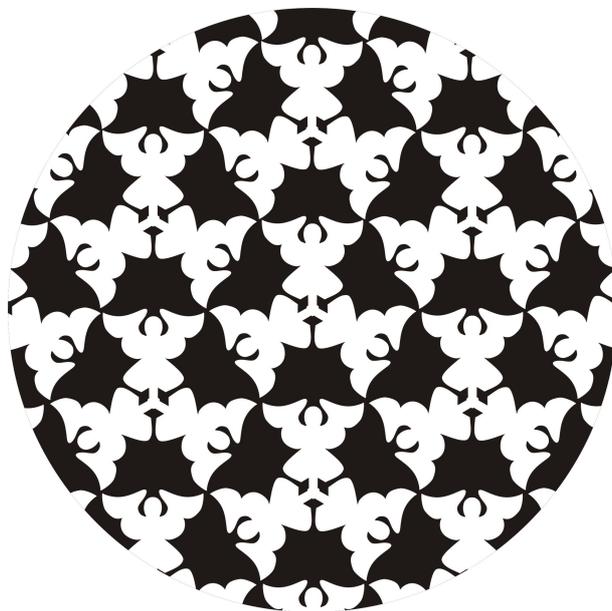


Progetto di Geometria Computazionale

La visione stereoscopica



~ Docente ~
Prof.ssa L. Citrini

~ Studente ~
Mattia Cavenaghi
Matricola 736856

Anno accademico 2009/2010

In copertina: esempio di immagine bistabile tratto dal dipinto “Limite del cerchio IV” (1960) di M. C. Escher.

Indice

1	Introduzione	3
2	Trattazione matematica della visione stereoscopica	5
3	La luce	6
4	Il sistema visivo umano	7
4.1	Anatomia dell'occhio	7
4.2	La percezione del colore	8
	Visione difettosa del colore	8
4.3	La visione stereoscopica	8
	Visione stereoscopica difettosa	9
5	Proprietà della visione stereoscopica	10
5.1	Tendenza alla terza dimensione	10
5.2	Le immagini bistabili	14
5.3	Instabilità figura-sfondo	17
5.4	Contorni anormali	17
6	Conclusioni	20
6.1	Lo pseudoscopio	20
6.2	La camera di Ames	22
6.3	Gli anaglifi	24
	Riferimenti bibliografici	27

1 Introduzione

Osserviamo la seguente fig. 1 e proviamo a rispondere alla domanda posta nella didascalia...



Figura 1: Che cosa vedete?

Alcuni potrebbero rispondere:

“Il ritratto di una giovane donna col viso voltato alla sua destra!”.

Mentre altri...

“Il ritratto di una vecchia signora accigliata!”.

A questo punto potremmo porci un'altra domanda: chi tra le due categorie di persone, ha ragione?

Entrambe! Poiché la figura di E. G. Boring¹ nasce proprio per ingannare l'osservatore, creando quella che viene definita una *illusione ottica*, ma di questo ne parleremo più avanti...

Lo scopo di questo elaborato (oltre a confondere le idee nel lettore...) è quello di approfondire il tema della visione stereoscopica, introdotto in termini

¹EDWIN GARRIGUES BORING (1886-1968) ricercatore nel campo della Psicologia, divenne in seguito uno tra i primi storici della Psicologia stessa. La fig. 1 a seconda degli schemi mentali impressi nella mente dell'osservatore, dà luogo a due interpretazioni: la raffigurazione di una giovane donna (la moglie dello studioso) o la raffigurazione di una vecchia signora (la madre dello studioso), creando il fenomeno di illusione ottica realizzato tramite un'*immagine bistabile* (§ 5.2, pag. 14).

matematici nel testo *Geometric Concept for Geometric Design* segnalato dal docente (si rimanda alla bibliografia posta a pag. 27).

La trattazione si aprirà con l'introdurre alcuni concetti inerenti la natura della luce e la fisiologia della visione umana, per poi passare all'esposizione dei fenomeni legati alla stessa visione, quali la percezione del colore, della tridimensionalità, senza tralasciare le aberrazioni e le illusioni ottiche.

L'esposizione si concluderà con la presentazione di alcune applicazioni stereoscopiche realizzate per l'esposizione dei concetti contenuti in questo elaborato.

2 Trattazione matematica della visione stereoscopica

Nella rappresentazione bidimensionale dello spazio tridimensionale una dimensione viene inevitabilmente persa, nella visione stereoscopica con una coppia di *immagini prospettiche* è possibile compensare questa perdita.

Dal punto di vista matematico si può approssimare la percezione stereoscopica assumendo che entrambe le proiezioni prospettiche percepite dagli occhi, hanno lo stesso *piano immagine* e lo stesso *piano neutrale*.

Nelle seguenti equazioni 1 e 2 i pedici L ed R indicano le posizioni dell'occhio sinistro e destro. La matrice (1) è associata alla proiezione dell'occhio sinistro:

$$\mathbb{C}_L = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1\alpha_1 & \mathbf{a}_2\alpha_2 & \mathbf{a}_3\alpha_3 & \mathbf{a}_L \\ \varepsilon_1\alpha_1 & \varepsilon_2\alpha_2 & \varepsilon_3\alpha_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

\mathbb{C} rappresenta l'*immagine dell'oggetto in coordinate omogenee*; \mathbf{a} descrive l'immagine dell'origine mentre \mathbf{a}_i descrive il punto di fuga della direzione i , che è un *punto ideale* se $\varepsilon_i = 0$.

Con \mathbf{d} si indica il vettore che ha origine nel punto in cui è posizionato dell'occhio sinistro e termina nel punto occupato dall'occhio destro rispetto al sistema immagine; con \mathbf{c} si indica invece il vettore che ha origine in \mathbf{a}_L (proiezione sul piano immagine dell'occhio sinistro) e termina in \mathbf{a}_R (proiezione sul piano immagine dell'occhio destro). Si osserva infine che \mathbf{c} e \mathbf{d} sono paralleli.

Traslando l'oggetto "occhio" parallelamente al piano immagine si causa il movimento parallelo dell'occhio e dell'oggetto sul piano immagine.

Si può quindi effettuare la translazione parallela della proiezione \mathbf{a}_L ottenendo la proiezione dell'occhio destro (2).

$$\mathbb{C}_R = \begin{bmatrix} [\mathbf{a}_1 + \mathbf{d}\varepsilon_1]\alpha_1 & [\mathbf{a}_2 + \mathbf{d}\varepsilon_2]\alpha_2 & [\mathbf{a}_3 + \mathbf{d}\varepsilon_3]\alpha_3 & \mathbf{a}_L + \mathbf{c} \\ \varepsilon_1\alpha_1 & \varepsilon_2\alpha_2 & \varepsilon_3\alpha_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3 La luce

I nostri occhi possono percepire la luce poiché essa viene “generata” da fonti luminose (es. il sole od una lampadina) o perché viene riflessa dagli oggetti che ci circondano. Questa riflessione può essere di due tipi, *speculare* nel caso in cui la superficie dell’oggetto sia liscia, o *diffusa* nel caso in cui la superficie sia ruvida: ciò non toglie che in qualsiasi momento i due tipi di riflessione possano presentarsi contemporaneamente, come nel caso in cui una fonte luminosa colpisce la superficie di un tavolo in legno lucidato, dove la laccatura che genera una riflessione speculare, ricopre la superficie del legno che genera una riflessione diffusa.

La luce in forma di complessi fronti d’onda si propaga in ogni direzione², osservando degli oggetti in una stanza illuminata dalla luce solare, gli occhi ricevono generalmente delle onde luminose che non hanno coerenza spaziale né temporale³. Se gli oggetti colpiti dalla luce sono multicolori, cioè consistono in una mescolanza di onde luminose di diversa lunghezza d’onda, anche la forma dei fronti d’onda sarà assai complessa e connessa alla forma degli oggetti.

L’occhio umano pur non percependo i fronti d’onda propagati dagli oggetti, percepisce la forma ed il colore degli stessi, permettendo di vedere il mondo colorato e tridimensionale che ci circonda. I fronti d’onda delle onde luminose contengono, nella loro forma e struttura, un’informazione che il nostro sistema visivo elabora per restituirci la nostra visione del mondo: l’esatto modo in cui questo fenomeno si verifica costituisce un problema della Psicologia sperimentale e seppur limitatamente alla trattazione possibile nel presente elaborato, cercheremo di metterne in luce alcuni aspetti, utili a comprendere il fenomeno della visione stereoscopica.

²La luce viene considerata come un’onda elettromagnetica in grado di interagire con la materia (*Teoria ondulatoria della luce*), sebbene nella Fisica classica la luce sia descritta come un’onda elettromagnetica, l’avvento della Meccanica quantistica agli inizi del XX secolo ha permesso di capire che questa possiede anche proprietà tipiche delle particelle. Nella fisica moderna la luce (e tutta la radiazione elettromagnetica) viene descritta come composta da *quanti* chiamati *fotoni* (*Teoria quantistica della luce*).

³In Ottica col termine *coerenza* (o *coerenza di fase*) si definisce la proprietà di un’onda elettromagnetica di mantenere una certa relazione di fase con se stessa durante la sua propagazione. Questo concetto è stato generalizzato a tutti i fenomeni ondulatori dall’Acustica alla Meccanica quantistica.

4 Il sistema visivo umano

4.1 Anatomia dell'occhio

L'occhio umano (fig. 2) si presenta con una forma approssimativamente sferica, e può venir fatto ruotare nell'orbita da sei muscoli posti all'esterno di esso che lavorano in stretta coordinazione tra loro.

La luce oltrepassa la *cornea* trasparente (*e*) ed attraversa la *pupilla dell'iride* (*g*) fino a raggiungere la retina sensibile alla luce (*c*). L'interno del bulbo oculare è pieno di fluidi trasparenti (*umori*, *f* ed *i*), dietro l'iride si trova una lente flessibile chiamata *cristallino* (*h*).

La retina riveste quasi tutto l'interno del bulbo oculare: l'esame microscopico della retina mette in evidenza diversi strati, uno solo dei quali, il più interno è fornito di recettori fotosensibili che a causa della loro forma vengono distinti in *coni* ed in *bastoncelli*; i bastoncelli sono più numerosi specialmente nella parte periferica, mentre i coni si concentrano nella regione della *fovea*, la macchia gialla, regione della retina che si trova più vicino all'asse ottico e costituisce il punto di maggior risoluzione. Le funzioni degli altri strati cellulari della retina sono di trasdurre, raccogliere, correlare ed elaborare l'informazione visiva, dando origine ad impulsi nervosi che tramite il *nervo ottico* (*d*) pervengono al cervello.

La messa a fuoco di un'immagine è dovuta all'azione di muscoli che circondano il cristallino e sono capaci di modificarne la forma, variandone così la lunghezza focale.

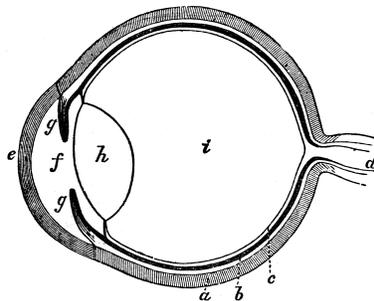


Figura 2: Sezione verticale del bulbo oculare. *a*, Sclerotica. *b*, Coroide. *c*, Retina. *d*, Nervo ottico. *e*, Cornea. *f*, Umor acqueo. *g*, Iride. *h*, Cristallino. *i*, Umor vitreo.

4.2 La percezione del colore

La visione umana normale riguarda la regione di spettro elettromagnetico compresa approssimativamente fra i 400 ed i 700 nm, denominata *spettro visibile*, in cui è possibile distinguere fino a 200 diverse sfumature di colore.

La percezione del colore è possibile solo a livelli relativamente elevati di illuminazione, la visione crepuscolare ad esempio, è monocromatica incapace cioè di differenziare i colori. Queste ed altre proprietà dimostrano che sono i coni della retina a consentire la percezione dei colori; i bastoncelli, molto più sensibili, sono invece destinati alla visione monocromatica notturna, senza che comunque si verifichi un passaggio improvviso fra i due tipi di visione.

Esistono varie teorie inerenti la percezione del colore, tutte appoggiate da dati sperimentali: la maggior parte di queste concorda nell'affermare che esistono tre tipologie di recettori dal momento che tutti i colori possono essere riprodotti mescolando almeno *tre colori primari* (il rosso, il verde ed il blu). Ulteriori dati sperimentali suggeriscono che vi sono tre diversi tipi di coni retinici, fattore che sta alla base della percezione del colore. La normale visione umana del colore può essere influenzata da diversi fattori (es. dimensione dell'oggetto osservato, illuminazione, etc.), che possono introdurre distorsioni nella percezione del colore.

Visione difettosa del colore La complessità del nostro sistema visivo comporta una grande variabilità nella percezione individuale del colore: la visione normale è semplicemente una media statistica sperimentale comunemente accettata. La presenza di deficienze nella percezione dei colori è piuttosto comune, alcune di esse per ragioni genetiche sono più frequenti nei maschi che nelle femmine, e dovute alla mancanza di coni sensibili ad un determinato colore (*daltonismo*).

4.3 La visione stereoscopica

La visione umana utilizza contemporaneamente entrambi gli occhi, i quali sono disposti con una distanza interpupillare media di 65 mm e funzionano in modo controllato grazie al controllo muscolare. Le due immagini retiniche, separate e lievemente differenti, vengono “fuse” dal cervello al fine di fornire una *impressione tridimensionale* o *stereoscopica* della scena esterna: abbiamo così una sensazione della disposizione spaziale in profondità degli oggetti, anche senza riferimento ad altri elementi visivi come ombre o contorni che si sovrappongono.

Un oggetto distante, se osservato con entrambi gli occhi sottende tra di essi un angolo che dipende dalla distanza di oggetti, corrispondenti a differenze angolari di circa 30 secondi di arco: come conseguenza, oggetti la cui distanza sia tale da sottendere un angolo minore sono indistinguibili da oggetti all'infinito. Questo angolo di 30" corrisponde a una distanza di circa 500 metri, che si considera come il punto remoto della visione stereoscopica. Anche a distanze minori comunque la stima della distanza è assai poco precisa.

Visione stereoscopica difettosa L'occhio senza difetti visivi (o vizi di rifrazione) viene definito *emmetrope* e le immagini vengono messe a fuoco esattamente sulla retina. Indipendentemente dal difetto rifrattivo, i raggi di luce passano attraverso la cornea e il cristallino per poi essere focalizzati perfettamente sulla retina, l'occhio non presenta quindi difetti visivi e avrà una visione nitida. L'emmetropia si ottiene quando la curvatura della cornea e la lunga assiale del bulbo oculare sono in relazione tale che i raggi di luce vanno a coincidere esattamente sul fuoco della retina.

Come qualsiasi elemento presente in nauta, anche l'occhio può presentare alcuni difetti visivi, tra i principali distinguiamo:

- *miopia*: in questo tipo di difetto i raggi luminosi provenienti da un oggetto a grande distanza non si focalizzano sulla retina ma davanti ad essa, la conseguenza è che gli oggetti osservati tendono ad apparire sfocati, e la visione è migliore o nitida a breve distanza.
- *ipermetropia*: dove i raggi provenienti dall'infinito si mettono a fuoco oltre la retina, l'immagine di un oggetto lontano si forma confusa sulla retina e viene visto sfocato.
- *astigmatismo*: dovuta ad curvatura corneale asimmetrica, otticamente l'astigmatismo provoca due differenti linee di focalizzazione sulla retina, le quali causano una visione sfocata (o sdoppiata) a tutte le distanze.
- *presbiopia*: è prettamente legata a una perdita di efficienza dell'apparato accomodativo, con conseguente perdita progressiva di elasticità del cristallino, causando una difficoltà nel mettere a fuoco gli oggetti da vicino.

5 Proprietà della visione stereoscopica

In questa sezione si analizzeranno alcuni effetti ottici dovuti alla visione umana.

5.1 Tendenza alla terza dimensione

Nella sezione 2si è accennato alla proprietà per cui la profondità è dovuta alla visione binoculare: c'è però un altro fattore che influisce nella percezione ossia la *prospettiva*, la quale contribuisce ad accrescere il senso della terza dimensione.

Prendiamo ad esempio il quadro del pittore Canaletto⁴ riportato in fig. 3 realizzato con precisione fotografica: gli oggetti sono tanto più piccoli quanto sono lontani e le facciate dei palazzi si restringono in altezza più si va verso il centro di fuga.



Figura 3: *Chiesa dei santi Giovanni e Paolo con la scuola di San Marco* (1725) del Canaletto.

Si può osservare che per una semplice regola geometrica le dimensioni si dimezzano raddoppiando la distanza, fenomeno che si forma sulla retina, dato che l'occhio funziona come una macchina fotografica. L'immagine del pilastro di destra della facciata della chiesa sarà circa una volta e mezzo più alta di quello di sinistra, eppure il cervello non viene ingannato in base alle informazioni di profondità in suo possesso, stabilisce semplicemente il principio di *costanza della*

⁴GIOVANNI ANTONIO CANAL meglio conosciuto come il CANALETTO (1697-1768), è stato un pittore e incisore italiano, noto soprattutto come vedutista. Sembra che Canaletto facesse uso di una *camera obscura* progenitrice della macchina fotografica, utile nel riprodurre il panorama da dipingere in scala adatta ad essere direttamente copiata.

dimensione, qualcosa molto simile a quello della costanza del colore, legato a processi di accumulo di esperienze vissute.

Il meccanismo funziona bene per gli oggetti vicini, meno per quelli lontani poiché è più difficilmente valutabile. Una conseguenza della costanza della dimensione è quello della *costanza nella forma*: due piatti appoggiati su un tavolo uno lontano ed uno vicino non solo appariranno uguali, ma anche rotondi, eppure la loro forma obiettiva è appiattita ed ovalizzata. Ciò è quanto avviene nel mondo reale, ma se abbiamo di fronte un quadro od una televisione, come risponde il nostro cervello per applicare il criterio della costanza e della terza dimensione? Nessuno! Perché dato l'ovale solo grazie a due tratti di penna si vede il piatto, facendo scattare il meccanismo legato alla nostra esperienza che genera nel nostro cervello il senso di prospettiva, pur non percependo la profondità.

La *tendenza alla terza dimensione* è così spiccata in noi che siamo indotti facilmente in inganno ogni volta che figure geometriche ricordano elementi prospettici particolarmente frequenti nel nostro osservato, causa principale delle illusioni ottiche per distorsione, dove si verificano distorsioni di grandezza e di forma.

La distorsione più conosciuta è la *freccia a due punte di Muller-Lyer*⁵ (fig. 4) che appare più lunga se le due ali vengono rovesciate verso l'esterno: l'effetto è così marcato che occorre misurare i due segmenti per convincersi del contrario.

Una tra le tante spiegazioni date è che questa illusione funziona per considerazioni dovute alla prospettiva. Le ali possono essere intese come linee prospettiche convergenti verso punti di fuga e di fronte a queste due figure geometriche il cervello provvede automaticamente a contrarre la prima ed a espandere la seconda.

Un'altra illusione ottica altrettanto celebre è l'*illusione di Ponzo*⁶ fig. 5, che sfrutta la convergenza apparente di linee parallele a grande distanza. Osservando l'immagine del binario che si perde all'orizzonte e tracciando due sbarre orizzontali di uguale lunghezza una sopra l'altra, il segmento superiore che sarebbe più distante se fosse una sbarra reale di traverso sui binari, sembra più lungo di quello inferiore che si presenta apparentemente più vicino.

⁵FRANZ CARL MULLER-LYER (1857-1916) studiò Medicina a Strasburgo, divenendo a 24 anni assistente direttore della locale clinica psichiatrica, praticando verso gli ultimi anni della sua carriera a Monaco. Il suo lavoro di maggior peso lo diede però nel campo della Sociologia.

⁶MARIO PONZO (1882-1960) psicologo italiano, suggerì che la mente umana giudica un oggetto in base allo sfondo su cui appare.

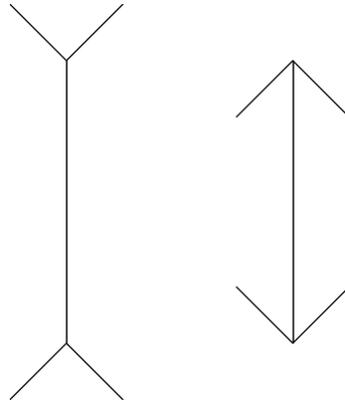


Figura 4: Illusione della freccia a due punte di Muller-Lyer: osservando le due frecce, quella a sinistra ci appare più lunga di quella a destra.



Figura 5: Illusione di Ponzo: le due sbarre rosse orizzontali, pur apparendo di lunghezza diversa, sono invece identiche.

È chiaro che questa illusione come del resto tutte le altre, non è determinata da un imperfetto funzionamento del nostro cervello, al contrario essa deriva dalla sua straordinaria capacità di dare significati alle informazioni che gli pervengono. Il cervello può dare però soltanto soluzioni imperfette, perché le immagini che gli vengono fornite sono intrinsecamente ambigue.

Un altro esempio di illusione dovuta alla falsa prospettiva lo si incontra con

*l'illusione di Hering*⁷ fig. 6 in cui i due quadrati posti al centro non sembrano affatto composti da rette parallele. Ciò deriva dal fatto che nel nostro mondo civilizzato la grande maggioranza delle linee rette sono parallele o si incontrano perpendicolarmente (es. strade, edifici, scatole, ect.). Noi tendiamo quindi a ricostruire mentalmente degli angoli retti. Questa è la spiegazione più probabile poiché certe popolazioni primitive, circondato da un ambiente tutt'altro che squadrato, non subiscono l'effetto dell'illusione di Hering e nemmeno quello delle frecce di Muller-Lyer. Inoltre le stesse popolazioni primitive abituati a vivere nelle foreste vergini con orizzonti limitati, sembrano possedere la costanza della dimensione in misura inferiore della nostra. A loro gli oggetti molto lontani appaiono decisamente piccoli: il cervello poco abituato a vederli, non li espande per farli apparire quello che sono come avviene per le popolazioni civilizzate. Noi stessi soffriamo di queste limitazioni allorché ci troviamo in condizioni insolite: quando siamo su un aereo dopo il decollo, tutto ci sembra improvvisamente piccolo, ed è estremamente difficile valutare con buona approssimazione la distanza dal suolo. Essendo gli umani senza ali e non propensi al volo naturale, ritengono che un segmento disposto verticalmente sia più corto di uno orizzontale.

⁷EWALD HERING (1834-1918) fu uno psicologo tedesco, i cui lavori esplorarono i campo della visione dei colori e della percezione spaziale.

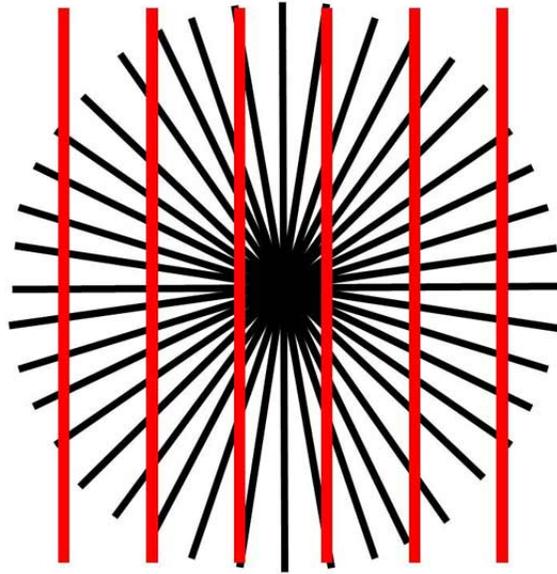


Figura 6: Illusione di Hering: le linee orizzontali rosse sono perfettamente parallele e dritte, tutto il contrario di ciò che noi percepiamo.

5.2 La immagini bistabili

Parlando della percezione attraverso il sistema visivo del nostro cervello, vi sono alcuni casi in cui sussistono due possibili interpretazioni della realtà quotidiana che generano ambiguità, il cervello in questi casi rimane disorientato e salta da un'interpretazione all'altra: questo fenomeno è detto di *bistabilità dell'immagine*.

Un primo esempio di questo effetto ottico lo si può incontrare nel *cubo di Necker* (fig. 7 (A)): è una figura piana che sempre a causa della nostra esigenza di tridimensionalità viene percepita cubica, osservandolo percepiamo la faccia verde più vicina a noi, ma se fissiamo la faccia parallela che percepiamo più lontana sembrerà il contrario. L. A. Necker⁸ sosteneva che ciò dipende dal *punto di fissazione*, percepito sempre come il più prossimo a noi.

⁸LOUIS ALBERT NECKER (1786-1861) geologo, zoologo ed esperto in cristallografia, meglio conosciuto per l'omonima illusione ottica osservata dallo studioso applicando quella che viene definita *scambio di prospettiva*.

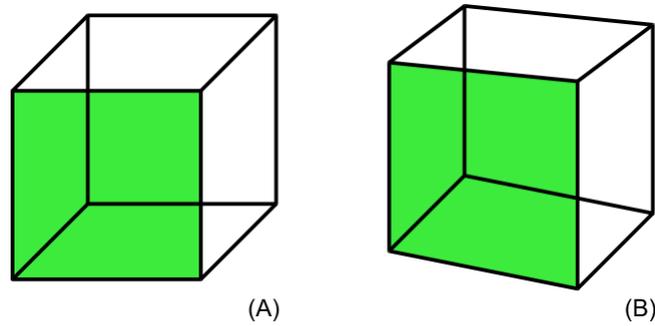


Figura 7: Cubo di Necker: in assenza di prospettiva (A) ed in presenza di prospettiva (B).

L'effetto di bistabilità è possibile poiché non è presente l'effetto della prospettiva nella figura osservata: mettendo in prospettiva lo stesso cubo di prima, la nostra percezione è maggiormente orientata verso una spiegazione più plausibile, ossia la faccia verde viene percepita più vicina a noi, spostando l'attenzione sulla faccia parallela a quella verde è possibile osservare la figura bistabile la quale risulta deformata (fig. 7 (B)).

Il diedro di Mach⁹ è un altro esempio di bistabilità (fig. 8), osservandolo attentamente è possibile percepire la figura come un libro aperto verso di noi; zittendo la prospettiva il libro viene ribaltato ed all'osservatore si presenta il dorso della copertina.

⁹ERNST WALDFRIED JOSEF WENZEL MACH (1838–1916) è stato un fisico, un filosofo ed un neuroscienziato. Mach inoltre fu uno dei pionieri dell'esplorazione sperimentale della percezione umana: la sua filosofia, dotata di una forte componente di empirismo, non poteva che considerare centrale il ruolo della percezione sensoriale dei fenomeni fisici.

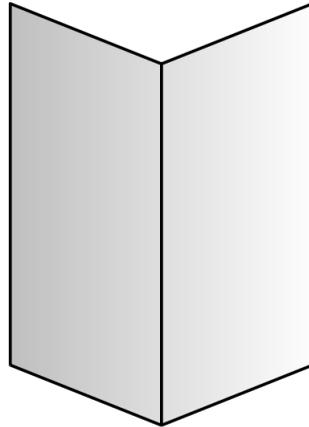


Figura 8: Il diedro di Mach.

L'ultimo esempio di immagine bistabile è definita figura di Schroeder (fig. 9), al primo sguardo essa appare come una scaletta di cinque scalini percorribile nel senso dell'omino che cammina, forzando la nostra percezione possiamo però osservare un ripiano di sei scalini, dove sull'ultimo di questi è seduto l'omino con gli occhiali. Questo tipo di figura è stata largamente utilizzata dal pittore M. C. Escher per le sue opere.

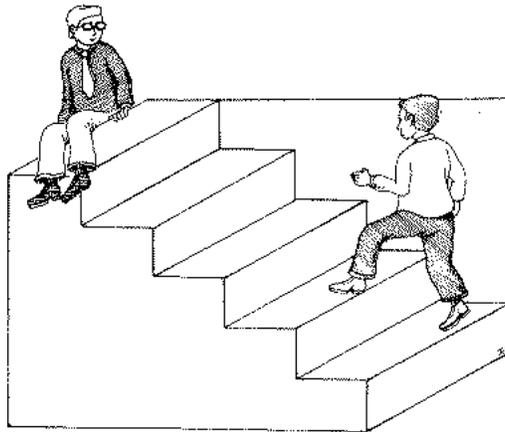


Figura 9: La figura di Schroeder.

5.3 Instabilità figura-sfondo

Finora si sono analizzati casi in cui l'ambiguità percettiva è dovuta dalla mancanza di prospettiva in disegni che rappresentano oggetti reali e che a seconda di come sono illuminati infondono nell'osservatore il senso di tridimensionalità.

La fig. 10 rappresenta un caso di *ambiguità figura-sfondo*, perché può essere interpretata come un calice nero su uno sfondo bianco, o due profili bianchi affacciati su uno sfondo nero.



Figura 10: Illusione ottica generata dalla instabilità figura-sfondo: cosa vedete, due profili umani od un calice?

Le due possibilità non possono essere percepite simultaneamente, il cervello deve scegliere dando la funzione di sfondo all'area bianca o nera. Anche per questo tipo di illusione entra in gioco l'abitudine, l'esperienza pregressa accumulata attraverso l'osservazione del mondo reale, dove diversi oggetti disposti nello spazio si sovrappongono coprendosi l'un l'altro. L'instabilità è maggiormente percepita quanto più le aree occupate dai soggetti sono di grandezza confrontabile (calice piccolo su sfondo bianco, profili grandi su sfondo nero), altrimenti nei nostri meccanismi di percezione il ruolo di sfondo viene assunto dalla figura che occupa più spazio, che risulta poi essere la situazione abituale.

5.4 Contorni anormali

I contorni di un oggetto sono percepibili grazie a variazioni di colore, di luminosità o di profondità che inducono differenze di stimolazione in zone adiacenti alla retina. Contorni dovuti a salti di luminosità sono per esempio quelli che permettono di leggere quello che sta scritto su questa pagina. Quando, nel

campo visivo, gli oggetti si sovrappongono, taluni contorni vengono parzialmente mascherati: a causa di ciò, il nostro sistema percettivo ha sviluppato un'incredibile capacità di separare i vari oggetti e ricostruirne i contorni.

Ciò porta a una serie di effetti illusori che si sono rivelati particolarmente utili nello studio del nostro modo di elaborare le immagini retiniche. Anche qui come nelle illusioni che sono state discusse in precedenza, il cervello fa ricorso alla sua dimestichezza con forme complete, chiuse, in aggiunta naturalmente alla sua cognizione della profondità. Tale è il caso del *triangolo di Kanizsa*¹⁰ fig. 11 dove la nostra percezione di triangolo equilatero bianco sovrapposto a figure complete è senza dubbio nettissima.

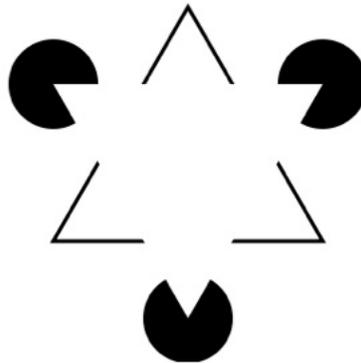


Figura 11: Triangolo di Kanizsa: il nostro cervello traccia virtualmente i lati del triangolo, sovrapposto sui cerchi neri.

Per arrivare a percepire le figure il nostro cervello ha completato i contorni interrotti, creando quella che possiamo definire una figura anomala. L'azione del cervello è così vigorosa che il triangolo anomalo ci pare addirittura più bianco di quello che gli sta sotto, il che non è vero. E se tracciamo due sbarrette uguali e parallele, si produrrà in noi l'illusione di Ponzo, in base alla quale le due sbarrette appariranno di diversa lunghezza. Ciò è prova della realtà funzionale della figura anomala; e ancora: il triangolo anomalo si mantiene sopra le altre immagini con notevole tenacia. Se su di esso disegniamo delle macchie nere, anch'esse appariranno sollevate verso l'osservatore, come se fossero appoggiate sul triangolo.

¹⁰GAETANO KANIZSA (1913-1993) è stato uno psicologo e pittore italiano, fu esponente della tradizione della *gestalt* (corrente psicologica riguardante la percezione e l'esperienza) e acquisì fama internazionale con la pubblicazione di un articolo sui *Subjective Contours* sulla rivista "Scientific American" nel 1976.

Gli psicologi si sono dati battaglia sull'interpretazione di questo tipo di effetti illusori. L'ipotesi più ovvia, che abbiamo già anticipato, è che la superficie anomala sia proprio quella richiesta per giustificare le lacune e le parti mancanti degli oggetti osservati. Essa perciò interviene per soddisfare la nostra esigenza di completamento, che proviene dal vivere in un mondo armonioso, dove gli oggetti monchi sono una rara eventualità e la loro apparente incompletezza è dovuta alle sovrapposizioni nella profondità del campo visivo. Ancora una volta, se vogliamo, rispunta la nostra affezione per la tridimensionalità, la quale fa sì che certe assenze di stimolazione ottica possano, a tutti gli effetti, costruire un dato per la percezione.

6 Conclusioni

La visione stereoscopica è un argomento molto vasto da affrontare che comporterebbe un approfondimento di pagine e pagine, ed il materiale non mancherebbe poiché sia le scienze che l'arte hanno fatto largo uso delle illusioni presentate nella precedente sezione 5.

In questo elaborato si è voluto fornire un approfondimento ludico negli argomenti affrontati e per divertire il lettore, concludiamo con tre esempi di applicazioni pratiche, legati rispettivamente al processo di fusione delle immagini stereo, alla percezione della prospettiva ed alla percezione del colore.

6.1 Lo pseudoscopio

È possibile sovvertire l'ordine naturale del nostro sistema percettivo ad esempio invertendo di posto le due immagini che giungono ai nostri occhi, in modo che l'immagine destinata all'occhio destro pervenga al sinistro e viceversa, avendo così una *visione pseudoscopica*, la quale ci fa apparire più vicino ciò che è più lontano. Questo effetto è realizzabile artificialmente mediante un dispositivo chiamato *pseudoscopio* (fig. 12), costituito da un supporto su cui sono appoggiati quattro specchietti.



Figura 12: Uno pseudoscopio artigianale.

A seconda di come vengono posizionati questi è possibile osservare diversi effetti divertenti.

Se alle due uscite del dispositivo posizioniamo una coppia di fotografie stereoscopiche, di un volto ad esempio, tutto si svolgerà secondo le regole della normale ricostruzione tridimensionale: se invertiamo le due immagini vedremo lo stesso volto magari deforme e buffo.

Possiamo però ripetere l'esperienza di A. L. Austin del 1887, che prendendo l'immagine di due persone differenti e mettendole ognuna davanti ad un occhio, si accorse che il cervello fonde le due immagini creando l'immagine di una nuova persona che non è né l'una né l'altra. Capovolgendo una delle due immagini, il cervello rifiuterà l'immagine capovolta ed accetterà la sola dritta, perché l'osservazione di oggetti o figure capovolte non rientra nella nostra esperienza quotidiana. Il nostro esperimento può concludersi prendendo l'immagine di alcune pecore e di un paesaggio: il cervello fondendo le due immagini creerà un ameno quadretto di campagna!

6.2 La camera di Ames

L'argomento trattato in questo paragrafo prende spunto da un curioso esperimento realizzato dallo psicologo americano A. Ames Jr.¹¹, in cui i meccanismi di visione, prospettiva, percezione della realtà e abitudini cognitive, vengono coinvolte.

Ames ha costruito una speciale camera la cui particolarità consiste nel fatto che la parete di sinistra è molto più lunga di quella di destra, conseguenza per cui la parete posta a fronte dell'osservatore, il quale osserva la stanza attraverso un foro è posta di traverso. Questa parete ha inoltre una altezza crescente, man mano che la distanza dall'osservatore aumenta, ottenendo nel complesso una stanza di forma trapezoidale (fig. 13).

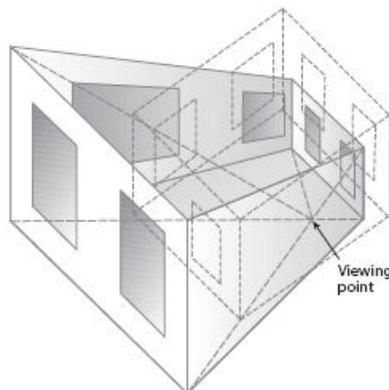


Figura 13: Schematizzazione della forma e dell'immagine retinica (ricreata con linee tratteggiate) della stanza di Ames.

Questa particolare forma consente all'osservatore di percepire una altezza della stanza uguale, sia per l'immagine percepita nel punto a_L che nel punto a_R . Porte, finestre e quadri che si trovano lungo le pareti sono deformati allo stesso modo. Allora l'immagine che si forma sulla retina dell'osservatore è del tutto identica a quella prodotta da una normale camera rettangolare. L'osservatore infine sarà visivamente appagato poiché l'immagine osservata sarà proprio

¹¹ADELBERT AMES JR (1880 - 1955) fu uno scienziato americano che diede importanti contributi alla Fisica, alla Psicologia, all'Oftalmologia, alla Filosofia ed alla Fisiologia. Pioniere negli studi di Psicologia al Dartmouth College, fu professore ricercatore ed in seguito direttore della ricerca al Dartmouth Eye Institute. Condusse importanti ricerche nel campo della visione binoculare ed è tuttoggi conosciuto per la costruzione di alcune illusioni ottiche tra cui la *stanza di Ames* e la *finestra di Ames*.

ciò che si aspetta di vedere, secondo le sue abitudini e pregresse esperienze percettive, ma osservando l'interno della stanza da un punto di vista traslato rispetto a quello originale, l'osservatore noterà la vera irregolarità nella forma della stanza.

Ora l'esperimento si fa più interessante: facendo entrare due persone nella stanza e posizionandole agli angoli della stessa, l'osservatore che non conosce il "trucco" osserverà che le due persone hanno altezza differente (fig. 14).



Figura 14: Esperimento della camera di Ames.

Questa illusione si basa soprattutto sugli schemi mentali del nostro cervello, la spiegazione generalmente accettata è che il nostro sistema visivo è pesantemente influenzato dalle esperienze passate sulla visione di normali stanze di forma cubica, le quali influenzano il nostro giudizio sulla visione della camera distorta.

Secondo A. Seckel¹² ed A. Klarke¹³ la stanza di Ames è costituita da angoli visuali e lunghezze costanti invece che da angoli e lunghezze diseguali. I due studiosi affermano inoltre che la posizione dei lati nella stanza e dei relativi angoli rispetto all'orizzonte è di importanza cruciale nella visione cubica, e non implica l'esperienza passata nella visione di oggetti cubici. La loro ipotesi è stata approfondita con studi in cui hanno dimostrato che persone non impiegate nei lavori di carpenteria non hanno problemi a percepire la cubicità della stanza.

¹²AL SECKEL (1958) autorità americana nel campo della visione e dei suoi sistemi di illusione sensoriale nonché sulla percezione. Seckel colleziona ricerca ed esperimenta le illusioni per capire in quali condizioni esse operino, in modo da poterle spiegare in termini di elettrofisiologia e neuroanatomia della rete corticale e retina, che mediano nella percezione visuale.

¹³ALICE KLARKE artista grafica.

Osservando una stanza di Ames a grandezza naturale non si può non percepire un senso di stranezza nell'osservare la conformazione della stanza, senza riuscire però a comprendere cosa possa causare questo senso di disagio. Seckel e Klarke sostengono che queste stranezze derivano dal fatto che l'occhio ed il cervello cercano di allineare i due angoli superiori della stanza. Il sistema visivo percepisce angoli alla stessa altezza con distanza focale differente, dove l'adattamento visivo non è abbastanza forte da interferire nella percezione della cubicità. Sostituendo il foro di osservazione con un altro molto più piccolo, il senso di stranezza sparisce: la spiegazione generalmente accettata è che nell'illusione dovuta alla stanza di Ames, la percezione cubica sovrasta la percezione della costanza di dimensione causata dalla strana forma della stanza. Seckel e Klarke hanno inoltre dimostrato che le pareti della stanza contribuiscono minimamente all'effetto di illusione: utilizzare un pavimento orizzontale su uno sfondo prospettico è sufficiente a produrre l'effetto.

6.3 Gli anaglifi

Un anaglifo è un'immagine stereoscopica, chiamata anche *stereogramma*, che osservata mediante opportuni occhiali dotati di due filtri di colore complementare l'uno rispetto all'altro, consente all'osservatore di percepire la terza dimensione.

I colori tipicamente utilizzati per le lenti degli occhiali anaglifici, sono il rosso e il ciano, dove il rosso filtra la luce che colpisce l'occhio sinistro, mentre il ciano filtra la luce che colpisce l'occhio destro. Il materiale utilizzato per i filtri è tipicamente una gelatina monocromatica, etichettata rosso e blu per convenienza e costo.

Osservando un anaglifo attraverso gli appropriati occhiali colorati, ogni occhio risulta percepire una immagine leggermente differente, questa immagine viene realizzata attraverso la sovrapposizione di due immagini i cui angoli di cattura sono distanti l'uno dall'altro di 65 mm (per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo 4.3). Per realizzare queste immagini si utilizzano macchine fotografiche stereoscopiche (fig. 15 (A)) dotate di due obiettivi distanti tra loro 6,5 cm, od applicazioni più economiche, costituite da due fotocamere monooculari, dove l'asse dei due obiettivi sono paralleli tra loro (fig. 15 (B)).



(A)



(B)

Figura 15: La fotografia stereoscopica: (A) un esempio di fotocamera digitale stereoscopica, (B) un'applicazione più economica che consente di ottenere un effetto pressoché identico.

Nell'anaglifo con filtraggio rosso-ciano (fig. 16), l'occhio che vede attraverso il filtro rosso vedrà le parti rosse dell'immagine come bianche e le componenti blu e verdi come nere: è il cervello che adatta l'immagine ai colori; allo stesso modo, l'occhio che vede attraverso il filtro ciano scarterà le componenti blu e verdi, vedendo solamente quelle rosse. Le parti bianche o nere, verranno percepite indifferentemente dall'occhio destro e sinistro. Successivamente, come già osservato nel corso del presente elaborato, il cervello unisce le due immagini ed interpreta le differenze come il risultato della differente distanza, questo permette di creare una immagine stereoscopica, senza il bisogno di ausili quali un visore stereoscopico, per permettere a ognuno dei due occhi di vedere l'immagine ad esso destinata.

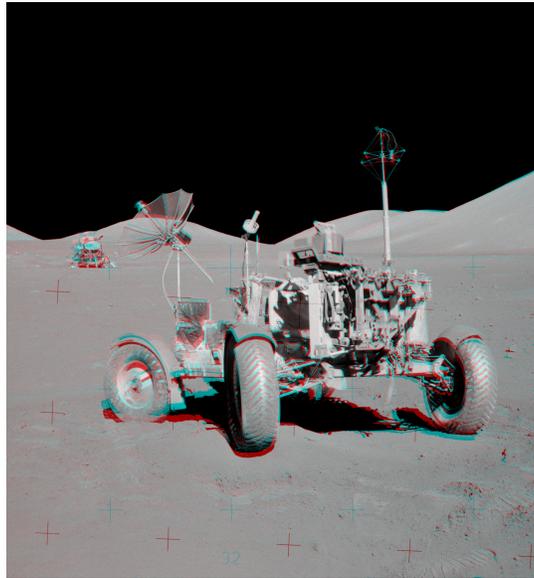


Figura 16: Un esempio di anaglifo con filtraggio rosso-ciano.

Riferimenti bibliografici

- [1] AA.VV. Wikipedia. 2010.
- [2] Wolfgang Boehm and Hartmut Prautzsch. *Geometric concepts for geometric design*. A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA, 1994.
- [3] A. Frova. *Luce colore visione*. Editori Riuniti, 1984.
- [4] S. Ray. *Sistemi ottici*. Cesco Ciapanna editore, 1982.
- [5] M. Wenyon. *Olografia*. Cesco Ciapanna editore, 1980.