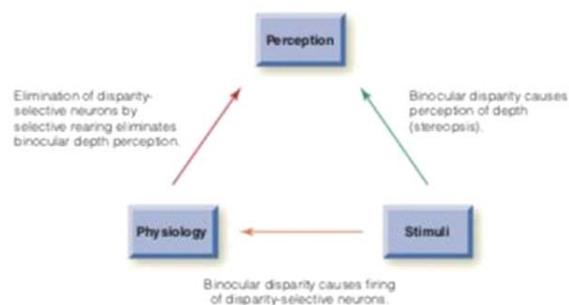


Questi neuroni sono chiamati cellule della profondità binoculare o cellule disparità-selettive. Ogni cellula scaricherà al massimo del suo potenziale quando stimoli presentati all'occhio sinistro e destro creano una specifica quantità di disparità assoluta (Uka & DeAngelis, 2003). La **Figura 10.22** mostra una curva di attivazione alla disparità per un neurone. Questo particolare neurone risponde meglio quando l'immagine sottesa da occhio sinistro e destro crea una disparità assoluta di circa 1 grado. Ulteriori ricerche hanno dimostrato che ci sono neuroni nella parte più alta della corteccia visiva che rispondono selettivamente alla disparità relativa (Parke, 2007). Esperimenti di neuro-immagine cerebrale sugli umani dimostrano che stimoli che creano disparità binoculare coinvolgono l'attivazione di diverse aree (Backus et al., 2001; Kwee et al., 1999; Ts'o et al., 2001). Esperimenti sulle scimmie hanno dimostrato che nella corteccia visiva primaria vi sono neuroni che rispondono in maniera selettiva alla disparità assoluta, e le aree lobo temporale assieme ad altre sono dedicate alla codifica della disparità relativa. In base a questi risultati si ritiene che la percezione della profondità coinvolga una elaborazione suddivisa in stadi: comincia nella corteccia visiva primaria e si estende in molte diverse aree della via ventrale e dorsale (Parker, 2007).

La relazione tra disparità binoculare e l'attivazione selettiva di cellule disparità-selettive è un esempio della relazione tra stimolo e fisiologia illustrata nel diagramma del processo percettivo di **Figura 10.23** (freccia arancione). Questo diagramma, che abbiamo introdotto fin dal capitolo 1 (vedi Figura 1.10) e ripetuto nel capitolo 8 (vedi Figura 8.17), raffigura altre due relazioni. La relazione stimolo-percezione (freccia verde) che caratterizza la relazione tra disparità binoculare e la percezione della profondità. La relazione finale è tra fisiologia e percezione: relazione che è stata dimostrata in molti modi.

Un'iniziale dimostrazione della connessione tra cellule disparità-selettive e percezione coinvolge la procedura di adattamento selettivo che è stata descritta nella discussione sulla relazione rilevatori di caratteristiche e percezione nel capitolo 3 (vedi pagina 66). Randolph Blake e Helmut Hirsch (1975) applicarono questa procedura per studiare la percezione della profondità nei gatti: i gatti per i primi 6 mesi della loro vita venivano adattati a vedere il mondo con

un occhio solo alla volta alternando la vista dell'occhio destro e sinistro ogni giorno.



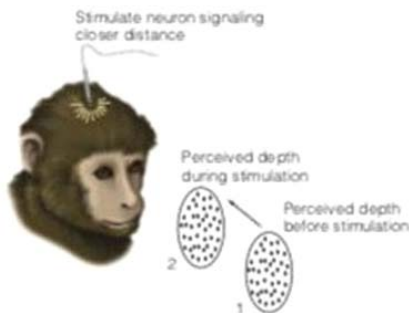
**Figura 10.23** le tre relazioni nel processo percettivo, come applicato nella disparità binoculare. Abbiamo descritto esperimenti relativi alla disparità nella percezione (freccia verde) e relativi alla disparità a risposte fisiologiche (freccia arancione). Lo step finale è determinare la relazione tra le risposte fisiologiche e disparità e percezione (freccia rossa). Questo è stato studiato da allevamenti selettivi, così come altri metodi descritti nel testo.

Dopo questo periodo di adattamento Blake e Hirsch registrarono i neuroni nella corteccia dei gatti e trovarono che (1) avevano pochi neuroni binoculari, e (2) non usavano la disparità binoculare per percepire la profondità. Quindi, eliminando i neuroni binoculari si elimina la stereopsi e si confermava quello che molti sospettavano - che i neuroni disparità-selettivi sono responsabili della stereopsi (vedi anche Olson & Freeman, 1980).

Un'altra tecnica che è stata usata per dimostrare il collegamento tra attività neurale e percezione della profondità è la microstimolazione, una procedura dove un piccolo elettrodo è inserito nella corteccia e una carica elettrica passa attraverso l'elettrodo per attivare il neurone vicino l'elettrodo (Cohen & Newsome, 2004). (vedi metodo: microstimolazione nel capitolo 8, pagina 187). Nel capitolo 8 abbiamo descritto ricerche che dimostrano come la stimolazione di neuroni che rispondono in maniera selettiva a specifiche direzioni del movimento induce nella scimmia una percezione di movimento congruente in stimoli fatti da costellazioni di punti. Gregory, DeAngelis et al. (1998) dimostrarono lo stesso effetto per la percezione della profondità addestrando scimmie a rispondere alla profondità di immagini stereoscopiche con diversa disparità assoluta. Presumibilmente, la scimmia percepiva la profondità dato che immagini disparate sulla

retina attivano i neuroni disparità-selettivi nella corteccia. Ma cosa succede se si usa la microstimolazione per attivare gruppi di neuroni disparità-selettivi diversi?

Neuroni che sono sensibili alla stessa disparità tendono a essere organizzati a grappoli, quindi stimolando un grappolo attiverà un gruppo di neuroni che rispondono in maniera selettiva ad una specifica disparità.



**Figura 10.24** quando la scimmia osserva uno stereogramma random-dot DeAngelis et al. (1998) stimolano neuroni nella corteccia della scimmia che sono sensibili a particolari livelli di disparità. Questa stimolazione sposta la percezione della scimmia della profondità del campo di punti dalla posizione 1 alla 2.

Quando DeAngelis et al. stimolarono neuroni che erano specializzati a disparità diverse dalla disparità specifica dell'immagine stereoscopica mostrata alla scimmia, questa modificava il suo giudizio di profondità coerentemente con la disparità segnalata dal neurone microstimolato (**Figura 10.24**). I risultati degli esperimenti di adattamento selettivo e di microstimolazione indicano che le cellule della profondità binoculare sono meccanismi fisiologici responsabili della percezione della profondità, quindi forniscono evidenza della relazione fisiologica-percettiva del processo percettivo nella Figura 10.23.

### Test Yourself 10.1

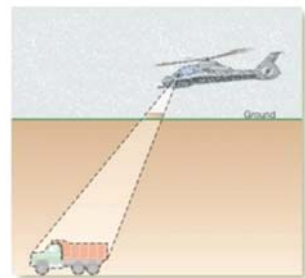
1. Qual è il problema alla base della percezione della profondità, e come viene affrontato dall'approccio basato sugli indizi?
2. Quali indizi monoculari forniscono informazioni riguardo la profondità nell'ambiente?
3. Cosa aggiunge alla nostra percezione di profondità la visione binoculare, considerando anche la diversa sensazione che si ottiene comparando la visione di film in 3D e 2D?
4. Cos'è la disparità binoculare? Qual è la differenza tra disparità assoluta e disparità relativa? Come sono collegate questi due tipi di

disparità con la profondità di oggetti in una scena?

5. Cos'è la stereopsi? Qual è la prova che la disparità crea stereopsi?
6. Che cosa dimostra il fatto che si possa percepire profondità in stereogrammi a punti casuali?
7. Qual è il problema corrispondenza? Questo problema è stato risolto?
8. Descrivi ognuna delle relazioni nel processo percettivo della figura 10.23, e fornisci esempi basati su ricerche psicofisiche e fisiologiche per ogni relazione.

## La Percezione della Grandezza

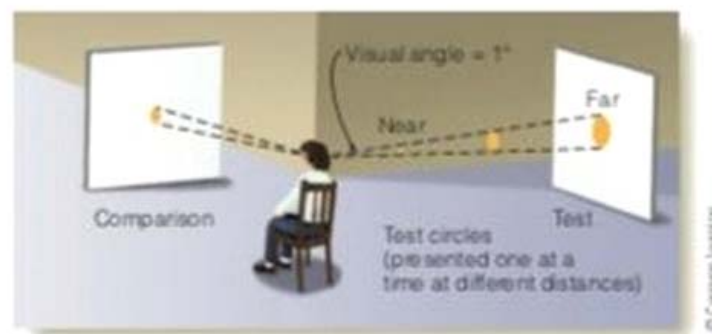
In questo capitolo discutiamo la percezione della grandezza dato che essa può essere condizionata dalla nostra percezione della profondità. Questa connessione tra la percezione della grandezza e la percezione della profondità è illustrata graficamente dall'esempio della tormenta di neve in Figura 10.25, che illustra una tipica condizione di visione di un elicotterista quando volava sopra un suolo ricoperto di neve. La seguente descrizione, basata su un incidente realmente accaduto all'istituto di ricerca Antartico, illustra gli effetti devastanti della tormenta di neve sulla percezione della grandezza:



**Figure 10.25.** Quando un pilota di un elicottero perde l'abilità di percepire la distanza in una tormenta, una piccola scatola che è vicino può essere scambiata per un furgone che è molto lontano.

*Frank pilotava il suo elicottero attraverso il deserto antartico, e guardando dall'alto verso il basso, la luce accecante che rifletteva dalle nuvole spesse a sopra la distesa bianca di neve, rendeva difficile vedere l'orizzonte e i dettagli sulla superficie della neve. Era consapevole del pericolo perché aveva conosciuto piloti che avevano affrontato condizioni di visibilità simili che avevano volato a velocità elevate attraverso il ghiaccio. Pensò di aver avvistato un veicolo fermo a grande distanza nella neve e per soccorrerlo*

lanciò un fumogeno per verificare la sua altitudine. Con orrore, il fumogeno cadde appena 3 piedi prima di urtare il suolo. Realizzò quindi che quello che pensava essere un furgone a grande distanza non era altro che una piccola scatola e che l'elicottero era quindi pericolosamente vicino al suolo. Frank quindi tirò la leva di comando e fece risalire verso l'alto l'elicottero, ancora terrorizzato al pensiero di quanto fosse stato vicino a diventare una vittima della tempesta di neve.



**Figura 10.26.** Setup dell'esperimento di Holway e Boring (1941). L'osservatore aggiusta il diametro del cerchio di confronto nel corridoio sinistro per farlo corrispondere alla dimensione percepita del cerchio di prova presentato nel corridoio di destra. Il cerchio di prova sottende sempre un angolo visivo di 1 grado ma a distanze dall'osservatore che variano di prova in prova. Questo diagramma non è in scala.

Questo racconto illustra come la nostra percezione della grandezza degli oggetti dipenda dalla nostra capacità di percepire la loro distanza. Una piccola scatola vicina al punto di vista, in condizioni di scarsa informazione sulla distanza, può essere confusa con un grande furgone lontano dal punto di vista (Figura 10.25). L'idea che possiamo percepire erroneamente le dimensioni degli oggetti in assenza di adeguate informazioni sulla profondità, è stato dimostrato in un classico esperimento di A.H. Holway e Edwin Boring (1941).

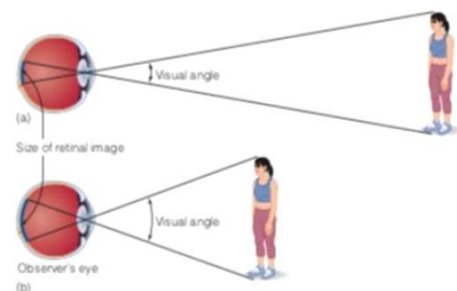
### L'esperimento di Holway e Boring

Nell'esperimento di Holway e Boring gli osservatori erano posizionati nel punto d'incontro di due corridoi. Come illustrato in Figura 10.26 guardando lungo il corridoio di destra vedevano un cerchio luminoso di prova (cerchio *test*), mentre lungo quello di sinistra vedevano un cerchio di confronto (cerchio *comparison*).

Il cerchio di confronto era posizionato sempre a 10 piedi dall'osservatore, ma i cerchi di prova erano presentati a distanze variabili che

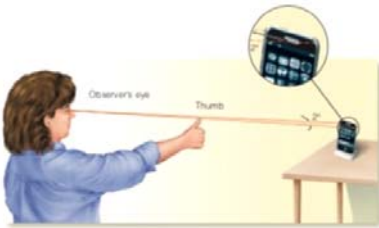
andavano da 10 a 120 piedi. Un'importante proprietà del cerchio di confronto era che la sua grandezza poteva essere variata dall'osservatore, che in ogni prova aveva il compito di aggiustare la il suo diametro in maniera che apparisse esattamente uguale a quella del cerchio di prova. Un'importante caratteristica dei cerchi di prova che comparivano nel corridoio destro era che tutti proiettavano esattamente una immagine retinica della stessa dimensione. Capiamo come questo sia stato ottenuto introducendo il concetto di angolo visivo.

**Cos'è l'angolo visivo?** L'angolo visivo è l'angolo sotteso da un oggetto in relazione all'occhio dell'osservatore. La figura 10.27a illustra come si determina l'angolo visivo di uno stimolo (una persona, in questo caso) estendendo linee dalle estremità della persona alla lente dell'occhio dell'osservatore. L'angolo composto dall'intersezione tra le linee è l'angolo visivo. Questo dipende sia dalla dimensione dello stimolo sia dalla sua distanza dall'osservatore: quando la persona si avvicina, così come nella **Figura 10.27b**, l'angolo visivo aumenta.



**Figura 10.27.** a) L'angolo visivo dipende dalla grandezza dello stimolo e dalla distanza dall'osservatore b) Quando lo stimolo (la donna) si avvicina all'osservatore l'angolo visivo aumenta. Questo esempio dimostra come dimezzando la distanza occhio stimolo raddoppia la grandezza dell'immagine retinica definita dall'angolo visivo

L'angolo visivo ci dice quanto grande è la proiezione dell'oggetto sul retro dell'occhio. Considerando che l'intera circonferenza del bulbo oculare misura  $360^\circ$ , un oggetto di  $1^\circ$  occuperà  $1/360$  di questa circonferenza – circa 0,3 mm considerando la dimensione media di un occhio adulto.



**Figura 10.28.** la tecnica “del pollice” per determinare l'angolo visivo sotteso da un oggetto. Quando il pollice a distanza di un braccio viene fissato con un occhio tenuto, sottende un angolo visivo di circa  $2^\circ$ . Il pollice della donna copre la larghezza del suo telefono, così l'angolo visivo del telefono, dal punto di vista della donna, è di  $2^\circ$ . Si noti che l'angolo visivo cambierà se la distanza tra la donna e il telefono cambia.

Un modo per avere un'idea dell'angolo visivo è di estendere completamente il proprio braccio e guardare al proprio pollice, come sta facendo la donna nella Figura 10.28. Approssimativamente l'angolo visivo sotteso dal pollice alla distanza del braccio è di  $2^\circ$ . Quindi, un oggetto che viene completamente coperto dalla vista del pollice tenendo il braccio disteso come nel caso del telefono della Figura 10.28, sottenderà un angolo visivo di circa  $2^\circ$ . La così-detta “tecnica del pollice” fornisce un modo per determinare l'angolo visivo approssimato di qualsiasi oggetto presente nell'ambiente. Esso illustra anche un'importante proprietà dell'angolo visivo. Un piccolo oggetto che si trova vicino (come il pollice) e un oggetto più grande che si trova lontano (come il telefono) possono sottendere lo stesso angolo visivo.



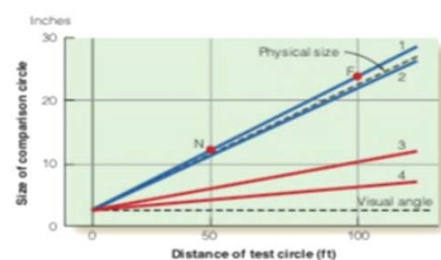
**Figura 10.29** L'angolo visivo tra le due dita è lo stesso angolo visivo della Torre Eiffel

Un esempio estremo di questo fenomeno è illustrato nella **Figura 10.29**, che mostra una fotografia fatta da Jennifer, una studentessa nella mia classe di sensazione e percezione. Per fare questa foto, Jennifer ha regolato la distanza tra le sue dita in modo che la Torre Eiffel vi appaia in mezzo. Nel fare questo, lo spazio tra le sue dita, che erano a circa di 1 piede di distanza dall'obiettivo, sottendeva lo stesso angolo visivo della Torre Eiffel, che era centinaia di metri di distanza.

### Come Holway e Boring hanno testato la percezione della dimensione in un corridoio.

L'idea che gli oggetti con dimensioni differenti possono avere lo stesso angolo visivo è stata usata per la creazione dei cerchi di prova nell'esperimento di Holway e Boring. Come mostrato nella Figura 10.26, piccoli cerchi che erano posizionati vicino all'osservatore e cerchi più larghi che erano posizionati più distanti avevano tutti un angolo visivo di 1 grado. Poiché oggetti con lo stesso angolo visivo creano l'immagine della stessa dimensione nella retina, tutti i cerchi di prova generavano immagini della stessa grandezza nella retina dell'osservatore, indipendentemente da dove erano posizionati lungo il corridoio di destra.

Nella prima parte dell'esperimento di Holway e Boring, tutti gli indizi di profondità, inclusa disparità binoculare, parallasse di movimento, e ombreggiatura, erano disponibili all'osservatore, in modo che esso potesse facilmente codificare la distanza dei cerchi di prova.



**Figura 10.30.** I risultati dell'esperimento di Holway e Boring. La linea tratteggiata etichettata come “dimensione fisica” è il risultato che ci si aspetterebbe se l'osservatore regolasse il diametro del comparison circle per abbinare l'attuale diametro di ogni test circle. La linea chiamata “angolo visivo” è il risultato che ci si aspetterebbe se l'osservatore regolasse il diametro del comparison circle per abbinare l'angolo visivo di ogni test circle.

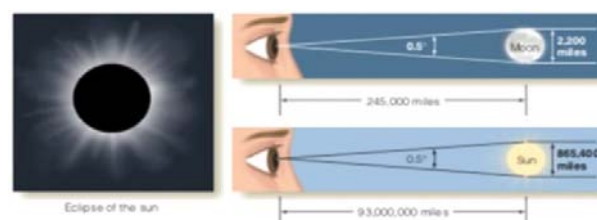
I risultati, riportati nella **Figura 10.30**, mostrano che quando gli osservatori visualizzavano un cerchio di prova grande a grande distanza (cerchio distante nella Figura 10.26), creavano un cerchio di confronto anch'esso grande (punto F nella Figura 10.30); analogamente quando cerchio di prova piccolo a piccola distanza (il cerchio vicino nella Figura 10.26), creavano un cerchio di confronto anch'esso piccolo (punto N nella Figura 10.30). Quindi, in presenza di indizi di profondità, l'osservatore è in grado di giudicare la reale dimensione del cerchio.

Nelle fasi successive, Holway e Boring determinarono come eliminando progressivamente informazioni sulla profondità influenzò i giudizi dell'osservatore sulla dimensione. Chiesero quindi all'osservatore di visualizzare i cerchi di prova monocolarmente, con un solo occhio, in maniera da eliminare l'indizio di disparità binoculare (linea 2 nella Figura 10.30); e in seguito di visualizzarli attraverso un buco, in maniera da eliminare anche la parallasse di movimento (linea 3); infine aggiungendo delle tende al corridoio eliminarono anche indizi derivanti da ombre e luci nella stanza (linea 4). Ogni volta che una sorgente di informazione sulla profondità veniva rimossa, i giudizi dell'osservatore sulla dimensione dei cerchi di prova diventava meno accurata. Quando tutte le informazioni di profondità venivano rimosse, la percezione della grandezza dell'osservatore non era più determinata dalla reale dimensione dei cerchi di prova ma piuttosto dalle dimensioni relative delle immagini dei cerchi sulle retine dell'osservatore.

Poiché tutti i cerchi di prova nell'esperimento di Holway e Boring misuravano la stessa dimensione retinica, eliminando gli indizi di profondità, essi venivano percepiti quindi come se fossero della sempre della stessa dimensione (indipendentemente dalla loro distanza e grandezza). Quindi, i risultati di questo esperimento indicano che la stima della dimensione è basata sulle reali dimensioni degli oggetti quando l'informazione sulla distanza è ricca (linee blu). Tuttavia, in assenza di informazioni di distanza, la stima della grandezza è fortemente influenzata dall'angolo visivo (linee rosse).

Un esempio di percezione della dimensione che è determinato dall'angolo visivo è la nostra percezione delle dimensioni del sole e della luna, i quali, per una coincidenza cosmica, sottendono

lo stesso angolo visivo. Il fatto che abbiano identici angoli visivi diventa ancora più evidente durante l'eclissi di sole. Sebbene possiamo vedere la corona ardente del sole circondare la luna, come mostrato nella **Figura 10.31**, il disco lunare copre quasi esattamente quello solare. Se calcoliamo gli angoli visivi del sole e della luna, il risultato è di 0,5 gradi per entrambi. Tuttavia, come si può vedere nella Figura 10.31, la luna è piccola (diametro 2,200 miglia) ma vicina (245,000 miglia dalla Terra), mentre il sole è grande (diametro 865,400 miglia) ma molto lontano (93 milioni di miglia dalla Terra).



**Figure 10.31.** Il disco lunare copre quasi perfettamente il sole durante un'eclissi perché il sole e la luna sottendono lo stesso angolo visivo.

Nonostante questi due corpi celesti siano notevolmente differenti di dimensione, li percepiamo avere la stessa grandezza poiché, essendo incapaci di percepirne la reale distanza, basiamo il nostro giudizio sui loro angoli visivi. Un'altro esempio ancora si ha quando percepiamo gli oggetti da un aereo ad alta quota come molto piccoli. Anche in questo caso tale percezione risulta dal fatto che non avendo modo di stimare accuratamente la distanza dell'aereo dal suolo, tendiamo a percepire le grandezze a terra come basate sugli angoli visivi, che saranno molto piccoli dato che l'aereo è in quota.

### Costanza di grandezza

Una delle più evidenti caratteristiche del panorama del campus dell'Università dell'Arizona di **Figura 10.32**, è che guardando lungo la fila di palme queste si riducono di grandezza nell'immagine all'aumentare della loro distanza.



**Figura 10.32.** Tutte le palme sembrano avere la stessa dimensione quando vengono viste nel contesto, sebbene le più lontane abbiano un angolo visivo minore delle più vicine.

Nonostante gli alberi lontani occupino meno spazio nel tuo campo visivo (in altre parole, hanno un angolo visivo minore), appaiono della stessa grandezza di quelli vicini. Il fatto che la nostra percezione della grandezza di un oggetto sia relativamente costante anche quando vediamo oggetti a distanze diverse è chiamata costanza di grandezza. Per introdurre l'idea della costanza di grandezza al mio corso di percezione, chiedo a qualcuno in prima fila di stimare la mia altezza quando sono a un metro di distanza. La risposta è solitamente accurata, attorno a 1.70 m. Poi faccio un grande passo indietro così ora sono circa il doppio più lontano e chiedo alla persona di stimare nuovamente la mia altezza. Probabilmente non vi sorprende che la seconda stima generalmente è corrisponde alla prima. Lo scopo di questa dimostrazione è che nonostante la mia immagine nella retina dello studente si è ridotta circa della metà raddoppiando la mia distanza (confrontare le Figure 10.27a e b), io continuo ad apparire della mia dimensione reale. La seguente dimostrazione fornisce una dimostrazione alternativa della Costanza di Grandezza.

## DIMOSTRAZIONE

### Percezione della grandezza a distanza

Tenete un quarto di dollaro tra la punta delle dita di ogni mano così da vedere entrambe le facce della moneta. Tenete una moneta circa a 30 cm da voi e l'altra a braccio disteso. Guardate le monete con entrambi i vostri occhi aperti e notate le loro dimensioni. In queste condizioni, la maggior parte delle persone percepiscono la moneta più vicina e quella più lontana avere circa la stessa dimensione. Adesso chiudete un occhio, e tenendo le monete in modo che appaiano una accanto all'altra, notate come la vostra percezione della dimensione della moneta più lontana cambia così da apparire ora più piccola della moneta più vicina. Questo dimostra come la costanza di grandezza quando l'informazione sulla profondità diminuisce.

Sebbene gli studenti spesso pensino che la Costanza di Grandezza sia spiegata principalmente dalla familiarità che abbiamo delle dimensioni degli oggetti, molte ricerche hanno dimostrato che gli osservatori possono stimare accuratamente anche le dimensioni di

oggetti non familiari visti a diverse distanze (Haber & Levin, 2001).

### Il Calcolo alla base della Costanza di grandezza.

Il legame tra la Costanza di Grandezza e la percezione della profondità ha condotto alla proposta che la Costanza di Grandezza sia basata su un meccanismo chiamato **scaling (o invarianza) grandezza-distanza** che tiene in considerazione la distanza di un oggetto (Gregory, 1966). Lo scaling grandezza-distanza funziona secondo l'equazione  $S = K (R \times D)$ , dove S è la dimensione percepita dell'oggetto, K è una costante, R è la dimensione dell'immagine retinica dell'oggetto e D è la distanza percepita dell'oggetto. (Dal momento che siamo principalmente interessati a R e D, e K è un fattore di scala che è sempre lo stesso, tralascieremo K per il resto della nostra riflessione).

Secondo l'equazione grandezza-distanza, quando una persona si allontana da voi, la dimensione dell'immagine della persona nella vostra retina (R) diventa più piccola, ma la vostra percezione della distanza della persona (D) diventa più grande. Questi due cambiamenti si compensano l'un l'altro, e il risultato finale è che la grandezza percepita della persona (S) rimanere costante.

## DIMOSTRAZIONE

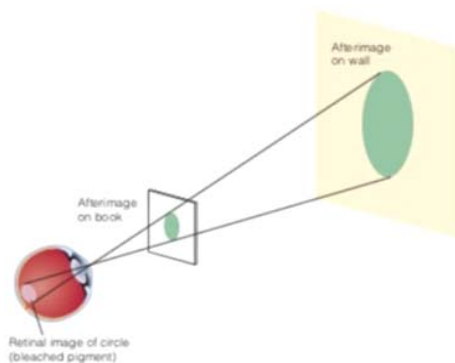
### Il rapporto grandezza-distanza e la Legge di Emmert

Si può dimostrare il rapporto grandezza-distanza da soli guardando alla Figura 8.12 nel Capitolo 8 (pagina 184). Guardate al centro del cerchio per circa 60 secondi. Poi guardate lo spazio bianco vicino al cerchio. Se sbattete le palpebre, dovrete vedere l'immagine consecutiva del cerchio fluttuare di fronte al foglio. Prima che l'immagine consecutiva svanisca, guardate ora il muro dall'altra parte della stanza. Dovreste vedere che la dimensione dell'immagine consecutiva dipende da dove guardate. Se guardate una superficie lontana, come il muro della stanza, l'immagine consecutiva apparirà grande e lontana. Se guardate a una superficie vicina, come la pagina di questo libro, l'immagine consecutiva apparirà piccola e vicina

La dimensione percepita dell'immagine consecutiva, come mostrato nella Figura 10.33, è determinata dalla distanza della superficie contro la quale essa viene vista. Questa relazione tra la distanza apparente dell'immagine consecutiva e

la sua dimensione percepita è conosciuta come la Legge di Emmert. Più lontana risulta un'immagine consecutiva, più grande sembrerà. Questo risultato deriva dal rapporto grandezza-distanza,  $S = R \times D$ . Infatti, la grandezza dell'area impressionata dall'immagine consecutiva nella retina (R) rimane costante, cosicché aumentando la distanza dell'immagine residua (D) aumenta proporzionalmente l'entità di  $R \times D$ . Quindi, percepiamo la dimensione dell'immagine residua (S) più grande quando è vista contro il muro lontano rispetto al foglio vicino.

L'effetto del rapporto grandezza-distanza esperito nella dimostrazione dell'immagine consecutiva si applica in continuazione quando guardiamo gli oggetti nell'ambiente, dato che il sistema visivo per determinare la percezione della grandezza degli oggetti ne elabora simultaneamente sia la grandezza nel campo visivo (che determina grandezza retinica) sia la distanza. Questo processo, che avviene costantemente senza alcuno sforzo da parte nostra, ci permette di percepire un ambiente stabile. Basti pensare a come sarebbe confusa la nostra percezione dell'ambiente se gli oggetti si restringessero o espandessero solo perché li vediamo a distanze diverse. Fortunatamente, grazie alla costanza di grandezza, questo non accade.



**Figura 10.33** Il principio sottostante l'osservazione che la grandezza dell'immagine consecutiva aumenta quando questa viene vista sovrapposta a superfici più lontane.

### Altre informazioni per la percezione delle dimensioni

Sebbene fino ad ora ci siamo focalizzati sulla relazione tra Costanza di Grandezza e distanza e su come lo scaling grandezza-distanza avvenga, esistono numerose altre fonti di informazioni nell'ambiente che ci aiutano a raggiungere la costanza di grandezza. Una di queste è la grandezza relativa. Spesso usiamo le dimensioni di oggetti familiari come parametro per valutare

la dimensione di altri oggetti, come nella **Figura 10.34**, nella quale la dimensione della donna (presa come sistema di riferimento) indica che la ruota è molto grande.



**Figura 10.34** La dimensione di questa ruota è evidente quando è comparata alla persona. Se la ruota fosse vista da sola, sarebbe difficile sapere che è così grande.

Questa idea che la nostra percezione delle dimensioni degli oggetti può essere influenzata dalle dimensioni degli oggetti circostanti spiega perché spesso non riusciamo ad apprezzare quanto alti siano i giocatori di pallacanestro, quando li assiamo. Ma non appena una persona di altezza media sta accanto ad uno di loro, la reale altezza del giocatore diventa evidente.

Un'altra fonte di informazione riguardo alla percezione della grandezza è la relazione tra gli oggetti e l'informazione sulla tessitura della superficie del terreno. Abbiamo visto che un gradiente tessiturale si verifica quando gruppi di elementi che sono equidistanti in una scena appaiono essere progressivamente sempre più vicini tra loro all'aumentare della loro distanza (Figura 10.7).



**Figura 10.35** Due cilindri appoggiati su un gradiente di tessitura. Il fatto che la base di entrambi i cilindri copra la stessa porzione di tessitura in pietra indica che i due cilindri sono della stessa dimensione.

La **Figura 10.35** mostra due cilindri posti su una stessa superficie con una tessitura regolare formata da serie di ciottoli su una strada. Sebbene ci risulti difficile stimare la profondità dei due cilindri, possiamo comunque dire facilmente che essi sono della stessa grandezza perché le loro basi coprono la stessa porzione di un selciato.

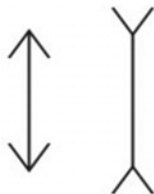
## Illusioni Visive

Le illusioni visive affascinano le persone perché dimostrano quanto il nostro sistema visivo possa essere “ingannato” da una visione inaccurata (Bach & Poloschek, 2006). Abbiamo già descritto vari tipi di illusioni. Le illusioni di luminanza includono le bande di Mach (pagina 56), nelle quali un bordo di luminanza suscita la percezione di piccole variazioni nel suo intorno che non sono presenti nel reale profilo di luminanza dello stimolo; il contrasto simultaneo (Pagina 58) e l’illusione di White (pagina 59), nei quali due campi di grigi fisicamente identici possono apparire differenti; e la griglia di Hermann (Pagina 56), nella quale vengono viste piccole macchie grigie che non ci sono in zone di luce. Effetti dell’attenzione includono la cecità al cambiamento (Pagina 139), nella quale due scene che si alternano appaiono simili anche se sono diverse tra loro. Le illusioni di movimento sono quelle nelle quali gli stimoli stazionari vengono percepiti come in movimento (Pagina 178).

Ora descriveremo alcune illusioni di grandezza – situazioni che ci portano a percepire erroneamente la dimensione di un oggetto. Vedremo che alcune spiegazioni di queste illusioni includono la connessione che abbiamo descritto tra la percezione della dimensione e la percezione della profondità. Vedremo anche che alcune delle illusioni più familiari devono ancora essere spiegate completamente. Un buon esempio ne è l’illusione Müller – Lyer.

### L’illusione Müller – Lyer

Nell’illusione Müller – Lyer, la linea verticale destra nella **Figura 10.36** appare più lunga della linea verticale sinistra, anche se sono entrambe esattamente della stessa lunghezza (prova a misurarle). Un numero di spiegazioni diverse è stato proposto per spiegare questa illusione. Una prima spiegazione influente include il rapporto grandezza-distanza.



**Figura 10.36** l’illusione di Müller-Lyer. I segmenti sono lunghi uguali

### Applicazione errata della costanza di grandezza

Richard Gregory (1996) spiega perché la configurazione dell’illusione di Müller – Lyer causa una percezione distorta della dimensione sulla base di un meccanismo che chiama la **scaling errato della costanza di grandezza**.

Gregory spiega che la Costanza di grandezza è un principio che in genere viene usato dal sistema visivo per far sì che la percezione degli oggetti rimanga stabile al variare della distanza. Pertanto, una persona di 1,80 m ci apparirà tale indipendentemente dalla sua distanza. Gregory tuttavia ipotizza che questo meccanismo fondamentale che ci aiuta a mantenere stabile la percezione nel mondo tridimensionale, a volte, crea illusioni quando viene applicato per l’interpretazione di oggetti pittorici disegnati su una superficie bidimensionale. Possiamo vedere come funziona una applicazione errata della costanza di grandezza alla comparazione delle due linee della figura 10.36 sovrapponendole agli angoli solidi della figura 10.37.



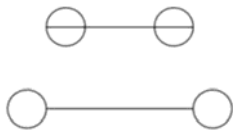
**Figura 10.37** secondo Gregory (1966), la linea di Müller-Lyer sulla sinistra corrisponde ad un angolo solido esterno mentre l’altra a uno interno. Le linee verticali sono lunghe uguali (misuratele)

Entrambe le linee sono della stessa lunghezza, ma, secondo Gregory, le linee appaiono a distanze differenti perché gli induttori obliqui della linea destra nella figura 10.37 fanno sembrare questa linea come parte di un angolo solido di una stanza vista dall’interno, mentre quelli della linea sinistra la fanno sembrare parte di un angolo solido visto dall’esterno. Siccome gli angoli interni sembrano “recedere” e quelli esterni “sporgere”, il nostro meccanismo di scaling distanza-grandezza tratta l’angolo interno come se fosse più lontano, quindi il termine  $D$  nell’equazione  $S = R \times D$  diventerà più grande e di conseguenza questa linea apparirà più lunga. (ricorda che le dimensioni retiniche,  $R$ , delle due linee sono uguali. Quindi la dimensione percepita,  $S$ , è determinata dalla distanza percepita,  $D$ ).



A questo punto, si può dire che, sebbene le figure di Müller-Lyer potrebbero ricordare angoli solidi interni ed esterni come proposto da Gregory, questi in realtà non vi appaiono proprio così (o, al limite, non vi sono apparsi così fino a quando Gregory non vi ha detto di guardarli in quel modo). Ma secondo Gregory, non è necessario che voi siate consapevoli che queste linee possano rappresentare strutture tridimensionali, il vostro sistema percettivo tiene conto, inconsciamente, delle informazioni di profondità contenute nella Müller-Lyer e il vostro meccanismo di scaling distanza-grandezza corregge le dimensioni percepite delle linee in accordo.

La teoria di Gregory incontra comunque delle criticità. Per esempio, display come la variazione del manubrio nella figura 10.38, che non contengono nessuna ovvia informazione di prospettiva o profondità, inducono comunque l'illusione. Patricia DeLucia e Julian Hochberg (1985, 1986, 1991; Hochberg, 1987) hanno dimostrato che l'illusione di Müller-Lyer si verifica in presenza di una configurazione tridimensionale come quella della figura 10.39, in cui è ovvio che gli spazi tra i punti di intersezione di piedistalli dietrici non sono a profondità diverse (misurate le distanze  $x$  e  $y$  per convincervi che sono uguali). Potrete provare questo effetto su voi stessi facendo la seguente dimostrazione.



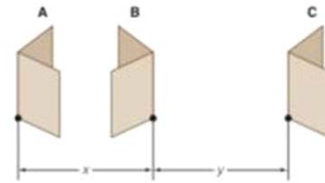
**Figura 10.38** la versione del “manubrio” della illusione Müller-Lyer. Come nella versione originale i due segmenti sono lunghi uguali.

## DIMOSTRAZIONE

### L'illusione di Müller-Lyer con i libri

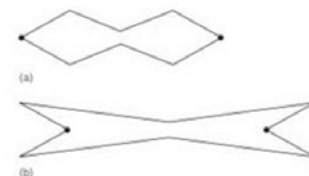
Prendete tre libri che della stessa dimensione e disponetene due in modo tale che i loro angoli formino un angolo retto e che stiano nelle posizioni A e B, come mostrato nella figura 10.29. Successivamente, senza usare un righello, posizionate il terzo libro nella posizione C, così che la distanza  $x$  appaia uguale alla distanza  $y$ . Controllate la vostra disposizione, guardando il libro dall'alto e dagli altri angoli. Quando riterrete che le distanze  $x$  e  $y$  siano uguali, misuratele con un righello. Come appaiono?

Se organizzate la distanza  $y$  in modo tale da essere minore della distanza  $x$  ottenete esattamente il risultato che vi aspettereste dall'illusione bidimensionale di Müller-Lyer, in cui la distanza tra gli induttori rivolti verso l'interno appare ampiamente compressa rispetto alla distanza tra gli induttori rivolti verso l'esterno. Potete anche replicare l'illusione mostrata nella figura 10.39 con i vostri libri, usando il righello per rendere le distanze  $x$  e  $y$  uguali. Poi, controllate come le distanze appaiono in realtà.



**Figura 10.39** Un'illusione di Müller-Lyer tridimensionale. I 3 piedistalli piegati sono poggiati sul pavimento. Anche se la distanza tra  $x$  e  $y$  è la stessa, sembra maggiore, come nell'illusione bidimensionale.

**Teoria del conflitto tra indizi.** R. H. Day (1989, 1990) ha proposto la teoria del conflitto tra indizi come spiegazione alternativa alla Müller-Lyer. In base a tale teoria la nostra percezione delle lunghezze delle linee dipenderebbe da due indizi: (1) la reale lunghezza delle linee verticali, e (2) la lunghezza complessiva della figura. Secondo Day, questi due indizi contrastanti si integrano per formare un percepito basato sul compromesso percettivo delle due lunghezze. Siccome la lunghezza complessiva della figura destra nella figura 10.36 è più grande, a causa dell'apertura degli induttori, la linea verticale apparirebbe più lunga.



**Figura 10.40** Una versione alternativa dell'illusione di Müller-Lyer. Noi percepiamo che la distanza tra i due punti è minore in A che in B anche se sono identiche. (da Day, 1989)

Una versione dell'illusione Müller-Lyer a sostegno di questa teoria è quella di **figura 10.40**, dove lo spazio tra i punti appare maggiore nella figura più in basso rispetto a quella in alto, anche se le distanze sono in realtà le stesse.

Secondo la teoria degli indizi contrastanti di Day, lo spazio nella figura più in basso sembra maggiore perché l'estensione complessiva della figura è a sua volta maggiore. Bisogna notare che la teoria degli indizi contrastanti può essere applicata anche alla configurazione a manubrio della **figura 10.38**. Pertanto, anche se Gregory credeva che l'informazione di profondità sia una componente fondamentale di alcune illusioni pittoriche, Day rifiuta questa idea e ipotizza che gli indizi pittorici di lunghezza siano la cosa importante. Ora osserviamo alcuni esempi di illusioni e il meccanismo che è stato proposto per spiegarli.

### L'illusione di Ponzo

Nell'illusione di Ponzo (o illusione della ferrovia), in figura 10.41, entrambi gli animali hanno la stessa dimensione nella pagina, e quindi hanno lo stesso angolo visivo, ma quello in alto sembra più lungo. Applicando il principio di scaling errato della costanza di grandezza proposto da Gregory, l'animale in alto appare più grande a causa dell'informazione di profondità fornita dai binari convergenti che lo fanno apparire più lontano. Pertanto, esattamente come nell'illusione di



**Figura 10.41** L'illusione di Ponzo (o illusione della ferrovia). I due animali sono grandi uguali (misurateli) ma quello in alto sembra più grande.

Müller-Lyer, il meccanismo di scaling corregge la grandezza percepita dell'immagine in funzione della sua profondità apparentemente (dato che l'immagine è su un foglio piatto e non ha profondità reale), e noi percepiamo il gatto in alto come più grande. (vedi anche Prinzmetal et al., 2001; Shimamura & Prinzmetal, 1999, per un'altra spiegazione dell'illusione di Ponzo).

### La stanza Ames

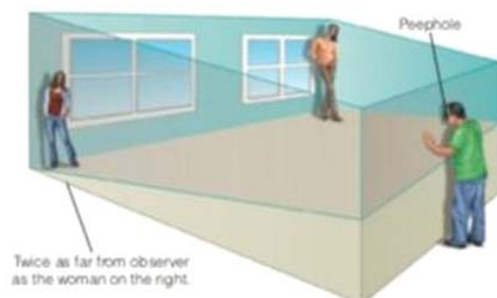
La stanza di Ames fa sì che due persone della stessa altezza appaiano molto diverse fra loro (Ittelson, 19952). Nella **figura 10.42**, potete vedere che la donna sulla destra sembra molto più alta di quella sulla sinistra. Questa percezione sussiste anche se entrambe le donne sono

all'incirca alte uguali. Il motivo per cui la dimensione viene erroneamente percepita è la struttura della stanza. La forma delle pareti e delle finestre nel retro della stanza la fanno sembrare una normale stanza rettangolare quando vista da una prospettiva particolare, come mostrato nel diagramma nella **figura 10.43**, tuttavia la stanza di Ames è in realtà strutturata in modo tale che l'angolo sinistro sia circa due volte più distante dall'osservatore rispetto a quello destro. *Cosa succede nella stanza di Ames?* La struttura della stanza fa sì che la donna a sinistra sottenda un angolo visivo più piccolo rispetto a quella sulla destra. In questo caso, pensiamo di guardare due donne apparentemente della stessa altezza e alla stessa distanza in una normale stanza rettangolare, quindi applicando lo scaling distanza-grandezza percepiamo più bassa quella che sottende un angolo visivo più piccolo.



**Figura 10.42** La stanza di Ames. Le due donne sono alte uguali, ma la donna sulla destra appare più grande a causa della struttura distorta della stanza.

Possiamo comprendere perché questo si verifichi ritornando all'equazione di scaling grandezza-distanza,  $S = R \times D$ . La distanza percepita ( $D$ ) è uguale per entrambe le donne, ma la dimensione dell'immagine retinica è più piccola per la donna sulla sinistra quindi  $S$  la sua grandezza percepita risulterà minore.



**Figura 10.41** La vera forma della stanza di Ames. La persona sulla sinistra è almeno il doppio più lontana dall'osservatore di quella a destra: in ogni caso, quando la stanza è vista dal riquadro, questa differenza non si nota. Per far sembrare la stanza normale quando è guardata dal riquadro è necessario ingrandirne il lato sinistro.

Un'altra spiegazione della stanza di Ames è basata non sulla invarianza grandezza-distanza ma sulla dimensione relativa. La spiegazione della distanza relativa assume che la nostra percezione della dimensione delle due donne sia determinata dal modo in cui è riempito lo spazio tra il pavimento e il soffitto della stanza. Siccome la donna sulla destra riempie più spazio della donna sulla sinistra, percepiamo la donna sulla destra più alta (Sedgwick, 2001).

### L'illusione Della Luna

Potreste aver notato che quando la luna è all'orizzonte, sembra molto più grande di quando è alta nel cielo. Questo effetto di ingrandimento apparente della luna, mostrato nella **figura 10.44**, è chiamato illusione della luna. Quando discuto di questo in classe, spiego come prima cosa che l'angolo visivo sotteso della luna è il medesimo sia all'orizzonte che in cielo. Questo è vero perché la dimensione fisica della luna (2,200 miglia di diametro) resta la stessa (ovviamente) e rimane invariata anche la distanza dalla Terra (245,000 miglia): quindi l'angolo visivo della luna è costante. Se siete ancora scettici, fotografate la luna sia all'orizzonte che in pieno cielo con una fotocamera digitale. Quando confronterete le due immagini vedrete che il diametro in entrambi i casi è lo stesso. Oppure potete osservare la luna da un buco dal diametro di mezzo centimetro tenuto alla distanza di un braccio. Per la maggior parte delle persone, la luna riempirà perfettamente questo buco, indipendentemente dalla sua posizione nel cielo.



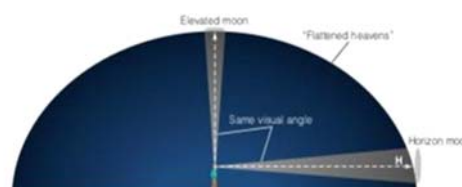
**Figura 10.44** la concezione di un artista di come la luna sia percepita quando è all'orizzonte e quando è in cielo. Notate che l'angolo visivo è rappresentato come più grande rispetto all'angolo visivo della luna alta in cielo. Questo perché il disegno è una simulazione dell'illusione. Nell'ambiente, l'angolo visivo delle due lune è identico.

Una volta che gli studenti si sono convinti che la grandezza retinica della luna rimane la stessa durante tutta la notte, io chiedo loro perché pensano che la luna appaia più grande all'orizzonte. Una comune risposta è "quando la

luna è all'orizzonte sembra più vicina e quindi più grande". Ma quando chiedo perché appare più vicina mi viene risposto "perché appare più grande". Ma dicendo che "sembra più grande perché è più vicina, e sembra più vicina perché appare più grande" è chiaramente un caso di ragionamento circolare che non spiega davvero l'illusione della luna.

Una spiegazione che non è circolare è invece basata sulla teoria della distanza apparente. Questa teoria prende in considerazione la distanza, ma nel modo opposto rispetto a quello di un ipotetico studente. Secondo la teoria della distanza apparente, la luna all'orizzonte sembra più distante perché è vista attraverso lo spazio occupato dal terreno, che contiene informazioni di profondità; ma quando la luna è più alta in cielo, sembra meno distante perché è vista attraverso uno spazio vuoto, che contiene poche informazioni di profondità.

L'idea che l'orizzonte sia percepito come più lontano rispetto al cielo è supportata dal fatto che quando le persone stimano la distanza dall'orizzonte e dal cielo direttamente sopra la loro testa, riportano che l'orizzonte appare più lontano. Questo significa che la volta celeste ci appare appiattita (**figura 10.45**).



**Figura 10.45** Quando viene chiesto agli osservatori di considerare il cielo come una superficie e di comparare la distanza dall'orizzonte (H) e la distanza dall'alto del cielo in una notte senza luna, loro di solito dicono che l'orizzonte appare più lontano. Questo trova riscontro nella "teoria della volta celeste appiattita" illustrata qui.

La chiave per l'illusione della luna, secondo la teoria della distanza apparente, è che la luna all'orizzonte e la luna alta hanno lo stesso angolo visivo, ma siccome la luna all'orizzonte è vista stagliata sull'orizzonte, il quale sembra più lontano del cielo, questa appare più grande.

Questo è una conseguenza dell'equazione scaling distanza-grandezza,  $S = R \times D$ . La grandezza retinica, R, è la stessa per entrambe le posizioni della luna (ricordate che l'angolo visivo è sempre lo stesso indipendentemente da dove la luna appare nel cielo), quindi la luna che apparirà più lontana apparirà anche più grande. Questo è lo stesso principio che è esplicitato nella

dimostrazione della legge di Emmert per spiegare perché un'immagine consecutiva appaia più grande quando viene vista attaccata ad una superficie lontana. Così come le immagini consecutive nella legge di Emmert hanno lo stesso angolo visivo lo hanno anche le due posizioni della luna. Le immagini consecutive che appaiono sul muro lontano simulano la luna all'orizzonte; il cerchio appare più lontano, quindi il meccanismo di scaling grandezza-distanza la fa sembrare più grande. L'immagine consecutiva che è vista su una superficie vicina simula la luna alta; il cerchio sembra più vicino, perciò il meccanismo di scaling lo fa apparire più piccola (King & Gruber, 1962).

Lloyd Kaufman ed Irvin Rock (1962a, 1962b) hanno svolto diversi esperimenti che supportano la teoria della distanza apparente. In uno dei loro esperimenti, mostrarono che quando la luna è vista appena sopra la linea dell'orizzonte, che la fa sembrare più lontana, essa appare circa 1.3 volte più grande della luna in cielo; tuttavia quando la linea dell'orizzonte viene nascosta guardando la luna attraverso un buco in un foglio l'illusione svanisce (Kaufman & Rock, 1962° 1962b; Rock & Kaufman, 1962).

Alcune ricerche, comunque, criticano la teoria della distanza apparente. Queste mettono in discussione l'idea che la luna all'orizzonte appaia più lontana, come sostenuto dalla teoria della volta celeste appiattita di Figura 10.45, perché alcuni osservatori vedono la luna all'orizzonte come fluttuare nello spazio di fronte al cielo (Plug & Ross, 1994).

Un'altra teoria dell'illusione della luna è quella basata sul contrasto di grandezza, che afferma che la luna appare più piccola quando circondata da oggetti più grandi. Pertanto, quando la luna è in alto, la grande quantità di cielo che la circonda la fa apparire più piccola. Al contrario, quando la luna è all'orizzonte, è circondata da una più piccola porzione di cielo, dato che gli oggetti all'orizzonte lo occludono, perciò appare più grande.

Anche se molti scienziati hanno proposto per centinaia di anni teorie per spiegare l'illusione della luna, non c'è ancora accordo su un'unica spiegazione (Hershenson, 1989). Apparentemente sono coinvolti una grande quantità di fattori, da aggiungersi a quelli che abbiamo qui considerato, compresi la prospettiva atmosferica (guardare attraverso la foschia all'orizzonte può aumentare la grandezza

percepita), o colore (il rosso rossastro aumenta la grandezza percepita; Plug & Ross, 1994). Diverse sorgenti di informazione sulla profondità lavorano assieme per creare un'impressione di grandezza e molti fattori diversi potrebbero quindi collaborare per determinare l'illusione della luna, e forse anche le altre illusioni.

### QUALCOSA SU CUI RIFLETTERE:

#### Informazioni di profondità nelle diverse specie animali

Gli umani si servono di una quantità di fonti diverse di informazioni sulla profondità nell'ambiente. Ma le altre specie? Molti animali possiedono una eccellente percezione della profondità. I gatti balzano sulle loro prede; le scimmie oscillano da un ramo all'altro; e un maschio di mosca domestica mantiene una distanza costante di 10 cm mentre insegue una femmina che sta volando. Non c'è alcun dubbio che molti animali siano in grado quindi di stimare molto bene le distanze nel loro ambiente. Ma quali informazioni di profondità utilizzano?

Considerando l'informazione usata da diversi animali, scopriamo che gli animali usano l'intera gamma di indizi descritti in questo capitolo. Alcuni animali usano molti indizi, altri fanno affidamento soltanto su uno o due.



**Figura 10.46** (a) occhi frontali come quelli dei gatti, avere campi visivi sovrapposti comporta una buona percezione della profondità. (b) Occhi laterali come quelli dei conigli, comportano una visione panoramica ma povera di profondità.

Per utilizzare la disparità binoculare un animale deve possedere occhi che abbiano campi visivi sovrapposti. Perciò, animali come gatti, scimmie e umani, i quali possiedono **occhi frontali** (figura 10.46), che risultano in campi visivi sovrapposti, possono usare la disparità per percepire la profondità. Animali con **occhi laterali**, come il coniglio (Figura 10.46b), non hanno campi visivi che si sovrappongono perciò non possono usare la disparità per percepire la profondità. Nota,

però, che sacrificando la disparità binoculare, gli animali con occhi laterali guadagnano un campo visivo più ampio – qualcosa che è estremamente importante per animali che hanno bisogno di essere costantemente alla ricerca di predatori.

Il piccione è un esempio di animale con occhi laterali che sono posizionati in modo da avere il campo visivo dell'occhio destro e sinistro che si sovrappongono solo su un'area di 35 gradi che circonda il suo becco. Quest'area di sovrapposizione, in ogni caso, si trova esattamente dove dovrebbero essere i pezzi di grano quando il piccione li sta beccando ed esperimenti psico-fisici hanno mostrato che il piccione ha un'area ridotta di percezione di profondità binoculare di fronte al proprio becco (McFadden, 1987; McFadden & Wild, 1986).

La parallasse di movimento è probabilmente il più importante metodo di giudizio delle distanze per gli insetti e lo usano in una quantità di modi diversi (Collett, 1978; Srinivasan & Venkatesh, 1997). Ad esempio, la locusta impiega una risposta di "peering" – muovendo il suo corpo da una parte all'altra per creare il movimento della testa – mentre osserva le sue potenziali prede. T. S. Collett (1978) misurò l'"ampiezza del peering" di una locusta – la distanza tra una parte e l'altra – mentre osservava le sue prede a distanze diverse, e trovò che la locusta oscillava di più quando i bersagli erano più lontani. Dato che oggetti più lontani si muovono meno sulla retina rispetto a quelli più vicini per un numero dato di movimenti dell'osservatore (Figura 10.10), un oscillamento più ampio serve a provocare il movimento dell'immagine di un oggetto lontano alla stessa distanza attraverso la retina dell'immagine di un oggetto vicino (vedi anche Sobel, 1990).

Questi esempi mostrano quanto la profondità possa venir determinata alla luce da diverse fonti di informazione. I pipistrelli, però, alcuni dei quali sono ciechi alla luce, per percepire la profondità usano una forma di energia che noi associamo solitamente al suono. Essi percepiscono gli oggetti usando un metodo simile al sistema sonar usato nella Seconda guerra mondiale per individuare gli oggetti sommersi come sottomarini o mine. SONAR, che sta per "Sound Navigation and Ranging" funziona inviando pulsazioni di suoni e usando informazioni contenute nell'eco di questi suoni per determinare la posizione degli oggetti. Donald Griffin (1944) coniò il termine "**echolocation**"

(ecolocazione) per descrivere il sistema Sonar biologico usato dai pipistrelli per evitare gli oggetti al buio.



**Figura 10.47** Quando un pipistrello emette i suoi impulsi, riceve gli echi da una quantità di oggetti nell'ambiente circostante. Quest'immagine mostra gli echi ricevuti dal pipistrello da (a) una falena vicina, (b) un albero posizionato a 2 metri e (c) una casa collocata a 4 metri. L'eco da oggetti più distanti ci mettono di più a ritornare. Il pipistrello colloca la posizione degli oggetti nell'ambiente testando quanto ci vuole all'eco per ritornare

I pipistrelli emettono suoni pulsati che sono di molto superiori al più alto limite dell'udito umano e percepiscono le distanze degli oggetti rilevando l'intervallo fra quando inviano l'impulso e quando ne ricevono l'eco (**Figura 10.47**). Dato che essi usano l'eco dei suoni per percepire gli oggetti, possono anche evitare gli ostacoli anche quando è completamente buio (Suga, 1990). Nonostante noi non abbiamo alcun modo di sapere cosa sperimenti il pipistrello quando questi eco ritornano, sappiamo invece che la durata di questi eco fornisce le informazioni che servono al pipistrello per collocare gli oggetti nel loro ambiente (vedi anche von der Emde et al., 1998, per una descrizione di come i pesci elettrici percepiscano la profondità basandosi sull'"elettrolocazione"). Da questi esempi possiamo capire come gli animali usino una quantità di diversi tipi di informazioni per determinare la profondità, con un tipo di informazione usato basandosi sui bisogni specifici degli animali e sulla loro anatomia e conformazione psicologica.

## La Percezione Della Profondità Del Neonato

A che età i bambini sono in grado di usare diversi tipi di informazioni di profondità? La risposta a questa domanda è che diversi tipi di informazioni diventano operativi in diversi momenti dello sviluppo. La disparità binoculare è un indizio che viene utilizzato in età precoce mentre altri indizi di profondità pittorica diventano funzionali più tardi.

### Uso della disparità binoculare

Un prerequisito affinché la disparità binoculare possa essere utilizzato come indizio è che gli occhi siano in grado compiere fissazioni binoculari: i due occhi devono essere in grado di convergere direttamente sull'oggetto in modo che le due fovee siano esattamente dirette verso lo stesso posto nello spazio. I neonati hanno solo una rudimentale ed imprecisa capacità di fissare binocularmente, specialmente mentre gli oggetti variano profondità (Slater & Findlay, 1975). Richard Aslin (1977) determinò quando si sviluppa la capacità di fissazione binoculare facendo alcune semplici osservazioni. Egli filmò gli occhi di bambini mentre uno stimolo di prova posto davanti agli occhi dei bambini veniva mosso avanti ed indietro ad una distanza che variava da 12 e 57 cm dal bambino. Quando il bambino puntava entrambi gli occhi sul bersaglio, gli occhi avrebbero dovuto divergere (ruotare verso l'esterno) quando il bersaglio si allontanava e convergere (ruotare verso l'interno) quando il bersaglio si avvicina. I filmati di Aslin dimostrano che anche se neonati di 1 o 2 mesi hanno la capacità di divergere e convergere lo sguardo, fino a 3 mesi di età questi movimenti oculari non sono effettivamente diretti ad un bersaglio nello spazio. Tuttavia, anche se entro i 3 mesi di età i bambini sono potenzialmente in grado di compiere fissazioni binoculari dirette ad un bersaglio, questo non implica che siano in grado di usare l'informazione di disparità binoculare per percepire la profondità. Per determinare in che se i bambini usano questa informazione per percepire la profondità, Robert Fox ed i suoi collaboratori (1980) hanno presentato stereogrammi a punti casuale a bambini dai 2 ai 6 mesi (guarda pagine 242 per una descrizione dello stereogramma a punti casuali).

Il motivo dietro all'utilizzo di stereogrammi a punti casuali è che la disparità binoculare induce in maniera univoca stereopsi in assenza di altri indizi di profondità. Questo accade solo (1) se lo stereogramma è osservato con un dispositivo che

mostra un'immagine all'occhio sinistro ed un'altra immagine all'occhio destro e (2) se il sistema visivo dell'osservatore può convertire questa informazione di disparità nella percezione di profondità. Perciò, se si presenta uno stereogramma a punti casuali ad un bambino il cui sistema visivo non può ancora usare informazioni di disparità, tutto quello che lui o lei può vedere è una collezione casuale di puntini.

Negli esperimenti di Fox, ai bambini venivano fatti indossare occhiali per la visione stereoscopica e venivano fatti sedere sul grembo della madre di fronte ad uno schermo di una televisione (**Figura 10.48**). Il bambino vedeva apparire uno stereogramma che, ad un osservatore sensibile all'informazione di disparità, appariva come un rettangolo in profondità che oscillava orizzontalmente da sinistra a destra. L'idea di Fox era che un bambino sensibile all'informazione di disparità avrebbe mosso i propri occhi per seguire il rettangolo in movimento. Egli trovò che i neonati più giovani di 3 mesi non inseguivano il rettangolo, a differenza di quelli fra i 3 ed i 6 mesi di età che invece lo inseguivano. Perciò egli concluse che l'abilità di usare l'informazione di disparità per percepire la profondità emerge fra i 3 mesi e mezzo e i sei mesi di età. Lo sviluppo della percezione della profondità binoculare è stato confermato da altre ricerche usando una varietà di metodi diversi (Held, Birch & Gwiazda, 1980; Shimojo et al., 1986; Teller, 1997).



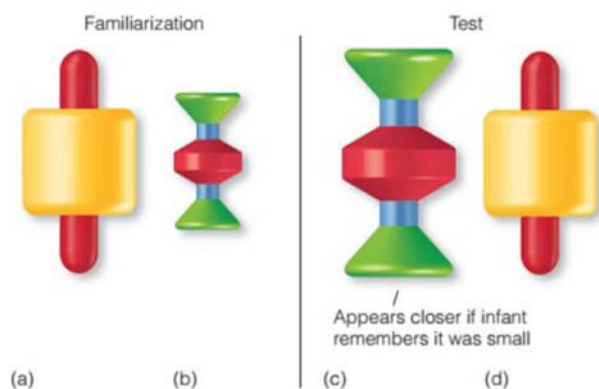
**Figura 10.48** Apparato sperimentale usato da Fox et al. (1980) per testare l'abilità degli infanti di usare l'informazione di disparità binoculare. Se l'infante è in grado di usare l'informazione di disparità per vedere la profondità, lui o lei vede un rettangolo che si muove avanti e indietro nello schermo.

Un altro tipo di informazione di profondità è fornito da indizi pittorici. Questi indizi si sviluppano dopo la disparità, presumibilmente perché dipendono dall'esperienza con l'ambiente e dallo sviluppo delle capacità cognitive. In generale, i neonati cominciano a usare gli indizi pittorici come sovrapposizione, grandezza familiare, grandezza relativa, obreggiatura, prospettiva lineare e gradiente di tessitura fra i 5

e i 7 mesi di età (Kavsek, Granrud & Yonas (2009); Yonas et al., 1982). Descriveremo la ricerca condotta sullo sviluppo di due di questi indizi: la grandezza familiare e le ombre portate.

### profondità e grandezza familiare

Granrud, Haake e Yonas (1985) condussero un esperimento diviso in due fasi per verificare se i bambini sapessero usare la loro conoscenza della grandezza degli oggetti per percepire la profondità.



**Figura 10.49** Gli stimoli usati da Granrud et al (1985) nell'esperimento sulla grandezza familiare.

Nella fase di familiarizzazione, i bambini fra i 5 ed i 7 mesi d'età giocavano con due oggetti di legno per 10 minuti. Uno di questi oggetti era grande (**Figura 10.49a**) e uno era piccolo (**Figura 10.49b**). Nel periodo di prova che avveniva all'incirca un minuto dopo la fase di familiarizzazione, gli oggetti in **Figura 10.49c** e **Figura 10.49d** venivano presentati alla stessa distanza dal bambino. La predizione era che se il principio di scaling grandezza-distanza veniva applicato allora i neonati sensibili alla grandezza familiare avrebbero percepito l'oggetto in **Figura 10.49c** essere più vicino della sua effettiva distanza se solo avessero ricordato (dalla fase di familiarizzazione), che questa forma era più piccola dell'altra. In altre parole, se il neonato ricordava un oggetto verde piccolo, il fatto di vederlo successivamente grande nel proprio campo visivo avrebbe potuto indurlo a credere che l'oggetto visto durante la fase di prova era lo stesso di quello della fase di familiarizzazione ma più vicino. Come possiamo allora determinare se un bambino percepisce un oggetto più vicino di un altro? Il metodo più usato è osservare il comportamento di afferramento con la mano.

### Il metodo dell'afferramento preferenziale

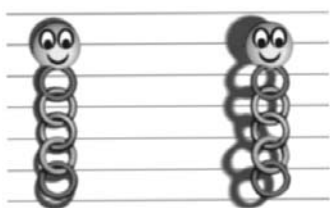
La procedura di afferramento preferenziale è basata sull'evidenza che fin da tenera età, già dai 2 mesi in poi, i bambini tendono ad afferrare oggetti nelle loro vicinanze e che già dai 5 mesi diventa quasi sicuro che il bambino dati due oggetti uno a distanza di afferramento e l'altro no, tenderà a raggiungere il primo (Yonas & Hartman, 1993). La sensibilità alla profondità dei bambini è stata perciò misurata presentando 2 oggetti uno a sinistra e uno a destra. Come nella procedura basata sulla rilevazione dello sguardo preferenziale (Capitolo 2, pagina 46), la posizione sinistra-destra degli oggetti veniva variata durante le diverse prove. L'abilità di percepire la profondità veniva inferita indirettamente dal comportamento di raggiungimento manuale del bambino che tende naturalmente a raggiungere oggetti che vengono percepiti come più vicini. IN presenza di una reale differenza di profondità, i neonati usano l'informazione binoculare e cercano l'oggetto più vicino circa il 100% delle volte.

Per verificare solo l'uso dell'informazione monoculare di profondità dei bambini, il bambino viene bendato su un occhio, (questo rimuove l'informazione di disparità binoculare, che generalmente vince su altri indizi pittorici in età precoce). In questa situazione di visione monoculare (e quindi in presenza di informazione pittorica), i bambini cercano l'oggetto più vicino solo il 60% delle volte. Quando Granrud e collaboratori presentarono gli oggetti ai bambini dopo la fase di familiarizzazione, i bambini di 7 mesi cercavano l'oggetto in **Figura 10.49c** più frequentemente dell'oggetto in **Figura 10.49d**, esattamente come se lo avessero effettivamente percepito più vicino. Questo comportamento di afferramento preferenziale invece non si verificava per i bambini di 5 mesi, dimostrando che questi non utilizzavano la grandezza familiare come informazione di profondità. Pertanto, l'abilità di usare la grandezza familiare per percepire la profondità sembra svilupparsi fra i 5 e i 7 mesi. Questo esperimento è interessante non solo perché indica quando si sviluppa la capacità di usare la grandezza familiare, ma anche perché la risposta del bambino durante la fase di prova dipende da un'abilità cognitiva – l'abilità di ricordare la grandezza degli oggetti con cui lui o lei giocava durante la fase di familiarizzazione. La risposta di profondità del bambino di 7 mesi in questa situazione è per

questo motivo basata sia su cosa il bambino percepisce sia su cosa lui è in grado di ricordare.

### la profondità dalle ombre portate

Sappiamo che le ombre forniscono informazioni riguardo la posizione di un oggetto rispetto ad una superficie (Figura 10.8). Per determinare quando questa informazione comincia ad essere utilizzata per la percezione della profondità Albert Yonas e Carl Granrud (2006) presentarono a bambini di 5 e 7 mesi un'immagine come quella della figura 10.50. Gli adulti e bambini riportarono costantemente che l'oggetto sulla destra, la cui ombra portata devia maggiormente dall'oggetto rispetto alla superficie, appariva più vicino dell'oggetto sulla sinistra.



**Figura 10.50** Gli stimoli usati da Yonas e Granrud (2006) in bambini di 5-7 mesi.

Quando gli stessi stimoli tuttavia venivano fatti visualizzare a degli infanti monocolarmente (per eliminare le informazioni di profondità binoculare che avrebbe indicato che gli oggetti in realtà erano piatti), i neonati di 5 mesi cercavano sia l'oggetto a destra che l'oggetto a sinistra nel 50% delle prove, non mostrando alcuna preferenza per l'oggetto dotato di ombre portate. I neonati di 7 mesi, invece, cercavano l'oggetto sulla destra il 59% delle volte. Yonas e Granrud conclusero da questo risultato che i neonati di 7 mesi percepiscono le informazioni di profondità fornite dalle ombre portate.

Questi risultati sono coerenti con altre ricerche che indicano che la sensibilità agli indizi pittorici di profondità si sviluppa fra i 5 ed i 7 mesi. Ma ciò che rende questi risultati particolarmente interessanti è che implicano che i neonati siano capaci di comprendere che le aree scure sotto i giocattoli siano ombre e non segni scuri sul muro. È probabile che questa abilità, come gli altri indizi pittorici di profondità, sia ampiamente basata sull'apprendimento derivante dall'interazione con l'ambiente. In questo caso, i neonati hanno bisogno di sviluppare una conoscenza implicita delle ombre, incluso capire che la maggior parte della luce proviene dall'alto (vedi pagina 111).

### Mettiti alla prova 10.2

1. Descrivi l'esperimento di Holway e Boring. Cosa ci dicono i risultati di questo esperimento a proposito di quanto la percezione delle grandezze sia influenzata dalla percezione di profondità?
2. Quali sono alcuni esempi di situazioni nelle quali la nostra percezione della grandezza di un oggetto è determinata dalla grandezza retinica? In quali condizioni questo può accadere?
3. Cos'è la Costanza di Grandezza e in che condizioni si verifica?
4. Cos'è la scaling-invarianza grandezza-distanza? Come spiega la Costanza di Grandezza?
5. Descrivi due tipi di informazioni (oltre alla profondità) che possono influenzare la nostra percezione delle grandezze.
6. Descrivi come le illusioni visive come l'illusione di Mueller-Lyer, l'illusione di Ponzo, la stanza di Ames e l'illusione della luna possono essere descritte in termini di scaling grandezza-distanza
7. Quali sono alcuni problemi della spiegazione basata sullo scaling grandezza-distanza della (a) illusione di Mueller-Lyer e (b) illusione della luna? Quali spiegazioni alternative sono state proposte?
8. Descrivi esperimenti che hanno mostrato quando i neonati possono percepire la profondità usando la disparità binoculare e usando indizi pittorici/monoculari. Quali indizi vengono usati prima (pittorici o binoculari)? Quali metodi vengono usati?

### PENSACI

1. Uno dei successi dell'arte è creare l'impressione della profondità in una tela bidimensionale. Vai in un museo o guarda le immagini di un libro d'arte e identifica l'informazione di profondità che aiuta ad magnificare la percezione della profondità in queste immagini. Potresti anche notare di percepire meno la profondità in alcune figure, specialmente quelle astratte: alcuni artisti creano di proposito immagini che sono percepite come "piatte". Cosa hanno fatto questi artisti per raggiungere questi risultati? (p. 231)
2. I gradienti di tessitura forniscono una informazione rilevante per la percezione della profondità perché gli elementi di una scena diventano più densamente ammassati quando la distanza aumenta. Gli esempi di gradiente di



tessitura nella Figura 10.4 e 10.7 contengono elementi distanziati in maniera regolare che si estendono su un'ampia distanza. Ma elementi distanziati in maniera regolare sono più l'eccezione che la regola nell'ambiente. Fai un sondaggio informale del tuo ambiente, sia all'interno che all'esterno e decidi (a) se i gradienti di tessitura sono presenti nel tuo ambiente e (b) se pensi che il principio alla base dei gradienti di tessitura possa contribuire alla percezione della profondità anche se l'informazione della tessitura nell'ambiente non è ovvia come negli esempi in questo capitolo (p. 233).

3. Come si può determinare il contributo della visione binoculare nella percezione di profondità? Un modo sarebbe di chiudere un occhio e notare come questo influenzi la tua percezione. Sperimentalo e descrivi qualsiasi cambiamento tu noti. Poi progetta un modo di misurare quantitativamente l'accuratezza della percezione della profondità che è possibile con la visione a uno e a due occhi.