

Peripheral drift illusion

Percezione periferica del movimento

Introduzione

“La storia delle arti visive ha visto numerosi tentativi di rappresentare gli aspetti del nostro mondo esterno che vanno oltre la natura intrinsecamente bidimensionale di un dipinto” (Gombrich, 1977).

I pittori hanno sviluppato un linguaggio pittorico per invocare chiare impressioni di profondità e movimento che non potevano catturare in modo diretto sulla superficie piatta e statica di una tela.

Già nel XX secolo, artisti come Riley (dipinto ‘la caduta’ 1963, Tate Britain, Londra) e Wade, hanno cominciato a sperimentare semplici modelli in bianco e nero, cercando di suscitare particolari percezioni, illusioni dinamiche vivaci, piuttosto che rappresentare gli aspetti di un’opera come movimento, nonostante il fatto che tali modelli non erano altro che vernice su una tela statica. I meccanismi fisiologici e percettivi responsabili delle illusioni di movimento in tali modelli sono stati oggetto di discussione per diversi decenni.

Un motivo di dibattito riguarda i meccanismi alla base delle percezioni nella pittura del ‘Enigma’ (Leviant, 1982). Questo dipinto suscita due tipi di illusioni di movimento, vale a dire, moto circolare negli anelli concentrici e una mossa luccicante nelle linee radianti.

Gli scienziati hanno ipotizzato che i meccanismi corticali superiori sono tenuti a spiegare tali fenomeni e che gli occhi, che sono in continuo movimento, riorientandosi, potrebbero essere responsabili del movimento percepito.

Quest’ultima idea ha guadagnato un certo sostegno empirico da studi che hanno direttamente confrontato la frequenza dei piccoli movimenti oculi con la forza dell’illusione del movimento percepito negli anelli di ‘Enigma’ [Troncoso, et al. 2008]. Anche se diverse spiegazioni sono spesso indicate come alternative che si escludono reciprocamente, è possibile che i fenomeni osservati derivino da una combinazione di entrambi i meccanismi percettivi e oculomotori.

Sono note quindi a tutti queste illusioni ottiche, sebbene poco trattate in letteratura, che danno l’impressione di fluttuare e ruotare in alcune parti di un’immagine completamente statica.

In questo lavoro facciamo una panoramica iniziale sul sistema visivo, sui limiti della vista e sulla natura attiva della percezione visiva. Ci poniamo l’obiettivo di trattare le illusioni ottiche di movimento in immagini statiche e indagare due tra le più interessanti: l’illusione ottica dei serpenti rotanti del Professor Akiyoshi Kitaoka e l’illusione ottica di Ouchi. Abbiamo inoltre implementato un percettore di movimento che simula il comportamento biologico dell’occhio umano al cospetto di queste immagini.

Infine riportiamo i risultati delle nostre sperimentazioni effettuate sul software, per approfondire il fenomeno.

Sistema visivo

Si può parlare della vista come un modello di un processo interattivo con numerosi cicli di feedback prima che l'elaborazione dei dati abbia raggiunto la percezione cosciente [figura 1].



figura 1: processo con cigli di feedback

Il segnale visivo arriva grezzo e diventa elaborato, ma in modo confuso. Questo processo richiede tempo e il cervello non ne vuole aspettare il completamento. Una volta che i dati percepiti hanno raggiunto la nostra coscienza, non vediamo più colori e forme ma vediamo oggetti completi, percependone la profondità e all'occorrenza il movimento. Al termine del processo abbiamo sia un'immagine del mondo, sia un'immagine restituita dal cervello dopo il processo di elaborazione aggirando limitazioni come per esempio il punto cieco dell'occhio.

Ci sono stati iniziali e finali nell'attività visiva, durante i quali il sistema visivo costruisce in modo autonomo ipotesi sul mondo esterno per facilitarne l'analisi. Ad esempio assume che il mondo visibile rimanga relativamente stabile da un istante al successivo o che le aree più scure di un oggetto siano ombre. Non sembra esserci un unico luogo dove l'intera attività viene ricomposta. La vista non è quindi una semplice proiezione di un'immagine sulla retina.

Cenni biologici

La percezione visiva avviene attraverso una serie di processi che implicano non solo fattori fisiologici, ma anche una complessa rielaborazione dei segnali luminosi da parte del cervello.

La prima tappa di questi processi ha sede negli occhi: essi sono responsabili della ricezione e traduzione dell'energia in un segnale nervoso. Questo segnale viene poi elaborato nella corteccia cerebrale, dove si attivano i neuroni sensibili alle varie caratteristiche fisiche e cognitive degli stimoli. In realtà è solo a questo punto che si può parlare di percezione perché gli stimoli cominciano ad acquisire un significato solo una volta elaborati dal nostro cervello.

L'occhio [figura 2] è un organo complesso che racchiude sia il sistema ottico vero e proprio, che permette il formarsi delle immagini sulla retina, sia una propaggine del sistema nervoso centrale, che opera una prima analisi di tali immagini. Il suo funzionamento è assimilabile a quello di un comune sistema ottico (come quello di una macchina fotografica o di un canocchiale) costituito dalla cornea, una sottile pellicola sferica trasparente che chiude anteriormente l'occhio, in grado di assorbire le nocive radiazioni ultraviolette; l'umor acqueo, un liquido salino interposto tra la cornea e il cristallino che ne mantiene la forma; il cristallino che funziona come una lente biconvessa e grazie alle sue fibre muscolari varia la propria curvatura in modo da

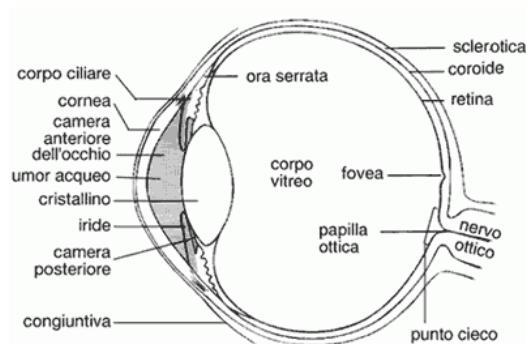


figura 2: l'occhio

far cadere costantemente sulla retina il piano focale dell'immagine; l'iride, una membrana muscolare al cui centro è ricavata la pupilla, un'apertura che serve a regolare la quantità di luce che entra nell'occhio (diaframmare): in presenza di poca luce il foro tende a dilatarsi; la retina.

La retina [figura 3] è giustamente ritenuta la parte più importante dell'organo visivo. Partendo dalla parte più lontana dalla cornea troviamo lo strato dei fotorecettori (coni e bastoncelli) che trasformano in impulsi elettrici le informazioni ricevute dalle reazioni foto-chimiche attivate dalla radiazione luminosa inviano questi segnali ai neuroni retinici, effettuano una prima elaborazione del segnale visivo.

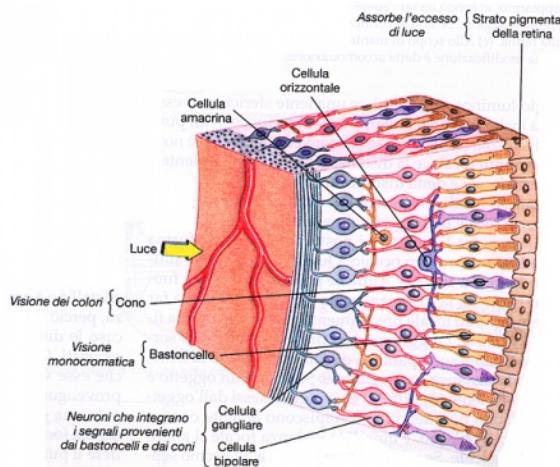


figura 3: la retina

La nostra rappresentazione del mondo ci perviene grazie ai movimenti della testa e degli occhi. La massima risoluzione oculare si ha nel momento in cui osserviamo un oggetto con nitidezza, essa è determinata dalla densità di cellule sensibili alla luce presenti sulla retina.

Le cellule si accumulano più fitte al centro della retina, la fovea; una loro distribuzione uniforme permetterebbe di vedere ugualmente bene di lato come di fronte, ma non essendo così, la massima risoluzione della vista si ha proprio in mezzo al campo visivo.

Fuori da questa zona nella cosiddetta visione periferica la risoluzione è decisamente meno buona. Anche la percezione dei colori peggiora nella vista periferica. Le cellule sensibili alla luce, chiamate fotorecettori, sono di varie categorie a seconda del tipo di luce che devono convertire in segnali neurali. Quasi tutti i fotorecettori in grado di distinguere i colori nella luce che elaborano si trovano nella fovea. Nelle aree periferiche è ancora possibile discernere il colore ma è più laborioso; in queste regioni, infatti, è più diffuso un altro tipo di cellule altrettanto sensibile ma capace di riconoscere unicamente la luminosità.

Esperimento 1: Osservando la [figura 4] di fianco che riproduce la tabella ottica di Anstis, tutte le lettere appaiono ugualmente leggibili poiché da ognuna di esse la luce cade sul medesimo numero di fotorecettori sul fondo dell'occhio. Le lettere centrali cadono in mezzo alla retina, dove si addensa la maggior parte dei fotorecettori; quelle ai margini cadono nella periferia, dove le cellule sono meno fitte, ma essendo più grandi riescono a coprire lo stesso numero di cellule

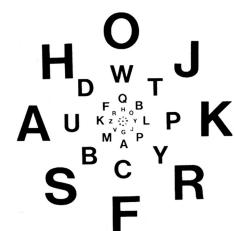


figura 4: tabella di Anstis

Nella [figura 5] è riportata la distribuzione delle cellule fotosensibili sulla superficie della retina. Nel grafico sono presenti due curve, una per i bastoncelli e l'altra per i coni. Si vede bene come entrambi si accumulino verso il centro dell'occhio e si disperdonano invece nella zona periferica. La percezione cromatica si indebolisce man mano che ci si allontana dalla fovea.

I coni, più grossi e più corti dei bastoncelli, differiscono come struttura ed il loro numero è notevolmente inferiore: nell'occhio umano sono presenti circa 115 – 120 milioni di bastoncelli contro i 6 – 7

milioni di coni. I coni funzionano bene in condizioni luminose regolari, per esempio alla luce diurna (visione fotopica) e sono sensibili al colore. I bastoncelli, invece, sono relativamente meno numerosi fuori dalla fovea, e non si mostrano reattivi al colore; inoltre sono estremamente sensibili alla luce e di giorno non servono quasi nulla, ma la loro utilità diventa evidente dove i coni sono più radi. Grazie la loro sviluppata fotosensibilità, i bastoncelli tornano utili anche quando le condizioni luminose sono molto scarse (visione scotopica).

Oltre alla fovea è presente il punto cieco dove convergono i vasi sanguigni della retina e non è sensibile alla luce. Non ce ne accorgiamo perché il cervello riesce ricostruire l'immagine mancante (processo di filling-in).

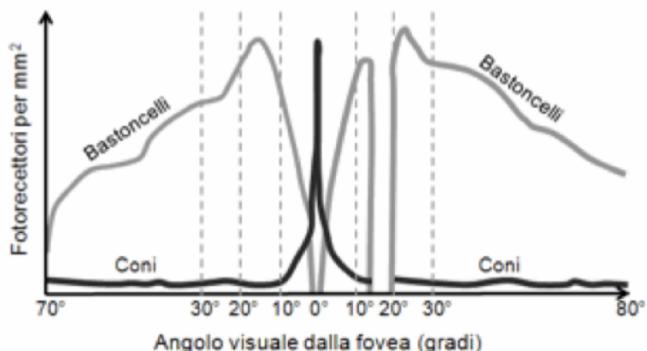


figura 5: distribuzione delle cellule fotosensibili sulla superficie della retina

Nei fotorecettori avviene la fototrasduzione, ovvero il processo attraverso il quale il segnale luminoso viene convertito in segnale nervoso. La regione dei fotorecettori che contiene i fotopigmenti, ovvero le molecole che hanno la funzione di assorbire la luce, si trovano nel segmento esterno dei fotorecettori, che è cilindrico nei bastoncelli ed appuntito nei coni (da cui appunto il nome dei due tipi di fotorecettori).

I fotopigmenti (o opsine), a contatto con un fotone, cambiano la propria struttura molecolare scatenando una iperpolarizzazione che rende fortemente negativo il potenziale di membrana: l'iperpolarizzazione determina una diminuzione nella produzione di glutammato da parte del fotoricettore, alterazione che determina la produzione di stimoli nervosi visivi.

I bastoncelli risultano più sensibili alla luce rispetto ai coni, grazie al loro pigmento visivo, la rodopsina, presente in maggiore quantità. Possiedono inoltre una risposta lenta al fotone di luce: in seguito all'assorbimento di un fotone, la risposta in termini elettrici del bastoncello dura molto più a lungo di quanto risulti essere l'esposizione vera e propria del bastoncello alla luce; nel cono invece questo non accade e la risposta è molto più veloce.

Di contro i bastoncelli possiedono un'alta amplificazione del segnale e sono in grado di rispondere, al massimo della loro sensibilità (visione scotopica), addirittura al singolo fotone di luce, in virtù del tempo di integrazione della risposta così lungo.

Questo tipo di fotorecettori presenta inoltre una risposta che si chiama saturante: oltre una certa soglia luminosa, tutte le molecole di rodopsina subiscono una variazione della propria struttura ed ulteriori stimoli luminosi non scatenano più alcuna risposta (accecamento).

Infine, possedendo un solo fotopigmento, i bastoncelli possono fornire una visione unicamente monocromatica: la rodopsina assorbe a 498 nm, quindi la luce più efficiente a stimolare i bastoncelli è sostanzialmente compresa fra il blu e il verde [figura 6].

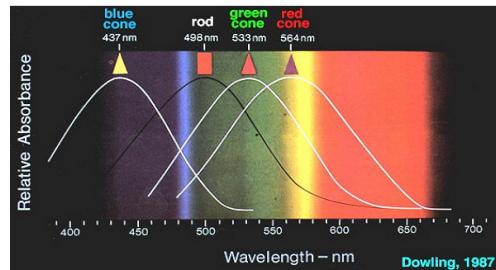


figura 6: bande di assorbimento

I coni non sono sensibili come i bastoncelli: al massimo della loro sensibilità hanno bisogno di almeno un centinaio di fotoni per iniziare a rispondere alla luce; in compenso hanno una risposta più veloce di quella dei bastoncelli e saturano per quantità di luce molto più alte di quelle per cui saturano i bastoncelli. Quindi, se la luce ambientale è scarsa ci serviremo della grande sensibilità dei bastoncelli per vedere mentre se la luce ambientale è elevata i bastoncelli saranno saturati e ci serviremo dei coni.

I coni, possiedono tre pigmenti visivi distribuiti non uniformemente (60% pigmento rosso, 30% verde, 10% blu) che mediano le informazioni sui colori che noi percepiamo [figura 7]. La sensazione di colore è legata ai rapporti delle attività neurali dei fotopigmenti.

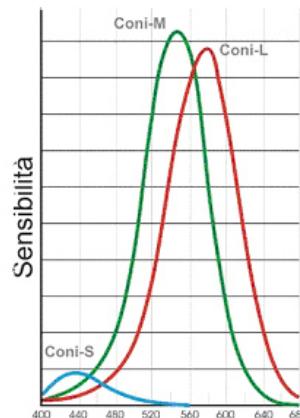


figura 7: curve di sensibilità spettrale

La CIE (Commision Internationale de l'Eclairage, 1924) ha definito rispettivamente due curve normalizzate che rappresentano il fattore di visibilità relativo in funzione della lunghezza d'onda per visione fotopica e scotopica [figura 8].

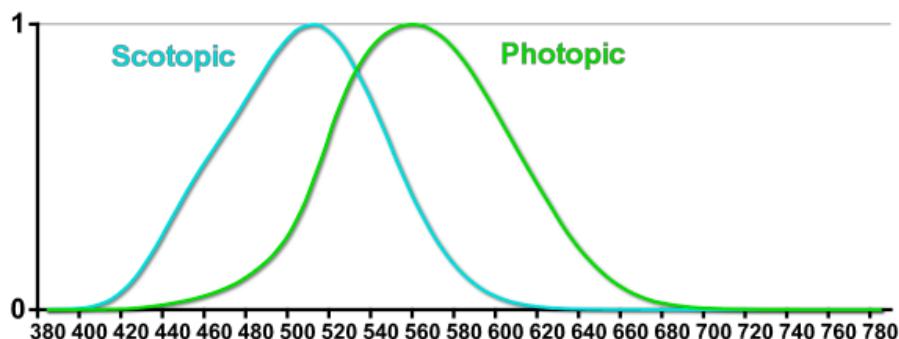


figura 8: curve di luminosità fotopica (verde) e scotopica (blu)

Percezione visiva

La percezione è un processo attivo. L'impressione che ci formiamo del mondo è influenzata dalla frequenza e dal tipo di input che riceviamo. Le sensazioni che proviamo in qualsiasi istante ci inducono a spostare la testa, ad alterare la nostra attenzione, a darci da fare per influire in qualche modo sull'ambiente circostante: tutte queste azioni producono a loro volta nuove sensazioni, di cui ci serviamo per aggiornare la nostra impressione del mondo.

Un esempio molto comune di visione attiva, ma a cui facciamo caso raramente, è il movimento oculare. Di norma non notiamo i punti ciechi perché il nostro sguardo si sposta continuamente, campioniamo continuamente il mondo visivo utilizzando sempre il centro ad alta risoluzione dell'occhio, e il nostro cervello allestisce per noi un'illusione ad alta risoluzione del mondo che è al contempo continua e coerente.

Un campionamento visivo costante significa movimenti oculari continui: si tratta di spostamenti rapidi automatici dello sguardo detti saccadi. Eseguiamo fino a cinque saccadi al secondo, di solito senza rendercene conto, benché ogni saccade causi un'interruzione momentanea nel flusso di informazioni visive al cervello. Una saccade può anche venire innescata da un evento di cui non siamo effettivamente consapevoli, almeno non fino a quando spostiamo lo sguardo, collocando l'avvenimento al centro della nostra attenzione. In questo caso la nostra attenzione è stata catturata involontariamente, e non avevamo altra scelta che eseguire una saccade in quel particolare momento. Ogni pausa nella catena delle saccadi si chiama fissazione. Le fissazioni avvengono molto rapidamente in maniera automatica che risulta difficile credere che in effetti non stiamo fissando nulla, invece, proprio questo accade: guardiamo piccole porzioni di una scena per una frazione di secondo e utilizziamo gli input derivanti per costruirci un'immagine [E. Green, 1963].

Per il cervello è complicato gestire le interferenze visive dovute al movimento oculare. Mentre gli occhi si muovono non si è in grado di vedere.

Esperimento 2: Posizionando il nostro viso a circa 15 cm dallo specchio e spostando lo sguardo da un occhio all'altro abbiamo notato che mentre trasferiamo lo sguardo da occhio a occhio, non siamo in grado di vedere il movimento concreto degli occhi ma soltanto il risultato finale, cioè quando si posano sul nuovo punto focale. Nel caso di una saccade più prolungata potremmo riuscire a percepire consciamente l'effetto. Stendendo le braccia in avanti, in modo tale che gli indici delle due mani stiano alle estremità opposte del vostro campo visivo, e muovendo in questa posizione velocemente gli occhi da un indice all'altro tenendo ferma la testa riusciremo appena a notare l'oscurità momentanea che si crea quando tutti gli input visivi sono interrotti.

Di rilevante importanza è la soppressione saccadica che ha la funzione di evitare che il sistema visivo si confonda, a causa delle immagini sfocate che l'occhio assimila quando si sposta rapidamente in una saccade. L'interruzione ha inizio appena prima che i muscoli si contraggono per muovere gli occhi. Poiché ciò accade prima che una qualsiasi immagine sfocata sia visibile sulla retina qualunque sia la parte del cervello che prepara gli occhi a effettuare una saccade, essa manderà anche il segnale che sopprime la visione [K. V. Thilo, et al. 2004].

Interessante è anche l'illusione dell'orologio fermo, dando un'occhiata all'orologio, la lancetta dei secondi sembra come sospesa, come se rimanesse ferma più lungo del dovuto. In un arco di tempo che sembra lunghissimo abbiamo l'impressione che l'orologio si sia arrestato. Se teniamo d'occhio l'orologio poco dopo si può constatare che la lancetta dei secondi ha ripreso a muoversi. Quando il nostro sguardo si posa su un oggetto sembra che il cervello formuli delle supposizioni su quanto a

lungo l'oggetto è stato nella posizione in cui si trova al momento di venir percepito. Probabilmente ciò avviene per compensare la soppressione della visione che si verifica durante gli spostamenti oculari.

Eseguiamo le saccadi costantemente ma non abbiamo mai impressione che l'intero universo si spenga per 1/10 di secondo ben 100.000 volte al giorno.

Illusioni ottiche

Jocelyn Faubert studiò il movimento nelle immagini [J. Faubert, et al. 1999]. Quando il profilo di luminanza di un'immagine veniva invertito, la direzione del movimento illusorio era invertito anch'esso [figura 9]. Questa illusione di movimento non era ottenuta per figure simili aventi profili di luminanza sinusoidali o onde quadre. Le immagini venivano originariamente presentate in risoluzione CRT, e l'illusione appariva più intensa quando lo sguardo era diretto verso uno schermo adiacente dove veniva presentato del testo (si può sperimentare fin da subito con le immagini riportate qui a fianco). L'illusione sembrava essere collegata al movimento dell'occhio. Per investigare il fenomeno è stato chiesto a delle persone di guardare punti vicini dell'immagine o di chiudere e aprire gli occhi rapidamente.

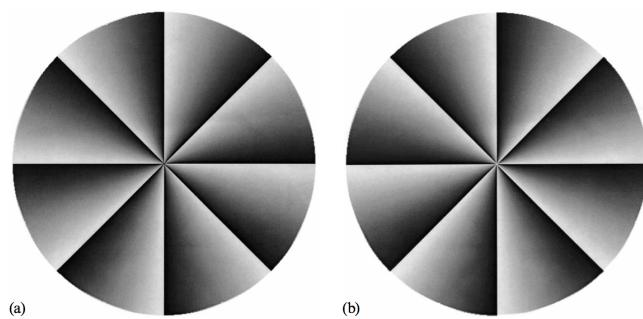


figura 9: illusioni ottiche profili di luminanza invertiti

L'illusione del movimento si verifica soltanto quando le informazioni raggiungono l'occhio per la prima volta dunque è necessario aggiornare la percezione sbattendo le palpebre o spostando rapidamente lo sguardo. L'effetto funziona particolarmente bene se si confrontano due figure accostate perché quando il movimento illusorio nella periferia attira l'attenzione l'occhio oscilla da una parte all'altra. Il gradiente di luminanza determina la direzione del movimento che si percepisce. L'informazione di luminanza viaggia attraverso il sistema visuale su latenze diverse, con le informazioni sui colori chiari che passano attraverso il sistema più velocemente di quelle sui colori scuri. Gli oggetti più luminosi vengono quindi elaborati più velocemente dal sistema visivo

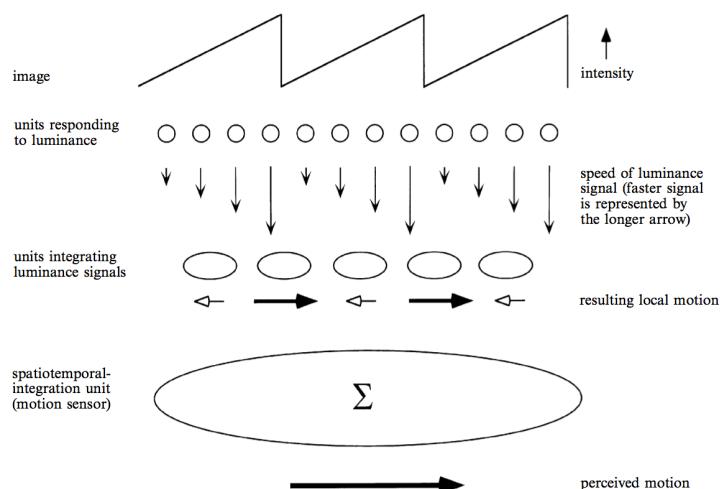


figura 10: risposta gradiente di luminanza

perché provocano una risposta più intensa nei neuroni, perciò nel punto in cui i raggi si incontrano e il bordo bianco combacia con quello nero dell'altro, il margine bianco viene elaborato più rapidamente. La differenza dei tempi di arrivo è interpretata come un movimento ma solo nella visione periferica dove la risoluzione è abbastanza bassa da lasciarsi ingannare.

Nella [figura 10] ci sono tre strati di unità e viene riportata la risposta di ogni strato ad un gradiente di luminanza.

Il primo strato di unità risponde all'informazione di luminanza e a seconda dell'intensità dell'immagine si hanno diversi tempi di trasmissione (alte intensità portano a velocità più elevate, rappresentate con frecce più lunghe).

Come conseguenza c'è una differenza nel tempo di arrivo delle informazioni nelle unità successive. Il secondo strato è composto da unità che rispondono normalmente al movimento dell'immagine. Queste differenze nel tempo di arrivo dell'informazione trasmessa dal primo strato si risolvono in piccoli o larghi segnali di movimento a seconda della locazione dei campi ricettivi delle unità del secondo strato relative all'immagine (in figura le frecce più larghe rappresentano versi più piccoli). In definitiva, si evince quindi che una serie di segnali di movimento vengono prodotti dai cambiamenti di luminanza nell'immagine quando viene processata per la prima volta dal sistema visivo.

Il terzo strato consiste di unità con campi ricettivi ancora più larghi (estesi) che sommano i segnali di movimento generati dal secondo strato che si traducono in una netta percezione di movimento percepita in direzione scuro-chiaro.

Sono richiesti movimenti dell'occhio ripetitivi o lampeggiamenti per mantenere l'illusione del movimento generata da ogni successivo "refresh" dell'immagine.

La "peripheral-drift illusion" non viene prontamente vista con pattern di luminanza sinusoidali o con onde quadre perché le differenze temporali prodotte dagli angoli chiaro-verso-scuro sono simmetriche in tali pattern quindi si eliminerebbero a vicenda.

Nella [figura 11 (a)] sono presenti gli stessi numeri di segmenti che hanno i gradienti di luminanza invertiti in step uguali dal centro del pattern fino al bordo.

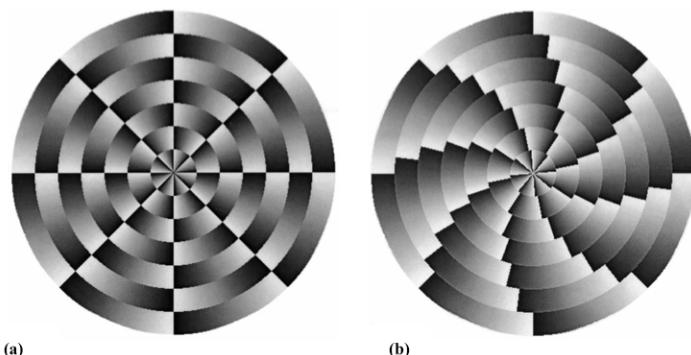


figura 11: illusioni ottiche

In questo caso ipotizziamo che i segnali di luminanza spaziotemporali si annullano a vicenda e quindi non si percepisce movimento.

Altre osservazioni:

- La forma delle regioni non è rilevante.
- L'illusione di movimento viene percepita in una serie di strisce di forma d'onda a dente di sega ma il movimento è più facilmente percepito nei pattern circolari perché il percorso circolare non ha terminazione.

- L'illusione non sembra dipendere dal numero di cicli di luminanza scuro-chiaro nei pattern circolari. Sembra che almeno quattro o cinque cicli siano richiesti, e il limite massimo è imposto dalla risoluzione del sistema visuale per una data eccentricità.
- Il contrasto tra il background e gli stimoli non sembra influenzare l'illusione.
- Il colore non è essenziale per valutare l'effetto

Un simile effetto è chiamato "escalator illusion" ed era stato evidenziato da Fraser and Wilcox (1979).

Altri due nuovi fattori influenzano la forza del movimento illusorio e ne contribuiscono al suo studio[A. Kitaoka, et al. 2003]:

- La percezione periferica del movimento relativa alla [figura 12 (a)] è arricchita da profili di luminanza graduali e lisci. Gli stimoli con questo tipo di profili danno una illusione più debole.
- La percezione periferica del movimento relativa alla [figura 12 (b)] è arricchita da bordi frammentati. Gli stimoli con questo tipo di profili danno una illusione più forte.

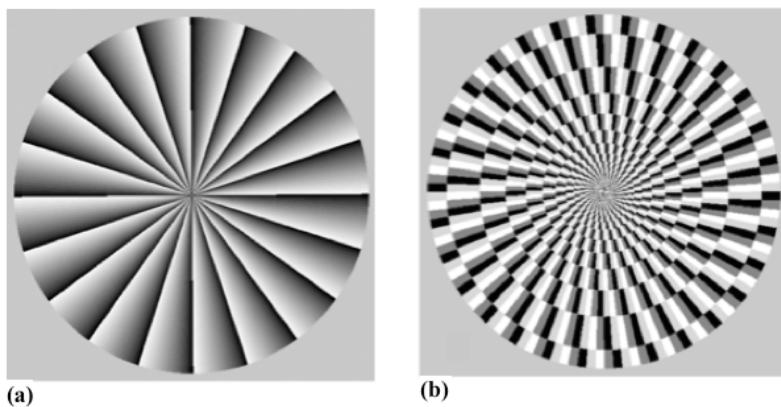


figura 12: illusioni ottiche

L'illusione dei serpenti rotanti

L'illusione dei serpenti rotanti [figura 13] contiene molte parti che si ripetono e non è quindi facile per il sistema visivo agganciarsi a un singolo modulo per costruire un contesto di riferimento. Il chiaroscuro dei dettagli all'interno dei vari moduli crea un moto illusorio che si combina al movimento catturato dalla costante esecuzione delle oscillazioni oculari. L'effetto raggiunge la massima intensità nella visione periferica dove la risoluzione è più sensibile all'indizio di moto illusorio fornito dal chiaroscuro. Gli occhi, attratti dal moto illusorio, oscillano attorno alla figura e questo movimento è visibile ovunque tranne che dalla posizione

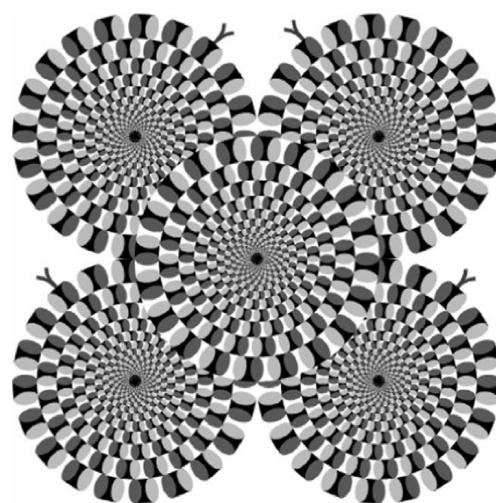


figura 13: illusione ottica dei serpenti rotanti

dell'osservatore. Il movimento costante degli occhi ha come risultato una sorta di aggiornamento, che a sua volta scatena una nuova interpretazione della figura in nuovi movimenti illusori, e impedisce all'osservatore di utilizzare il principio della coerenza di posizione nel tempo per rendersi conto che il moto è illusorio [T. Stafford, et al. 2005].

La durata delle fissazioni può essere messa in relazione con l'entità del fenomeno nell'illusione dei serpenti rotanti [figura 13] [I. Murakami, et al. 2005]:

Quando si guarda liberamente al centro, i quattro dischi esterni sembrano ruotare lentamente, due in senso orario e gli altri due in senso antiorario.

Il movimento percepito nei serpenti rotanti è vigoroso come il movimento reale.

La regola di design è semplice: quattro regioni aventi differenti luminanze in ordine sistematico, 'Nero', 'grigio scuro', 'bianco' e 'grigio chiaro' [A. Kitaoka, et al. 2003].

- Tra le regioni adiacenti esiste un movimento illusorio lento.
- La direzione percepita è nell'ordine sopra descritto, ma non viceversa. Essendo anche questo un pattern circolare, l'illusione è più chiara.
- Fraser e Wilcox [A. Fraser, et al. 1979] hanno notato una grande differenza tra gli individui nella forza percettiva dell'illusione. Faubert e Herbert [J. Faubert, et al. 1999] hanno riferito che l'illusione era più vigorosa dopo un batter d'occhio o una saccade.
- Naor-Raz e Sekuler [Naor-Raz, et al. 2000] hanno trovato che l'illusione è diventata più vigorosa in più osservazioni periferiche, per durate più lunghe, e contrasti di luminanza più elevati e hanno citato anche il possibile coinvolgimento dei movimenti oculari di fissazione involontaria.
- Una figura fisicamente statica per questa illusione di movimento non è affatto statica sulla retina, ma si muove invece sempre in modo casuale insieme con i movimenti oculari di fissazione. L'ampiezza dei movimenti oculari di fissazione è nota per essere sostanzialmente diversa tra i soggetti [I. Murakami, et al. 2005].
- La variabilità inter-soggetto nella forza percettiva come riportato da Fraser e Wilcox potrebbe essere una conseguenza della variabilità dei movimenti oculari.

L'ipotesi è che la forza dell'illusione sia correlata positivamente all'instabilità della fissazione: più lo sguardo oscilla, più oscilla l'immagine retinica di una figura fisicamente statica e questi movimenti sulla retina portano ad impressioni più vigorose del movimento illusorio.

In conclusione si ritiene che il nostro sistema visivo non riesce ad annullare le immagini spurie di movimento generate dai piccoli movimenti oculari e quindi l'illusione dovrebbe essere abolita nell'immagine retinica stabilizzata.

La domanda che ci si dovrebbe porre davanti a tali illusioni è per quale ragione non vediamo muoversi ogni cosa ininterrottamente piuttosto che perché percepiamo a volte il movimento quando in realtà non si muove nulla.

- Gli occhi cambiano continuamente posizione all'interno della testa. La testa si muove sul corpo e il corpo si muove nello spazio. Il cervello deve lavorare per districare, tra i dati visivi sul moto in

entrata, quelli dovuti ai movimenti del soggetto da quelli che dipendono dai movimenti del mondo esterno.

- Un'altra fonte di confusione per il sistema visivo è la costante e casuale oscillazione degli occhi nel processo di messa a fuoco. I muscoli oculari inviano in continuazione brevi segnali correttivi al fine di tenere fermi gli occhi nella stessa posizione, ma questi segnali non sono in grado di immobilizzare completamente gli occhi e danno origine ai cosiddetti movimenti fissativi ma questa è una cosa positiva. Se gli input visivi fossero del tutto costanti ovvero se gli occhi si paralizzassero, i neuroni dell'occhio smetterebbero di reagire.

Per poter comprendere l'illusione dei serpenti rotanti è indispensabile farsi prima un'idea di diversi principi di calcolo della visione e del movimento. Fortunatamente, ogni principio include una dimostrazione pratica.

Uno degli accorgimenti utilizzati dal cervello per limitare la confusione è interrompere gli input visivi in entrata durante i movimenti rapidi dell'occhio. Per eliminare l'effetto mosso causato dai movimenti della testa, invece, viene impiegato un altro meccanismo: i segnali riferiti al moto della testa sono trasmessi agli occhi in modo da creare movimenti oculari opposti che tengano ferma l'immagine percepita.

Esperimento X: Provate a fare il seguente esperimento tenete un libro in una mano e scuotete la testa, riuscite comunque a leggere no? Ora fate oscillare il libro da sinistra a destra, alla stessa velocità con cui muovevate la testa. Ora non riuscirete a percepire una sola parola e questo nonostante il testo vi scorra davanti alla stessa maniera con la stessa velocità di quando scuotevate la testa.

Dell'orecchio interno il riflesso vestibolo oculare inoltra un segnale agli occhi in maniera tale che essi si spostino in direzione opposta e a un ritmo adeguato, per correggere la dislocazione visiva prodotta dal movimento della testa.

Si tratta di un riflesso disciplinato dall'orecchio interno e non di un meccanismo compensativo che dipende da segnali motori inviati affinché la testa inizi ad agitarsi. Se chiedete ad un amico di spostarvi la testa con le mani da sinistra a destra, mentre tenete muscoli del viso completamente rilassati, vedrete che sarete ancora in grado di leggere. L'effetto compensazione non viene influenzato dal fatto che voi sappiate o meno in che direzione muovere la testa.

Un altro effetto sta alla base di diverse testimonianze relative a eventi misteriosi, l'effetto autocinetico.

Esperimento X: Una sigaretta accesa in un portacenere: si consuma lentamente, è piccola, e diffonde una luce così debole da non illuminare nulla nei paraggi. Posizionare il portacenere con la sigaretta in una stanza completamente buia, di modo che l'unica cosa che riuscite a vedere sia la luce, non il tavolo su cui è appoggiato il portacenere o la parete di fronte. Poi mettetevi all'altro capo della stanza e osservate la luce. Vedrete che inizierà a muoversi da sola.

Questo movimento apparente è dovuto all'oscillazione accidentale dei vostri occhi, che il cervello non riesce a compensare perché non possiede alcun testo di riferimento. Lo stesso effetto si ottiene osservando una singola stella attraverso un tubo senza che siano visibili i punti di riferimento delle altre stelle, si può avere l'impressione che la stella sussulti leggermente nel cielo notturno.

L'illusione di Ouchi

Dopo aver affrontato l'illusione dei serpenti rotanti, per comprendere il principio del movimento illusorio riportiamo un'illusione ottica più antica, l'illusione di Ouchi [figura 14].

Il disco centrale con le sbarre orizzontali appare separato dal resto della figura e sembra fluttuare sopra lo sfondo con le barre verticali. Facendo ondeggiare la figura, l'effetto diventa ancora più evidente. I movimenti fissativi realizzati dagli occhi influenzano le posizioni della figura con modalità diverse. La direzione dominante delle barre, orizzontale o verticale, indica che a distinguersi è soltanto una componente dei movimenti accidentali. Per le barre orizzontali di sfondo viene eliminata la componente orizzontale dei movimenti, mentre per il disco in primo piano si annulla la componente verticale. Dato che i movimenti fissativi sono casuali i movimenti orizzontali e verticali sono indipendenti gli uni dagli altri. Ciò significa che le due parti della figura sembreranno muoversi indipendentemente e il sistema visivo dell'osservatore interpreterà il fenomeno come un'indicazione della presenza di due oggetti diversi posizionati uno davanti all'altro.

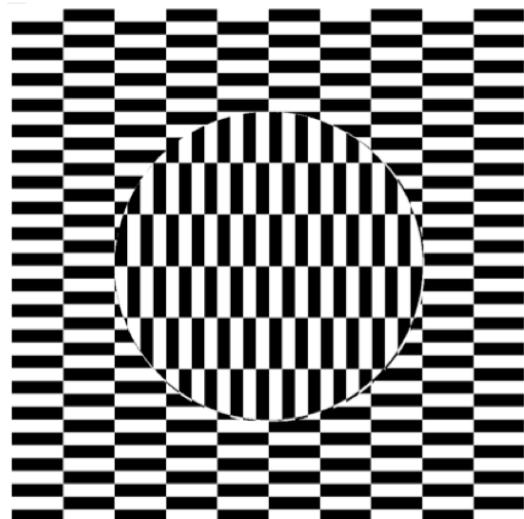


figura 14: illusione ottica di Ouchi

Sperimentazioni

La luminosità (percezione), soprattutto in fotografia, viene interpretata come concetto psicologico correlato alla percezione della luce emessa o riflessa da un oggetto; è il corrispondente percettivo della luminanza.

In modalità di colore RGB, la luminosità può essere definita come media aritmetica μ delle coordinate di R (rosso), G (verde) e B (blu):

$$\text{Luminosità} = \{ (R + G + B) / 3 \}$$

Ogni illusione ottica di movimento è costruita secondo certe regole.

Il software sviluppato in questa sperimentazione "indovina" se un'immagine è statica o in movimento, decidendo secondo uno dei principi fondamentali (esposto sopra) delle illusioni: il gradiente di luminanza.

Un'immagine statica che sembra muoversi ai nostri occhi sfrutta quindi i ritardi con cui il cervello umano percepisce i colori a seconda delle loro intensità. I colori chiari avranno tempi più brevi e viceversa. Le variazioni di questi ritardi "ingannano" il cervello umano dando illusione di movimento.

La "peripheral-drift illusion" non viene prontamente vista in immagini con pattern di luminanza sinusoidali o con onde quadre perché le differenze temporali prodotte dagli angoli chiaro-versoscuro sono simmetriche in tali pattern e quindi si eliminerebbero a vicenda [Illusioni ottiche].

Sono richiesti movimenti dell'occhio ripetitivi o lampeggiamenti (fissazioni) per mantenere l'illusione del movimento generata da ogni successivo "refresh" dell'immagine; nel software è possibile specificare il numero di fissazioni con cui si indaga un'immagine.

La forma delle regioni non è rilevante. L'illusione di movimento viene percepita in una serie di strisce di forma d'onda a dente di sega ma il movimento è più facilmente percepito nei pattern circolari perché il percorso circolare non ha terminazione. Sembra che almeno quattro o cinque cicli siano richiesti, e il limite massimo è imposto dalla risoluzione del sistema visuale per una data eccentricità. Il contrasto tra il background e gli stimoli non sembra influenzare l'illusione. Il colore non è essenziale per valutare l'effetto. Il software prende in input immagini statiche.

Le ipotesi semplificative assunte sono state quella di studiare immagini "png" della stessa grandezza e in bianco e nero, e speculari perché sono quelle su cui si basa il principio di illusione di movimento di nostro interesse.

Viene scelto come punto (pixel) di partenza da esaminare, il centro dell'immagine e ne viene calcolata la luminosità. Per riprodurre il fenomeno delle fissazioni e dare in pasto al percettore immagini che dovrebbero essere disallineate (translate) casualmente, ci si sposta di una distanza calcolata randomicamente e compresa in uno specifico intervallo di valori.

Ogni misurazione di luminosità viene aggiunta ad una struttura dati sulla base della quale viene quindi presentato un istogramma delle luminosità che rappresenta nelle ascisse il numero della fissazione e nelle ordinate l'intensità del colore relativa al punto dell'immagine indagato.

Un'immagine "illusoria" presenta un istogramma che approssima la forma a "dente-di-sega", con variazioni graduali di valori; le immagini non "illusorie" hanno invece un istogramma che approssima onde sinusoidali con variazioni brusche di valori.

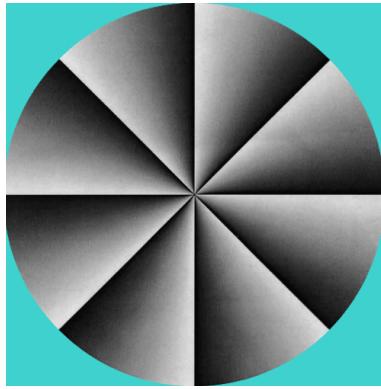
Il software analizza immagini di dimensione "500*500"; ogni fissazione si sposta nell'immagine in un range random di valori che varia tra i 18 e i 25 pixel, lungo qualsiasi direzione ma sempre linearmente come l'occhio umano.

Il numero di fissazioni scelto è stato pari a 1000. Un elevato numero di fissazioni consente di ottenere un istogramma che approssimi al meglio l'andamento dell'immagine ma un valore troppo

alto non influenza il grafico che avrà lo stesso andamento per la costruzione dell'immagine (per l'illusione e non) e per i movimenti sempre lineari, aspetto fondamentale per il significato della curva di energia. Per maggior precisione, l'immagine viene osservata più volte per estrarre anche in caso di ambiguità una stima della probabilità di illusione o di staticità dell'immagine.

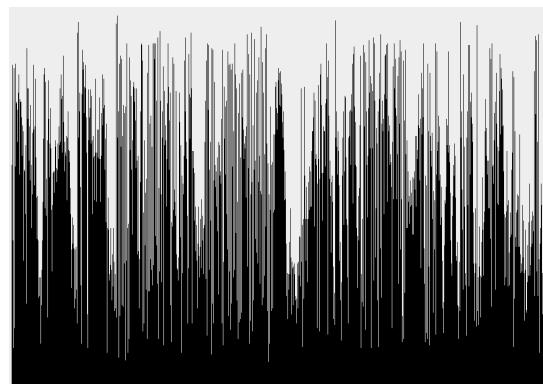
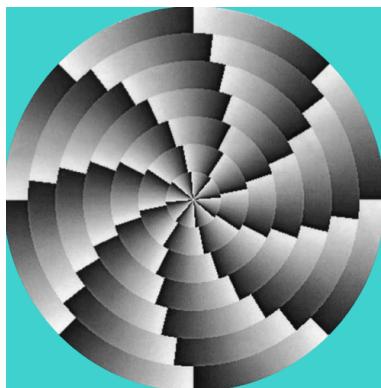
Il software è stato testato su 21 immagini, di cui 10 danno illusione e 10 non ne danno.
Riportiamo di seguito i risultati ottenuti:

Immagine 1 illusione:



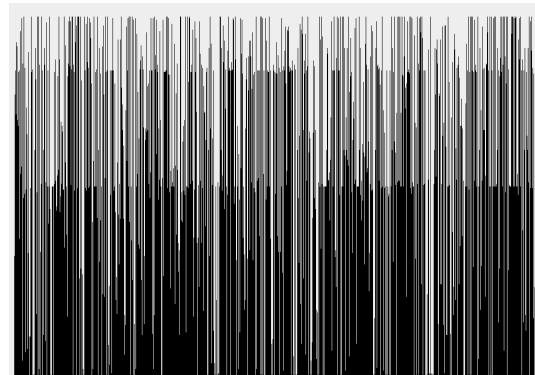
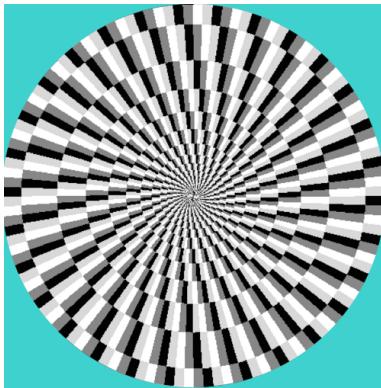
L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%
Su un numero di test totali pari a: 10
L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 2 illusione:



L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%
Su un numero di test totali pari a: 10
L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 3 illusione:

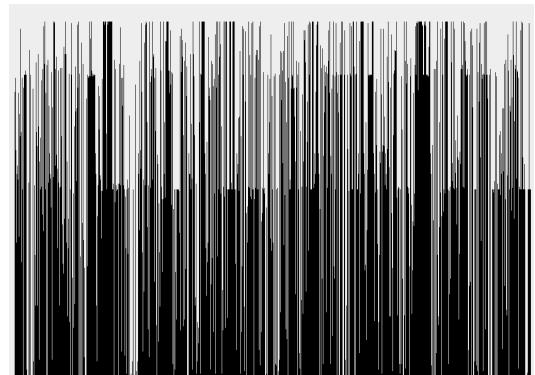
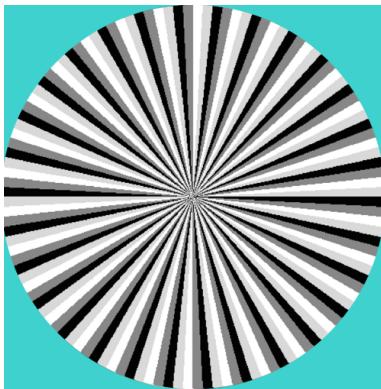


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 3

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 3 volte e statica 0 volte

Immagine 4 illusione:

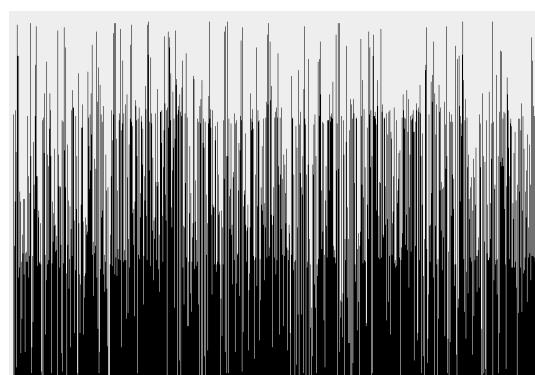
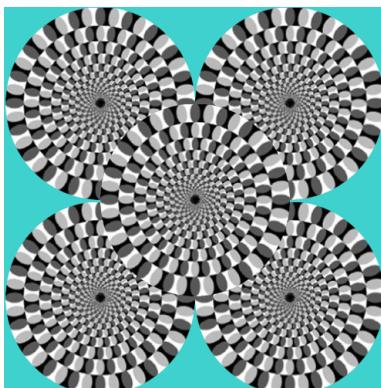


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 5 illusione:

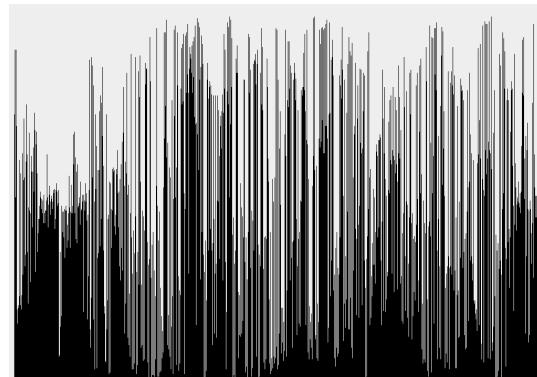
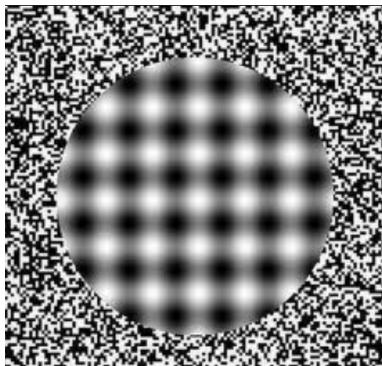


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 6 illusione:

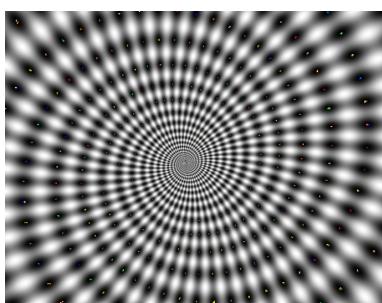


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 7 illusione:

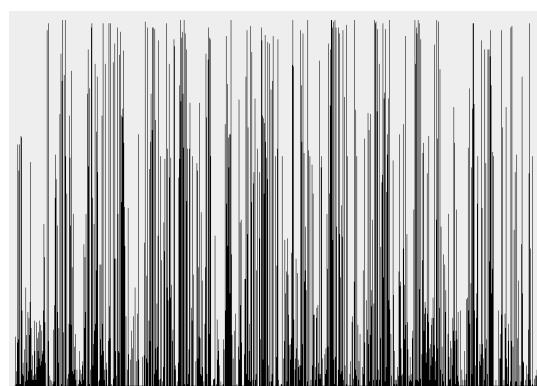
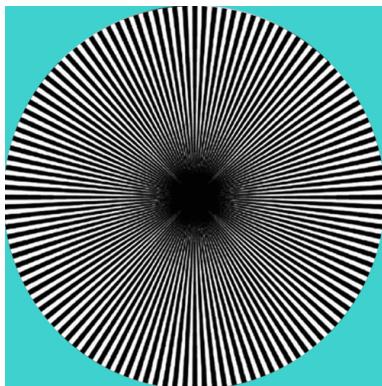


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 8 illusione:

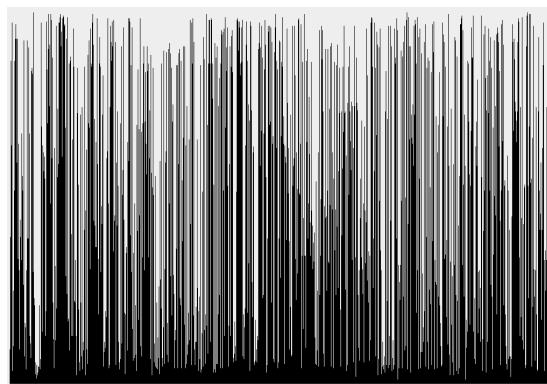
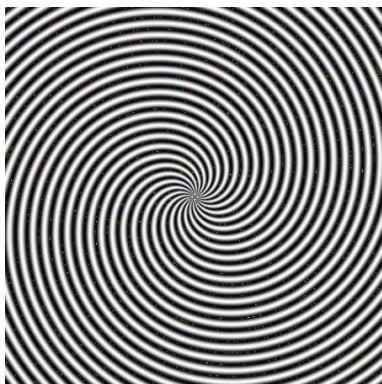


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

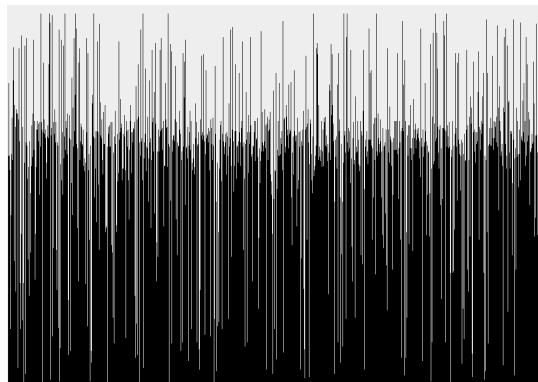
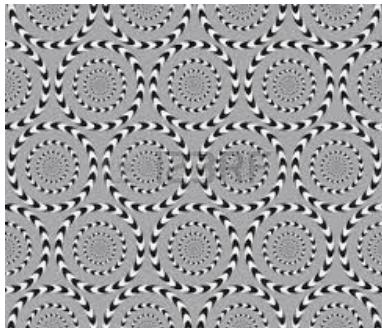
L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 9 illusione:



Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia un illusione ottica!!!

Immagine 10 illusione:

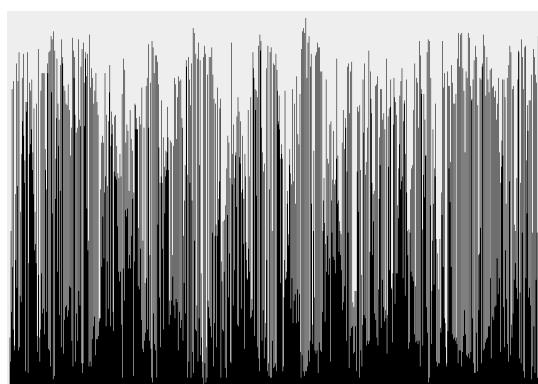
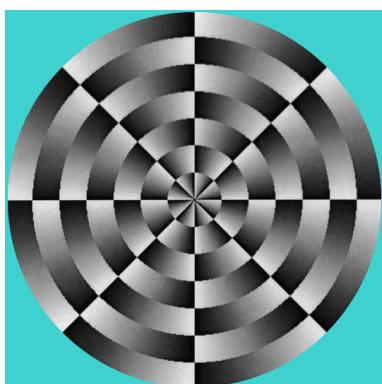


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilita': 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 11 statica:

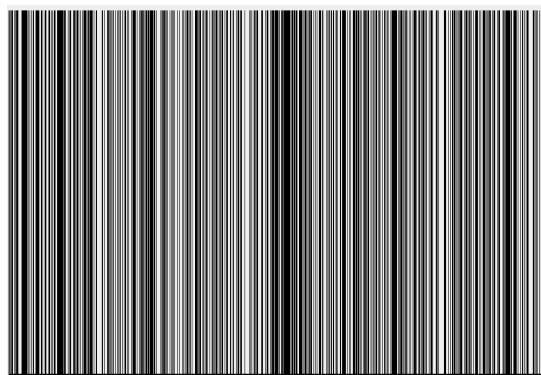
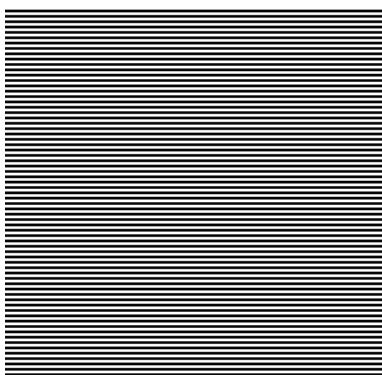


L'immagine e' STATICÀ con percentuale di probabilita': 75.0%

Su un numero di test totali pari a: 4

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 1 volta e statica 3 volte

Immagine 12 statica:

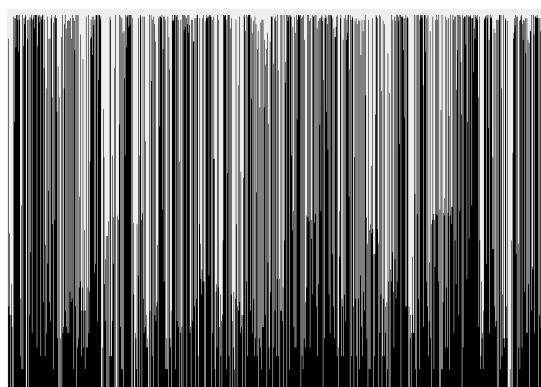


L'immagine e' STATICÀ con percentuale di probabilità: 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 0 volte e statica 10 volte

Immagine 13 statica:

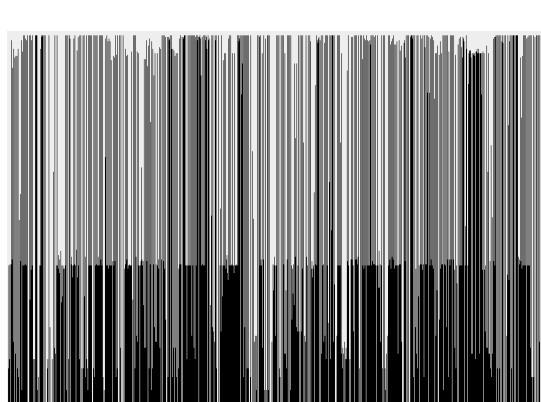
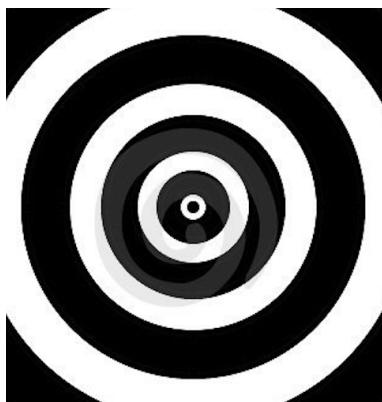


L'immagine e' STATICÀ con percentuale di probabilità: 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 0 volte e statica 10 volte

Immagine 14 statica:

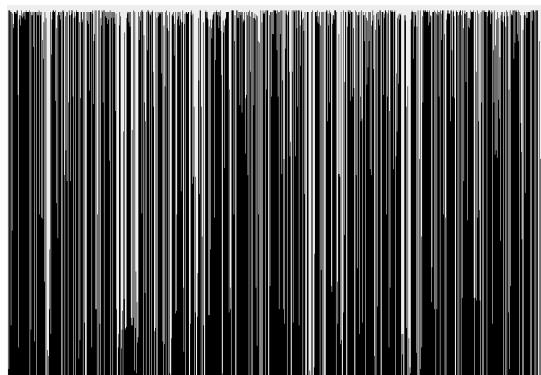
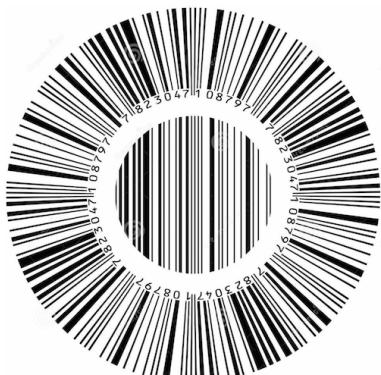


L'immagine e' STATICÀ con percentuale di probabilità: 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 0 volte e statica 10 volte

Immagine 15 statica:



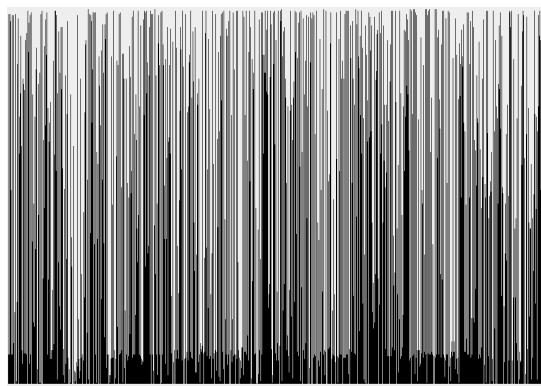
Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia statica!!!

Immagine 16 statica:



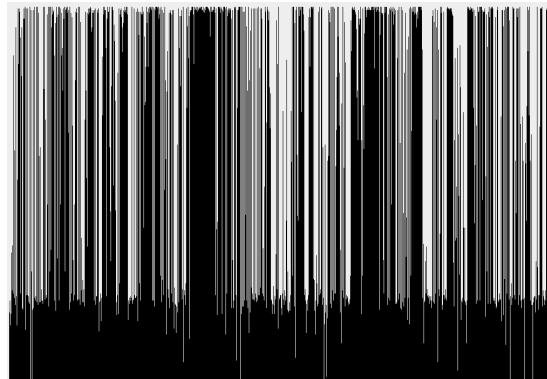
Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia statica!!!

Immagine 17 statica:



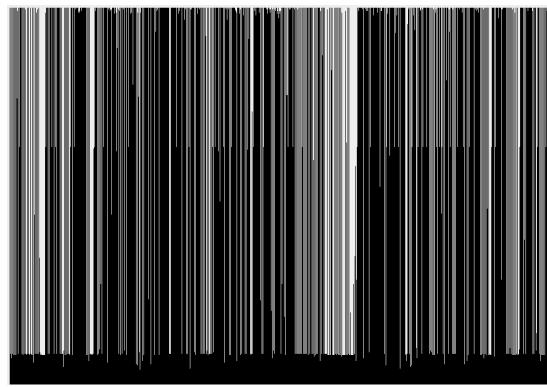
Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia statica!!!

Immagine 18 statica:



Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia statica!!!

Immagine 19 statica:

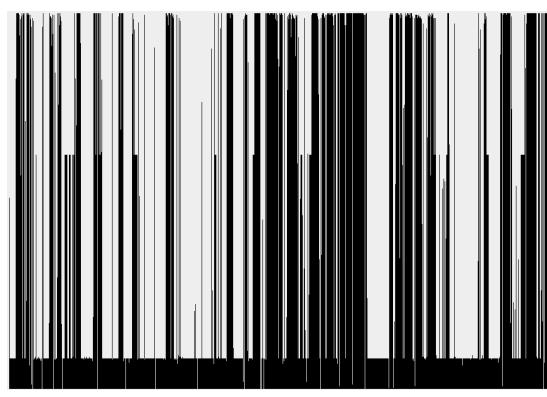


L'immagine e' STATICÀ con percentuale di probabilità: 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 1

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 0 volte e statica 1 volta

Immagine 20 statica (500px*500px):

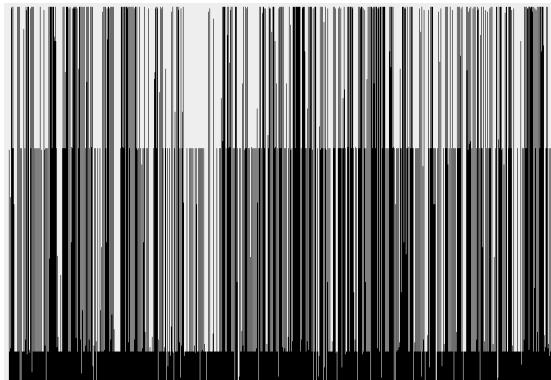


L'immagine e' un'ILLUSIONE OTTICA con percentuale di probabilità: 100.0%

Su un numero di test totali pari a: 10

L'immagine e' stata rilevata come in movimento 10 volte e statica 0 volte

Immagine 21 statica (80px*80px):



Ho osservato l'immagine più volte! L'immagine è probabile che sia statica!!! ma non ne ho la certezza..

Avendo impostato lo spostamento di fissazione tra i 18 e i 25 pixel, quest'ultimo si adatta alla figura 21. Essendo statica per lo studio affrontato le fissazioni dovrebbero spostarsi dal bianco al nero frequentemente ma con piccoli spostamenti, non adatti all'immagine 20, in cui molte fissazioni avvengono o nel bianco o nel nero.

Sviluppi futuri

Il programma dovrebbe in modo intelligente scegliere la grandezza della fissazione e quindi dello spostamento sull'immagine in base a:

- grandezza immagini
- distanza media tra il valore più scuro ed il valore più chiaro

Elenco figure:

figura 1: processo con cigli di feedback	3
figura 2: l'occhio	3
figura 3: la retina	4
figura 4: tabella di Anstis	4
figura 5: distribuzione delle cellule fotosensibili sulla superficie della retina	5
figura 6: bande di assorbimento	6
figura 7: curve di sensibilità spettrale	6
figura 8: curve di luminosità fotopica (verde) e scotopica (blu)	6
figura 9: illusioni ottiche profili di luminanza invertiti	8
figura 10: risposta gradiente di luminanza	8
figura 11: illusioni ottiche	9
figura 12: illusioni ottiche	10
figura 13: illusione ottica dei serpenti rotanti	10
figura 14: l'illusione di Ouchi	13

Riferimenti:

[Troncoso, et al. 2008] Troncoso, Macknik, Otero-Millan, Martinez-Conde: **Microsaccades drive illusory motion in the Enigma illusion**, 2008

[T. Stafford, et al. 2005] T. Stafford, M. Webb: **Mente locale. 100 esperimenti semplici e sorprendenti per capire la nostra intelligenza e come utilizzarla al meglio**, 2005

[E. Green, 1963] E. Green: **Visual perception of movement**, 1963

[K. V. Thilo, et al. 2004] K. V. Thilo, L. Santoro, V. Walsh, C. Blakemore: **The site of saccadic suppression**. **Nature Neuroscience**, 2004.

[J. Faubert, et al. 1999] J. Faubert, A. M Herbert: **The peripheral drift illusion: A motion illusion in the visual periphery**, 1999

[A. Kitaoka, et al. 2003] A. Kitaoka, H. Ashida: **Phenomenal Characteristics of the Peripheral Drift Illusion**, 2003

[I. Murakami, et al. 2005] I. Murakami, A. Kitaoka, H. Ashida: **A positive correlation between fixation instability and the strength of illusory motion in a static display**, 2005

[A. Fraser, et al. 1979] A. Fraser, K. J. Wilcox: **Perception of illusory movement**, 1979

[Naor-Raz, et al. 2000] Naor-Raz, R. Sekuler: **Perceptual dimorphism in visual motion from stationary patterns**, 2000