

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di laurea in Scienze Psicologiche Cognitive e
Psicobiologiche**

Elaborato finale

Priming di Movimento Reale e Illusorio

Priming of Real and Illusory Motion

Relatore:

Prof. Gianluca Campana

Laureando:

Filippo Merlo

Matricola:

1191418

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1	Il Priming	3
1.1	Come troviamo quello di cui siamo in cerca?	3
1.2	Il <i>Priming</i>	6
2	La percezione del movimento	16
2.1	Basi neurali dell'elaborazione del movimento	16
2.2	Priming di movimento	18
3	Priming di movimento reale e illusorio	20
3.1	Introduzione	20
3.2	Esperimento	21
3.3	Metodo	23
3.4	Risultati	28
3.5	Discussione	31

Capitolo 1

Il Priming

1.1 Come troviamo quello di cui siamo in cerca?

La domanda che fa da titolo a questa sezione è la stessa a cui Jeremy M. Wolfe e Todd S. Horowitz (Wolfe & Horowitz, 2017) hanno cercato di rispondere descrivendo i cinque fattori che aiutano la nostra attenzione fornendogli una guida in mezzo all'enorme numero di oggetti che in ogni momento si affollano all'interno al nostro campo visivo. Il nostro sguardo e la nostra attenzione sono costantemente puntati su qualche aspetto della scena visiva che ci si apre di fronte, allo stesso tempo le altre parti del mondo visibile attorno a noi sono ignorate quasi completamente. La necessità di concentrare la nostra attenzione visiva deriva dall'impossibilità di elaborare in modo esaustivo tutto ciò che è presente nella scena visiva contemporaneamente. Identificare degli oggetti specifici tra gli altri e cogliere le loro relazioni reciproche è un processo che richiede attenzione e questa necessità genera un problema. Se il riconoscimento di oggetti richiede attenzione, e se il numero di oggetti normalmente presenti nel campo visivo è enorme, come facciamo a dirigere la nostra attenzione verso un oggetto significativo per noi in quel momento in un tempo ragionevole? L'attenzione può elaborare oggetti ad un ritmo di circa 20-50 elementi al secondo. Se per esempio ci trovassimo alla ricerca di un segnale stradale in un ambiente urbano che per ipotesi contenesse solo 1.000 oggetti (ogni finestra, pneumatico, maniglia della porta, pezzo di spazzatura, e così via), ci vorrebbero circa 20-50 secondi solo per trovare quel segno. Ciò che normalmente accade invece è che siamo in grado di trovare quello che cerchiamo in una frazione di questo tempo. La ricerca visiva non viene sopraffatta dalla moltitudine di oggetti nel mondo circostante perché viene guidata da alcuni tipi di informazione verso un piccolo numero di oggetti rispetto a quelli presenti. Wolfe e Horowitz (2017) identificano cinque forme di guida che orientano l'attenzione visiva nella sua ricerca:

- Guida dal basso verso l'alto (*bottom-up*), ricerca visiva guidata dagli stimoli nella

quale le proprietà visive o alcuni aspetti della scena attraggono maggiormente l'attenzione rispetto ad altri.

- Guida dall'alto verso il basso (*top-down*) ricerca visiva guidata dal soggetto nella quale l'attenzione è diretta verso un oggetto che presenta delle caratteristiche che noi sappiamo essere presenti nell'obbiettivo della nostra ricerca. Questo permetterebbe di dirigere l'attenzione verso più caratteristiche appartenenti al bersaglio contemporaneamente.
- Orientamento dato dalla scena (*scene guidance*) nel quale alcune caratteristiche della scena visiva come il significato della scena osservata (*semantic guidance*) o i vincoli fisici presenti (*sintactic guidance*) guidano l'attenzione verso aree dove è maggiormente probabile che l'oggetto bersaglio sia presente.
- Guida basata sul valore percepito (in termini di ricompensa) di un elemento o di qualche caratteristica.
- Guida basata sulla precedente esperienza delle ricerche già effettuate.

I tipi di guida su cui ci focalizzeremo sono la guida dal basso verso l'alto (*bottom-up*) che coinvolge caratteristiche come il movimento e, come vedremo, anche il movimento illusorio e la modulazione della ricerca visiva derivante dall'esperienza precedente, di cui il nostro maggior argomento, il *priming of pop-out*, è un esempio.

Guida dal basso verso l'alto – *Bottom-up*. L'attenzione è attratta dagli elementi che differiscono da ciò che li circonda, questo accade se tali differenze sono abbastanza grandi e se si verificano in una tra quelle specifiche caratteristiche che sono in grado di guidare l'attenzione.

Nella Figura 1.1 è rappresentata una schermata tipica di un compito di ricerca visiva nella quale sono illustrati i principi di base della guida dal basso verso l'alto. Nella figura sono tre gli elementi che risaltano (*pop-out*): l'elemento viola a sinistra che differisce dagli elementi limitrofi nel colore, l'elemento blu in alto a destra che risulta saliente grazie alla differenza di orientazione e l'elemento quadrato in alto a sinistra che si distingue per la presenza della caratteristica della chiusura. Caratteristiche come il colore, l'orientazione, il movimento e la dimensione sono denominate *basic* o *guiding features* in quanto sono in grado di guidare il direzionamento dell'attenzione. Nella Figura 1.1 lo stimolo a forma di + in basso a destra non risulta saliente, questo perché pur essendo differente dai distrattori non possiede nessuna caratteristica capace di dirigere l'attenzione.

Il fenomeno del *pop-out*, cioè l'immediata salienza di un elemento rispetto al resto della scena visiva, è dovuto ad un direzionamento dell'attenzione estremamente efficace che

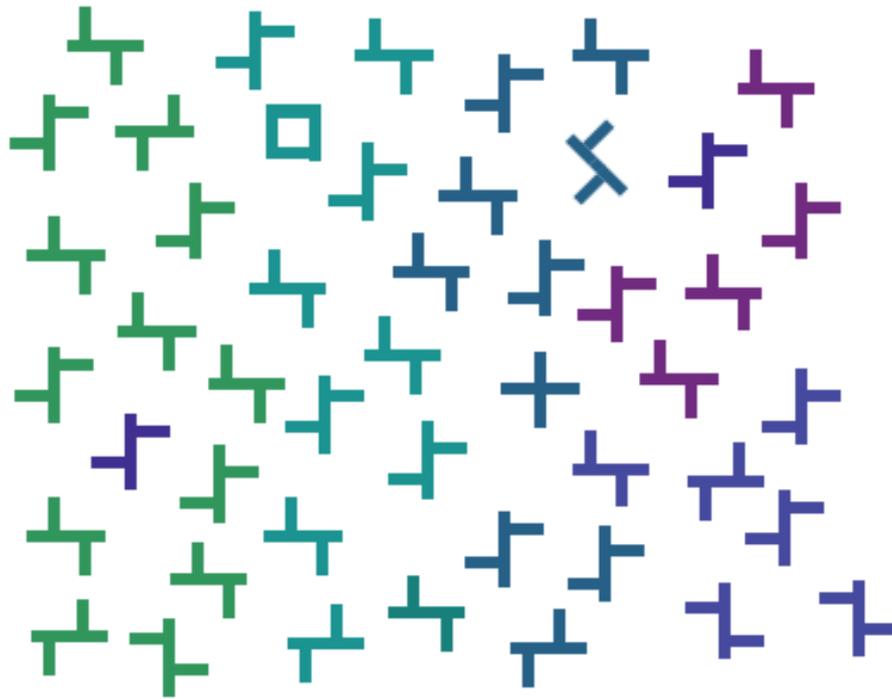


Figura 1.1: La figura rappresenta una tipica schermata di un compito di ricerca visiva. Gli stimoli che risultano salienti (*pop-out*) sono lo stimolo blu in basso a sinistra, lo stimolo ruotato in alto a destra e lo stimolo chiuso in alto a sinistra. Lo stimolo a forma di + in basso a destra invece non risalta rispetto agli elementi circostanti. Figura adattata da Wolfe & Horowitz, 2017.

presenta un tempo di reazione vicino allo zero. La guida dell'attenzione dal basso verso l'alto ha due regole fondamentali (Duncan & Humphreys, 1989): la salienza di un elemento aumenta con l'aumentare della differenza tra questo e i distrattori (*target-distractor heterogeneity*) e con l'omogeneità dei distrattori (*distractor-distractor homogeneity*). La guida dal basso verso l'alto comunque è solo uno dei fattori che guidano l'attenzione. Da sola predice solo in parte il direzionamento dell'attenzione e non lo predice chiaramente nei casi in cui il soggetto ha un obiettivo. Per esempio se vogliamo trovare il nostro gatto nella stanza sarebbe controproducente se la nostra attenzione venisse diretta in primis verso tutti gli oggetti colorati visibili.

Il movimento ed il movimento illusorio sono considerati delle *guiding features* (Wolfe & Horowitz, 2017, Thornton & Zdravković, 2019).

Modulazione della guida dell'attenzione derivante dall'esperienza. Un vasto numero di evidenze dimostrano che le esperienze passate del soggetto influenzano il modo in cui successivamente guidiamo la nostra attenzione. Un chiaro esempio di ciò è come la presentazione ripetuta di una caratteristica o della posizione di un oggetto in un compito di ricerca visiva provochi una facilitazione nella seguente detezione o identificazione di quell'oggetto, un fenomeno conosciuto come *priming*. Di seguito cercheremo di trattare

questo fenomeno in modo approfondito.

1.2 Il *Priming*

Il *priming* può essere descritto come uno stato di attivazione alterato di una particolare rappresentazione o associazione in memoria. Può essere inteso anche come una procedura sperimentale nella quale uno stimolo è usato per sensibilizzare il soggetto ad una seguente presentazione dello stesso stimolo o di uno simile. Nel contesto degli esperimenti sulla ricerca visiva il *priming* percettivo (*perceptual priming*) è l'effetto di facilitazione della prestazione di ricerca, in termini di tempi di risposta e accuratezza, di un determinato oggetto o caratteristica che deriva dalla ripetuta presentazione di tale oggetto o caratteristica. Questo fenomeno indica che possediamo un sistema di memoria implicita (*implicit memory system*) che influenza il modo in cui guidiamo la nostra attenzione visiva, in base a ciò di cui abbiamo avuto esperienza (Maljkovic & Nakayama, 1994, Kristjánsson & Campana, 2010).

I primi studi. Una trattazione del *priming* nei compiti di ricerca visiva non può trascurare quelli che sono stati gli studi pionieristici in questo campo, quelli condotti da Maljkovic e Nakayama (1994, 1996) che oltre a delineare delle caratteristiche base del *priming* nel contesto della ricerca visiva offrono anche un esempio paradigmatico per lo studio di questo fenomeno.

In un tipico compito di ricerca visiva il compito del soggetto è quello di rilevare la presenza di un elemento bersaglio posizionato tra un certo numero di distrattori. In questo tipo di compito sono stati osservati due effetti:

- la ricerca seriale (*serial search*) che indica la situazione in cui l'aumento del numero dei distrattori aumenta il tempo necessario per trovare il bersaglio. Tale situazione è descritta da una funzione dei tempi di reazione positivamente correlata al numero dei distrattori;
- la ricerca in parallelo (*parallel search*) che descrive la situazione in cui il bersaglio è identificato nello stesso tempo indipendentemente al numero di distrattori. In questa situazione si verifica il *pop-out* del bersaglio e l'attenzione è attirata automaticamente su di esso. Tale situazione è descritta da una funzione dei tempi di reazione piatta non correlata al numero dei distrattori.

Bravo e Nakayama (1992) hanno modificato tale paradigma richiedendo al soggetto di rispondere alla forma del bersaglio e non più semplicemente alla sua presenza o assenza.

Per rispondere alla forma e non alla presenza il soggetto è costretto a spostare il focus spaziale dell'attenzione sul bersaglio. Grazie a questa modifica quindi è possibile esaminare le caratteristiche del focus attentivo nel *pop-out*. Il compito consisteva quindi nel rispondere alla forma del bersaglio che veniva designato da una colorazione diversa rispetto ai distrattori. Il bersaglio e i distrattori erano degli elementi a forma di diamante che potevano assumere le colorazioni verde o rosso e ogni elemento aveva uno dei due angoli laterali tagliato, il soggetto doveva rispondere indicando in che lato c'era il taglio dell'elemento bersaglio. Il disegno di questo paradigma permette inoltre di distinguere l'effetto del colore da quello della caratteristica che definisce la risposta, la forma. Un compito di questo tipo, dove la dimensione che designa il bersaglio differisce da quella che definisce la risposta, è chiamato compito composto (*compound task*) (Duncan, 1985). Per indagare gli effetti della guida dall'alto verso il basso *top-down* e dal basso verso l'alto *bottom-up* c'erano due condizioni, una "fissa" nella quale il colore del bersaglio era noto al soggetto e rimaneva costante e una "mista" in cui il colore del bersaglio e quello dei distrattori potevano invertirsi ad ogni prova successiva in modo casuale.

Utilizzando questo paradigma e apportando cambiamenti minimi Maljkovic e Nakayama (1994, 1996) hanno trovato che la ricerca del bersaglio era più veloce di decine di millisecondi quando il colore che definiva il bersaglio era ripetuto tra una prova e l'altra. Con questo risultato dimostrarono che anche in compiti in cui la ricerca è facile e priva di sforzo come i compiti in cui è presente il *pop-out*, il *priming* percettivo può influenzare la prestazione rendendo più veloce la ricerca. Dimostrarono anche che il *priming* per caratteristiche come il colore, la frequenza spaziale e la posizione è dovuto a un meccanismo di memoria a breve termine implicita (*implicit short-term memory mechanism*) e non alle aspettative rispetto agli stimoli. Con la replica dell'esperimento di Bravo e Nakayama (1992), Maljkovic e Nakayama (1994) verificarono la presenza di una differenza significativa nei tempi di risposta tra la condizione "fissa" in cui il colore del bersaglio rimaneva costante e quella "mista" in cui il colore del bersaglio e quello dei distrattori potevano invertirsi tra una prova e quella successiva con una probabilità di 0.5. Nello specifico i tempi di risposta della condizione "fissa" erano più brevi rispetto alla condizione "mista" di circa 100ms. Questo risultato poteva essere interpretato secondo due diverse ipotesi. La prima ipotesi era che il miglioramento della condizione "fissa" fosse dovuto alle aspettative del soggetto rispetto al colore del bersaglio che rimanendo costante permetteva al soggetto di prevederlo rendendo più efficiente la sua elaborazione. La seconda ipotesi era che il miglioramento fosse dovuto ad un meccanismo di *priming* del colore del bersaglio, da parte della memoria a breve termine, che in seguito alla sua ripetuta presentazione nelle prove ne migliora l'elaborazione.

Per verificare l'influenza dell'aspettativa sulla prestazione in questo compito, in un

esperimento successivo hanno manipolato la probabilità del cambio di colore che definiva il bersaglio tra una prova e la seguente. L'esperimento prevedeva cinque condizioni caratterizzate da diverse probabilità di cambio del colore del bersaglio: 0 (la condizione "fissa"), 0.5 (la condizione "mista"), 0.7, 0.9 e 1.0 (in cui il colore del bersaglio cambiava ad ogni prova). Il numero di distrattori rimaneva sempre fisso a due. Se la migliore prestazione fosse stata da attribuire alle aspettative del soggetto, le condizioni in cui vi era maggiore prevedibilità del bersaglio (0 e 1.0) avrebbero dovuto avere tempi di risposta più rapidi, mentre quella con minore prevedibilità (0.5) avrebbe dovuto presentare i tempi di risposta maggiori. La funzione dei tempi di risposta nelle diverse condizioni avrebbe dovuto avere una forma a U rovesciata, con un picco sulla condizione di probabilità 0.5. Contrariamente se il miglioramento fosse da attribuire al meccanismo di *priming* della memoria a breve termine i tempi di risposta minori avrebbero dovuto essere associati alle condizioni con minore probabilità di cambio del colore (0 e 0.5) in quanto erano quelle con il maggior numero di prove consecutive con il bersaglio dello stesso colore. La funzione dei tempi di risposta in questo caso sarebbe dovuta essere monotona crescente perché con l'aumentare della probabilità di cambio del colore diminuiscono le prove consecutive con lo stesso colore. Come si può vedere nella Figura 1.2 i risultati ottenuti supportano l'ipotesi che vede il miglioramento della prestazione come effetto del *priming* del colore.

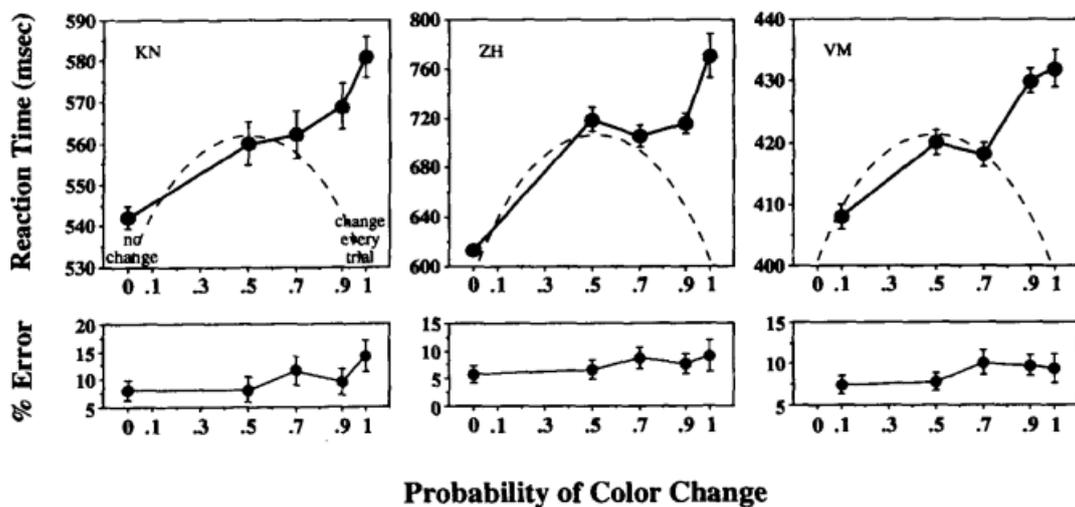


Figura 1.2: Nella figura sono rappresentati i tempi di risposta e il numero di errori in funzione delle probabilità di cambio del colore del bersaglio e dei distrattori dell'esperimento di Maljkovic e Nakayama (1994), per i tre soggetti testati. La linea tratteggiata rappresenta la previsione fatta sulla base dell'ipotesi che vedeva l'aspettativa del soggetto come elemento cruciale. La linea nera crescente invece rappresenta i risultati effettivamente ottenuti, che supportano l'ipotesi del miglioramento per opera del *priming* del colore. Figura adattata da Maljkovic & Nakayama, 1994.

La diminuzione dei tempi di risposta non è dovuta quindi all'aspettativa del soggetto rispetto al colore del bersaglio. Il miglioramento è attribuito all'effetto di *priming* sulle

serie di prove consecutive in cui il bersaglio mantiene lo stesso colore, condizione che si verificava quando la probabilità del cambio di colore era più bassa. Trovano quindi che i tempi di risposta variano dipendentemente dal colore del bersaglio (uguale o diverso) comparso nella prova precedente, indipendentemente dalla probabilità di cambio di colore tra una prova e la successiva.

Maljkovic e Nakayama (1994, 1996) hanno trovato anche che l'effetto *priming* di ripetizione dello stimolo non è limitato alla prova successiva ma che continua ad influenzare la prestazione di almeno a sette prove consecutive. In ultimo trovarono che gli effetti del *priming* sono cumulativi, maggiore è il numero di ripetizioni della stessa caratteristica maggiore diventa il miglioramento nella prestazione, con i tempi di risposta (TR) descritti da una funzione esponenziale negativa.

Queste scoperte mostrano come la selezione di uno stimolo nei compiti di ricerca visiva sia basata non solo sullo stimolo presente nel contesto attuale, ma anche sulle influenze implicite derivanti dalle prove precedenti. Quello che abbiamo visto recentemente modifica il modo con cui successivamente guidiamo la nostra attenzione visiva.

Dissociazione dalla memoria dichiarativa o esplicita. Il *priming* è normalmente considerato un esempio di memoria implicita in quanto può essere dissociato dalla memoria dichiarativa o esplicita. Warrington e Weiskrantz (1968) testarono dei pazienti amnesici che avevano perso la capacità di recuperare gli eventi che accadevano loro durante il giorno e che avevano un' amnesia retrograda che si estendeva da 10 a 30 anni a seconda del caso. Cinque su sei di questi soggetti avevano sviluppato l' amnesia in seguito a sindrome di Korsakoff, il sesto soggetto l' aveva sviluppata in seguito ad una lobectomia temporale destra. Testarono questi pazienti con un compito di riconoscimento di un set di immagini frammentate di figure e di parole per tre giorni consecutivi, monitorando il numero di errori commessi. Il set di 10 immagini frammentate veniva presentato sempre nello stesso ordine ogni giorno. I soggetti amnesici, seppur più lentamente dei soggetti di controllo, mostravano un miglioramento della prestazione di riconoscimento, ottenendo punteggi migliori il secondo e terzo giorno rispetto al primo. I soggetti sono stati testati nello stesso tipo di compito ma con un set di immagini frammentate differente e in questo caso hanno mostrato una prestazione equiparabile a quella del primo giorno. I soggetti amnesici quindi hanno migliorato la loro prestazione nel riconoscimento di immagini frammentate ripetendo lo stesso compito con le stesse immagini più volte, pur non mantenendo il ricordo di aver svolto tale compito.

Nello studio di Gabrieli et al. (1995) il paziente M.S., a cui era stato rimossa gran parte del lobo occipitale destro a causa del trattamento chirurgico dell' epilessia, dimostra una dissociazione opposta a quella osservata da Warrington e Weiskrantz (1968). Il paziente

M.S. mostra una prestazione intatta in un test di memoria esplicita di riconoscimento e richiamo, e in un test implicito di memoria concettuale, ma mostra un deficit in un compito implicito di memoria percettiva. Nel compito di identificazione percettiva (*perceptual identification*) di parole il paziente M.S. non mostra nessun *priming* percettivo, non dimostrando nessun miglioramento della prestazione in seguito all'esposizione ripetuta durante la fase di studio agli stimoli da identificare nella fase di test. Mantenendo intatta la memoria dichiarativa o esplicita e la componente concettuale della memoria implicita per le parole (*implicit memory for words*) il paziente dimostra di possedere un deficit specifico di memoria implicita percettiva, demarcato dall'assenza di *priming* percettivo.

Insieme questi due studi mostrano come il *priming* possa essere dissociato dalla memoria esplicita.

Su cosa agisce il priming? Ci sono diverse possibili spiegazioni rispetto al come la ripetizione di un oggetto o di una caratteristica possa influenzare la prestazione in un compito di ricerca visiva. Il *priming* potrebbe riflettere la facilitazione dell'elaborazione percettiva dell'oggetto o della caratteristica precedentemente esperiti. La facilitazione percettiva potrebbe essere relativa anche all'intera scena visiva e a seguenti scene che condividano con la prima qualche similarità, in questo caso si parla di *contextual-cueing* (Chun M. M. & Jiang Y., 1998, Chun M. M., 2000). Un'altra possibilità è che potrebbe influenzare il modo in cui l'attenzione viene diretta o guidata all'interno del campo visivo, rendendo maggiormente probabile o veloce il suo spostamento verso quelle caratteristiche presenti nell'oggetto d'interesse visto in precedenza (Sigurdardottir, Kristjánsson & Driver, 2008, Becker, 2008). Una terza ipotesi è che il *priming* influenzi semplicemente la selezione della risposta comportamentale del soggetto. I partecipanti potrebbero aumentare la loro velocità di risposta alla ripetuta presentazione di un oggetto o di una caratteristica.

I risultati dello studio di Sigurdardottir et al. (Sigurdardottir, Kristjánsson & Driver, 2008) hanno indicato che il *priming* influenza lo spostamento dell'attenzione piuttosto che migliorare direttamente l'acuità visiva, ossia la prestazione di elaborazione percettiva degli stimoli. I soggetti nello studio dovevano cercare tra dei distrattori un bersaglio caratterizzato da una colorazione diversa. Tale bersaglio presentava anche un foro al suo interno. Il compito non era rispondere alla presenza o all'assenza del bersaglio ma di giudicare se il foro all'interno del bersaglio fosse posizionato sulla sua destra o sulla sua sinistra. Il foro veniva disposto a 0.05°, 0.1°, 0.15° o 0.2° a destra o a sinistra del centro del bersaglio. Rispetto a questo giudizio venivano calcolati i tempi di reazione, la percentuale delle risposte corrette e l'indice di sensibilità d' (*d-prime*) ($d' = (\sqrt{2})z([p])$ dove p è la percentuale delle prove corrette) e questi valori venivano messi in funzione con il numero di ripetizioni consecutive dello stesso tipo di prova, in cui il bersaglio aveva lo stesso

colore. Nella Figura 1.3 sono mostrati i risultati di questo studio.

La prestazione dei soggetti in termine di percentuale di risposte corrette è incrementata significativamente quando il colore del bersaglio è stato ripetuto (figura 1.3, a). Anche i tempi di risposta si sono ridotti con la ripetizione dello stesso tipo di bersaglio nella ricerca visiva. Il d' si accresce sistematicamente con la ripetizione indicando chiaramente un aumento della sensibilità dei soggetti. La Figura 1.3 (b) mostra il punteggio d' in funzione del numero di ripetizioni della prova per ogni possibile misura del foro dal centro del bersaglio.

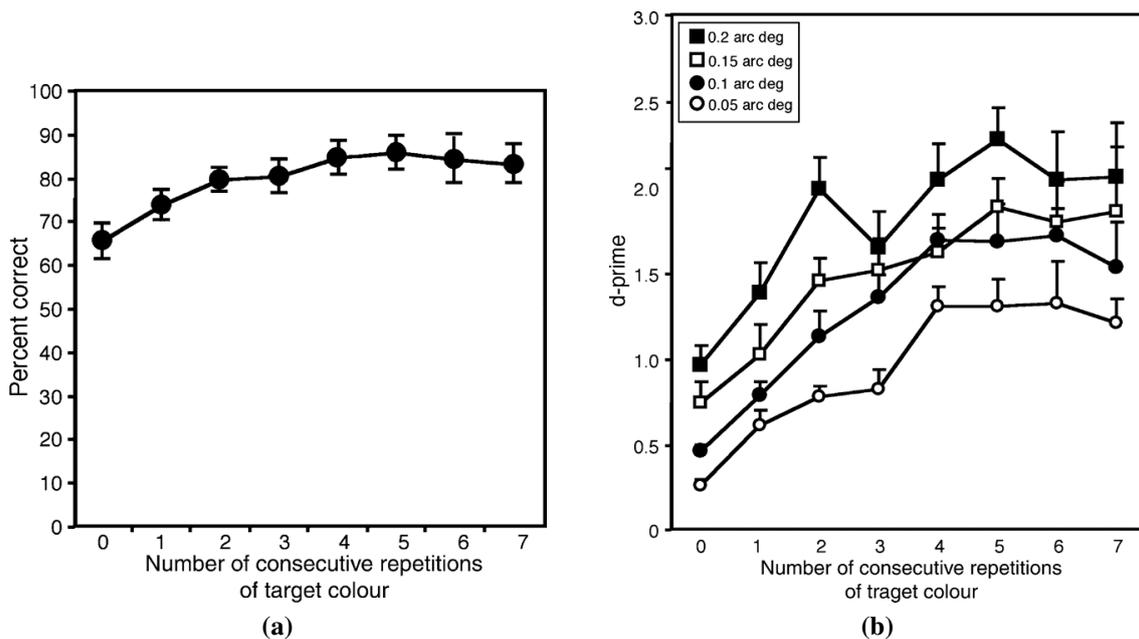


Figura 1.3: Nella figura sono illustrati i risultati dello studio di Sigurdardottir et al. (Sigurdardottir, Kristjánsson & Driver, 2008). Nella figura (a) è presente il punteggio medio di risposte corrette per il numero di ripetizioni consecutive dello stesso tipo di ricerca. Nella figura (b) è presente il valore del d' in funzione del numero di ripetizioni consecutive dello stesso tipo di ricerca e dei quattro valori della distanza del foro rispetto al centro del bersaglio. Figura adattata da Sigurdardottir, Kristjánsson & Driver, 2008.

L'analisi degli effetti dei fattori sul d' ci permettono di capire se la ripetizione aumenta direttamente la prestazione percettiva, cioè l'acuità dei giudizi dei soggetti, oppure se facilita il processo di ricerca del bersaglio agendo sull'attenzione. L'incremento di acuità dovrebbe avere il maggior effetto sulla prestazione nelle prove in cui la distanza del foro dal centro era minore, e quindi il lato nel quale il foro si trovava era più difficile da distinguere. In tal caso la differenza in termini di d' tra le prove in cui la distanza foro-centro è minore e quelle in cui è maggiore dovrebbe venire ridotta. Al contrario, se l'effetto della ripetizione della ricerca rendesse il bersaglio più facile da trovare senza avere nessun effetto sull'acuità, gli effetti dei fattori di ripetizione e posizione del foro dovrebbero essere additivi e privi di alcuna interazione statistica tra di essi. Un ANOVA a misure ripetute ha rivelato un effetto

della ripetizione del compito sul d' e anche un effetto della distanza dal centro del bersaglio del foro ma nessun effetto di interazione tra i due fattori. Questo risultato suggerisce che la ripetizione non ha nessun effetto sull'acuità visiva, e quindi non comporta un diretto beneficio all'elaborazione percettiva, ma permette una ricerca più veloce del bersaglio e questo consente di avere più tempo a disposizione per la sua analisi.

I risultati di Sigurdardottir et al. (Sigurdardottir, Kristjánsson & Driver, 2008) sono in accordo con le osservazioni di Becker (2008), che ha visto come il *priming* moduli l'accuratezza e la durata della prima saccade nella sequenza di ricerca in un compito di ricerca visiva attiva, nel quale i movimenti oculari sono permessi. La saccade iniziale era più veloce e più accurata quando lo stesso bersaglio era ripetuto rispetto a quando cambiava tra una prova e l'altra. Questo suggerisce che il *priming* influenzi la prestazione di ricerca ad un livello precoce di guida dell'attenzione, prima della selezione del primo elemento nella schermata.

Modulazione su più livelli. Il livello nel quale il *priming* si verifica è una questione dibattuta. Per spiegare il *priming* nella ricerca visiva sono state proposte due teorie contrastanti la cui principale differenza consiste nel livello di elaborazione percettiva nel quale il *priming* dovrebbe avvenire. Maljkovic e Nakayama (1994, 1996) hanno sostenuto che i modelli di *priming* da loro osservati riflettessero uno stato di attivazione alterato in risposta alla recente visione di una caratteristica rilevante dal punto di vista comportamentale (in questo caso il colore del bersaglio nella prova precedente) e che tale attivazione rendesse la caratteristica sulla quale il *priming* avviene in grado di attirare l'attenzione su di sé con maggiore probabilità. In altre parole, nella loro concezione, l'effetto chiave del *priming* era sull'assegnazione dell'attenzione sulle singole caratteristiche, la cui elaborazione avviene ad un livello basso della gerarchia percettiva. Una concezione diversa è stata avanzata da Huang, Holcombe e Pashler (Huang, Holcombe & Pashler, 2004) che sostengono che il *priming* non influenzi l'elaborazione di caratteristiche singole ma che invece avvenga in una fase più avanzata dell'elaborazione percettiva. Essi sostengono che il miglioramento della prestazione in seguito alla ripetizione delle caratteristiche del bersaglio rifletta una rappresentazione episodica della prova precedente e che quindi la maggiore rapidità nelle risposte dei soggetti sia dovuta al *priming* di oggetti complessi piuttosto che di singole caratteristiche. La facilitazione tra prove del *priming* è quindi spiegata in termini di facilitazione dell'elaborazione dell'intera scena visiva attraverso una rappresentazione episodica delle prove precedenti. Recentemente numerose evidenze di carattere comportamentale, neuropsicologico e neurofisiologico hanno indicato un terzo punto di vista, cioè che i *pattern* di attivazione legati al *priming* si riflettano nella modulazione dell'attività neurale in diversi siti delle vie visive. Nella loro rassegna Kristjánsson e Campana (2010) sostengono

con numerose evidenze che il *priming* avviene a differenti livelli della gerarchia percettiva, riflettendo la modulazione dell'attività neurale sia di aree di alto livello che di basso livello, in modo dipendente dallo stimolo, dal compito o dal contesto, di fatto interessando le aree che sono coinvolte nell'elaborazione degli stimoli per i quali il *priming* è osservato.

Kristjánsson, Ingvarsdóttir e Teitsdóttir (2008) hanno condotto un esperimento che ha indicato che il livello di elaborazione nel quale il *priming* si verifica può essere modulato apportando piccoli cambiamenti agli stimoli utilizzati. Hanno scoperto che il fatto che il *priming* sia basato sulla ripetizione dell'oggetto intero o solo di una caratteristica dipende dal tipo di stimolo usato nelle prove. Hanno messo a confronto la prestazione in un compito di ricerca visiva usando due tipi di stimoli che, come dimostrato da studi precedenti, vengono elaborati diversamente, come oggetti interi o come parti separate (Wolfe, Friedman-Hill & Bilsky, 1994; Xu, 2002). Kristjánsson et al. (Kristjánsson, Ingvarsdóttir & Teitsdóttir, 2008) videro che gli stimoli che il sistema visivo tende a considerare come oggetti interi tendevano a portare al *priming* basato sull'oggetto, allo stesso tempo stimoli meno propensi ad essere considerati oggetti interi tendevano a provocare *priming* basato sulle singole caratteristiche (Figura 1.4). Alla luce di questi dati sembra che entrambe le teorie precedentemente descritte, il *priming* per le singole caratteristiche elaborato a basso livello e il *priming* per oggetti interi elaborato ad un livello più alto, possano essere vere, sono il tipo di stimolo e le caratteristiche del compito a determinare quale tipo di *priming* si verificherà. Questo sta ad indicare che il *priming* riflette una modulazione dell'attività neurale su diversi livelli dell'elaborazione percettiva.

Campana et al. (Campana, Pavan & Casco, 2008) hanno trovato che quando lo stimolo bersaglio e i distrattori, usati in un compito per indagare il *priming* erano dello stesso tipo (entrambi con movimento di primo o secondo ordine; Cavanagh & Mather, 1989), il *priming* per il movimento era influenzato dalla posizione spaziale del bersaglio, indicando un'elaborazione retinotopica ad un livello basso della gerarchia visiva. Quando il bersaglio e i distrattori erano invece di tipo diverso (alternativamente movimento di primo e secondo ordine), il *priming* era insensibile alla posizione, suggerendo una modulazione dell'attività neurale ad un livello più alto dell'elaborazione visiva.

Numerosi studi di carattere neurofisiologico e neuropsicologico hanno rivelato che il *priming* nella ricerca visiva è correlato con la modulazione dell'attività neurale in vari siti del sistema nervoso in funzione della ripetizione. Questi studi hanno indicato che il *priming* riflette il fatto che gli schemi di attivazione dell'attività neurale elicitati dalla presentazione di uno stimolo vengono facilitati dalla sua ripetizione (Kristjánsson & Campana, 2010). L'elaborazione di un particolare colore, per esempio, è facilitata quando questo è ripetuto.

Bichot e Schall (Bichot & Schall, 1999, 2002) hanno trovato che singoli neuroni nei campi oculari frontali (*frontal eye fields* - *FEF*) di un macaco che eseguiva un compito

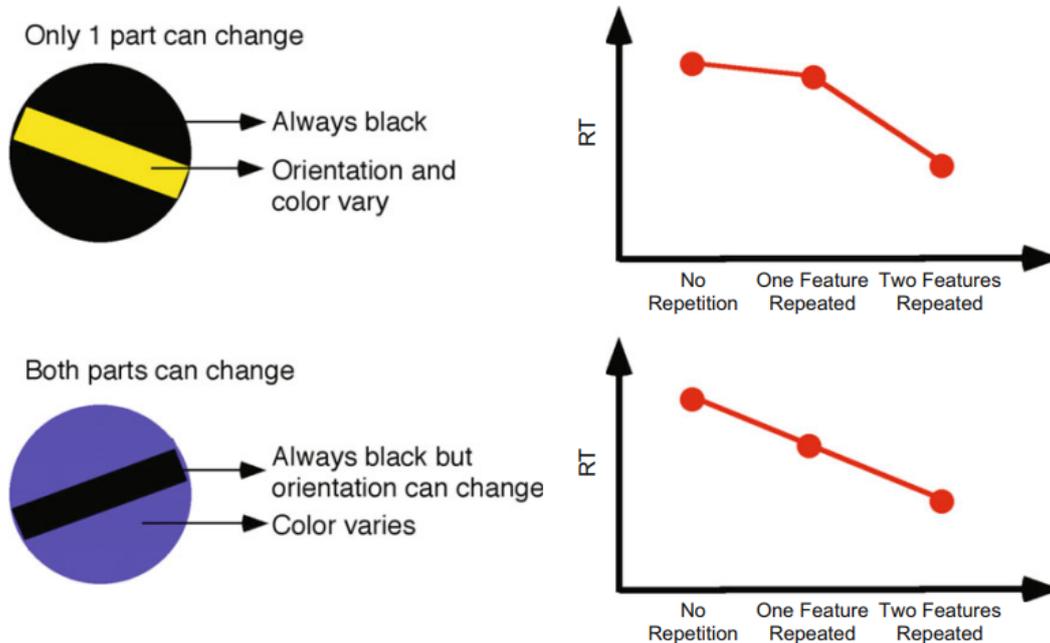


Figura 1.4: *Priming* basato sull'oggetto e *priming* basato sulle singole caratteristiche sono dipendenti dal tipo di stimolo. Nello stimolo della figura superiore solo una parte dell'oggetto può cambiare (l'orientamento o il colore della barra centrale). Nello stimolo della figura inferiore invece lo sfondo può cambiare colore e la barra centrale può cambiare orientamento. Stimoli come quello superiore tendono a portare al *priming* basato sull'oggetto intero, che si verifica solo se entrambe le caratteristiche sono ripetute. Stimoli come quello inferiore invece conducono al *priming* anche con la ripetizione di una singola caratteristica. Nei grafici sono rappresentati i tempi di risposta in funzione del numero di caratteristiche ripetute dello stimolo. Figura adattata da Kristjánsson, Ingvarsdóttir & Teitsdóttir, 2008 e Kristjánsson & Campana, 2010.

di ricerca visiva che richiedeva di spostare lo sguardo sul bersaglio, definito da una colorazione differente dai distrattori, presentavano un miglioramento nel processo di discriminazione delle caratteristiche del bersaglio, con la ripetizione delle caratteristiche che definivano il bersaglio. I neuroni discriminavano più velocemente e accuratamente il bersaglio rispetto ai distrattori quando le caratteristiche che distinguevano il bersaglio erano le stesse della prova precedente, questo corrispondeva ad un miglioramento nella latenza e nell'accuratezza delle saccadi eseguite durante il compito.

I risultati degli studi con stimolazione magnetica transcranica (*transcranical magnetic stimulation - TMS*) e gli studi sulle lesioni cerebrali hanno indicato che le aree che mediano per il *priming* sono diverse e che, da caso a caso, dipendono dalle caratteristiche dello stimolo utilizzato nel compito. Applicando la *TMS* durante l'intervallo tra due prove consecutive di un compito di ricerca visiva (così da non influenzare la fase di codifica delle caratteristiche dello stimolo, ma sono il loro mantenimento), Campana et al. (Campana, Cowey, Casco, Oudsen & Walsh, 2007; Campana, Cowey, & Walsh, 2006) trovarono una doppia dissociazione dell'effetto *priming*. Usando la *TMS* sull'area V5/MT veniva

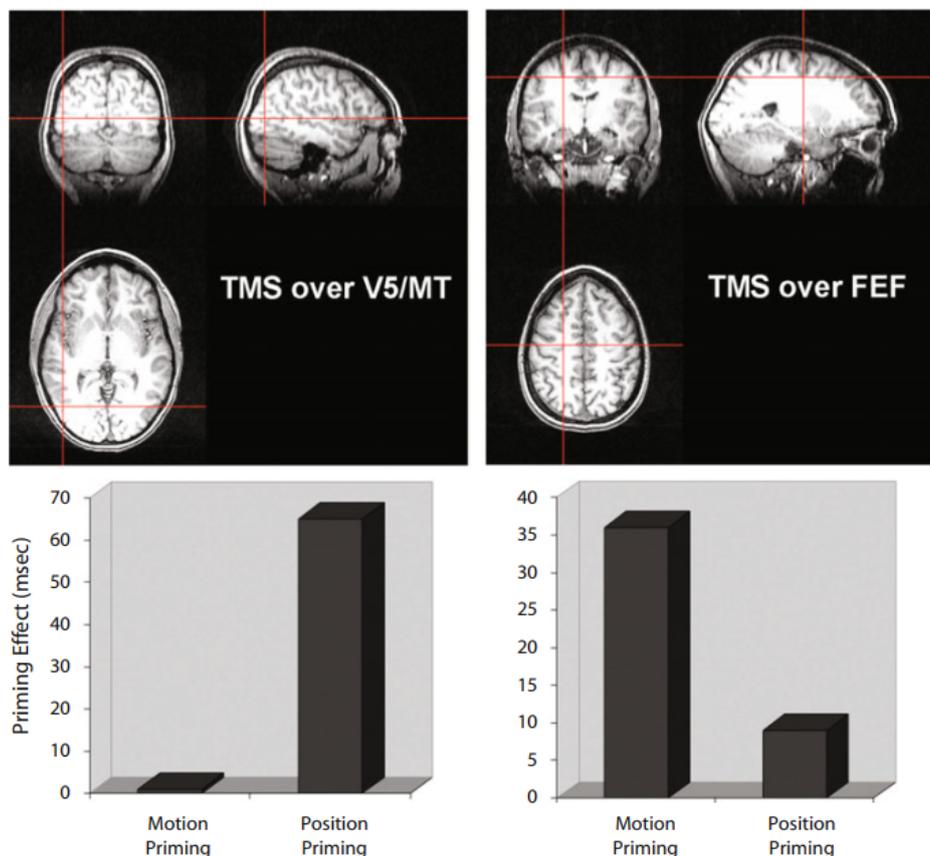


Figura 1.5: Doppia dissociazione del *priming* visivo indotta dall'utilizzo di stimolazione elettrica transcranica (*TMS*) su due diverse aree della corteccia. L'applicazione della *TMS* sull'area V5/MT (figura sinistra) estingue il *priming* della direzione di movimento ma non quello della posizione spaziale (colonna sinistra). L'applicazione della *TMS* sui campi visivi frontali dell'emisfero sinistro (*FEF*) (figura destra) riduce fortemente il *priming* della posizione spaziale ma non ha nessun effetto su quello della direzione di movimento. Figura adattata da Campana, Cowey, Casco, Oudsen & Walsh, 2007, Campana, Cowey & Walsh, 2006 e Kristjánsson & Campana, 2010.

soppresso il *priming* della direzione di movimento ma non c'era nessun effetto nel *priming* della posizione spaziale (Figura 1.5). Applicando invece la *TMS* sui campi oculari frontali (*FEF*) dell'emisfero sinistro veniva ridotto fortemente il *priming* della posizione spaziale senza che venisse intaccato quello della direzione di movimento.

Questi risultati indicano che le aree coinvolte nell'elaborazione degli specifici attributi percettivi (movimento o posizione spaziale) mostrano delle modulazioni dell'attività neurale che possono tenere conto del *priming* di quegli specifici attributi. Tali evidenze sono coerenti con la concezione che vede il *priming* della ricerca visiva come risultato della modulazione dell'attività neurale a diversi livelli dell'elaborazione percettiva, nelle aree cerebrali connesse con l'elaborazione degli stimoli e delle caratteristiche utilizzati per elicitare il *priming* stesso.

Capitolo 2

La percezione del movimento

2.1 Basi neurali dell'elaborazione del movimento

Numerosi studi forniscono evidenze che indicano che l'elaborazione del movimento all'interno del sistema visivo avvenga almeno in due diverse fasi. Nella prima fase, dei meccanismi orientazione e frequenza specifici elaborano le informazioni spaziali all'interno di aree limitate del campo visivo. I segnali di movimento locali elaborati in questa fase, considerati individualmente, sono intrinsecamente ambigui in quanto il meccanismo orientamento-selettivo di questo livello può solo segnalare il movimento in direzione ortogonale al proprio asse di orientazione preferito, all'interno del proprio limitato campo recettivo. I segnali ambigui della prima fase di elaborazione sono combinati nella seconda fase di elaborazione del movimento nella quale sono rappresentate, in modo non ambiguo, la direzione e la velocità di oggetti complessi in movimento (Movshon & Newsome, 1996). Degli studi fisiologici sulla corteccia visiva delle scimmie hanno rivelato come potenziali substrati neurali di queste due fasi di elaborazione la corteccia striata (V1) per la prima fase e l'area medio temporale (MT/V5) per la seconda (Movshon & Newsome, 1996).

La corteccia striata (V1) (Figura 2.2) è la prima sede nella via visiva dei primati dove i neuroni mostrano una selettività per la direzione di movimento (Hubel & Wiesel, 1968). Queste cellule sono distribuite principalmente nel 4 strato (4a, 4b, e 4ca) e nel 6 (Hawken, Parker & Lund, 1988). Tali neuroni oltre ad essere direzione specifici, rispondono ad un'ampia gamma di frequenze spaziali e sono sensibili a livelli di contrasto molto bassi (Movshon & Newsome, 1996). Ci sono evidenze sperimentali che indicano che esclusivamente questi neuroni selettivi per la direzione di movimento in V1 forniscono l'*input* diretto a MT (Movshon & Newsome, 1996).

L'area medio temporale (*middle temporal area - MT*) (Figura 2.2) situata nella sponda posteriore del solco temporale superiore (STS) è stata descritta per la prima volta più di

cinquanta anni fa nei primati non umani (Allman & Kaas, 1971; Dubner & Zeki, 1971). MT è caratterizzata da due attributi chiave: quest'area è anatomicamente definita da un'alta presenza di mielina e quasi tutti i neuroni di quest'area rispondono al movimento visivo in maniera direzione-specifica. Se uno stimolo visivo, di solito un gruppo di puntini in movimento coerente presentati all'interno di un'area stazionaria all'interno del campo recettivo del neurone, si muove nella direzione per la quale tale neurone è selettivo, la frequenza di scarica del neurone aumenta al di sopra della sua frequenza di scarica a riposo. Al contrario, se lo stimolo si muove nella direzione opposta, la frequenza di scarica del neurone diminuisce al di sotto della sua frequenza a riposo (Figura 2.1, a). Testando più direzioni di movimento è possibile determinare la direzione per la quale il neurone è selettivo (Figura 2.1, b). In aggiunta alla selettività per la direzione, i neuroni di MT sono selettivi anche per la velocità di movimento dello stimolo (Figura 2.1, c). L'inibizione causata dalla stimolazione nella direzione opposta a quella preferenziale invece è costante e non dipende dalla velocità (Ilg, 2008).

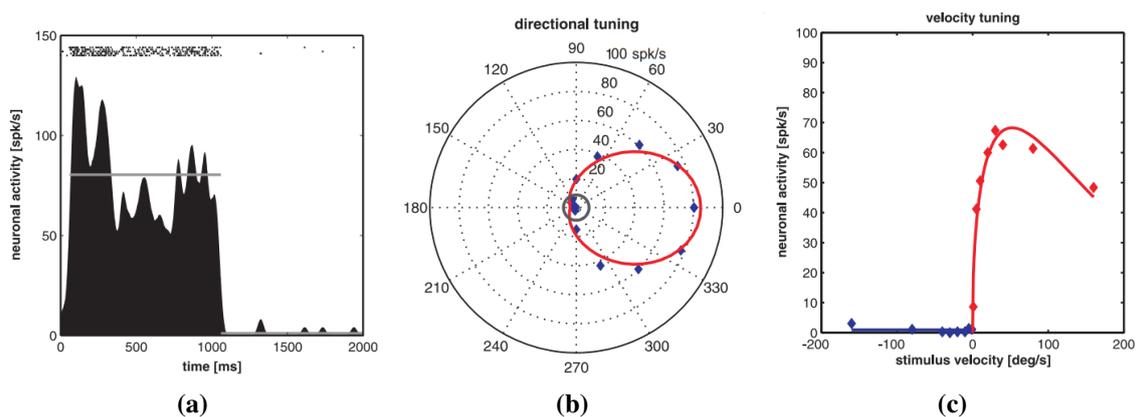


Figura 2.1: Nella figura sono rappresentate le risposte di un neurone di MT al movimento visivo. Nella figura (a) è rappresentata l'attività di un neurone in risposta ad uno stimolo con movimento verso destra o verso sinistra. L'attività del neurone in ogni singola prova è mostrata con i puntini sopra il grafico; l'attività sommata di tutte le prove viene visualizzata come funzione di densità dei picchi (*spike density function*) (larghezza 20 ms). Le linee grigie orizzontali indicano l'attività media causata rispettivamente dal movimento verso destra e verso sinistra. Nella figura (b) è mostrato un grafico polare dove sono rappresentate le attività medie del neurone (punti blu) causate dal movimento dello stimolo nella direzione della linea tratteggiata sulla quale il punto giace. Il cerchio grigio indica l'attività spontanea a riposo del neurone. Tale neurone ha una selettività per il movimento verso destra. Nella figura (c) è rappresentata la risposta del neurone in base alla velocità di movimento dello stimolo. La linea blu rappresenta il movimento verso destra (=preferito), quella blu il movimento verso sinistra. Si noti che è presente una modulazione della risposta in base alla velocità per il movimento verso destra ma nessuna modulazione per il movimento verso sinistra. Figura adattata da Ilg, 2008.

Gli studi sopracitati descrivono le caratteristiche dell'area MT in soggetti animali come le scimmie, l'equivalente umano di MT è stato localizzato utilizzando la risonanza

magnetica funzionale (*functional magnetic resonance imaging - fMRI*) ed etichettato come hMT+ o V5 (Wolfe et al., 2006). Nello studio di Tootell et al. (1995) utilizzando la fMRI è stata analizzata la risposta dell'area MT in soggetti umani per quanto riguarda il movimento visivo, il colore, la sensibilità al contrasto di luminanza e la retinotopia. Il risultati di questo studio confermano la presenza di un'area sensibile al movimento nel cervello umano nella stessa posizione attribuita a MT nel cervello delle scimmie. Questo studio conferma la presenza di un'area nella corteccia visiva umana funzionalmente indistinguibile dall'area MT del macaco (Tootell et al., 1995).

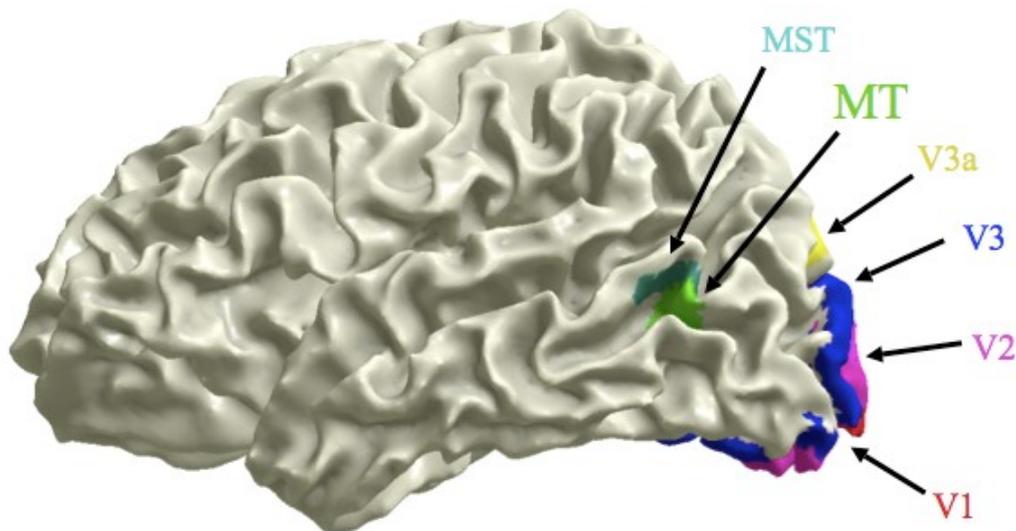


Figura 2.2: Nella figura sono rappresentate le aree legate all'elaborazione dell'informazione visiva. La corteccia striata (V1) è colorata in rosso. Risulta poco visibile nell'immagine in quanto è localizzata attorno e nella scissura calcarina del lobo occipitale. La corteccia medio temporale (MT) è colorata in verde, è situata nella sponda posteriore del solco temporale superiore. Figura adattata da After Heeger, 2006 (<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/motion/motion.html>).

2.2 Priming di movimento

Le evidenze descritte nel capitolo precedente, che supportano l'ipotesi che vede il *priming* come il prodotto della modulazione dell'attività neurale su più livelli lungo le vie visive, sono coerenti con il modello teorico proposto da Tulving e Schacter (Kristjánsson & Campana, 2010, Tulving & Schacter, 1990). Secondo il loro modello, il *priming* dei diversi attributi percettivi dipende da un sistema di memoria percettiva generale (chiamato *perceptual representation system - PRS*) che è per la maggior parte non conscio e che consiste in una serie di sotto-sistemi, ognuno dedicato a un particolare aspetto o caratteristica dell'oggetto o della scena visiva soggetti a *priming*. Questi sotto-sistemi sono posti in livelli diversi delle vie lungo le quali viene effettuata l'elaborazione dell'informazione

visiva, dai sistemi di livello superiore che elaborano le informazioni riguardo la forma e la struttura globale degli oggetti visivi (Tulving & Schacter, 1990), ai sistemi di livello inferiore dedicati all'elaborazione delle informazioni sensoriali come la frequenza spaziale, l'orientazione, il contrasto e il movimento che compongono insieme il sistema di memoria percettiva (*perceptual memory system*) (Magnussen & Greenlee, 1999).

Per esaminare questa ipotesi Campana et al. (Campana, Cowey & Walsh, 2002) hanno utilizzato la stimolazione magnetica transcranica ripetitiva (*repetitive transcranical magnetic stimulation - rTMS*) per disturbare brevemente l'elaborazione nella corteccia striata (V1), in V5/MT e nella corteccia parietale posteriore destra (*posterior parietal cortex - PPC*), durante l'intervallo tra le prove di un compito di discriminazione del movimento. L'obiettivo era quello di interferire con il mantenimento dell'informazione riguardante la prova precedente, sopprimendo il *priming* per la direzione di movimento, lasciando inalterata l'accuratezza nella discriminazione del movimento. Nella prova apparivano sullo schermo quattro quadrati contenenti dei puntini bianchi con posizione casuale in movimento. Tre di questi quadrati contenevano puntini in movimento verso la stessa direzione, un quadrato invece conteneva puntini che si muovevano in direzione ortogonale rispetto a quella degli altri tre quadrati. Il bersaglio era questo quarto quadrato del quale i soggetti dovevano riportare la direzione. Una seconda prova uguale a questa è stata proposta ai soggetti per verificare gli effetti della stimolazione su V5/MT fossero specifici per il movimento e non influissero con il *priming* del colore. In questa prova i puntini dei quadrati hanno tutti la stessa direzione (dall'alto verso il basso) e il bersaglio e i distrattori vengono indicati dal colore (rispettivamente verde e rossi o viceversa). La stimolazione magnetica veniva applicata subito dopo la risposta del soggetto tra una prova e la successiva, per una durata di 500ms. I risultati mostrano che la TMS applicata su V5/MT durante un compito di discriminazione del movimento abolisce il *priming* di movimento. Tale effetto è specifico per il sito di stimolazione, infatti la stimolazione sulla PPC o su V1 lasciava inalterato il *priming* di movimento, e specifico per il tipo di stimolo, in quanto la stimolazione su MT/V5 ha interferito con il *priming* di movimento e non ha avuto effetto sul *priming* per il colore. Questi risultati, oltre a fornire un forte supporto al modello del *perceptual representation system* (Tulving & Schacter, 1990) e all'ipotesi della memoria percettiva (Magnussen & Greenlee, 1999) indicano l'area medio temporale (MT) come migliore candidata per ospitare il sotto-sistema specializzato responsabile per il *priming* del movimento.

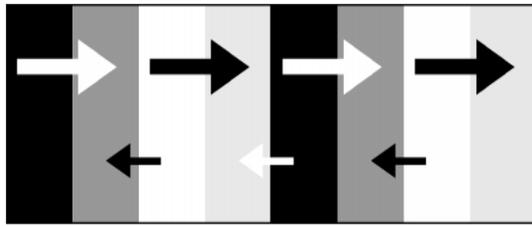
Capitolo 3

Priming di movimento reale e illusorio

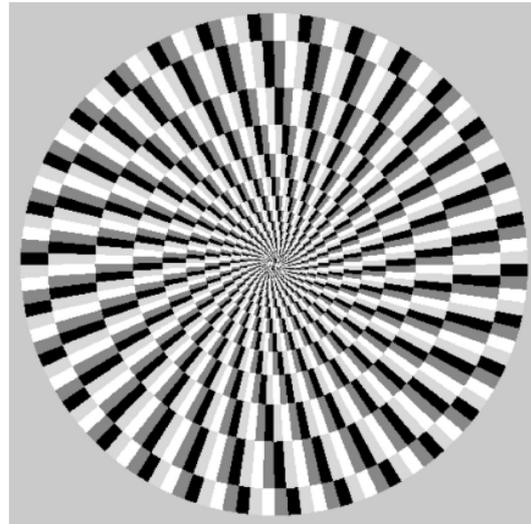
3.1 Introduzione

Il tipo di illusioni di cui abbiamo indagato gli effetti nell'esperimento proposto in questa dissertazione, nelle quali una figura statica appare costantemente in rotazione, sono nominate *peripheral drift illusions* da Kitaoka e Ashida (Kitaoka & Ashida, 2003) che definiscono anche le regole fenomeniche alla base dell'illusione di movimento da queste generate. La caratteristica necessaria per generare una percezione apparente di movimento è individuata dagli autori nella disposizione ordinata di alcune regioni con diversa luminanza, per esempio la combinazione di una regione nera con una grigio scuro o di una regione bianca con una grigio chiaro. La direzione del movimento illusorio tende ad andare dalla regione nera verso la regione grigio scuro adiacente e dalla regione bianca verso la regione grigio chiaro adiacente (Figura 3.1, a). La combinazione delle quattro aree nella sequenza proposta in figura aumenta quindi la percezione dell'illusione. Gli autori individuano altri due fattori che incrementano la percezione dell'illusione: il primo è un passaggio netto tra zone con diversa luminanza invece che un passaggio graduale, il secondo è la presenza di bordi frammentati o curvi piuttosto che continui. Nella Figura 3.1 (b) è mostrata un'immagine nella quale le tre regole proposte sono applicate, osservandola nella periferia del campo visivo tale figura appare in rotazione oraria.

Anche se il meccanismo alla base della percezione del movimento apparente generato dalle *peripheral drift illusions* è ancora materia di dibattito, c'è un generale accordo sul fatto che esse siano dovute al gradiente ripetitivo di aree con diversa luminanza/contrasto la cui elaborazione a qualche livello del sistema visivo origina l'impressione di movimento. Anche se questo meccanismo resta da identificare con chiarezza c'è abbastanza certezza circa il fatto che esperire il movimento illusorio attivi le stesse vie neurali che sono coinvolte nell'elaborazione del movimento reale (Ashida, Kuriki, Murakami, Hisakata, & Kitaoka, 2012).



(a)



(b)

Figura 3.1: Nella figura (a) è rappresentata la sequenza di zone di diversa luminanza che genera l'illusione di movimento. La direzione del movimento va dalla zona nera alla zona grigio scuro e dalla zona bianca alla zona grigio chiaro. Nella figura (b) è rappresentata una "peripheral drift illusion" costruita secondo il metodo descritto da Kitaoka e Ashida (2003). Figura adattata da Kitaoka & Ashida, 2003.

Thorton e Zdravković (2019) hanno dimostrato che il movimento illusorio può guidare pre-attentivamente la ricerca visiva in parallelo all'interno del campo visivo. Questo suggerisce che il movimento illusorio, allo stesso modo del movimento reale, può essere considerato una caratteristica di base o *guiding feature* (Wolfe & Horowitz, 2017) in grado di esercitare una guida dal basso verso l'alto (*bottom-up*) per l'orientamento dell'attenzione.

Lo scopo dell'esperimento presentato in questa dissertazione è quello indagare ulteriormente le caratteristiche della percezione del movimento illusorio attraverso la sua interazione con il movimento reale nel fenomeno del *priming*. Viene verificata la presenza di *priming* della direzione di movimento e della posizione nello spazio per entrambi i tipi di movimento separatamente e viene verificata l'ipotesi che ci possa essere *priming* anche tra i due tipi di movimento.

3.2 Esperimento

L'esperimento consiste in un compito di ricerca visiva creato utilizzando come modello il paradigma usato da Campana et al. (2008). Tre stimoli circolari vengono presentati in una disposizione a colonna ed equidistanti tra loro al centro dello schermo. Di questi tre stimoli quello centrale rimane sempre statico. In ogni prova uno tra lo stimolo superiore e quello inferiore è in movimento mentre l'altro rimane statico. Ogni stimolo appare nello schermo con un'orientazione casuale estratta da 36 orientazioni possibili multiple di 10°. Il

compito che viene richiesto al soggetto è quello di individuare quale tra i due stimoli è in movimento e segnalarlo premendo uno di due tasti sulla tastiera del computer, un tasto più in alto se il bersaglio è in posizione superiore e un tasto allineato in basso se il bersaglio è nella posizione inferiore.

L'esperimento è stato suddiviso in tre parti differenti nelle quali cambia il tipo di movimento dello stimolo bersaglio. Questo è stato fatto allo scopo di indagare prima il *priming* di movimento reale e illusorio separatamente e dopo la possibile interazione tra i due. Le tre parti vengono somministrate ad ogni soggetto in modo sequenziale e l'ordine di somministrazione viene controbilanciato tra i soggetti.

Le variabili di interesse sono il tempo di risposta (TR o *response time RT*) e l'accuratezza x la congruenza o incongruenza di tre dimensioni (tipo di movimento del bersaglio, direzione di rotazione e posizione) della prova attuale rispetto alla precedente.

Movimento Illusorio. Nella parte che indaga il *priming* di movimento illusorio il bersaglio è uno stimolo circolare composto da 48 elementi (Figura 3.2, a). Tali elementi sono dei semplici anelli bianchi e neri basati sull'illusione "*Rollers*" e organizzati in cerchi concentrici, come nell'illusione "*Rotating Snakes*". Le illusioni appena nominate sono state create da Akiyoshi Kitaoka e sono visionabili insieme a molte altre nel suo sito web (<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>). La struttura e il gradiente di luminanza degli elementi interni fa sì che lo stimolo illusorio generi nell'osservatore un'impressione di lento movimento rotatorio orario o antiorario. La direzione del movimento percepito dipende dalla sequenza delle parti bianche e nere degli elementi. Lo schema di colori utilizzato, lo sfondo giallo e il centro degli elementi azzurro, aiuta a fornire il gradiente di contrasto necessario per generare l'illusione.

Movimento Reale. Nella parte che indaga il *priming* di movimento reale il bersaglio è uno stimolo circolare simile allo stimolo illusorio ma la cui conformazione degli elementi è stata modificata per eliminare qualsiasi impressione di movimento (Figura 3.2, b), tale stimolo è fatto ruotare in senso orario o antiorario ad una velocità di 2,2 °/s. Gli stimoli statici, che fungono da distrattori, hanno la stessa conformazione modificata dello stimolo con movimento reale ma non vengono fatti ruotare.

Interazione tra i due tipi di movimento. Infine, nella parte che indaga la possibile interazione nel *priming* tra movimento reale e movimento illusorio si adotta una sequenza alternata del tipo di movimento nelle prove, nella quale ogni prova con bersaglio con movimento illusorio è seguita da una prova con bersaglio con movimento reale e vice versa.

3.3 Metodo

Partecipanti. Per l'esperimento sono stati reclutati 12 soggetti (media età = 23.25, SE = 2.34; 3 donne; 10 destrimani). Tutti i soggetti hanno riportato di non avere difetti di vista non corretti con occhiali o lenti a contatto e hanno accettato il modulo di consenso informato per le ricerche online messo a disposizione dal Comitato Etico Della Ricerca Psicologica del dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova (<http://ethos.psy.unipd.it>) prima di prendere parte all'esperimento.

Stimoli. Gli stimoli utilizzati nell'esperimento (Figura 3.2) sono gli stessi utilizzati da Thornton e Zdravković (Thornton & Zdravković, 2019). Originariamente sono stati creati dagli autori con Adobe Illustrator prendendo a modello due delle illusioni di Akiyoshi Kitaoka: "*Rotating Snakes*" e "*Rollers*". Come si può vedere in figura gli stimoli sono leggermente diversi. Lo stimolo illusorio (Figura 3.2, a) include 48 elementi circolari organizzati in circonferenze concentriche. Ogni elemento è composto all'esterno da un anello il cui bordo è metà bianco e metà nero e all'interno da un cerchio azzurro (valore RGB: 0/173/239). Lo sfondo dello stimolo è giallo (valore RGB: 254/242/0), invece lo sfondo sul quale gli stimoli appaiono è grigio (valore RGB: 128).

Ogni circonferenza è formata da 12 elementi che si susseguono in modo che ogni elemento successivo sia ruotato di 30° attorno la circonferenza principale e di 30° attorno al proprio centro. Per creare le circonferenze minori la precedente più grande viene copiata, le sue dimensioni vengono ridotte del 60% e viene ruotata di 15°. Le quattro circonferenze dello stimolo illusorio appaiono in movimento rotatorio orario o antiorario e la direzione della rotazione viene determinata dall'ordine con cui il bordo bianco e quello nero sono disposti. Per provocare l'illusione di movimento rotatorio di senso opposto è bastato creare l'immagine speculare dello stimolo illusorio.

Lo stimolo non illusorio (Figura 3.2, b) mantiene gli stessi elementi e lo stesso schema di colori dello stimolo illusorio ma vengono apportate due modifiche. La prima modifica è che l'organizzazione degli elementi consecutivi nelle circonferenze viene invertita, mentre nello stimolo illusorio gli elementi hanno una progressione che alterna le parti bianche con quelle nere, nello stimolo non illusorio tale ordine viene invertito con le parti bianche e quelle nere degli elementi adiacenti che combaciano. La seconda modifica consiste nel mantenere fissa l'orientazione degli elementi. Insieme questi cambiamenti eliminano completamente qualsiasi senso di movimento apparente generato dallo stimolo. La riflessione speculare dello stimolo non illusorio ha l'unica funzione di invertire la posizione delle parti bianche e nere. Lo stimolo non illusorio è stato utilizzato per creare sia i distrattori statici sia lo stimolo con movimento reale facendo ruotare lo stimolo non illusorio di 2,2°/s. La velocità di rotazione scelta per lo stimolo con movimento reale è

stata ricavata dall'articolo di Thorton e Zdravković (2019) che hanno stimato la velocità di rotazione dell'illusione di movimento utilizzando un compito di annullamento (Hisakata & Murakami, 2008).

Durante l'esperimento ogni stimolo appare sullo schermo con un'orientazione casuale estratta da 36 possibili multiple di 10° .

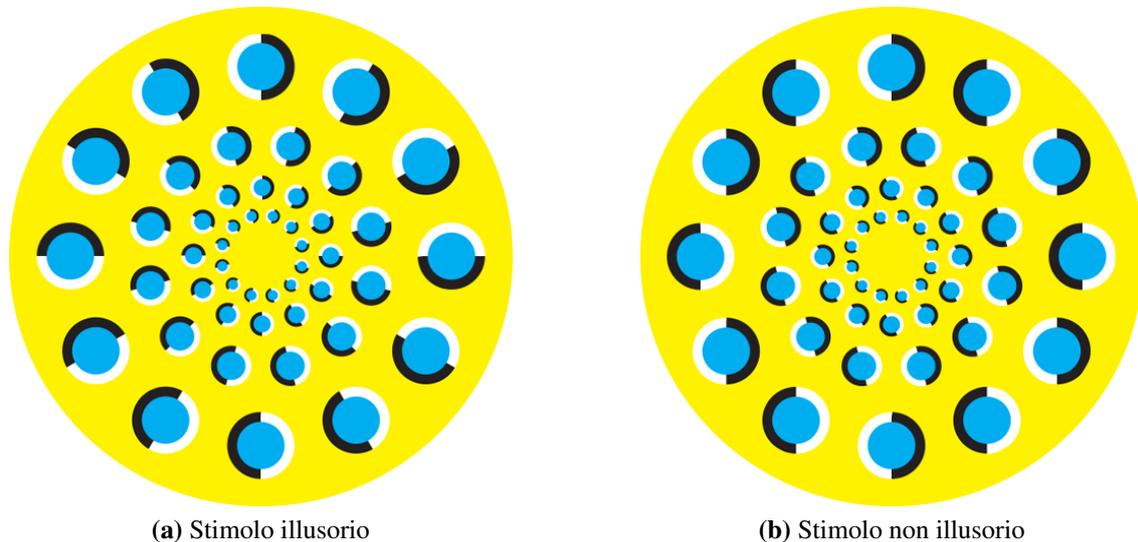


Figura 3.2: Nella figura sono rappresentati gli stimoli utilizzati nell'esperimento. Nella figura (a) è rappresentato lo stimolo illusorio, osservandolo nella periferia del campo visivo si ha un'impressione di movimento rotatorio antiorario. Nell'esperimento la sua versione speculare è usata per ottenere un'impressione di movimento di senso opposto. Nella figura (b) è rappresentato lo stimolo non illusorio, tale stimolo è usato sia come distrattore sia come stimolo con movimento reale, facendolo ruotare in senso orario o antiorario ad una velocità di $2.2^\circ/s$.

Raccolta Dati Online. A causa dell'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia di Covid-19 non è stato possibile eseguire una raccolta dati in presenza nei laboratori del Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Questa limitazione ci ha portato a svolgere la raccolta dati per l'esperimento in modalità telematica e perciò a creare l'esperimento con dei metodi che rendessero questo possibile. Nella realizzazione di questo proposito abbiamo trovato utile la panoramica sull'argomento proposta da Sauter et al. (2020) che suggerisce alcuni dei metodi che abbiamo impiegato. La creazione dell'esperimento è stata condotta utilizzando il linguaggio *JavaScript* e in particolare la libreria *jsPsych* per l'implementazione e l'esecuzione di esperimenti comportamentali su un *web browser* (Leeuw, 2014). La somministrazione in via telematica dell'esperimento ai partecipanti e la registrazione dei dati è stata possibile con l'utilizzo della piattaforma di *hosting JATOS* (Lange et al. 2015).

Non potendo avere un controllo sul dispositivo utilizzato per svolgere l'esperimento sono stati inseriti dei parametri di esclusione che hanno garantito che tutti i dispositivi

utilizzati possedessero delle caratteristiche minime tali da rendere l'esperimento uguale per tutti i partecipanti. Le caratteristiche minime richieste erano un'altezza dello schermo di 170mm e il numero di pixel dello schermo in altezza maggiore o uguale a 720 pixels. Utilizzando una procedura di ridimensionamento messa a disposizione da *jsPsych* è stato possibile rendere costanti le dimensioni degli stimoli presentati, indipendentemente dalla diversa risoluzione degli schermi sui quali l'esperimento è stato svolto.

I partecipanti all'esperimento sono stati contattati e istruiti personalmente dagli sperimentatori circa le condizioni da mantenere durante lo svolgimento dell'esperimento. Delle indicazioni precise sono state nuovamente fornite loro nella parte introduttiva dell'esperimento. Si è comunicato ai partecipanti di svolgere l'esperimento in una stanza con una bassa illuminazione, di alzare la luminosità dello schermo del proprio computer al massimo consentito e di mantenere una distanza di circa 50cm dallo schermo per tutta la durata dell'esperimento.

Disposizione Degli Elementi. Il bersaglio e i due distrattori vengono presentati in una disposizione colonnare ed equidistanti tra loro al centro dello schermo. Ad una distanza di 50cm dallo schermo il partecipante vede ogni stimolo circolare con un diametro di circa 5.7° di angolo visivo (5cm sullo schermo), lo spazio tra ogni stimolo sottende circa 0.5° di angolo visivo (0.45cm sullo schermo) e l'intera colonna con i tre stimoli sottende in totale 18° di angolo visivo (circa 15.9cm sullo schermo). Ognuno degli elementi interni più grandi degli stimoli sottende circa 0.7° di angolo visivo (0.6cm sullo schermo), gli elementi più piccoli nelle circonferenze interne sono scalati del 60% per ogni circonferenza, come descritto nella sezione dedicata agli stimoli. Tra una prova e l'altra al centro dello schermo è presentata una croce di fissazione bianca che sottende circa 1.1° di angolo visivo (1cm sullo schermo). Nella Figura 3.3 è mostrato un esempio di schermata.

Procedura. Dopo aver letto le istruzioni scritte che descrivono il compito e le condizioni ideali nelle quali svolgerlo ai soggetti vengono presentati i due diversi stimoli bersaglio per permettergli di familiarizzare con entrambe le tipologie di movimento. I soggetti svolgono poi una sessione di pratica di 20 prove per familiarizzare con il compito. Le prove della sessione di pratica hanno una sequenza alternata di stimoli bersaglio con movimento reale e movimento illusorio per permettere ai soggetti di familiarizzare con entrambi. A differenza della sessione sperimentale in quella di pratica le prove non hanno un tempo di presentazione e rimangono nello schermo fino a quando il soggetto non dà la risposta. La sessione sperimentale è divisa in tre parti: una parte con stimoli bersaglio con movimento reale della durata di 150 prove, una parte con stimoli bersaglio con movimento illusorio della durata di 150 prove e una parte nella quale i tipi di movimento degli stimoli

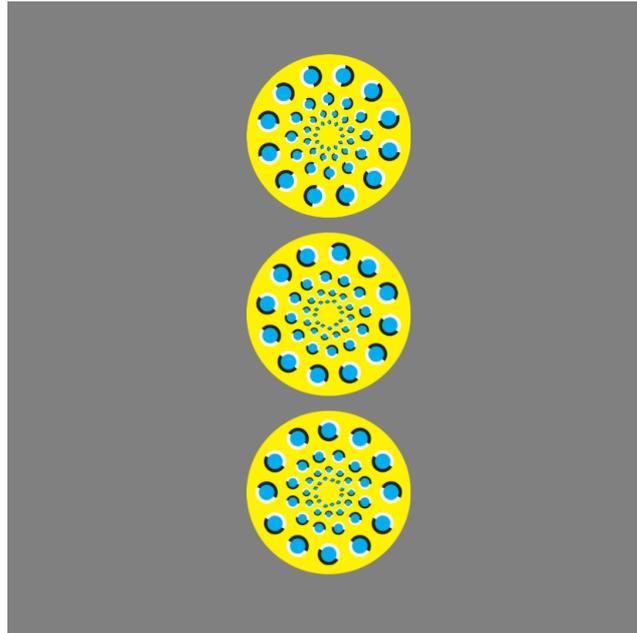


Figura 3.3: In questo esempio di schermata è presente uno stimolo illusorio con rotazione antioraria in posizione superiore e i due stimoli non illusori che fungono da distrattori. Ogni stimolo appare nella schermata con una orientazione casuale estratta da 36 possibili multiple di 10° .

bersaglio si alternano tra una prova e la successiva, della durata di 300 prove, per un totale di 600 prove. L'ordine di presentazione delle tre parti è stato controbilanciato tra i soggetti. Al termine di ogni parte è predisposta una pausa di 5 minuti e il tempo complessivo dell'esperimento è stato stimato di circa 35 minuti.

Compito. Il compito richiesto in ogni prova ai soggetti era semplicemente di determinare la posizione (superiore o inferiore) dello stimolo bersaglio in movimento e di riportarlo, nel modo più accurato e veloce possibile, premendo uno di due tasti sulla tastiera. I soggetti erano inoltre istruiti a tenere lo sguardo fisso al centro dello schermo dove tra una prova e l'altra appariva la croce di fissazione bianca.

In una singola prova per prima appare la croce di fissazione la cui durata viene estratta casualmente tra tre durate possibili di 900/1000/1100ms, successivamente vengono presentati i tre stimoli per 200ms, in seguito alla risposta del soggetto c'è una schermata grigia di 300ms seguita nuovamente dalla croce di fissazione (Figura 3.3).

In ogni prova ci sono tre variabili indipendenti: il tipo di movimento dello stimolo bersaglio che cambia in base alla parte dell'esperimento, la posizione dello stimolo bersaglio (superiore o inferiore) che è casuale e la direzione del movimento rotatorio dello stimolo bersaglio (orario o antiorario) che è anch'essa casuale. Le variabili dipendenti registrate sono il tempo di risposta (TR) e l'accuratezza.

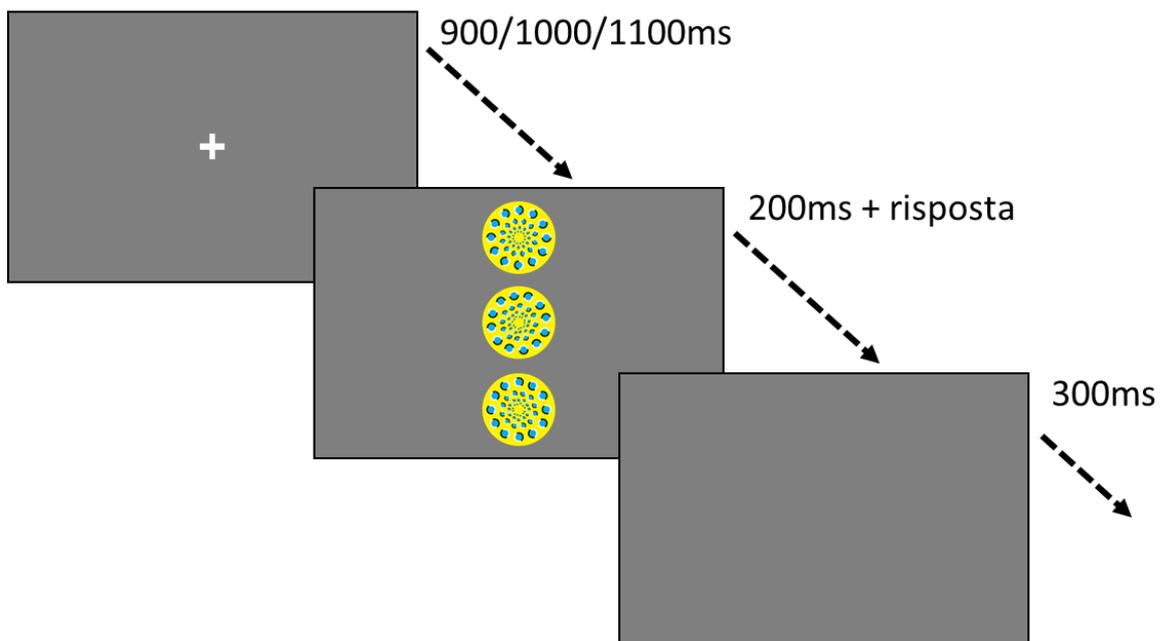


Figura 3.4: Nella figura è rappresentata la sequenza di schermate che costituisce una singola prova. La croce di fissazione bianca (900/1000/1100ms) è seguita dalla schermata con gli stimoli che vengono presentati brevemente (200ms), dopo la risposta del soggetto c'è una schermata di pausa di 300ms.

Analisi Dati. Le misure di interesse erano il tempo di risposta (TR) dei soggetti e l'accuratezza. Abbiamo usato la media come stima puntuale in entrambi i casi. L'analisi dei tempi di risposta è stata basata solo sulle risposte esatte. I tempi di risposta e le accuratizie della prima parte e della seconda parte dell'esperimento (con movimento reale e con movimento illusorio rispettivamente) sono stati analizzati con quattro analisi della varianza (*analysis of variance - ANOVA*) a due vie a misure ripetute, con la direzione di movimento rotatorio del bersaglio precedente (congruente versus incongruente) e la posizione del bersaglio precedente (congruente versus incongruente) come fattori. I dati della terza parte, con i due tipi di movimento alternati, sono stati divisi in dati relativi a prove con bersaglio con movimento reale, che seguivano prove con bersaglio con movimento illusorio (da illusorio a reale), e dati relativi a prove con movimento illusorio che seguivano prove con bersaglio con movimento reale (da reale a illusorio). I tempi di risposta e le accuratizie di questi due tipi di dati sono stati analizzati con quattro analisi della varianza (*analysis of variance - ANOVA*) a due vie a misure ripetute, con gli stessi fattori usati nell'analisi delle prove precedenti.

3.4 Risultati

Movimento reale. I risultati dell'analisi dell'accuratezza per la parte dell'esperimento con movimento reale (Figura 3.5) hanno mostrato un effetto significativo della rotazione, i soggetti erano più accurati nella risposta quando la direzione di rotazione del bersaglio rimaneva costante rispetto alla prova precedente (rotazione: $F_{1,11} = 11.93, p = 0.005, p < 0.05$). Questo risultato conferma le nostre aspettative rispetto al *priming* della direzione di movimento che dovrebbe aumentare l'accuratezza in seguito alla ripetizione della stessa direzione di movimento tra una prova e la successiva. Non è stato rilevato nessun effetto significativo della posizione né dell'interazione tra posizione e direzione di rotazione però, come si può vedere dal grafico, le condizioni con posizione incongruente mostrano una media dell'accuratezza più alta. I risultati dell'analisi dei tempi di risposta non hanno mostrato differenze significative tra le diverse condizioni, né per quanto riguarda la posizione né per la direzione di rotazione né per l'interazione tra le due. La media dei tempi di risposta era di 644.29ms.

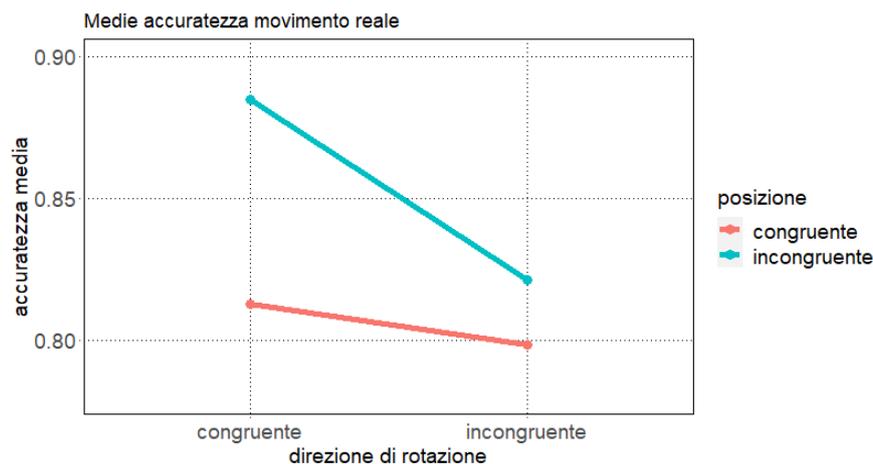


Figura 3.5: Nel grafico sono mostrati i valori medi dell'accuratezza nelle risposte delle prove con movimento reale per le quattro condizioni date dalla congruenza o incongruenza di posizione e rotazione di direzione del bersaglio rispetto alla prova precedente.

Movimento illusorio. I risultati dell'analisi dell'accuratezza per la parte dell'esperimento con movimento illusorio (Figura 3.6, a) hanno mostrato un effetto significativo della posizione. In questo caso il miglioramento contraddice le nostre aspettative rispetto al *priming* della posizione, i soggetti erano più accurati quando la posizione del bersaglio era incongruente rispetto a quella della prova precedente (posizione: $F_{1,11} = 5.89, p = 0.033, p < 0.05$). Non sono stati trovati effetti significativi della direzione di rotazione, né dell'interazione tra direzione di rotazione e posizione nell'accuratezza.

I risultati dell'analisi dei tempi di risposta (Figura 3.6, b) hanno mostrato un effetto significativo per la posizione, i partecipanti erano più veloci nella risposta quando la posizione del bersaglio cambiava rispetto alla prova precedente (posizione: $F_{1,11} = 6.64, p = 0.026, p < 0.05$). Anche questo risultato contraddice le nostre aspettative rispetto al *priming* della posizione che dovrebbe diminuire i tempi di risposta dei soggetti in seguito alla ripetizione della stessa posizione tra due prove successive. Non è stato trovato nessun effetto significativo della rotazione né dell'interazione nei tempi di risposta. La media dei tempi di risposta era di 569.24ms, i tempi di risposta al compito con movimento illusorio erano più brevi di circa 75ms rispetto al compito con movimento reale.

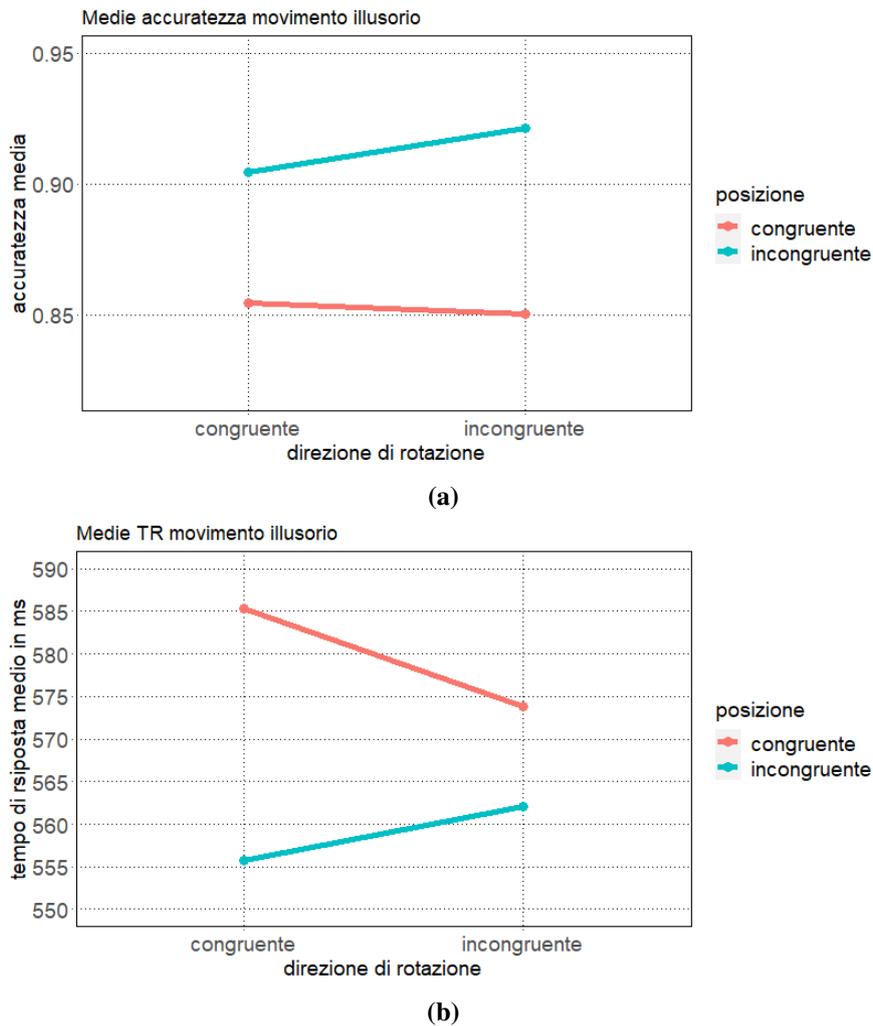


Figura 3.6: Nel grafico (a) sono mostrati i valori medi delle accuratze nelle risposte delle prove con movimento illusorio per le quattro condizioni date dalla congruenza o incongruenza di posizione e rotazione di direzione del bersaglio rispetto alla prova precedente. Nel grafico (b) sono mostrati i valori medi dei tempi di risposta nelle prove con movimento illusorio nelle stesse condizioni del grafico precedente.

Tipi di movimento alternati. I risultati dell'analisi dell'accuratezza per la parte dell'esperimento con i tipi di movimento alternati (Figura 3.7) hanno mostrato un effetto significativo (Figura 3.7). Nelle prove in cui il movimento reale seguiva al movimento illusorio, i soggetti erano più accurati nella risposta quando la direzione del movimento del bersaglio restava costante ($F_{1,11} = 4.94, p = 0.048, p < 0.05$). Questo risultato è coerente con le nostre aspettative rispetto al *priming* di ripetizione. Lo stesso risultato non si è osservato nelle prove in cui il movimento illusorio seguiva al movimento reale. Per entrambi i tipi di movimento alternati non si sono trovati effetti significativi rispetto all'accuratezza per quanto riguarda la posizione né per l'interazione, anche se per entrambi i tipi di movimento l'accuratezza media maggiore si ha avuta nelle condizioni con posizione incongruente. I risultati dell'analisi dei tempi di risposta non hanno mostrato differenze significative tra le diverse condizioni né per quanto riguarda la posizione né per la direzione di rotazione né per l'interazione tra le due. La media dei tempi di risposta delle prove in cui il movimento reale seguiva al movimento illusorio è 642.72ms, la media dei TR delle prove in cui il movimento illusorio seguiva al movimento reale è invece di 590.62ms.

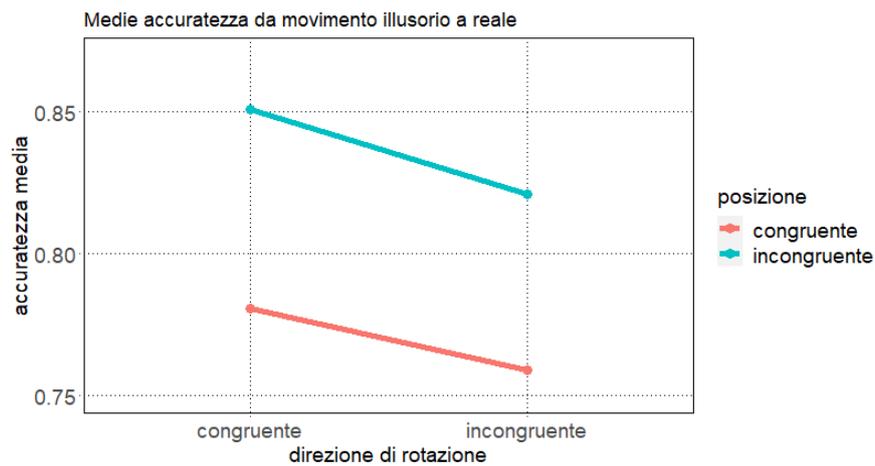


Figura 3.7: Nel grafico sono mostrati i valori medi dell'accuratezza nelle risposte della condizione con movimento alternato per le prove con movimento reale, che seguivano le prove con movimento illusorio. Le quattro condizioni sono date dalla congruenza o incongruenza di posizione e rotazione di direzione del bersaglio rispetto alla prova precedente.

Sequenza	Movimento reale (ms)	Movimento illusorio (ms)
Continua	644.29	569.24
Alternata	642.72	590.62

Tabella 3.1: Nella tabella sono riportate le medie dei tempi di risposta delle prove divise per tipo di movimento, reale o illusorio e per il tipo di sequenza di presentazione, continua o alternata.

3.5 Discussione

I risultati relativi all'accuratezza nelle prove con movimento reale indicano la presenza del *priming* rispetto alla direzione di movimento. Un effetto di *priming* della direzione di movimento si è osservato anche nella condizione di presentazione alternata dei due tipi di movimento, sempre per prove con movimento reale che erano quindi precedute da prove con movimento illusorio. In questi casi la ripetizione della stessa direzione di movimento in due prove consecutive aumentava l'accuratezza dei soggetti nello svolgere il compito. Questi risultati, seppur trovati solo nell'accuratezza e non nei tempi di risposta, provano la presenza del *priming* della direzione di movimento per stimoli con movimento reale e indicano una possibile interazione tra movimento illusorio e movimento reale, sempre nel *priming* della direzione di movimento.

I risultati relativi alle prove con movimento illusorio hanno indicato un effetto della posizione del bersaglio sia nell'accuratezza che nei tempi di risposta. Tali risultati sono in contrasto con le nostre aspettative sul *priming* in quanto in questo caso la ripetizione della posizione è stata correlata sia a tempi di risposta più lunghi che ad un'accuratezza nelle risposte più bassa. Questo fenomeno è stato osservato da Casco e Campana (Casco & Campana, 2009) e spiegato come inibizione di ritorno (*inhibition of return - IOR*), ossia l'effetto inibitorio in seguito alla ripetizione della posizione tra prove consecutive che emerge in compiti di discriminazione o di detezione della posizione, nel caso in cui la posizione da discriminare sia strettamente legata alla risposta motoria. Tale fenomeno è in contrapposizione alla facilitazione di ritorno (*facilitation of return - FOR*) che consiste nell'effetto facilitatorio in seguito alla ripetizione della stessa posizione tra le prove quando il compito consiste in una discriminazione di una caratteristica diversa dalla posizione, e quindi quando la posizione non è legata alla risposta motoria del compito. Dato che il nostro compito consisteva in una discriminazione della posizione dello stimolo bersaglio definito dal movimento, e che quindi la posizione del bersaglio coincideva con la risposta motoria richiesta al soggetto, riteniamo che l'inibizione data dalla ripetizione della posizione del bersaglio tra prove consecutive possa essere spiegata facendo riferimento a tale inibizione di ritorno.

Un ultimo dato interessante deriva dal paragone tra le medie dei tempi di risposta delle prove con differente tipo di movimento (Tabella 3.1). Il tempo di risposta medio delle prove con movimento illusorio è nettamente inferiore a quello delle prove con movimento reale, un dato già osservato da Thornton e Zdravković (Thornton & Zdravković, 2019). Thornton e Zdravković hanno sostenuto che la più veloce detezione del movimento illusorio rispetto al movimento reale, supponendo che entrambi i tipi di movimento siano elaborati nella stessa area, possa essere una prova del fatto che l'informazione relativa all'elaborazione del movimento illusorio possa avere una via d'accesso differente (o aggiuntiva) per raggiungere

le aree dedicate all'elaborazione del movimento. Un'altra possibilità è che altri fattori agiscano come catalizzatori, velocizzando l'elaborazione del movimento illusorio nello specifico. Una terza possibilità riguarda il compito di annullamento utilizzato per ricavare la velocità di rotazione del movimento reale eseguito da Thornton e Zdravković (Thornton & Zdravković, 2019), è possibile che in questo compito tale velocità sia stata sottostimata e che in realtà la velocità di rotazione percepita dagli stimoli con movimento illusorio sia maggiore di 2.2°/s. Avendo utilizzato lo stesso valore di velocità per creare il movimento rotatorio dei nostri stimoli con movimento reale non possiamo pertanto dire se questo risultato sia o meno dovuto a un tale errore di stima.

Un'ipotesi sulla debolezza dei nostri risultati rispetto a quelli precedentemente ottenuti dagli studi sul *priming* di movimento riguarda gli stimoli del compito di ricerca visiva che abbiamo creato. Nello studio che abbiamo preso a modello per creare il compito di ricerca visiva di questo esperimento (Campana, Pavan & Casco, 2007), tutti e tre gli stimoli presentati in colonna al centro dello schermo presentavano un movimento verso destra o verso sinistra e il bersaglio della prova era lo stimolo che presentava un movimento discordante con quello degli altri due. Nel nostro esperimento lo stimolo in movimento era solo il bersaglio, mentre gli altri due stimoli distrattori erano statici. Questa differenza ci ha portato a pensare che il *priming* possa verificarsi con maggiore intensità quando il compito richiede una discriminazione della direzione di movimento tra diversi stimoli in movimento e non verificarsi invece in un compito in cui la discriminazione avviene tra un bersaglio in movimento e degli stimoli statici. I prossimi sviluppi della nostra ricerca saranno volti alla verifica di questa ipotesi. Per fare ciò sarà necessario modificare il paradigma aggiungendo a tutti e tre gli stimoli presentati al centro dello schermo il movimento reale e utilizzando come bersaglio lo stimolo che presenta una direzione di movimento incongruente rispetto a quella degli altri due stimoli. Se la nostra ipotesi sarà confermata dalle evidenze sperimentali ottenute dal prossimo studio allora, utilizzando il paradigma modificato, procederemo nuovamente alla verifica della presenza del *priming* con stimoli con movimento illusorio e tra stimoli con movimento illusorio e movimento reale e viceversa.

Riferimenti bibliografici

- Allman, J. M., & Kaas, J. H. (1971). A representation of the visual field in the caudal third of the middle temporal gyrus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *Brain Research*, 31(1), 85–105. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(71\)90635-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(71)90635-4)
- Ashida, H., Kuriki, I., Murakami, I., Hisakata, R., & Kitaoka, A. (2012). Direction-specific fMRI adaptation reveals the visual cortical network underlying the “Rotating Snakes” illusion. *NeuroImage*, 61(4), 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.033>
- Becker, S. I. (2008). The stage of priming: Are intertrial repetition effects attentional or decisional? *Vision Research*, 48(5), 664–684. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.10.025>
- Bichot, N. P., & Schall, J. D. (1999). Effects of similarity and history on neural mechanisms of visual selection. *Nature Neuroscience*, 2(6), 549–554. <https://doi.org/10.1038/9205>
- Bichot, N. P., & Schall, J. D. (2002). Priming in Macaque Frontal Cortex during Popout Visual Search: Feature-Based Facilitation and Location-Based Inhibition of Return. *The Journal of Neuroscience*, 22(11), 4675–4685. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-11-04675.2002>
- Bravo, M. J., & Nakayama, K. (1992). The role of attention in different visual-search tasks. *Perception & Psychophysics*, 51(5), 465–472. <https://doi.org/10.3758/BF03211642>
- Campana, G., Cowey, A. & Walsh, V. (2002). Priming of Motion Direction and Area V5/MT: A Test of Perceptual Memory. *Cerebral Cortex*, 12(6), 663–669. <https://doi.org/10.1093/cercor/12.6.663>
- Campana, G., Cowey, A., Casco, C., Oudsen, I., & Walsh, V. (2007). Left frontal eye field remembers “where” but not “what”. *Neuropsychologia*, 45(10), 2340–2345. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.009>
- Campana, G., Cowey, A., & Walsh, V. (2006). Visual Area V5/MT Remembers «What» but Not «Where». *Cerebral Cortex*, 16(12), 1766–1770. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj111>
- Campana, G., Pavan, A., & Casco, C. (2008). Priming of first- and second-order motion: Mechanisms and neural substrates. *Neuropsychologia*, 46(2), 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.07.019>
- Casco, C., & Campana, G. (2009). Repetition effects of features and spatial position: Evidence for dissociable mechanisms. *Spatial Vision*, 22(4), 325–338. <https://doi.org/10.1163/156856809788746318>

- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 170–178. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01476-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01476-5)
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual Cueing: Implicit Learning and Memory of Visual Context Guides Spatial Attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28–71. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0681>
- de Leeuw, J. R. (2014). jsPsych: A JavaScript library for creating behavioral experiments in a Web browser. *Behavior Research Methods*, 47(1), 1–12. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0458-y>
- Dubner, R., & Zeki, S. M. (1971). Response properties and receptive fields of cells in an anatomically defined region of the superior temporal sulcus in the monkey. *Brain Research*, 35(2), 528–532. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(71\)90494-X](https://doi.org/10.1016/0006-8993(71)90494-X)
- Duncan, J. (1985). Two techniques for investigating perception without awareness. *Perception & Psychophysics*, 38(3), 296–298. <https://doi.org/10.3758/BF03207158>
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). *Visual Search and Stimulus Similarity*. 26.
- Gabrieli, J. D. E., Fleischman, D. A., Keane, M. M., Reminger, S. L., & Morrell, F. (1995). Double Dissociation Between Memory Systems Underlying Explicit and Implicit Memory in the Human Brain. *Psychological Science*, 6(2), 76–82. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1995.tb00310.x>
- Hawken, M., Parker, A., & Lund, J. (1988). Laminar organization and contrast sensitivity of direction-selective cells in the striate cortex of the Old World monkey. *The Journal of Neuroscience*, 8(10), 3541–3548. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.08-10-03541.1988>
- Hisakata, R., & Murakami, I. (2008). The effects of eccentricity and retinal illuminance on the illusory motion seen in a stationary luminance gradient. *Vision Research*, 48(19), 1940–1948. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.06.015>
- Huang, L., Holcombe, A. O., & Pashler, H. (2004). Repetition priming in visual search: Episodic retrieval, not feature priming. *Memory & Cognition*, 32(1), 12–20. <https://doi.org/10.3758/BF03195816>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology*, 195(1), 215–243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008455>

- Ilg, U. J. (2008). The role of areas MT and MST in coding of visual motion underlying the execution of smooth pursuit. *Vision Research*, 48(20), 2062–2069. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.04.015>
- Kitaoka, A., & Ashida, H. (2003). Phenomenal Characteristics of the Peripheral Drift Illusion. 2.
- Kristjánsson, Á., & Campana, G. (2010). Where perception meets memory: A review of repetition priming in visual search tasks. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(1), 5–18. <https://doi.org/10.3758/APP.72.1.5>
- Kristjánsson, Á., Ingvarsdóttir, Á., & Teitsdóttir, U. D. (2008). Object- and feature-based priming in visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(2), 378–384. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.2.378>
- Lange, K., Kühn, S., & Filevich, E. (2015). "Just Another Tool for Online Studies" (JATOS): An Easy Solution for Setup and Management of Web Servers Supporting Online Studies. *PLOS ONE*, 10(6), e0130834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130834>
- Magnussen, S., & Greenlee, M. W. (1999). The psychophysics of perceptual memory. *Psychological Research*, 62(2–3), 81–92. <https://doi.org/10.1007/s004260050043>
- Maljkovic, V., & Nakayama, K. (1994). Priming of pop-out: I. Role of features. *Memory & Cognition*, 22(6), 657–672. <https://doi.org/10.3758/BF03209251>
- Maljkovic, V., & Nakayama, K. (1996). Priming of pop-out: II. The role of position. *Perception & Psychophysics*, 58(7), 977–991. <https://doi.org/10.3758/BF03206826>
- Mather, G., & Cavanagh, P. (1989). Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, 4(2–3), 103–129. <https://doi.org/10.1163/156856889X00077>
- Movshon, J. A., & Newsome, W. T. (1996). Visual Response Properties of Striate Cortical Neurons Projecting to Area MT in Macaque Monkeys. *The Journal of Neuroscience*, 16(23), 7733–7741. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.16-23-07733.1996>
- Sauter, M., Draschkow, D., & Mack, W. (2020). Building, Hosting and Recruiting: A Brief Introduction to Running Behavioral Experiments Online. *Brain Sciences*, 10(4), 251. <https://doi.org/10.3390/brainsci10040251>
- Sigurdardóttir, H. M., Kristjánsson, Á., & Driver, J. (2008). Repetition streaks increase perceptual sensitivity in visual search of brief displays. *Visual Cognition*, 16(5), 643–658. <https://doi.org/10.1080/13506280701218364>

- Thornton, I. M., & Zdravković, S. (2019). Searching for illusory motion. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(1), 44–62. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01750-3>
- Tootell, R., Reppas, J., Kwong, K., Malach, R., Born, R., Brady, T., Rosen, B., & Beliveau, J. (1995). Functional analysis of human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 15(4), 3215–3230. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.15-04-03215.1995>
- Tulving, E., & Schacter, D. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, 247(4940), 301–306. <https://doi.org/10.1126/science.2296719>
- Warrington, E. K., & Weiskrantz, L. (1968). New Method of Testing Long-term Retention with Special Reference to Amnesic Patients. *Nature*, 217(5132), 972–974. <https://doi.org/10.1038/217972a0>
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 0058. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>
- Wolfs, J. M., Friedman-Hill, S. R., & Bilsky, A. B. (1994). Parallel processing of part-whole information in visual search tasks. *Perception & Psychophysics*, 55(5), 537–550. <https://doi.org/10.3758/BF03205311>
- Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (2006). *Sensation and perception*. Sinauer Associates.
- Xu, Y. (2002). Encoding color and shape from different parts of an object in visual short-term memory. *Perception & Psychophysics*, 64(8), 1260–1280. <https://doi.org/10.3758/BF03194770>