

1222·2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

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

**Elaborato finale**

**Integrazione di segnali di forma e movimento  
indagata con Glass pattern complessi**

**Integration of shape and motion signals  
investigated with complex Glass patterns**

***Relatore:***

**Prof. Campana Gianluca**

***Correlatore***

**Dott. Marco Roccato**

***Laureanda:***

**Li Zuniga Laura Sofia**

***Matricola:* 1221894**



# INDICE

<b>1. Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Il sistema visivo nell'uomo</b>	<b>4</b>
1.1.1 Le cellule gangliari	4
1.1.2 Il nucleo genicolato laterale (NGL)	5
1.1.3 La corteccia visiva primaria (V1)	6
1.1.4 Vie visive	7
<b>1.2 I Glass patterns (GP)</b>	<b>8</b>
1.2.1 Studi con i Glass pattern	9
<b>2. Studio sperimentale</b>	<b>11</b>
2.1 Ipotesi	11
2.2 Metodo	12
2.2.1 Partecipanti	12
2.2.2 Apparato	12
2.2.3 Stimoli	12
2.2.4 Procedura	13
2.2.5 Compito	13
2.3 Risultati	15
2.4 Discussione	21
2.5 Conclusione	22
<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>

## **1. Introduzione**

Il sistema visivo permette all'uomo di svolgere azioni fondamentali per un'interazione ottimale con l'ambiente, come per esempio il riconoscimento delle forme, la localizzazione degli oggetti, l'identificazione di volti e luoghi, la percezione di colori ed ombre e numerose altre funzioni essenziali allo sviluppo umano. In particolare, sono stati largamente studiati i processi di riconoscimento e localizzazione di forme e oggetti. Questi due meccanismi possiedono basi neurali distinte, caratterizzate da aree di elaborazione proprie per specifiche tipologie di stimoli. Tuttavia, studi recenti hanno evidenziato l'esistenza di una stretta relazione che lega questi due meccanismi. Studi successivi si sono posti di indagare, attraverso diversi paradigmi, come il sistema visivo umano elabori queste due tipologie di segnali. In questo elaborato sono stati approfonditi i meccanismi di riconoscimento di forma e movimento e della loro interazione attraverso l'utilizzo di stimoli visivi complessi. Il presente studio si pone l'obiettivo di approfondire come il sistema visivo integri le informazioni di forma e movimento in presenza di rumore attraverso l'utilizzo dei Glass patterns (GP). Questi stimoli sono un'insieme di dipoli orientati che generano una percezione di struttura globale. Possono essere anche dinamici, suscitando una percezione di movimento apparente e non direzionale. L'esperimento replica in parte lo studio condotto da Donato, Pavan, Almeida, Nucci e Campana nel 2021 il quale, attraverso la manipolazione dei GP, si pone di indagare le modalità di elaborazione di questi stimoli, focalizzando l'attenzione sui meccanismi di sommazione temporale e spaziale. Nei seguenti capitoli saranno esaminate le principali aree cerebrali deputate all'elaborazione visiva, prestando maggior attenzione a quelle coinvolte nella percezione di movimento e forma. Si descriverà attentamente lo stimolo complesso scelto ed infine verrà esposto, analizzato e discusso lo studio sperimentale, supportato da studi di riferimento.

## **1.1 Il sistema visivo nell'uomo**

Il sistema visivo umano si compone da diverse tipologie di cellule, ciascuna delle quali svolge compiti specifici. Quelle che iniziano il processo di trasduzione che permette all'occhio di comunicare con le strutture più avanzate del sistema visivo sono le cellule gangliari (Sernagor et al., 2001; Porciatti, 2015).

### **1.1.1 Le cellule gangliari**

Nello strato delle cellule multipolari della retina possiamo trovare le cellule gangliari. Queste cellule sono caratterizzate da particolari campi recettivi concentrici ed antagonisti, la cui risposta dipende dalla quantità e dalla posizione della luce. Tuttavia la loro attività elettrica è spontanea, per cui mantengono una frequenza di scarica anche in assenza di stimolazione. La loro principale funzione è quella di rilevare i contorni, essendo sensibili al contrasto locale dell'immagine grazie alla loro conformazione concentrica centro/periferia (Wiesel, 1960).

Le cellule gangliari si possono classificare ulteriormente in cellule di tipo M e cellule di tipo P. Le cellule M possiedono campi recettivi più ampi e una risposta di scarica più transiente delle cellule P, ma si trovano in minor quantità; le cellule P, invece, hanno una risposta più sostenuta, sono più numerose ma hanno campi recettivi più ristretti. Un'altra importante differenza consiste nella loro diversa acuità visiva: le prime rispondono a contrasti molto bassi, le seconde sono specializzate nell'individuazione di piccoli dettagli. Inoltre, le cellule M sono dedite alle prime fasi di elaborazione del movimento, occupandosi della localizzazione e degli aspetti temporali. Le cellule P sembrerebbero essere anche sensibili alle lunghezze d'onda (Shapley & Perry, 1986). La pluralità di compiti che queste cellule possiedono suggerisce dunque che le informazioni non vengano elaborate in maniera sequenziale bensì parallelamente, attraverso network specializzati che collegano le cellule M e P a determinati strati del nucleo genicolato laterale del talamo (NGL), a sua volta connesso ad altre strutture della corteccia cerebrale (Nassi & Callaway, 2009).

### **1.1.2 Il nucleo genicolato laterale (NGL)**

Gli assoni delle cellule gangliari di ciascun occhio si raggruppano a formare i rispettivi nervi ottici, i quali trasmettono l'informazione visiva fuori dalla retina. Le fibre di ciascun nervo si incontrano nel chiasma ottico, dove avviene la decussazione parziale dell'informazione. Oltre questa struttura, l'informazione dei nervi ottici, ora contenenti fibre da entrambi gli occhi, viaggia per il tratto ottico verso il nucleo genicolato laterale (NGL), una struttura sotto-corticale appartenente al talamo (Smith & Strottmann, 2001).

Il nucleo genicolato laterale presenta una struttura composta da 6 strati: i primi due sono strati "magnocellulari" e i rimanenti quattro sono chiamati "parvocellulari". Questi strati ricevono afferenze rispettivamente dalle cellule gangliari M e P, dal momento che ciascuno di questi strati si occupano di elaborare specifiche informazioni. Ad esempio, la via magnocellulare è adibita all'analisi delle caratteristiche di movimento e profondità, mentre la via parvocellulare è deputata all'elaborazione delle forme e dei colori. Tuttavia, la maggior parte delle afferenze che arrivano al NGL provengono dalla formazione reticolare, ovvero input da altri nuclei talamici, dal tronco encefalico e dalla corteccia visiva primaria (V1), importantissima per la modulazione della trasmissione del flusso di informazioni (Wiesel & Hubel, 1963).

Anche il NGL, come le cellule gangliari, possiede dei campi recettivi concentrici ed antagonisti. Ciò permette di ottenere un incremento del contrasto, rilevato già dalle gangliari (Przybyszewski et al., 2000). Dal NGL l'informazione viaggia attraverso la radiazione ottica fino ad arrivare alla corteccia visiva primaria. Il percorso svolto dal segnale visivo che parte dalla retina e arriva a V1 è organizzata in modo tale che cellule retiniche vicine attivino cellule corticali vicine. Questa disposizione prende il nome di mappa o organizzazione retinotopica: essa permette alle aree con maggior densità recettoriale sulla retina, ovvero la fovea, di essere sovrarappresentati in corteccia (fenomeno chiamato magnificazione corticale) (Benson et al., 2012; Engel et al., 1997). Questa particolare strutturazione consente di avere un'acuità visiva migliore in corrispondenza della visione centrale della fovea, nello specifico permette di distinguere particolari molto fini degli stimoli osservati.

### **1.1.3 La corteccia visiva primaria (V1)**

La corteccia visiva primaria, anche chiamata corteccia striata, V1 o area 17 di Brodmann, è la prima struttura di elaborazione del segnale visivo nella corteccia cerebrale. Essa si trova nel lobo occipitale e possiede una struttura a sei strati distinti, come il NGL, da cui riceve afferenze principalmente dallo strato IV. Quest'ultimo è ulteriormente suddiviso in 4 strati (IVA, IVB, IVC $\alpha$  e IVC $\beta$ ). In particolare, il sottostrato IVC $\alpha$  riceve input dagli strati magnocellulari del NGL e il sottostrato IVC $\beta$  da quelli parvocellulari (Martinez et al., 2005). V1 è caratterizzata dalla presenza di diverse tipologie di cellule: semplici, complesse e ipercomplesse. Avanzando lungo la gerarchia visiva, questi neuroni si distinguono per avere dei campi recettivi più ampi così da riuscire ad elaborare informazioni sempre più complesse (Petro et al., 2014). Infatti, in V1 si possono vedere nuove proprietà come la selettività per orientamento e posizione, preferenze per direzione di movimento e grandezza dello stimolo (Hubel & Wiesel, 1959), sensibilità al contrasto, alla frequenza spaziale e al colore (Shapley & Hawken, 2002). Queste informazioni vengono elaborate separatamente dalle diverse cellule che compongono la corteccia striata. Queste cellule sono organizzate all'interno di V1 in piccoli moduli cubici, al cui interno vi sono circa centomila neuroni. Questi moduli prendono il nome di ipercolonne, a loro volta ulteriormente organizzate in altre piccole colonne, chiamate colonne di dominanza oculare. Il loro nome deriva dal fatto che esse hanno una risposta ottimale per stimoli provenienti dall'occhio destro o sinistro o da entrambi (LeVay et al., 1980). Inoltre, all'interno delle ipercolonne (in particolare degli strati II e III) si possono trovare piccole cellule sensibili alle lunghezze d'onda, denominate blob: ciascuna ipercolonna possiede 2 blob (uno per occhio) attorno ai quali vi sono ulteriori colonne di neuroni che rispondono ad orientazioni particolari degli stimoli. Ciò suggerisce che le ipercolonne siano in grado di elaborare tutte le caratteristiche fondamentali presenti in una determinata area del campo visivo (Bressloff & Cowan, 2002).

#### 1.1.4 Vie visive

L'informazione visiva deve percorrere altre vie visive che portano ad aree corticali extrastriate, le quali si occupano di raggruppare le diverse caratteristiche codificate dai neuroni. Le vie sono due: la via ventrale, chiamata anche la via del "what", la cui funzione è quella del riconoscimento delle forme, e la via dorsale, o via del "where", implicata nell'analisi del movimento (Mishkin et al., 1983). La prima via è così chiamata poiché si propaga ventralmente, passando per V2 e V4 raggiungendo il lobo temporale, più specificamente la corteccia inferotemporale (ITC) (Tanaka, 1996; Gross et al., 1972). Quest'area è suddivisa in diverse regioni che possiedono cellule che rispondono ad una determinata classe di oggetti. Ad esempio, si possono trovare l'area paraippocampale (PPA) e l'area fusiforme (FFA), deputate rispettivamente al riconoscimento dei luoghi e a quello dei volti. Le regioni specializzate elaborano ed integrano tra di loro le informazioni ottenendo così un'immagine sempre più nitida e completa della realtà (Kim & Biederman, 2011; Kravitz et al., 2013; Kauffmann et al., 2015).

La seconda via, invece, si estende dorsalmente, attraversando V2 e V5/MT (area temporale mediale) e giungendo alla corteccia parietale posteriore. L'area V5/MT viene studiata sulle scimmie per la prima volta nel 1971 (Allmas & Kaas, 1971) quando si scopre il suo importante ruolo nell'elaborazione visiva del movimento. Questa via elabora il movimento e codifica spazialmente la posizione degli oggetti, ma è anche associata ai processi attentivi (Freeman et al., 2001). Esiste un'altra area importante del lobo parietale specializzata nella percezione di movimenti complessi e del flusso ottico (modalità di percezione visiva del movimento degli oggetti in relazione al soggetto, ottenuta comparando aspetti fisici come la velocità, l'intensità della luce, la posizione della testa e del corpo e dei movimenti oculari): l'area temporale mediale superiore (MST) (Tanaka & Saito, 1989). Su questi due sottosistemi la letteratura scientifica è ampia, data la loro importanza per lo studio delle risposte comportamentali agli stimoli ambientali. Tuttavia, risultano essere di maggior interesse gli studi che mostrano la stretta interconnessione che riguarda le due vie visive. Infatti, ricerche neuropsicologiche su pazienti affetti da particolari forme di agnosia visiva (disturbo della percezione che impedisce il riconoscimento delle informazioni visive) hanno



dimostrato la parziale interazione dei due flussi, sia funzionali che anatomiche, per lo sviluppo delle abilità visuomotorie (Goodale et al., 1991; Milner, 2017). Le osservazioni in questo campo rimangono ristrette ma ancora in corso e restano in discussione alcuni modelli formulati, come ad esempio i modelli di Cloutman (2013). Frequentemente, al fine di studiare il processo di integrazione delle informazioni di forma e movimento, vengono utilizzati i Glass pattern.

## **1.2 I Glass Pattern (GP)**

I GP sono particolari tipi di stimoli formati da punti appaiati, chiamati dipoli, la cui disposizione spaziale e temporale suscita una percezione di forma e di movimento (Glass, 1969). Essi possono essere presentati in maniera statica o dinamica. La differenza tra queste due forme consiste nel numero di frame utilizzati: i GP statici sono caratterizzati da un unico frame, diversamente dai GP dinamici che possiedono molteplici frame presentati in rapida successione. Questa caratteristica permette loro di indurre una percezione illusoria di movimento non direzionale, dal momento che ogni frame si distingue per la diversa disposizione spaziale pur mantenendo costante l'orientazione dei dipoli (Nankoo et al., 2012). Il movimento non direzionale è ottenuto con una variazione non coerente della direzione di spostamento dei dipoli tra un frame e quello successivo. Tuttavia, l'orientazione dei dipoli rimane costante e la rapida successione dei frame che compongono lo stimolo sembra far percepire all'osservatore una direzione di movimento coerente (Geisler, 1999). Diversi studi hanno evidenziato che in generale i GP dinamici risultano più facili da individuare e discriminare (Burr & Ross, 2006; Nankoo et al., 2012; Nankoo et al., 2015). Questi pattern sono ampiamente utilizzati nella ricerca psicofisica, in particolare nello studio dei meccanismi di interazione delle vie di riconoscimento della forma e del movimento. Ciò avviene perché i GP, costruiti secondo una regola globale di forma, possono indurre una percezione di movimento apparente, coerente e globale, anche se non direzionale. Per movimento globale si intende il movimento percepito dalla combinazione di segnali di movimento locale distribuiti nel tempo e nello spazio (Ross et al., 2000). Con movimento apparente si intende un tipo di illusione percettiva derivata dalla presentazione in successione due stimoli stazionari (ovvero stimoli fermi e fissi, non in

movimento) che vengono riconosciuti come un unico stimolo in movimento (Ramachandran & Anstis, 1986).

### 1.2.1 Studi con i Glass pattern

L'utilizzo dei GP negli studi sperimentali consente di indagare come il sistema visivo umano riesca a processare ed integrare i segnali di forma e movimento (Nankoo et al., 2012). I GP possono essere costruiti in modo tale da indurre la percezione di una determinata forma, come per esempio forme circolari, radiali, traslazionali o spirali. Diversi studi psicofisici hanno cercato di indagare quali tipologie di GP fossero più o meno facilmente discriminabili (Wilson & Wilkinson, 1998). Ad esempio, nello studio di Kelly, Bischof, Wong-Wylie e Spetch del 2001 si sono indagate le soglie di discriminazione di GP traslazionali (orizzontali e verticali), circolari e radiali: i risultati mostrarono una miglior discriminazione dei GP radiali e circolari rispetto a quelli traslazionali (Kelly et al., 2001; Donato et al., 2021). Similmente, uno studio svolto da Lee & Lu (2010) pone l'attenzione sulle diverse soglie tra GP semplici e complessi. La loro differenza risiede nella forma: i primi si compongono di una costruzione traslazionale, che può essere verticale o orizzontale, mentre i secondi comprendono costruzioni di forme diverse (nello specifico caso, forme circolari e radiali). I risultati ottenuti vedono una particolare sensibilità verso i GP complessi piuttosto che per quelli semplici.

Un'ulteriore variabile può essere aggiunta ai GP dinamici, ovvero la frequenza temporale. Essa è manipolata cambiando il numero di frame presentati e il loro *pattern update rate* (ovvero la frequenza con cui vengono presentati i frame). Uno studio del 2000 (Ross et al., 2000) ha mostrato come un pattern update rate elevato aumenti la percezione della forma dei GP dinamici, con forme circolari, traslazionali e radiali. Inoltre, Ross e colleghi hanno mostrato come l'area cerebrale che risponde a questi stimoli è la MST, dimostrando che essa risponde sia nel caso di movimento apparente sia per quello reale (Ross et al., 2000). Anche lo studio di Krekelberg et al. (2005) supporta l'ipotesi che le stesse cellule delle aree dorsali, che sono selettive per il movimento apparente, siano selettive anche per il movimento reale. Infatti,

sembrerebbero rispondere a prescindere della natura dello stimolo che induce percezione di movimento.

Nel 2014, Day e Palomares hanno indagato l'integrazione di segnali di movimento e forma manipolando la frequenza temporale con cui si alterano i vari pattern. È stato visto infatti un miglioramento della soglia di detezione del segnale all'aumentare della frequenza temporale, in particolare per stimoli con una separazione maggiore tra i dipoli (Day & Palomares, 2014). Questi studi supportano l'idea che le informazioni di movimento e forma vengano "sommate" facendo sì che la capacità di discriminazione dei segnali dell'osservatore migliori. Tuttavia, lo studio non evidenzia se le soglie di discriminazione basse siano da attribuire maggiormente all'aumento del pattern update rate oppure se a quello del numero di frame unici. Uno spunto interessante arriva dallo studio condotto da Nankoo et al. (2015). L'indagine si propone di dimostrare che le soglie di discriminazione basse ottenute da GP semplici e dinamici sono derivate non solo da un elevato pattern update rate ma anche da un numero elevato frame unici che compongono lo stimolo. I risultati infatti dimostrano che utilizzando la stessa frequenza temporale alta, gli stimoli più facili da discriminare sono quelli composti da più tipi di frame unici diversi. Ciò sembra accadere grazie ad una sommazione temporale dei segnali di forma. Gli studi sopra citati suggeriscono l'ipotesi che non esista una totale indipendenza, sia anatomica che funzionale, delle vie dorsali e ventrali. Bensì sembra esserci interazione tra di esse in modo da arrivare ad una corretta elaborazione dello stimolo visivo in movimento (Donato, Pavan, Campana, 2020).

## **2. Studio sperimentale**

Sulla base delle ricerche svolte e citate in precedenza, il presente studio andrà ad esaminare in che modo GP statici e dinamici, con forme circolari, radiali e spirali, vengano discriminati. Questa ricerca si basa sul lavoro di Donato, Pavan, Almeida, Nucci e Campana nel 2021, utilizzando il medesimo metodo sperimentale ma adattato alle nuove variabili introdotte. In particolare, verranno utilizzate le stesse combinazioni di frame unici e pattern update rate dello studio di riferimento (Donato et al., 2021) ma modificando le forme impiegate.

### **2.1 Ipotesi**

L'obiettivo del presente studio è studiare la natura della variabilità delle soglie di discriminazione di GP circolari, radiali e spirali. In particolare, si vuole indagare se questa variabilità dipenda dal numero di frame unici che compongono il GP dinamico oppure dal pattern update rate dello stimolo, a prescindere dalla sua composizione in termini di frame unici. Come negli studi di Nankoo et al. (2015), l'aspettativa è quella di ottenere un abbassamento delle soglie di discriminazione all'aumentare del numero di frame utilizzati, ad indicare una sommazione dei segnali di forma tra i molteplici frame. Aspettative diverse invece sono suggerite da Day & Palomares (2014), nel cui studio le soglie diminuiscono conseguentemente all'aumento del pattern update rate, verificandosi in questo modo un'integrazione temporale dei segnali locali di movimento. Inoltre, ci si attende di ottenere soglie più basse per i GP circolari e radiali e più alte nei GP a spirale (presenti sia in senso orario che antiorario), indipendentemente dal numero di frame e dalla frequenza temporale (Seu & Ferrera, 2001). Infine, l'aspettativa è quella di ottenere, a prescindere dalla forma e condizione temporale, soglie di discriminazione più alte per i GP statici e più basse per quelli dinamici (Nankoo et al., 2012).

## **2.2 Metodo**

### **2.2.1 Partecipanti**

Hanno partecipato all'esperimento 16 soggetti, di età compresa tra i 20 e i 30 anni (media 22.5, DS: 2.73), nove femmine e sette maschi, tutti aventi una capacità visiva normale o corretta a normale. Il disegno di ricerca prevedeva quattro diverse sessioni, ciascuna delle quali è stata svolta in quattro giorni diversi. Tutti i soggetti hanno svolto l'esperimento per intero. Essi sono stati informati sullo scopo generale della ricerca e hanno firmato il consenso informato prima di prendere parte allo studio. L'esperimento è stato approvato dal Comitato Etico dell'Università degli Studi di Padova.

### **2.2.2 Materiali**

È stato utilizzato un monitor Hp p1230 a tubo catodico da 20 pollici, con risoluzione 1024 x 768 pixel e un refresh rate di 60Hz, e sistema operativo Windows 7. I partecipanti hanno mantenuto una distanza di 57cm dallo schermo per la durata di ogni sessione (approssimativamente 2.5 ore). Gli stimoli sono stati presentati tramite un programma implementato grazie al pacchetto Psychtoolbox-3 del software MATLAB (<http://psychtoolbox.org/>) (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard, & Pelli, 2007; Pelli & Vision, 1997). Le sessioni sperimentali si sono tenute nel Laboratorio di visione del Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova, con la presenza di uno sperimentatore.

### **2.2.3 Stimoli**

Gli stimoli visivi utilizzati sono stati i Glass pattern (GP) circolari, radiali e spirali, sia statici che dinamici. I GP erano caratterizzati da 2146 dipoli bianchi presentati su uno sfondo nero. La distanza tra essi era di  $0.25^\circ$  di angolo visivo e ogni punto aveva un diametro di  $0.04^\circ$ . L'angolo visivo è l'unità di misura utilizzata per quantificare il campo visivo, ossia l'area dello spazio osservabile percepito dall'occhio umano. I GP sono stati presentati all'interno di una finestra circolare di diametro  $10.7^\circ$ . I

GP statici erano formati da un unico frame, mentre quelli dinamici da frame multipli e indipendenti presentati in rapida successione. Ogni frame aveva una durata di 0.0167s. La durata complessiva di ogni stimolo era di 0.2s. Prima di ogni trial veniva presentato un punto di fissazione, presente al centro della finestra circolare, di diametro di  $0.3^\circ$  e della durata di 1s.

#### **2.2.4 Procedura**

I partecipanti si sono posizionati ad una distanza di 57 cm dallo schermo (misurata dallo sperimentatore prima dell'inizio del compito) ed è stato chiesto loro di mantenerla per tutta la durata della sessione, da svolgersi al buio. Ciascuna sessione prevedeva un'iniziale fase di training così da permettere ai soggetti di familiarizzare con lo stimolo visivo. Le quattro sessioni svolte dai partecipanti differivano per la forma del GP presentato: circolare, radiale, spirale oraria e spirale antioraria. Esse sono state svolte in diversi giorni, al fine di non affaticare troppo i partecipanti, essendo la durata di ogni sessione di circa due ore. Inoltre, ogni sessione era composta da 9 condizioni temporali diverse, ognuna della durata di circa 15 minuti, ciascuna delle quali caratterizzata da uno specifico numero di frame, sequenza di presentazione dei frame e pattern update rate, ovvero una velocità specifica di presentazione delle sequenze di frame unici (Tabella 1).

#### **2.2.5 Compito**

Sullo schermo sono stati presentati due intervalli temporali di GP, uno con dipoli orientati e l'altro con una disposizione casuale dei dipoli, separati l'uno dall'altro da una schermata nera. Ai soggetti veniva proposto un compito di tipo *2 interval-forced-choice* (2IFC), un compito in cui essi possono scegliere una risposta tra sole due alternative, e veniva chiesto loro di discriminare quale tra i due intervalli di GP avesse il maggior numero di dipoli orientati, premendo il tasto "A" se lo stimolo orientato fosse il primo e "L" se invece si trattasse del secondo. Prima di iniziare le sessioni, ogni partecipante ha svolto un breve training di 30 trial per familiarizzare con lo stimolo. Al suo termine iniziava il compito sperimentale vero e proprio, composto da 150 trial per condizione. Queste ultime erano complessivamente nove ed erano distinte una dall'altra per

frequenza temporale (Hz). Sia nella fase di training che in quella sperimentale, prima di ogni trial veniva presentata sullo schermo una croce di fissazione della durata di 1s, seguita successivamente dai due stimoli (presentati in ordine casuale tra i trial), ciascuno della durata di 0.2s, a loro volta separati da una schermata nera di durata 0.5s (Figura 1). Sia l'ordine delle sessioni sia quello delle condizioni è stato randomizzato tra i partecipanti, in modo da controbilanciare l'ordine delle condizioni ed evitare un effetto dovuto all'ordine di presentazione.

Per stimare i parametri della funzione psicometrica dei partecipanti è stata utilizzata l'*updated maximum likelihood staircase* procedure, una procedura di tipo adattiva che aggiusta, secondo uno specifico *step size*, la % di presentazione di dipoli orientati nel trial successivo a seconda della risposta data precedentemente dal soggetto (Clevenger & Restrepo, 2006), permettendo così di avere valori di soglia più accurati. In particolare, è stata utilizzata la scala *1-up 3-down*, ovvero che ad ogni risposta sbagliata la concentrazione di dipoli viene aumentata e rimane invariata per 3 presentazioni consecutive esatte, per poter ridurre alla presentazione successiva la concentrazione di dipoli.

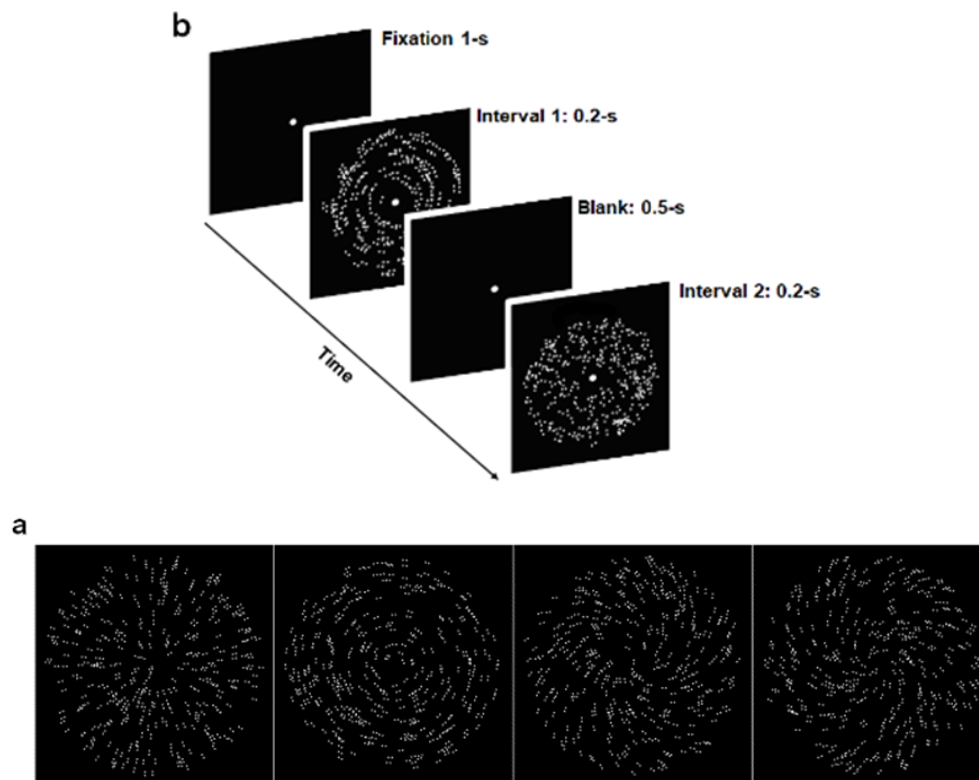
## 2.3 Risultati

L'analisi dei dati raccolti è stata effettuata con l'utilizzo del programma RStudio. Nella Figura 2 vengono mostrate le soglie di discriminazione per i GP circolari, radiali e a spirale per ogni condizione temporale (Tabella 1).

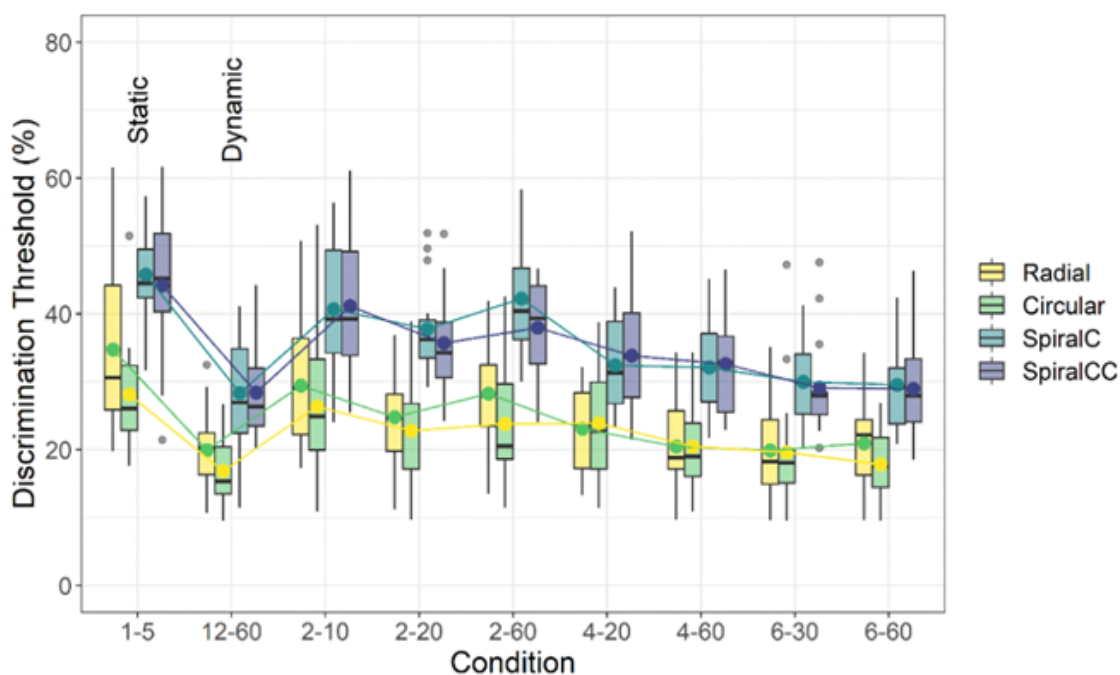
Condizioni	Sequenze di Frame Unici	Numero di Frame Unici	Pattern update rate (Hz)
1	AAAAAAAAAAAA	1	5
2	ABCDEFGHIJKLM	12	60
3	AAAAAABBBBBB	2	10
4	AAABBBAAABBB	2	20
5	ABABABABABAB	2	60
6	AAABBBCCDDDD	4	20
7	ABCDABCDABCD	4	60
8	AABBCCDDEEFF	6	30
9	ABCDEFABCDEF	6	60

**Tabella 1.** Le 9 condizioni utilizzate nell'esperimento vengono riportate con le proprie specifiche: il numero di frame unici, le sequenze di frame unici (indicate con delle lettere) e i pattern update rate. Ciascuna condizione è stata svolta per ogni tipo di GP. Lo schema di raggruppamento dei frame unici e dei pattern update rate è lo stesso utilizzato in Donato et al. (2021) e Nankoo et al. (2015).





**Figura 1.** Rappresentazione dei 4 tipi di GP (a) e della procedura (b) utilizzata nell'esperimento. L'immagine (a) mostra da sinistra verso destra quattro GP: radiale, circolare, a spirale oraria e a spirale antioraria. L'immagine (b) mostra i due intervalli temporali di 0.2s: il primo con un GP (circolare) al 100% di dipoli orientati e il secondo con 0%.



**Figura 2.** Boxplot delle soglie di discriminazione (%) per ogni tipo di GP. Nell’asse X vengono riportate le nove condizioni temporali, composte dal numero di frame unici e il pattern update rate dei GP. La linea nera orizzontale su ogni boxplot indica la mediana, mentre i loro estremi superiori ed inferiori corrispondono rispettivamente al primo e terzo quartile (i.e il 25° e il 75° percentili). Inoltre, il punto al loro interno rappresenta la soglia di discriminazione media.

In primo luogo, è stata svolta l’analisi dei residui utilizzando il test Shapiro-Wilk, in modo da verificare la normalità dei campioni, soprattutto nel caso di campioni ridotti come nel presente caso. In questo modo, si è dimostrato che i residui delle soglie di coerenza non erano distribuiti normalmente ( $W = 0.976$ ,  $p < 0.0001$ ). Utilizzando la deviazione assoluta mediana (MAD) come misura di dispersione statistica, con un *cut-off* di 3, sono stati identificati e inclusi nelle analisi 18 *outliers* (valori della soglia di coerenza  $> 50\%$ ). Dal momento che i dati non avevano una distribuzione normale, essi sono stati analizzati con un Modello Lineare Generalizzato (GLM), utilizzando il pacchetto “*lme4*”.

Il modello includeva tre tipi di variabili: le tipologie di GP (radiale, circolare, a spirale oraria e antioraria), la condizione temporale (cioè la combinazione del numero di

frame unici e il pattern update rate) e l'interazione tra il tipo di GP e la condizione temporale. Grazie all'analisi di regressione è stato possibile trovare un effetto significativo sia del tipo di GP ( $\chi^2 = 285.9$ ,  $df = 3$ ,  $p < .0001$ ), sia della condizione temporale ( $\chi^2 = 182.04$ ,  $df = 8$ ,  $p < .0001$ ), ma non una interazione significativa tra le due variabili ( $\chi^2 = 14.07$ ,  $df = 24$ ,  $p = .945$ ).

Successivamente, per contrastare il problema dei confronti multipli, con l'analisi post-hoc con correzione di Holm sono stati confrontati i tipi di GP: in questo modo è possibile controllare la probabilità di ottenere falsi negativi (errori di tipo I). È risultato che i GP circolari avessero soglie di discriminazione più basse rispetto agli altri GP (radiale:  $p_{adj} = .0057$ , spirale oraria:  $p_{adj} < .0001$ , spirale antioraria:  $p_{adj} < .0001$ ). Anche i GP radiali sembravano avere soglie più basse rispetto ai GP a spirale (spirale oraria:  $p_{adj} < .0001$ , spirale antioraria:  $p_{adj} < .0001$ ). Infine, non è stata notata alcuna differenza significativa tra i due tipi di GP a spirale ( $p_{adj} = .522$ ).

Per quanto riguarda invece le analisi post-hoc con correzione di Holm relative alle condizioni temporali (Tabella 2), è emerso come la condizione statica (1-5) presenti delle soglie di discriminazione più alte rispetto alle condizioni dinamiche con il maggior numero di frame unici, ovvero quelle con 4 e 6 frame unici (tutti i p-value sono inferiori a .0001). Si nota inoltre una differenza significativa tra la condizione statica e la condizione 12-60, la quale consiste nella combinazione di frame unici e pattern update rate maggiormente dinamica fra quelle impiegate.

Per quanto riguarda le condizioni con 2 frame unici, la condizione statica differisce significativamente dalle condizioni 2-10 ( $p < .0001$ ) e 2-60 ( $p < .0001$ ). È possibile avanzare l'ipotesi che ciò dipenda dal fatto che le condizioni con 2 frame unici vengano percepite come più simili alla condizione statica, indipendentemente dal pattern update rate. Tuttavia va sottolineato come sussista anche una differenza significativa con la condizione 2-20 ( $p < .0003$ ).

Inoltre è interessante notare come per la condizione 12-60 (la più dinamica per numero di frame unici e pattern update rate) le soglie siano più basse che per tutte le altre condizioni, ad eccezione delle condizioni 4-60, 6-30, e 6-60, che sono invece le condizioni dinamiche con il più alto numero di frame unici e pattern update rate.

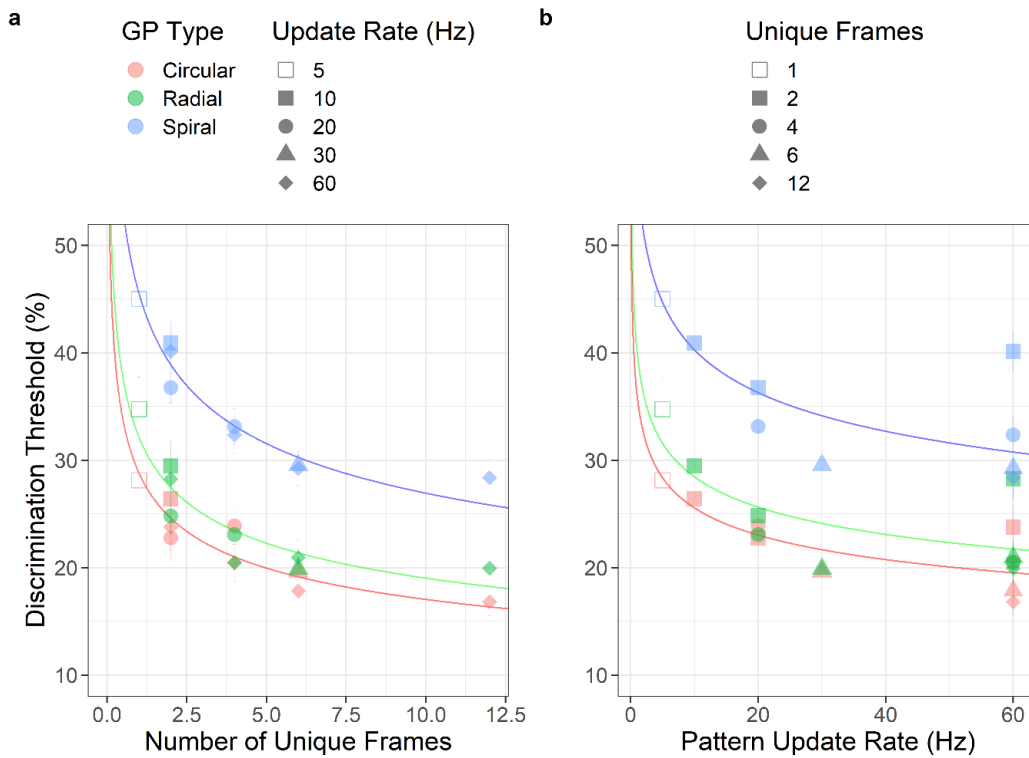
Temporal Conditions	1-5	12-60	2-10	2-20	2-60	4-20	4-60	6-30
12-60	<.0001***							
2-10	.4515	<.0001***						
2-20	.0003***	<.0001***	.1754					
2-60	.0899	<.0001***	.9999	.8326				
4-20	<.0001***	.0053**	.0041**	.9999	.0538			
4-60	<.0001***	.2291	<.0001***	.1259	.0006***	.9999		
6-30	<.0001***	.9999	<.0001***	.0022**	<.0001***	.1177	.9999	
6-60	<.0001***	.9999	<.0001***	.0009***	<.0001***	.0626	.9405	.9999

**Tabella 2.** Vengono riportati i confronti fra le condizioni temporali utilizzate, ovvero gli abbinamenti di numero di frame unici e pattern update rate ( $*p < 0.05$ ,  $**p < 0.01$ ,  $***p < 0.001$ ).

Infine, si è indagato quale fosse la funzione di legame più adatta a descrivere la relazione tra la soglia di discriminazione e il numero di frame unici e la relazione tra soglia di discriminazione e pattern update rate dei GP. Sono state testate tre diverse funzioni: la funzione potenza, la funzione esponenziale e la funzione lineare. È stato trovato che la funzione più adatta a rappresentare le soglie di discriminazione dei diversi tipi di GP fosse la funzione potenza, scritta nella seguente forma:

$$y = ax^{-b}$$

dove  $a$  è il parametro di scala, ed è diverso fra i tipi di GP, e  $b$  è l'esponente della legge potenza, che invece rimane uguale (Figura 3).



**Figura 3.** (a) Sull'asse Y vengono riportate le soglie di discriminazione (%), in funzione del numero di frame unici sull'asse X, per i GP circolari (curva rossa), radiali (curva verde) e spirali (curva blu). (b) Sull'asse Y vengono riportate le soglie di discriminazione (%), in funzione del pattern update rate sull'asse X, per i GP circolari, radiali e spirali. La curva utilizzata è la funzione potenza.

## 2.4 Discussione

Questo studio ha parzialmente replicato lo studio di Donato et al. (2021) e si è posto l'obiettivo di indagare come il sistema visivo riesca a discriminare il movimento apparente e non direzionale generato da stimoli complessi. A tal proposito sono state fatte delle osservazioni partendo dalla misurazione delle soglie di discriminazione dei diversi tipi di GP e della loro variabilità a seconda della frequenza temporale presentata. In primo luogo, sono stati confermati i risultati dello studio di Seu & Ferrera (2001) per cui le soglie nei GP spirali risultano essere più elevate rispetto a quelle dei GP circolari e radiali. Inoltre, i GP circolari sono quelli discriminati in maniera migliore, ottenendo soglie di discriminazione più basse rispetto a tutti gli altri GP, come ci si aspettava di ottenere (Kelly et al., 2001; Donato et al., 2021). Infine, i risultati non fanno emergere significative differenze nelle soglie di GP spirali oraria e antioraria.

Ancora, le soglie di discriminazione risultano essere più basse per gli stimoli dinamici piuttosto che per quelli statici, indipendentemente dalla condizione temporale presentata e dal tipo di GP, in linea con i risultati trovati da Nankoo et al. (2012). Inoltre, dalle analisi emerge come, a prescindere dalla forma presentata, il numero di frame e il pattern update rate dei GP influenzino in egual modo la soglia di discriminazione degli stimoli. Infatti, questo studio sembra estendere i risultati delle ricerche di Day & Palomares (2014) e Nankoo et al. (2015): queste due variabili non sono fattori da mettere a fuoco singolarmente ma sia l'aumento del numero di frame unici che l'aumento del pattern update rate sembrano contribuire insieme all'abbassamento della soglia di discriminazione.

Alla luce di queste considerazioni, si sostiene l'ipotesi che tutti i tipi di GP dinamici utilizzati nell'esperimento siano elaborati secondo un processo di sommazione temporale e spaziale (Nankoo et al., 2015; Geisler, 1999), meccanismi usati per l'identificazione della traiettoria di stimoli in movimento e della loro forma globale (Ross et al., 2000; Ross, 2004). I risultati indicano una evidente interazione tra la via ventrale (deputata al riconoscimento delle forme) e la via dorsale (deputata all'elaborazione del movimento) (Donato et al., 2020; Farivar, 2009), così da elaborare

l'informazione spaziale e temporale derivata dalla percezione del movimento apparente (percezione di immagini in movimento quando queste sono ferme) dei GP dinamici.

Questa ricerca è stata soggetta ad alcuni limiti, tra i quali quella della scarsa numerosità campionaria, limite che ha compromesso l'adeguata potenza statistica. Questo limite sorge dalla difficoltà di reclutamento dei campioni, vista la durata e l'impegno del compito. Anche l'utilizzo di test multipli è considerato un limite per la ricerca, poiché aumenta la probabilità di ottenere errori di I tipo (Akobeng, 2016). È opportuno sottolineare inoltre che le scelte metodologiche possono aver alterato l'attendibilità dei dati. Un esempio è dato dalla scelta della scala utilizzata (*1-up 3-down*), che non esclude una possibile compromissione della stima delle soglie calcolate.

## **2.5 Conclusione**

In conclusione, il presente studio si configura come una parziale replica dello studio di Donato et al. (2021), nello specifico aggiungendo la configurazione spirale e radiale tra i tipi di GPs e togliendo quella traslazionale. I risultati relativi alla differenza tra GP statici e dinamici hanno mostrato una maggiore facilità nella discriminazione dei GP dinamici in tutte le condizioni. Inoltre, la configurazione circolare è risultata essere quella più facilmente discriminabile tra tutte le altre. Infine, è stato evidenziato l'importante ruolo del numero di frame e del pattern update rate nella modulazione delle soglie di discriminazione nei GP dinamici, notando che questi due fattori contribuivano allo stesso modo nella discriminazione degli stimoli. Dunque, questi risultati sono stati ricondotti a meccanismi di sommazione spaziale e temporale, indotti dai frame unici e dalla frequenza temporale, utilizzati dal sistema visivo per discriminare movimenti non direzionali e apparenti.

Una raccomandazione per futuri approfondimenti di questa ricerca potrebbe essere quella di aumentare la numerosità campionaria, in modo da ottenere un'analisi più approfondita dei dati e una potenza statistica migliore.

## Bibliografia

Akobeng, A. K. (2016). Understanding type I and type II errors, statistical power and sample size. *Acta Paediatrica*, 105(6), 605-609. <https://doi.org/10.1111/apa.13384>

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)

Benson, N. C., Butt, O. H., Datta, R., Radoeva, P. D., Brainard, D. H., & Aguirre, G. K. (2012). The retinotopic organization of striate cortex is well predicted by surface topology. *Current Biology*, 22(21), 2081-2085. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.014>

Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10(4), 433-436.

Bressloff, P. C., & Cowan, J. D. (2002). The visual cortex as a crystal. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 173(3-4), 226-258. [https://doi.org/10.1016/S0167-2789\(02\)00677-2](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(02)00677-2)

Burr, D., & Ross, J. (2006). The effects of opposite-polarity dipoles on the detection of Glass patterns. *Vision Research*, 46(6-7), 1139-1144. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.09.018>

Clevenger, A. C., & Restrepo, D. (2006). Evaluation of the validity of a maximum likelihood adaptive staircase procedure for measurement of olfactory detection threshold in mice. *Chemical senses*, 31(1), 9-26. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjj001>

Cloutman, L. L. (2013). Interaction between dorsal and ventral processing streams: where, when and how?. *Brain and language*, 127(2), 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.08.003>



Day, A. M., & Palomares, M. (2014). How temporal frequency affects global form coherence in Glass patterns. *Vision Research*, 95, 18–22.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.009>

Donato, R., Pavan, A., & Campana, G. (2020). Investigating the interaction between form and motion processing: A review of basic research and clinical evidence. *Frontiers in Psychology*, 2867. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.566848>

Donato, R., Pavan, A., Almeida, J., Nucci, M., & Campana, G. (2021). Temporal characteristics of global form perception in translational and circular Glass patterns. *Vision Research*, 187, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.06.003>

Engel, S. A., Glover, G. H., & Wandell, B. A. (1997). Retinotopic organization in human visual cortex and the spatial precision of functional MRI. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, 7(2), 181-192. <https://doi.org/10.1093/cercor/7.2.181>

Farivar, R. (2009). Dorsal–ventral integration in object recognition. *Brain research reviews*, 61(2), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2009.05.006>

Freeman, E., Sagi, D., & Driver, J. (2001). Lateral interactions between targets and flankers in low-level vision depend on attention to the flankers. *Nature neuroscience*, 4(10), 1032-1036. <https://doi.org/10.1038/nn728>

Geisler, W. S. (1999). Motion streaks provide a spatial code for motion direction. *Nature*, 400(6739), 65-69. <https://doi.org/10.1038/21886>

Glass L. (1969). Moiré effect from random dots. *Nature*, 223(5206), 578–580. <https://doi.org/10.1038/223578a0>

Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349(6305), 154-156. <https://doi.org/10.1038/349154a0>

Gross, C. G., Rocha-Miranda, C. D., & Bender, D. B. (1972). Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the Macaque. *Journal of neurophysiology*, 35(1), 96-111. <https://doi.org/10.1152/jn.1972.35.1.96>

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *The Journal of physiology*, 148(3), 574. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1959.sp006308>

Kauffmann, L., Ramanoël, S., Guyader, N., Chauvin, A., & Peyrin, C. (2015). Spatial frequency processing in scene-selective cortical regions. *NeuroImage*, 112, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.02.058>

Kelly, D. M., Bischof, W. F., Wong-Wylie, D. R., & Spetch, M. L. (2001). Detection of glass patterns by pigeons and humans: Implications for differences in higher-level processing. *Psychological Science*, 12(4), 338–342. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00362>

Kim, J. G., & Biederman, I. (2011). Where do objects become scenes?. *Cerebral Cortex*, 21(8), 1738-1746. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq240>

Kleiner, M., Brainard, D., & Pelli, D. (2007). What's new in Psychtoolbox-3?.

Kravitz DJ, Saleem KS, Baker CI, Ungerleider LG, Mishkin M. 2013. The ventral visual pathway: an expanded neural framework for the processing of object quality. *Trends Cogn. Sci.* 17, 26–49. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.011>

Krekelberg, B., Vatakis, A., & Kourtzi, Z. (2005). Implied motion from form in the human visual cortex. *Journal of neurophysiology*, 94(6), 4373-4386. <https://doi.org/10.1152/jn.00690.2005>

Lee, A. L., & Lu, H. (2010). A comparison of global motion perception using a multipleaperture stimulus. *Journal of Vision*, 10(4), 1–16.

<https://doi.org/10.1167/10.4.9>.

Martinez, L. M., Wang, Q., Reid, R. C., Pillai, C., Alonso, J. M., Sommer, F. T., & Hirsch, J. A. (2005). Receptive field structure varies with layer in the primary visual cortex. *Nature neuroscience*, 8(3), 372-379. <https://doi.org/10.1038/nn1404>

Milner, A. D. (2017). How do the two visual streams interact with each other?. *Experimental brain research*, 235(5), 1297-1308.

<https://doi.org/10.1007/s00221-017-4917-4>

Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in neurosciences*, 6, 414-417.

[https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)

Nankoo, J. F., Madan, C. R., Spetch, M. L., & Wylie, D. R. (2012). Perception of dynamic glass patterns. *Vision research*, 72, 55–62.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.09.008>

Nankoo, J. F., Madan, C. R., Spetch, M. L., & Wylie, D. R. (2015). Temporal summation of global form signals in dynamic Glass patterns. *Vision research*, 107, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.10.033>

Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2009). Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nature reviews neuroscience*, 10(5), 360-372.

<https://doi.org/10.1038/nrn2619>

Pelli, D. G., & Vision, S. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial vision*, 10, 437-442.

- Petro, L. S., Vizioli, L., & Muckli, L. (2014). Contributions of cortical feedback to sensory processing in primary visual cortex. *Frontiers in psychology*, 5, 1223. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01223>
- Porciatti, V. (2015). Electrophysiological assessment of retinal ganglion cell function. *Experimental eye research*, 141, 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2015.05.008>
- Przybylski, A. W., Gaska, J. P., Foote, W., & Pollen, D. A. (2000). Striate cortex increases contrast gain of macaque LGN neurons. *Visual neuroscience*, 17(4), 485-494. <https://doi.org/10.1017/S0952523800174012>
- Ramachandran, V. S., & Anstis, S. M. (1986). The Perception of Apparent Motion. *Scientific American*, 254(6), 102-109. <http://www.jstor.org/stable/24975978>.
- Ross, J., Badcock, D. R., & Hayes, A. (2000). Coherent global motion in the absence of coherent velocity signals. *Current Biology*, 10(11), 679-682. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(00\)00524-8](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(00)00524-8).
- Ross, J. (2004). The perceived direction and speed of global motion in Glass pattern sequences. *Vision Research*, 44(5), 441-448. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.10.002>
- Sernagor, E., Eglen, S. J., & Wong, R. O. (2001). Development of retinal ganglion cell structure and function. *Progress in retinal and eye research*, 20(2), 139-174. [https://doi.org/10.1016/S1350-9462\(00\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S1350-9462(00)00024-0)
- Seu, L., & Ferrera, V. P. (2001). Detection thresholds for spiral Glass patterns. *Vision Research*, 41(28), 3785-3790. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00235-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00235-8)
- Shapley, R., & Hawken, M. (2002). Neural mechanisms for color perception in the primary visual cortex. *Current opinion in neurobiology*, 12(4), 426-432. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00349-5](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00349-5)

Shapley, R., & Perry, V. H. (1986). Cat and monkey retinal ganglion cells and their visual functional roles. *Trends in Neurosciences*, 9, 229-235.

[https://doi.org/10.1016/0166-2236\(86\)90064-0](https://doi.org/10.1016/0166-2236(86)90064-0)

Simon Le Vay; Torsten N. Wiesel; David H. Hubel (1980). *The development of ocular dominance columns in normal and visually deprived monkeys.* , 191(1), 1–51.

<https://doi.org/10.1002/cne.901910102>

Smith, M. M., & Strottmann, J. M. (2001, December). Imaging of the optic nerve and visual pathways. In *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* (Vol. 22, No. 6, pp. 473-487).

WB Saunders. [https://doi.org/10.1016/S0887-2171\(01\)90002-2](https://doi.org/10.1016/S0887-2171(01)90002-2)

Tanaka, K., & Saito, H. A. (1989). Analysis of motion of the visual field by direction, expansion/contraction, and rotation cells clustered in the dorsal part of the medial superior temporal area of the macaque monkey. *Journal of neurophysiology*, 62(3), 626-641.

<https://doi.org/10.1152/jn.1989.62.3.626>

Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object vision. *Annual review of neuroscience*, 19(1), 109-139.

Wiesel, T. N. (1960). Receptive fields of ganglion cells in the cat's retina. *The Journal of Physiology*, 153(3), 583.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1960.sp006557>

Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1963). Effects of visual deprivation on morphology and physiology of cells in the cat's lateral geniculate body. *Journal of neurophysiology*,

26(6), 978-993. <https://doi.org/10.1152/jn.1963.26.6.978>

Wilson, H. R., & Wilkinson, F. (1998). Detection of global structure in Glass patterns: Implications for form vision. *Vision research*, 38(19), 2933-2947.

[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00109-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00109-6)