



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

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

**Tesi di laurea triennale**

**UNO STUDIO SUL MECCANISMO DI *FOVEAL FEEDBACK*: RELAZIONE  
TRA I LIVELLI DI DIFFICOLTÀ DEL COMPITO  
E LA TEMPISTICA DELL'EFFETTO**

**A study on foveal feedback mechanism: relationship between task difficulty levels  
and timing of the effect**

***Relatore***

**Prof. Bertamini Marco**

***Correlatore***

**Dott. Contemori Giulio**

***Laureanda: Elena Motterle***

***Matricola: 2012217***

Anno accademico 2022/2023



## INDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUZIONE .....                                      | 2  |
| CAPITOLO 1 .....  | 4  |
| 1.1 FISILOGIA DELLA VISIONE .....                       | 4  |
| 1.2 LA RETINOTOPIA.....                                 | 5  |
| 1.3 IL RICONOSCIMENTO DI OGGETTI .....                  | 7  |
| 1.4 L'IPOTESI DI <i>FOVEAL FEEDBACK</i> .....           | 8  |
| 1.5 DIFFICOLTÀ DEL COMPITO: LA SIMILARITÀ.....          | 11 |
| 1.6 ALTRE IPOTESI A SPIEGAZIONE DI QUESTO FENOMENO..... | 13 |
| CAPITOLO 2 .....  | 15 |
| 2.1 IPOTESI.....  | 15 |
| 2.2 METODO GENERALE .....                               | 16 |
| 2.2.1 PARTECIPANTI .....                                | 16 |
| 2.2.2 MATERIALI E STRUMENTAZIONE .....                  | 16 |
| 2.2.3 DISEGNO SPERIMENTALE .....                        | 17 |
| 2.2.4 STIMOLI.....                                      | 18 |
| 2.2.5 PROCEDURA.....                                    | 20 |
| 2.2.6 PRE-ANALISI, ANALISI DELLE METRICHE .....         | 21 |
| CAPITOLO 3 .....  | 31 |
| 3.1 RISULTATI.....                                      | 31 |
| 3.2 DISCUSSIONE .....                                   | 34 |
| 3.3 CONCLUSIONE.....                                    | 38 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                      | 39 |



## INTRODUZIONE

Il meccanismo di *foveal feedback* è un aspetto ancora parzialmente poco conosciuto. Uno studio condotto da Williams et al. (2008), supportato da successive ricerche (Chambres et al., 2013; Weldon et al., 2016; Yu & Shim, 2016; Fan et al., 2016; Stewart et al., 2020; Contemori et al., 2022), ha evidenziato che la corteccia visiva foveale contribuisce all'elaborazione delle informazioni provenienti dalla periferia del campo visivo. In particolare, questo elaborato, replica un esperimento svolto da Fan et al. (2016), che utilizzava stimoli inediti e un paradigma comportamentale, differenziandosi dagli studi svolti in precedenza. Nello svolgimento dell'esperimento, l'attenzione è stata focalizzata sulla similarità tra le coppie di stimoli presentate. L'elaborato si propone di indagare come la difficoltà del compito, e di conseguenza la similarità più o meno ampia tra gli stimoli, influenzi il tempo di risposta e di elaborazione delle informazioni.

Lo studio si incentra su due ipotesi: la prima ipotizza che all'aumentare della difficoltà del compito (ovvero della similarità degli stimoli), aumenti il tempo di elaborazione dovuto al *feedback* corticale. Tenendo conto di molteplici livelli di difficoltà, si prevede che i tempi di elaborazione possano variare in maniera proporzionale. Inoltre, si vuole approfondire il modo in cui la maschera foveale influisce sul processo di *feedback* corticale a seconda dei diversi gradi di difficoltà identificati. Infine, si intende investigare la natura del *bias* di risposta dei partecipanti, osservando se e come i livelli di similarità degli stimoli possano influenzare il criterio di scelta della risposta. In questo studio, si presta attenzione anche alla sensibilità alla risposta ( $d'$ ), considerata separatamente dal criterio di risposta.

L'elaborato si suddivide in tre capitoli, il primo esplora la letteratura esistente circa gli studi svolti di *foveal feedback*, identificando dei macro-temi essenziali per la comprensione dell'argomento. Nello specifico, esso esplicita le basi, a partire da una prospettiva globale circa la visione arriva fino al meccanismo nel dettaglio di *feedback* foveale; si snoda dal funzionamento del processo visivo fino al meccanismo di riconoscimento degli oggetti specifico delle nostre funzioni cerebrali, per poi spiegare ulteriormente alcune ipotesi alternative del fenomeno.

Il secondo capitolo tratta interamente della procedura della ricerca sperimentale svolta presso il laboratorio dell'Università degli Studi di Padova, soffermandosi

approfonditamente sulle pre-analisi condotte al fine di scegliere lo strumento corretto e procedere successivamente con l'analisi dei dati raccolti.

Infine, il terzo capitolo riporta i risultati e la discussione di questi ultimi: i risultati saranno interpretati alla luce delle fonti presenti in letteratura, con lo scopo di confermare o disconfermare le ipotesi precedenti del fenomeno. Lo studio sperimentale si propone di approfondire i risultati di Fan et al. (2016), il quale aveva riscontrato una relazione lineare tra l'aumento del tempo di elaborazione mentale degli stimoli e l'aumento della complessità del compito. I risultati qui ottenuti suggeriscono che l'interpretazione di Fan et al. non è errata e dunque che l'aggiunta di compiti ulteriori sia un fattore che può influenzare il ritardo temporale nella prestazione, attribuendoli però alla complessità del compito. Nel presente elaborato si cerca un'interazione tra la variabile "difficoltà del compito" e la variabile "tempistica del mascheramento", non trovando alcun rapporto significativo si riscontrerebbe maggior supporto all'interpretazione di Fan et al.

## CAPITOLO 1

### 1.1 FISILOGIA DELLA VISIONE

La visione è un sistema sensoriale complesso studiato approfonditamente sia su modelli animali che su modelli umani. Ad oggi, per tale ragione, ritroviamo una letteratura molto vasta che indaga i fenomeni più disparati in questo ambito percettivo.

Fisiologicamente l'occhio è una lente che permette il passaggio della luce e consente la visione grazie alla rifrazione oculare di essa. Lo scopo del processo visivo è la formazione dell'immagine del mondo esterno sulla retina e in corteccia visiva, per poter essere utilizzata o elaborata ulteriormente nei processi superiori. Una tra le strutture principali che si occupano del processo di percezione visiva è la retina, una lamina sottile che riveste la parte posteriore dell'occhio. Essa è costituita da cellule sensibili alla luce, i fotorecettori; si distinguono in coni e bastoncelli e sono indispensabili alla visione. I primi sono raggruppati nella zona centrale (fovea), i secondi costituiscono la periferia della retina. Questa distinzione è rispettata nella struttura del campo visivo: la fovea corrisponde alla zona centrale, la periferia della retina è rappresentata nella zona periferica del campo visivo, caratterizzata da un raggio di visione ampio ma non dettagliato. Man mano che ci si allontana dalla fovea, la numerosità dei fotorecettori va diradandosi, specialmente dei coni. La distinzione strutturale tra i due tipi di fotorecettori è netta: tra le molte differenze si noti che i coni sono cellule specializzate nella visione diurna, dei colori e dei dettagli, mentre i bastoncelli si occupano della visione acromatica e notturna, con una bassa acuità visiva. (Bear et al., 2016).

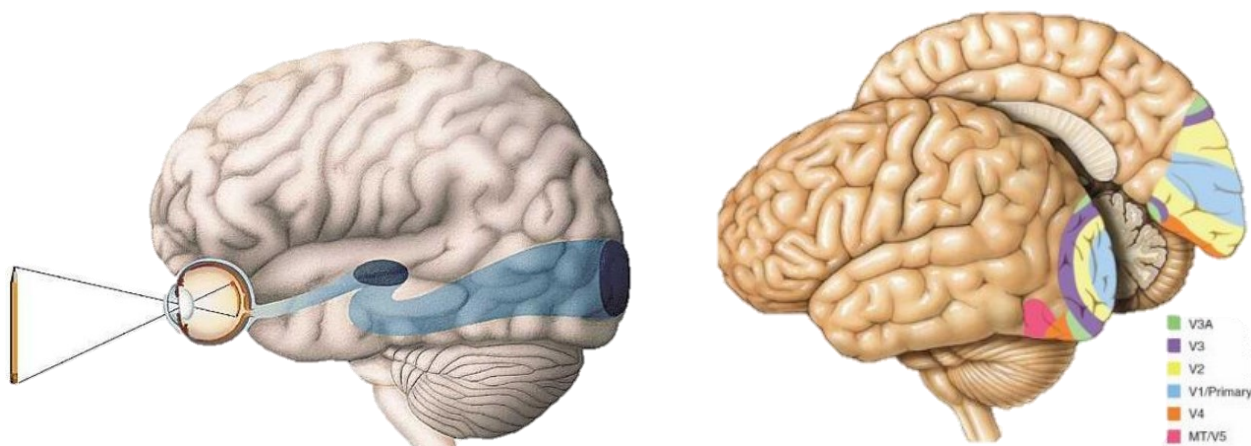
Come affrontato da Stewart (2020), ci sono delle differenze rilevanti tra la visione foveale e periferica, oltre al livello strutturale: sia per quanto concerne gli obiettivi, sia per l'elaborazione stessa. La visione foveale è caratterizzata da nitidezza, massima acuità visiva e un'ampia sensibilità al contrasto. Queste peculiarità dipendono anche dal grado di convergenza tra i fotorecettori e le cellule gangliari, le successive cellule della retina. La convergenza tra coni e cellule gangliari è presente in un rapporto 1:1, assicurando un'alta accuratezza di trasmissione dell'impulso. Contrariamente, i bastoncelli in periferia presentano connessioni di gruppo con una singola cellula, perciò le informazioni veicolate sono raggruppate e sommate. Ciò che caratterizza la visione periferica sono, per l'appunto, la sommatoria spaziale e l'affollamento (Stewart, 2020). A parità di

connessioni gangliari tra coni e bastoncelli, si verifica una sovrarappresentazione della fovea, che impegna fisicamente un'area corticale più estesa di quanto non occupi la visione periferica, fenomeno contrastante rispetto all'effettiva grandezza fisica delle stesse zone nella retina.

## **1.2 LA RETINOTOPIA**

Il sistema visivo ha un'organizzazione particolare, su cui è doveroso soffermarsi. Strutturalmente, il percorso di elaborazione inizia a livello della retina con una direzione di proiezione retinofuga (Bear et al., 2016). A partire dai fotorecettori, connessi alle cellule gangliari nella parte posteriore della retina, il percorso prosegue con il nervo ottico, ossia l'insieme degli assoni delle cellule gangliari, il quale fuoriesce dall'occhio in un punto cieco (disco ottico). Il nervo ottico porta informazioni dell'emicampo ipsilaterale fino al chiasma ottico, dove avviene un incrocio di informazioni e di fibre nervose. Dal chiasma ottico in avanti, le informazioni trasportate riguardano l'emicampo controlaterale. Il 90% degli impulsi è trasportato, grazie a un fascio di fibre, fino alla corteccia visiva che si trova nel lobo occipitale dell'encefalo, qui avviene l'unione delle informazioni provenienti da entrambi gli occhi. Come si può osservare in Figura 1.1, la corteccia visiva è l'esempio più lampante di organizzazione retinotopica. Essa è suddivisa in aree che hanno una forma circolare concentrica, inoltre la peculiarità è che la zona a cui l'impulso arriva per prima è la zona più distante e inferiore della corteccia stessa, l'informazione per passare alle aree visive secondarie deve risalire alle zone superiori. Viene classificata in corteccia visiva primaria o striata (V1), che è la zona più esterna e in aree visive secondarie (V2, V3, V4, V5 o VM), le quali hanno delle funzioni specifiche di elaborazione dell'informazione visiva.





**Figura 1.1.** *Fisiologia del sistema visivo.*

Nella figura a sinistra è rappresentato il percorso di elaborazione visiva retinofugale, dall'oggetto esterno (in esempio una matita) al nucleo genicolato laterale del talamo, fino alla corteccia visiva primaria (V1). Percorso globale della visione.

Nella figura a destra vi è la suddivisione del lobo occipitale secondo le aree di Brodmann, visione mediale e laterale della corteccia visiva. L'area centrale, il cerchio concentrico interno (ciano) è la corteccia visiva primaria, V1. In giallo e in viola, concentricamente si notano V2 e V3, ossia le aree visive secondarie che si occupano di integrare le informazioni. V4 (arancione) si occupa sia della percezione della forma che del colore. V5 o MT risponde anche quando la direzione percepita è diversa da quella fisica (illusioni), è infatti l'area addetta al movimento percepito.

L'organizzazione della visione è definita retinotopica: ossia, durante l'intera proiezione retinofuga, viene mantenuta e proiettata la struttura della retina in maniera ordinata, creando una mappa bidimensionale. Le cellule che nella retina sono spazialmente vicine inviano informazioni a zone limitrofe nelle strutture bersaglio, attivando così i campi recettivi che sono sovrapposti. Le strutture, i mezzi di trasmissione e le vie sono topograficamente ordinati, cioè ogni punto è sistematico in ogni struttura e nella successiva, cosicché l'ordine sia mantenuto. Nell'organizzazione precisa topografica però, non vengono rispettate le effettive proporzioni della retina, infatti, la fovea è rappresentata a livello corticale da un'ampia popolazione di neuroni.

Questa strutturazione è fondamentale dal punto di vista funzionale, infatti, in corteccia visiva, la suddivisione delle aree indica anche la suddivisione e specializzazione delle funzionalità svolte dalle diverse zone. Durante il percorso, più ci si allontana dalla retina, più le informazioni da elaborare sono complesse: per esempio, per riconoscere stimoli complessi, con caratteristiche di alto livello, è necessario aspettare che l'informazione

arrivi alle aree visive secondarie (V2, V3 ecc.) piuttosto che aspettarsi l'identificazione corretta a livello di V1. Le funzioni si dividono in alto e basso livello e riescono ad analizzare ed elaborare le rispettive caratteristiche di un oggetto (complesse le prime e semplici le seconde).

### **1.3 IL RICONOSCIMENTO DI OGGETTI**

Il riconoscimento degli oggetti è una funzione ad alto livello di cui si occupano alcune aree specifiche della corteccia; tale funzione è superiore, ossia più complessa delle attività visive basilari e ha luogo nella corteccia extrastriata ventrale (V4) e nella circonvoluzione della corteccia temporale inferiore (IT). I primi studi in campo neuroscientifico hanno scoperto l'esistenza di una via ventrale, chiamata via del "what", i cui gruppi di neuroni si occupano del complesso sistema di identificazione degli stimoli (Bear et al., 2016). La via condivide il percorso base della percezione visiva fino ad arrivare alla corteccia striata; è denominata via ventrale poiché successivamente si snoda nella corteccia temporale inferiore, passando attraverso le aree V2 e V4. Nella parte iniziale del percorso vi è il riconoscimento di elementi visivi di basso livello, ovvero semplici come la luminosità o l'orientamento di uno stimolo, mentre le caratteristiche più complesse vengono identificate nelle fasi successive, nella corteccia inferotemporale. Grazie a uno studio più recente (Majaj et al., 2015) è stato possibile creare una mappatura più accurata di questa via. Lo studio, partendo dai presupposti spiegati precedentemente, constava di 64 attività di riconoscimento di oggetti da parte di soggetti umani, con livelli di difficoltà del compito da estremamente facili a molto difficili. Dopodiché, il *dataset* dei soggetti umani è stato confrontato con uno raccolto tra primati non umani, sottoposti allo stesso compito ma in aggiunta veniva registrata l'attività elettrica. Grazie a questo confronto è stato possibile riconoscere una mappa di attivazione neurale tra la corteccia V4 e IT, le quali dimostrano un comportamento di attivazione molto simile nei due gruppi. Questo studio conferma il fatto che i modelli neurali presenti nella corteccia temporale inferiore possono codificare rappresentazioni di oggetti sufficientemente dettagliati e fornire la rappresentazione al sistema visivo.

Precisamente, in una prima fase vi sono gruppi di neuroni che elaborano l'immagine secondo una gerarchia di frammenti, nella corteccia inferotemporale posteriore (PIT); frammenti che sono stati estrapolati mediante la semplice osservazione delle

caratteristiche di base degli oggetti. Successivamente, nella corteccia inferotemporale anteriore, le cellule avviano una manipolazione delle informazioni al fine di comporre una rappresentazione il più accurata possibile dell'oggetto. Infine, vi è la fase di categorizzazione o identificazione dell'oggetto che può avere conseguenze comportamentali e richiedere l'ausilio di altre aree extra-visive. (Ullmann, 2007)

Come abbiamo visto, dunque, il riconoscimento degli oggetti è una funzione di livello superiore, che avviene in aree stabilite e nelle fasi successive rispetto alla visione di caratteristiche di base in V1. Gli esperimenti psicofisici, insieme ai precedenti esperimenti di risonanza magnetica funzionale (fMRI) e stimolazione magnetica transcranica (TMS), hanno suggerito che la corteccia foveale fosse coinvolta durante il riconoscimento di oggetti periferici, in particolare per compiti di discriminazione di oggetti che beneficiano di dettagli spaziali (Fan et al., 2016). La spiegazione di come è coinvolta la corteccia retinotopica foveale a partire dalle aree visive di livello superiore è affrontata nel paragrafo seguente. Viene presentato il meccanismo peculiare che ne rende possibile l'attuazione: il *feedback* foveale.

#### **1.4 L'IPOTESI DI FOVEAL FEEDBACK**

Uno tra i fenomeni visivi scoperti e studiati più di recente è l'ipotesi del *foveal feedback*. Come interagiscono la visione foveale e la visione periferica tra loro, dato che risultano funzionalmente differenti ma non fisicamente separate? Le visioni periferica e foveale devono necessariamente essere interconnesse in qualche modo, dal momento che forniscono un'esperienza integrata del mondo esterno (Oletto et al., 2022), che è l'esperienza personale di ognuno.

Tradizionalmente si è sempre pensato che il percorso di elaborazione visiva seguisse una sola direzione, dalla retina al talamo, alle aree corticali inferiori e alle aree corticali superiori, in un flusso continuo e unidirezionale. La scoperta di un segnale di *feedback*, successivamente, era stata interpretata inizialmente come un'azione modulatrice delle risposte *feedforward*. Tale interpretazione è stata smentita grazie allo studio con fMRI di Williams et al. (2008), dove si è scoperto che questo nuovo fenomeno aveva una direzione e una caratteristica inusuale. Il *feedback* si propaga dalle aree corticali visive superiori alle aree corticali visive inferiori (V1), precisamente indirizzato alla corteccia

retinotopica foveale; esso trasmette informazioni su oggetti invariati di posizione, presentati nella periferia del campo visivo (Williams, 2008). Si assume che il *feedback* foveale sia particolare poiché richiede l'azione di una sezione corticale non coinvolta dai segnali di direzione canonica e inoltre costruisce una rappresentazione nuova e separata (Weldon et al., 2016). La fovea svolge un lavoro extra-foveale nella discriminazione di stimoli periferici. Inoltre, Oletto et al. (2022) hanno individuato delle caratteristiche ben precise di questo fenomeno: il *feedback* esiste per caratteristiche di basso livello solamente se la caratteristica da discriminare è la forma dell'oggetto; e che esso è impegnato sia dal sistema parvocellulare che dal sistema magnocellulare.

Accanto agli studi fMRI di Williams et al. (2008), sono stati condotti studi con TMS (Chambres et al., 2013) e studi con paradigmi comportamentali (Weldon et al., 2016) cercando di indagare sempre più aspetti affini e coerenti con il concetto di *feedback* foveale. Williams et al. (2008) scoprono che il segnale proveniente dalle aree corticali superiori era inviato solo quando erano proposte attività di discriminazione tra oggetti periferici e portava informazioni circa la categoria degli oggetti. Secondo questo studio, il *feedback* ha l'obiettivo di migliorare la prestazione nel compito. Weldon et al. (2016), crea un paradigma comportamentale, in primo luogo, per indagare l'entità del danno in un compito di discriminazione, a partire da distrattori centrali di forma coerente o incoerente con i bersagli periferici; e in secondo luogo per indagare se ci fosse un effetto di specificità della posizione del distrattore (in questo caso coerente). Come conferma degli studi precedenti, sostiene che il *feedback* foveale è necessario alla discriminazione della forma, quando la forma è la caratteristica rilevante nel compito; inoltre, esso è critico per la percezione extra-foveale e specifico dello spazio foveale (Weldon et al., 2016).

Un'ulteriore lettura del fenomeno è stata elaborata da Yu e Shim (2016) a partire dalle idee proposte da Williams; i quali si focalizzano sugli effetti di una manipolazione comportamentale diretta della rappresentazione foveale. Essi confermano la specificità foveale dell'effetto, anche quando il mascheramento foveale è implicito, inoltre scoprono che l'attivazione del *feedback* avviene anche in presenza di caratteristiche di alto livello e di oggetti complessi presenti in periferia. Interpretano i risultati come se la corteccia retinotopica foveale fosse un *buffer* informativo, ossia un sostegno che mantiene ed elabora informazioni su stimoli visivi periferici tramite i *feedback* provenienti dalle aree

superiori al fine di migliorare le risposte visive in periferia. Molti studi successivi tengono in considerazione questa interpretazione, ossia che verosimilmente la corteccia visiva foveale funziona come un “blocco schizzi” visivo, fondamentale per mantenere in memoria le informazioni e aumentare la prestazione del compito e la precisione nelle decisioni difficili (Weldon et al., 2016)

Il fenomeno foveale era stato appurato molteplici volte, ma le tempistiche dei diversi studi risultavano sconnesse; Fan et al. (2016) ipotizzano che il segnale a ritroso diretto alla corteccia retinotopica foveale goda di un’ulteriore caratteristica: che esso non abbia una tempistica fissa ma sia temporalmente flessibile durante un compito di discriminazione periferica. Infatti, questo studio sostiene che la corteccia foveale dipende dal tipo di compito e dal tipo di stimolo, oltre che attivato da processi richiesti a livelli superiori, e perciò che l’attivazione tramite *feedback* non sia fissa. Essi hanno dimostrato ciò inserendo nel paradigma comportamentale tradizionale un compito aggiuntivo di rotazione mentale degli stimoli periferici; l’impegno della corteccia retinotopica foveale è stato temporalmente posticipato rispetto ai risultati soliti. L’aggiunta di un compito ha ritardato l’impegno della corteccia foveale e ne è stato dedotto che il *feedback* è attivato da processi ad alto livello.

Nello studio qui preso in considerazione, sono rielaborate alcune condizioni dell’esperimento tradizionale ed è confrontato poi con l’interpretazione di Fan et al. (2016). L’ipotesi che si sostiene è che il *feedback* foveale aiuti nel compito quando esso diventa più difficile: ossia quando gli stimoli periferici presentati sono estremamente simili tra loro. Si ipotizzano tempistiche differenti date da differenti livelli di difficoltà, poiché il confronto tra due bersagli molto differenti tra loro dovrebbe essere teoricamente più semplice, senza tralasciare, inoltre, l’influenza del criterio di scelta.

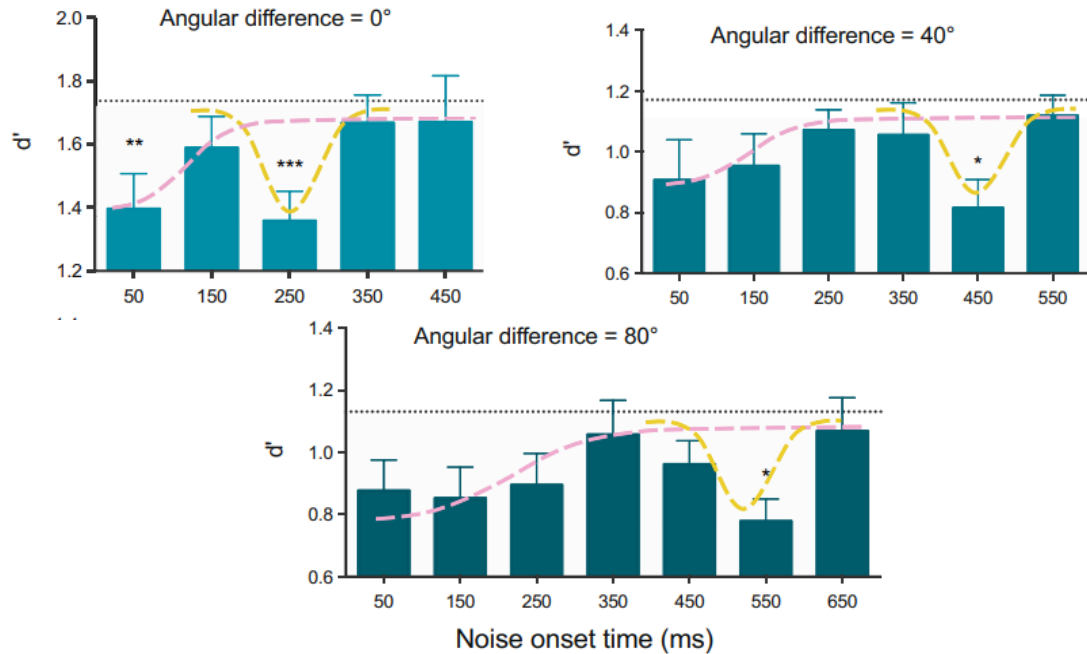
È importante capire la differenza tra lo studio di Fan (2016) e quello presentato in questo elaborato. Nel secondo caso, il gradiente discreto di similarità gioca un ruolo fondamentale: forma la variabile difficoltà del compito, approfondita nel seguente paragrafo.

## 1.5 DIFFICOLTÀ DEL COMPITO: LA SIMILARITÀ

Un concetto interessante ai fini della ricerca qui riportata è la differenza tra difficoltà del compito e complessità del compito. Confrontando le condizioni sperimentali di Fan et al. (2016) e quelle utilizzate in questo studio, i risultati sono stati letti secondo questa importante differenza. I due concetti sono stati disambiguati fin dall'inizio, per poterli considerare delle variabili nell'interpretazione.

La difficoltà del compito è il grado di difficoltà che ogni partecipante incontra nello svolgere un certo compito e può variare da partecipante a partecipante. Invece, la complessità del compito è le fasi di cui esso è composto: più sono le azioni da svolgere, maggiore è la complessità. Il compito proposto da Fan et al. (2016) nella sua quarta versione è un paradigma sperimentale comportamentale di discriminazione degli oggetti. Gli stimoli bersaglio sono selezionati casualmente da una serie di stimoli e compaiono in periferia del campo visivo, su due quadrati diagonali al punto di fissazione. Ai soggetti è chiesto di decidere se essi siano uguali o diversi, inoltre è inserita anche una maschera foveale presentata in 5 diverse SOAs. In questa condizione, gli oggetti periferici sono presentati in diversi orientamenti relativi: uno dei due era orientato orizzontalmente e l'altro era ruotato di un certo angolo rispetto al primo (2 condizioni: nessuna rotazione o angolo di rotazione di 30-40-50°; differenza di 0-40-80°). I soggetti erano esplicitamente invitati a ruotare mentalmente in senso orario i bersagli inclinati e poi confrontarli per vedere se fossero uguali o diversi. In termini di tempi di reazione, si è verificato un aumento di essi a causa dell'effetto di rotazione mentale. Il compito, per definizione complesso, aveva un tempo medio di svolgimento di 1070 ms, più lento se confrontato con il tempo medio del compito senza condizione di rotazione di 854 ms (*baseline*). Inoltre, si è verificato che il tempo aumenta con l'aumentare dell'angolo di rotazione. Come si nota in Figura 1.2, l'introduzione della rotazione mentale ha rallentato il recupero

dall'iniziale distrazione attentiva ed ha spostato il successivo effetto di interferenza più avanti nel tempo (Fan et al., 2016).



**Figura 1.2.** Risultati dell'esperimento di Fan et al. (2016).

Si osserva un calo di prestazione significativo a SOA diversi, aumentando la differenza angolare, aumenta anche il tempo necessario all'elaborazione e l'effetto di mascheramento foveale.

Le linee tratteggiate rappresentano l'andamento del tempo dei due meccanismi proposti. La linea viola rappresenta l'effetto precoce, di distrazione iniziale; la linea gialla indica l'effetto di interferenza del rumore foveale con la rappresentazione foveale.

Da notare la baseline estremamente diversa per la condizione di 0° e le altre due condizioni.

Dimostrano quindi che la complessità del compito influisce sulla tempistica dell'effetto, che risulta flessibile e dipendente dai processi ad alto livello. Nello studio condotto dal gruppo dell'Università degli studi di Padova, ci si è focalizzati sull'azzerare la complessità del compito, di modo che l'unico costrutto considerato fosse la difficoltà del compito. La difficoltà, definibile soggettiva entro i partecipanti, è stata operazionalizzata a variabile; sono stati ricavati tre livelli di difficoltà del compito: bassa, media, alta. Nello specifico la difficoltà del compito è il grado di somiglianza degli stimoli periferici proposti: più essi sono simili, maggiore è il livello di difficoltà a cui i partecipanti sono esposti. Le ipotesi sostengono che, date le tempistiche ritardate dell'effetto di *feedback* foveale, l'elaborazione di oggetti più simili richiede tempo aggiuntivo affinché la corteccia foveale districchi le loro caratteristiche e giudichi accuratamente la loro

somiglianza. La corteccia retinotopica foveale è infatti impegnata nella discriminazione di dettagli fini, e dunque, in un compito difficile.

## **1.6 ALTRE IPOTESI A SPIEGAZIONE DI QUESTO FENOMENO**

Le definizioni fornite nei paragrafi precedenti, forse non sono esaustive per la comprensione del fenomeno completo. Il fenomeno visivo in questione rispecchia le differenze esistenti nelle tempistiche di risposta in un compito di discriminazione di oggetti. Nelle varie condizioni sperimentali create per lo studio del *feedback* foveale, sono state indagate sfaccettature diverse e, consecutivamente, misurate delle tempistiche dell'effetto spesso discordanti tra loro. Quindi sono state proposte delle interpretazioni alternative o complementari al semplice costrutto di *foveal feedback*.

Usando un termine clinico, si può dire che sono state condotte diverse analisi differenziali dell'effetto. Molti studi, analizzati i risultati, hanno ipotizzato che l'attribuzione del calo di prestazione nel compito fosse dovuta al calo di attenzione. Per esempio, Fan et al. (2016), individuano due effetti nell'interazione tra fovea e periferia, uno dei quali è denominato effetto precoce ed è attribuito alla distrazione dell'attenzione. Esso si verifica quando gli oggetti periferici sono in posizioni non prevedibili, indipendentemente dal compito di discriminazione; il calo della prestazione avviene a 50ms per distrazione. La stessa domanda ha ricevuto un'interpretazione diversa da parte dello studio di Williams et al. (2008). Anch'essi, infatti, si erano chiesti se il calo di prestazione non fosse semplicemente dovuto alla distrazione, ma questa ipotesi è stata scartata poiché hanno riscontrato che l'effetto godeva di specificità spaziale, ossia che le informazioni circa gli oggetti erano inviate e mantenute nello spazio circoscritto della corteccia retinotopica foveale. Inoltre, si è ipotizzato che l'attivazione foveale avvenisse alla sola presenza della croce di fissazione, ipotesi subito abbandonata poiché la corteccia retinotopica periferica è invariante di posizione, mentre quella foveale non lo è (Williams et al., 2008). Lo conferma una condizione dell'esperimento in cui non è stata presentata la croce di fissazione, ma i risultati rimangono coerenti coi precedenti.

Un ruolo fondamentale strettamente connesso al *feedback* foveale è svolto dai movimenti saccadici, che permettono alla fovea di elaborare i dettagli fini. Grazie all'apprendimento transaccadico, è possibile far coincidere e calibrare la visione periferica e la visione



centrale (Stewart et al., 2020). A partire dai risultati di Fan et al. (2016) si è osservato che una saccade era attivata quando, presentato uno stimolo in periferia, era previsto che finisse in fovea. Questa attivazione anticipatoria delle saccadi, chiamata rimappatura predittiva, sottolinea l'importanza della predittività che concerne la corteccia retinotopica foveale per un miglioramento delle prestazioni. Più specificatamente, si pensa che il *feedback* sia causato da una pianificazione segreta di una saccade su un oggetto periferico (Stewart et al., 2020).

Come cita Stewart et al. (2020), una spiegazione probabile è che la funzione del *feedback* segua la teoria della gerarchia inversa (Hochstein e Ahissar, 2002), ossia che grazie al percorso *feedforward* rapido dei segnali l'uomo sia in grado di avere una panoramica “a colpo d'occhio” delle caratteristiche di base di un bersaglio. Le informazioni dettagliate o di singole caratteristiche di basso livello (di oggetti subordinati) sono trasmesse attraverso il segnale all'indietro, dalle aree superiori a quelle inferiori; in un percorso più lento e di “controllo”. Inoltre, l'esistenza dei *bias* di eccentricità, supporta la specializzazione funzionale di fovea e periferia. La rappresentazione di alcune categorie di stimoli non è omogenea nel campo visivo, si notano delle preferenze di comparsa; dunque, potenzialmente potrebbe esistere un *bias* foveale per la rappresentazione di caratteristiche di basso livello degli oggetti (la forma). (Zhaoping et al., 2017; Stewart et al., 2020).

Un'ultima teoria, valida da citare, formulata per la spiegazione di tale fenomeno, è il processo di inflazione. Si è osservato che si possiede una percezione omogenea dell'oggetto a livello corticale grazie al *feedback* foveale. Esso potrebbe derivare da un processo decisionale metacognitivo impreciso e distorto (Stewart et al., 2020), secondo cui, la percezione della periferia del campo visivo viene avvertita come più nitida e dettagliata di quanto sia in realtà. Ciò accade perché si pone un'eccessiva fiducia sistematica per stimoli altamente incerti o mancanti di informazioni sensoriali, inflazionando la conoscenza del campo visivo periferico rispetto alla realtà.

Tra le numerose spiegazioni qui revisionate, ce ne sono alcune più fortemente validate di altre. Nel capitolo successivo si procederà alla spiegazione dello studio sperimentale attuato a partire dalle ipotesi principale circa il *foveal feedback* e la difficoltà del compito sopra citate.

## CAPITOLO 2

### 2.1 IPOTESI

Lo studio proposto in questo elaborato riprende i risultati di Fan e ne cambia alcune condizioni sperimentali: la quantità di intervalli di asincronia tra la comparsa degli stimoli bersaglio e la maschera (SOAs) e provvede all'eliminazione del compito additivo di rotazione mentale. Ci si è focalizzati sulle tempistiche del *foveal feedback* basandosi sui diversi livelli di difficoltà del compito, rappresentati dal grado di similarità degli stimoli bersaglio. Si ipotizza che, se il *feedback* foveale si comporta come descritto dagli studi precedenti, esso dovrebbe fungere da ausilio quando il compito è più difficile, ossia quando gli stimoli periferici bersaglio sono molto simili tra loro. Siccome i livelli di similarità e dunque di difficoltà del compito sono molteplici, ci si aspetta che anche le tempistiche del *feedback* e di risposta siano diverse, ipotizzando che sia necessario maggior tempo per il confronto e la discriminazione tra stimoli maggiormente simili tra loro; la prestazione varia col variare della difficoltà del compito. In questo studio si mira a esaminare l'effetto (o l'assenza di effetto) della difficoltà del compito sulla tempistica della maschera, in isolamento, ossia senza ulteriori operazioni mentali.

Inoltre, ci si è interrogati su dove si ponga la condizione “*same*” nel gradiente di difficoltà, quando gli stimoli periferici bersaglio sono fisicamente identici, è più facile o più difficile la discriminazione di essi? Si presume che questa condizione sia meno difficile rispetto al livello più alto di somiglianza tra stimoli e che dunque, richieda minor tempo di elaborazione. Un'altra condizione secondaria che si è osservata è il criterio di risposta: quale esso sia e come influenzi la risposta stessa. Si può supporre che, ad un certo livello di similarità (alto), la discriminazione dei bersagli risulti più difficile e possa avvenire uno spostamento di criterio. Si vuole capire se i partecipanti mostrano una tendenza verso un estremo conservatore piuttosto che verso uno più liberale.

Stabilite le ipotesi sperimentali, nei paragrafi successivi viene spiegato dettagliatamente il procedimento che si è seguito al fine di registrare dei risultati scientifici.

## **2.2 METODO GENERALE**

### **2.2.1 PARTECIPANTI**

Nell'esperimento sono stati coinvolti un totale di 56 partecipanti volontari (36 femmine), inclusi in un range d'età che varia dai 20 ai 38 anni, con un'età media di 23,8 anni. Per ogni partecipante sono stati raccolti i dati anagrafici ed è stato tenuto un diario in cui segnare eventuali punti critici o dubbi presentati dal partecipante.

Tutti i partecipanti godevano di una acuità visiva nella norma o corretta (come lenti a contatto o occhiali). Essi sono stati reclutati in un periodo di tempo compreso tra settembre 2022 e maggio 2023, attraverso conoscenze degli sperimentatori o canali *social* e contattati tramite *e-mail*. Il campione era prevalentemente composto da studenti del dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova. I partecipanti erano all'oscuro dell'obiettivo e delle ipotesi dell'esperimento, inizialmente veniva chiesto loro se fossero disponibili a svolgere un esperimento della durata di circa un'ora, riguardante l'ambito della percezione visiva.

Tutti i soggetti hanno letto e firmato il consenso informato proposto precedentemente all'esperimento stesso. Tutte le procedure sono state portate a termine in accordo con le linee guida del Comitato Etico per la Ricerca Psicologica dell'Università di Padova, con il numero di protocollo 4812; aderendo ai requisiti della Dichiarazione WMA di Helsinki-Principi etici per la ricerca medica che coinvolge soggetti umani (1964).

### **2.2.2 MATERIALI E STRUMENTAZIONE**

L'esperimento è stato generato usando il software PsychoPy3 (Pierce et al., 2019). Gli stimoli sono stati disposti su un Eizo ColorEdge CS2420 con correzione di gamma, risoluzione 1920 x 1080 pixel, 60 Hz e 61,1 cm di misura diagonale.

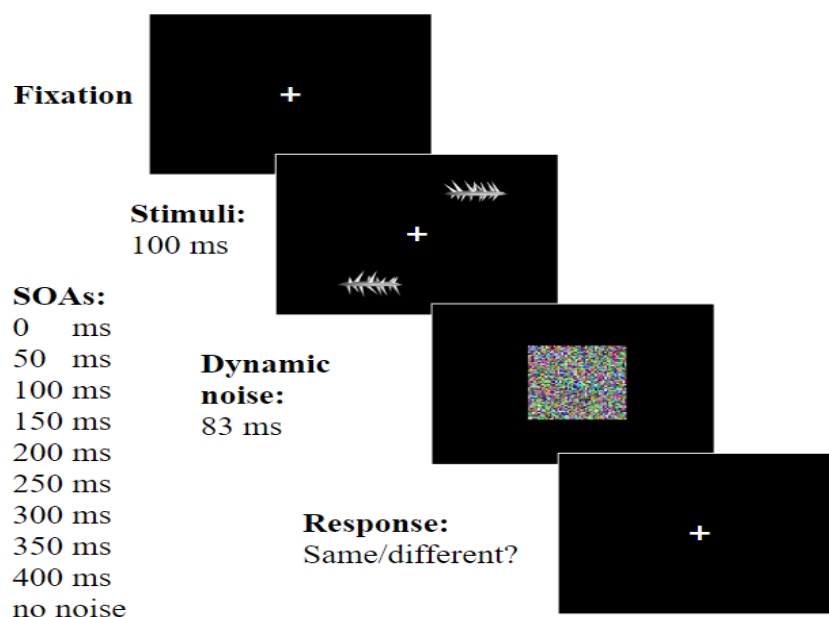
Ogni partecipante si sedeva in una stanza silenziosa, a luci spente, approssimativamente a 57 cm dallo schermo, con l'ausilio di un poggiamento.

Un altro strumento utilizzato per l'esperimento è stato un *eye tracker* (Gazepoint GP3), necessario al fine di monitorare il punto di fissazione degli occhi dei partecipanti; di fatto, lo stimolo non veniva presentato se i partecipanti non fermavano lo sguardo entro 2 gradi dalla croce di fissazione.

### 2.2.3 DISEGNO SPERIMENTALE

Il disegno sperimentale è un adattamento di un esperimento online condotto dal laboratorio e descritto in un articolo precedente (Contemori et al., 2022). In questo caso la differenza nel disegno sperimentale consisteva nella quantità di intervalli di asincronia presenti tra la comparsa dello stimolo e la comparsa della maschera. Gli intervalli di asincronia (SOAs) tra target e maschera sono stati ampliati ed impostati di 50 ms in 50 ms, compresi in una fascia di tempo tra 0 e 400 ms. Questo è stato fatto per ottenere un'elevata densità di SOA e al contempo mantenere la durata totale dell'esperimento entro un'ora circa. In totale vi sono 40 condizioni diverse in accordo con un disegno fattoriale di  $2 \times 2 \times 10$ . I fattori coinvolti erano il tipo di target (uguale o diverso, “*same*” o “*different*”), la posizione degli stimoli sullo schermo ( $45^\circ$  o  $135^\circ$  in diagonale), e la distanza temporale di comparsa tra i target e la maschera foveale (senza-maschera ovvero la condizione di assenza di rumore, 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 ms).

Come illustra la Figura 2.1 il disegno sperimentale si compone di più fasi: inizialmente è presente solamente la croce di fissazione al centro dello schermo nero, che corrisponde al centro del campo visivo. Successivamente sono presentati contemporaneamente due stimoli periferici (*spikes*) per una durata di 100 ms, e con un'asincronia che va da 0 a 400 ms (a multipli di 50 ms), viene presentato il rumore foveale. La decima condizione di questo fattore è l'assenza di rumore foveale (maschera). Alla scomparsa degli stimoli il partecipante deve indicare l'uguaglianza o la differenza di essi per poter svolgere la prova successiva.



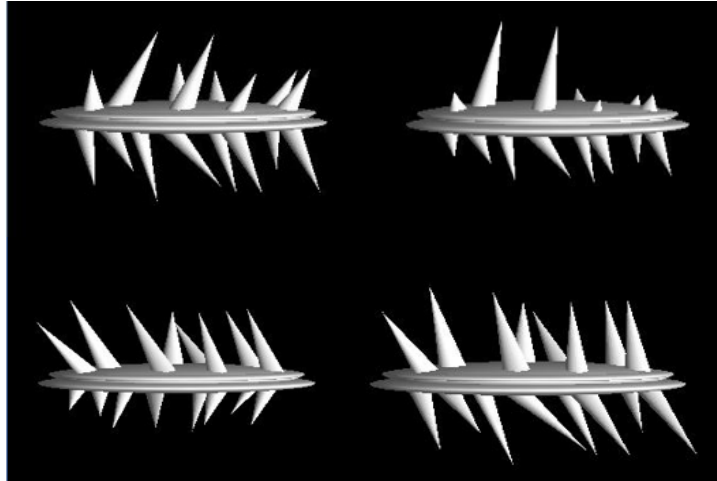
**Figura 2.1.** *Svolgimento dell'esperimento*

Le fasi di svolgimento dell'esperimento; viene presentata la croce di fissazione da cui non si dovrebbe spostare lo sguardo; sono presentati due *spikes* periferici per 100 ms e in 10 diversi livelli di SOAs viene mostrato il rumore dinamico foveale per 83 ms. Alla scomparsa degli elementi bisogna indicare se i bersagli fossero uguali o diversi.

## 2.2.4 STIMOLI

Gli stimoli target fondamentali in questo studio erano forme astratte tridimensionali (3D) della categoria degli *spikes*, come si può osservare in Figura 2.2. Questi stimoli sono stati richiesti e concessi da Fan e collaboratori, di modo che fosse possibile riprodurre esattamente l'esperimento dal loro laboratorio precedentemente condotto. Gli stimoli sono stati creati da Op de Beeck e collaboratori (2006) grazie ad algoritmi personalizzati in MATLAB che hanno creato tre categorie di stimoli, tra cui gli *spikes*. Essi hanno volutamente proprietà di forma diverse e non riconducibili a categorie di oggetti di uso quotidiano (Op de Beeck, 2006).

Gli stimoli avevano una dimensione media di 3 x 1,5 gradi di angolo visivo. Il centro era a una distanza di 7 gradi di angolo visivo dalla fissazione. Le forme 3D erano distinte una delle altre basandosi su 4 caratteristiche principali, ossia la lunghezza e l'orientamento delle punte sia superiori che inferiori, come illustrato in Figura 2.2.



**Figura 2.2.** *Gli stimoli*

Stimoli bersaglio presentati in periferia del campo visivo: gli *spikes*. Caratterizzati da una forma inusuale, e sottoposti a manipolazione di quattro dimensioni della forma: lunghezza e orientamento delle punte superiori e lunghezza e orientamento delle punte inferiori.

In ogni prova, due forme sono state selezionate casualmente da un campione di 1296 possibili forme, le quali potevano essere entrambe uguali (per la condizione “*same*”) o diverse (per la condizione “*different*”). Secondo il disegno sperimentale, su un totale di 36.600 prove, la metà (18.1000) sono risultate e sono state etichettate come “uguali”, l’altra metà risultante come “diverse”. A causa della completa randomizzazione delle immagini, 16 prove appartenenti alla categoria “diverse” contenevano oggetti bersaglio identici, dunque sono state riclassificate come “uguali” prima di procedere con le analisi. Come nello studio originale, la dissimilarità tra le coppie di forme è data dalla variazione di una o più delle quattro caratteristiche manipolate. Inoltre, ogni caratteristica constava di variazioni su multipli livelli. La lunghezza delle punte che formano gli stimoli si estende per 7 livelli graduali, sia per quelli superiori sia per quelli inferiori. L’orientamento consta di due livelli, ovvero, picchi diretti a destra o picchi diretti a sinistra ma anche in questo caso l’orientamento dei picchi superiori è separato e indipendente da quelli inferiori (e viceversa). La somiglianza o la dissomiglianza tra gli stimoli non varia linearmente, ed esistono dunque diverse combinazioni di queste quattro caratteristiche. Perciò, è stata utilizzata una metrica necessaria per quantificare il grado di somiglianza che si avvicina il più possibile al giudizio umano applicato a un compito di discriminazione (tra uguale e diverso); la scelta di tale metrica è stata vagliata con un’accurata analisi riportata nelle pagine successive.

### 2.2.5 PROCEDURA

I partecipanti hanno svolto un compito di discriminazione dello stimolo di tipo “uguale/diverso” (*same/different*) in cui erano presentati simultaneamente due stimoli in periferia del campo visivo, su una diagonale di eccentricità di 7 gradi di angolo visivo. Il compito consisteva nel confrontare i due stimoli periferici per determinare se fossero tra loro uguali o meno, premendo sulla tastiera del computer il tasto “m” in caso di dissimilarità e “n” in caso di uguaglianza. Non è stato impostato nessun vincolo temporale, ai partecipanti era richiesto di rispondere in modo più accurato possibile.

Il compito era suddiviso in 3 sessioni di prove da circa 10 minuti ciascuna, contenenti 200 prove ognuna. A precedere le sessioni di test vere e proprie vi era una sessione di pratica costituita da 80 prove che simulavano il compito. Questa fase era necessaria alla familiarizzazione dei partecipanti con gli stimoli, inoltre, veniva fornito un video di istruzioni del compito.

Nel corso dell’esperimento, la croce di fissazione era posizionata al centro dello schermo. All’inizio di ogni prova, due target erano presentati contemporaneamente sullo sfondo nero dello schermo per una durata di 100 ms. I target erano localizzati in una posizione diametralmente simmetrica entro due quadranti opposti dello schermo, ed erano presentati pseudo-casualmente in entrambi i quadranti 1 e 3 o nei quadranti 2 e 4.

Questa casualità era volontariamente impostata per eliminare ogni *bias* di aspettativa del soggetto circa la posizione del target.

In seguito a ciò, era presentata una macchia di rumore colorata e dinamica di dimensioni 7x7 gradi, per la durata di 83 ms secondo 10 asincronie di insorgenza dello stimolo (10 SOAs diversi). Gli SOAs erano di 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 ms, mentre la croce di fissazione rimaneva nella posizione iniziale. Inoltre, era inclusa una condizione che non prevedeva la comparsa di alcun rumore foveale, identificata poi come condizione di base (decimo SOA).

Al partecipante veniva chiesto di attendere la scomparsa dello stimolo prima di fornire una risposta. Il test, quindi, era autonomamente regolato per quanto riguarda la velocità di comparsa degli stimoli poiché la prova successiva iniziava 500 ms dopo la pressione del tasto di risposta.

Prima di procedere allo svolgimento dei blocchi sperimentali effettivi, i partecipanti dovevano completare il blocco di pratica “*practice*”, il quale forniva una spiegazione in

lingua inglese con immagini e un *feedback* visivo che informava se le risposte date fossero corrette o errate (“*correct*” o “*wrong*”). Il blocco di pratica prevedeva un totale di 80 prove, dalla durata totale di circa 4 minuti, il quale risulta essere un blocco di pratica più corto rispetto allo studio originale.

I partecipanti erano istruiti nel mantenere lo sguardo fisso sulla croce di fissazione centrale, poiché, lo stimolo non era presentato se lo sguardo era scostato dal punto di fissazione di più di 2 gradi.

Le tre sessioni successive presentavano lo stesso compito di detezione, ma con assenza di *feedback*, ciascuna della durata di 10 minuti circa.

Tra le sessioni era possibile fare una pausa, scelta a discrezione del partecipante e in base al suo affaticamento o al suo livello di attenzione.

Al termine dell’esperimento, che in totale durava circa un’ora (ndr. Alcuni partecipanti hanno speso circa due ore per l’esperimento a causa di problemi tecnici con eye tracker), i partecipanti potevano conoscere i valori della loro accuratezza media di risposte di ogni sessione, in percentuale, che risultava sicuramente uguale o superiore al 50% (0.5).

Con lo scopo di assicurarsi che il compito venisse svolto in maniera affidabile, sono stati inclusi nello studio e nell’analisi dei dati, solamente i partecipanti che hanno totalizzato un punteggio medio di accuratezza superiore o uguale al 60%. Tutti i partecipanti hanno soddisfatto questo criterio e dunque sono state incluse tutte le prove, 600 per ciascun partecipante suddivise in tre sessioni, escludendo la pratica di 80 prove, per un totale di 33600 prove.

### **2.2.6 PRE-ANALISI, ANALISI DELLE METRICHE**

A partire dall’ipotesi che le immagini più sono simili, maggiore è il grado di difficoltà nel discriminarle accuratamente, sono stati vagliati diversi papabili strumenti di misurazione della similarità tra immagini. Alcuni di essi sono di ispirazione biologica, ossia il più analogo possibile alla capacità di discriminazione di un osservatore umano, altri sono basati su modelli computazionali. Le immagini degli stimoli target dovrebbero differenziarsi le une dalle altre con un grado di complessità crescente basandosi sulla sovrapposizione di pixel, ma la somiglianza per numero di pixel non rispecchia la capacità di giudizio percettivo umano; vi è difatti una dissociazione tra la somiglianza basata su pixel e la somiglianza percepita (Op de Beeck et al., 2008). In questo studio, la similarità tra le immagini consiste in quanto esse sono simili per alcuni fattori: per esempio circa il



contenuto visivo, la forma, il colore, la trama, i contrasti ed altri fattori. Gli stimoli target (*spikes*) sono stati presi in considerazione a coppie, nell'esatta combinazione con cui sono apparsi in ogni prova di ogni sessione dell'esperimento. Come primo passo, le coppie di stimoli sono state confrontate per mezzo di ogni metrica, da cui si è ricavato un valore numerico che esprime il grado di somiglianza tra le immagini. Le valutazioni sono state effettuate a partire dai valori R-quadrato in un'analisi di regressione, e da una correlazione di Pearson tra le metriche; al fine di identificare quella maggiormente accurata da utilizzare nelle fasi successive dell'analisi.

Le metriche di somiglianza considerate sono state l'indice di somiglianza strutturale (SSIM), l'indice di somiglianza basato sul modello Gabor-Jet, l'indice di somiglianza percettiva basato su *wavelet* di Haar (HaarPSI) e il coefficiente di somiglianza per la segmentazione di immagini di Jaccard. Essi sono stati comparati l'uno con l'altro attraverso delle correlazioni, per calcolare, in primis, l'accuratezza, e in seguito per visualizzare le differenze che vi sono tra uno strumento e l'altro e procedere nella scelta di quello che maggiormente predice l'accuratezza.

L'indice di somiglianza strutturale (SSIM) serve a misurare la qualità di un'immagine; esso stima la similarità strutturale di immagini in scala di grigi che siano in bi- o tri-dimensionali, andando oltre i valori di pixel, ma considerando anche le informazioni strutturali. Specificatamente si occupa dell'impatto visivo di tre caratteristiche principali di un'immagine, ossia: la luminanza, il contrasto e la struttura. Essi divengono i fattori computazionali principali di confronto per operare l'analisi. L'indice SSIM si calcola in MATLAB con la funzione `ssim()`; data un'immagine di partenza, ne crea una copia identica applicando un filtro di rumore, crea un montaggio di immagini, che vengono divise in piccole finestre; ponendole una accanto all'altra si può notare che esse differiscono maggiormente lungo le regioni nitide e ad alto contrasto. L'indice SSIM complessivo che ne risulta è una combinazione moltiplicativa, una media, dei valori di somiglianza strutturale di ogni finestra; un valore vicino o equivalente a 1 indica un'alta qualità di immagine (<https://it.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html>)

Il modello Gabor-Jet è un modello neurocomputazionale matematico progettato per calcolare la differenza psicofisica tra immagini (stimoli visivi complessi), ed emula le proprietà di risposta delle cellule semplici e complesse presenti in corteccia visiva

primaria (V1) agglomerate in strutture chiamate ipercolonne (Margalit et al., 2016). Si basa sull'ipotesi che la corteccia visiva primaria sia sensibile e stimi la variazione metrica delle immagini e perciò le differenze qualitative siano successivamente valutate con più accuratezza. L'indice si calcola mediante un codice MATLAB fornito dagli autori stessi (<https://geon.usc.edu/GJW/>). Sono utilizzati dei filtri Gabor con diverse scale e orientamenti, che avvolgono un'immagine come una decomposizione lineare, in maniera del tutto simile al metodo di filtraggio delle cellule semplici di V1 usato nel riconoscimento di immagini. Le funzioni Gabor-Jet acquisiscono la frequenza locale e le informazioni sull'orientamento dell'immagine e vengono utilizzate per calcolare la somiglianza attraverso una correlazione tra i due insiemi di caratteristiche. Sono presenti diverse versioni di questo modello, la più rinomata segue la versione di Lades et al. (1993), che comprende un insieme di onde complesse (un intreccio tra una funzione sinusoidale e una funzione gaussiana), che posseggono una forma simile ai campi recettivi delle cellule semplici e sono ottimali per misurare le frequenze spaziali basse (locali). Queste onde sono particolarmente adatte per rilevare ed estrarre caratteristiche di un'immagine, riconoscere pattern, segmentare e comprimere immagini; sono costituiti da diversi parametri come frequenza, orientazione e dimensione. Si utilizzano immagini quadrate da cui si estrae una griglia, da cui poi si estraggono i valori di convoluzione dei *kernel* (se la griglia è sufficientemente densa e la scala dei *kernel* sufficiente grande, si ha una sovrapposizione). Si applica una trasformata 2D di Fourier sull'immagine, si moltiplica l'immagine con le onde complesse di Gabor; successivamente si estrae la fase dell'immagine posta in determinate posizioni nel campo visivo, dunque, i valori di frequenza e fase si concatenano e osservando la distanza tra i due vettori si interpreta come la distanza percettiva tra le due immagini. Il modello produce un singolo valore che rappresenta la dissomiglianza di due immagini, rispetto al filtraggio di cellule semplici e complesse di V1; le somiglianze calcolate si basano sulla sintonizzazione cellulare che preserva la direzione del contrasto (Margalit et al., 2016). Esso è biologicamente ispirato, perciò permette di produrre inferenze circa il contributo successivo nel processamento della forma.

L'indice di similarità percettiva basato su wavelet di Haar (HaarPSI), ossia una funzione matematica per la decomposizione in onde più semplici con delle onde variabili, è una struttura computazionale efficace nell'acquisizione di cambiamenti improvvisi nelle

immagini. Il lavoro svolto da tale indice è decomporre l'immagine data in onde sinusoidali di lunghezza e tempo variabile e successivamente utilizzare i coefficienti ottenuti per stimare le somiglianze locali tra due immagini, come bordi e trama. L'indice utilizza coefficienti wavelet di Haar ad alta frequenza per definire le somiglianze a livello locale e coefficienti wavelet Haar a bassa frequenza per sottolineare la dissimilarità in aree specifiche dell'immagine globale (Reisenhofer et al., 2018). I filtri wavelet usati da HaarPSI sono sei (6) discrete e bidimensionali onde sinusoidali di Haar che rispondono a bordi orizzontali e verticali su scale di diversa frequenza, poiché rispecchiano l'attività di proprietà funzionali dei neuroni in corteccia visiva primaria, ossia selettività d'orientamento e selettività di frequenza spaziale (cellule semplici). L'idea di base di tale indice è di costruire mappe delle caratteristiche delle immagini; inoltre, questo indice risulta più nella simulazione delle opinioni di giudizio percettivo umano.

Il coefficiente di similarità di Jaccard è un indice statistico specificatamente utilizzato nella segmentazione di immagini al fine di confrontare le relative similarità o dissimilarità tra esse. Il coefficiente è stato calcolato con la funzione `jaccard()` in MATLAB, e consiste nel calcolo dell'intersezione di immagini binarie sull'unione delle stesse. Infatti, prima di procedere all'estrazione di somiglianza con la funzione, le immagini vengono binarizzate, ossia i pixel vengono sostituiti assegnando loro un valore "1" quando la luminanza è superiore a 0,2 livelli (bianco) e un valore "0" a tutti gli altri pixel (nero). Il calcolo procede con la segmentazione dell'oggetto in diverse regioni con il metodo dei contorni attivi, questo crea una maschera che viene sovrapposta alla seconda immagine, ciò che ne risulta è la differenza tra le due. Inoltre, l'output di similarità che ne risulta è un valore scalare e semplice.

Innanzitutto, sono state utilizzate le metriche descritte sopra, da cui si sono ricavati dei valori per ogni combinazione di immagini e perciò nel *dataset* sono state aggiunte 5 colonne che riportavano il grado di similarità secondo ogni metrica. I valori di ogni indice preso in considerazione si estendono in un range da 0 a 1 dove 0 combacia col grado più alto di dissimilarità e 1 rappresenta il grado più elevato di similarità percepita tra gli stimoli secondo le funzioni sopracitate (diverso però dal risultato "same" dove gli stimoli presentati sono effettivamente uguali tra loro). Le metriche che non rispettavano questo ordine sono state ridimensionate in modo tale che il valore "1" corrisponde all'etichetta

“massima similarità”; inoltre, è stata creata una funzione ad hoc per poter invertire i risultati di due indici che altrimenti riportano i valori in maniera diametralmente opposta.

Dal *dataset* totale si è estratto un sottoinsieme che considera solamente le prove la cui risposta corretta era “*different*”, ovvero le prove in cui i due stimoli presentati erano percettivamente differenti, perciò il sottoinsieme analizzato contempla 16.800 prove. Sono stati effettuati dei grafici (con la funzione `plot()` in R) di ogni funzione al fine di controllare che la distribuzione dei dati sia corretta e prosegua in successione tra i valori di 0 e 1, visivamente si nota che le funzioni HaarPSI e Jaccard comprendono valori più bassi, ciò indica il range di misura di tale indice.

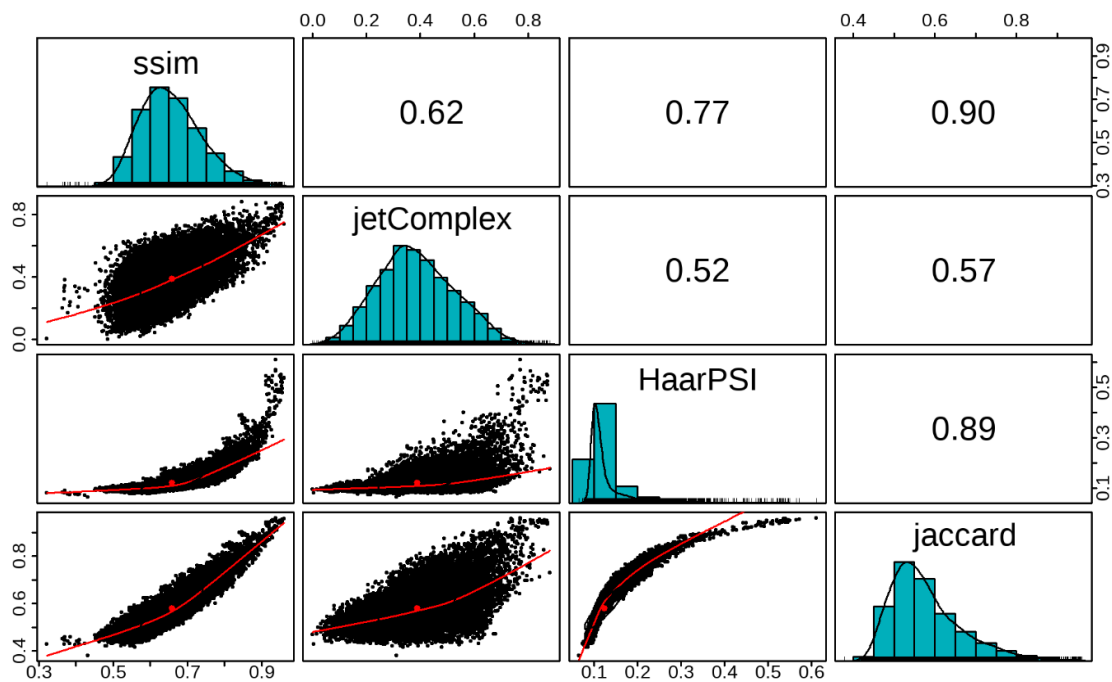
Dopodiché sono stati creati dei modelli misti lineari generalizzati per ogni metrica attraverso la funzione `glmer()` per esprimere la probabilità con cui ogni indice misura l'accuratezza del compito, considerando l'accuratezza come variabile dipendente e la somiglianza tra le immagini come variabile indipendente. Sono considerati sia gli effetti fissi che gli effetti casuali che possono esistere in un predittore lineare, come per esempio la variabilità individuale, e dunque sono state incluse un'intercetta casuale e una pendenza casuale per ogni partecipante. In termini semplicistici, il modello misto lineare generalizzato tiene conto del fatto che ogni partecipante è stato sottoposto molte volte allo stesso tipo di compito, per un totale di 600 prove; esistono delle misure ripetute entro i partecipanti. L'output di un modello misto lineare generalizzato contiene diverse voci, quella presa in considerazione è stato R<sup>2</sup> marginale (valore estrapolato con la funzione `model_performance()`). Esso è un indice che spiega con quanta efficienza le metriche prese in considerazione mostrino la varianza dell'accuratezza dell'analisi sulle immagini, considerando sia la varianza degli effetti fissi che quella degli effetti casuali. Maggiore è il valore, maggiormente la metrica predice l'accuratezza, in un range di valori da 0 (ossia, dissimilarità massima) a 1 (livello più alto di somiglianza). I valori R<sup>2</sup> sono presenti insieme al criterio informativo di Akaike corretto per campioni di piccole dimensioni (AICc) e al delta AICc ( $\Delta$ AICc).

Successivamente il confronto tra gli indici R<sup>2</sup> che predicono la varianza dell'accuratezza delle metriche viene attuato attraverso ANOVA (*analysis of variance*), l'analisi della varianza. L'output comprende diversi argomenti, alcuni dei quali combaciano con

argomenti di output dei modelli singoli (AICc e  $\Delta$ AICc), a riprova del fatto che le analisi portate avanti fin a quel momento sono coerenti tra loro.

In generale, avvalendosi anche dei grafici prodotti a partire dal modello di ogni metrica, la funzione JetGabor complex si rivela essere la peggiore in quanto a indice di similarità tra immagini per via dell'indice R2 estremamente basso (0,08), la funzione SSIM ha una grande varianza di accuratezza tra le prove estremamente differenti e quelli effettivamente molto simili, dunque, questi ultimi risultano essere i meno efficienti. L'indice R2 maggiore appartiene alla funzione Jaccard (0,79), il cui grafico ha visibilmente una retta molto inclinata e poca varianza tra i risultati, da notare il fatto che l'accuratezza di tale indice raggiunge valori al di sotto dello 0.5, vale a dire al di sotto del caso, valore che svolge la funzione di spiegazione del *bias* del partecipante. La percentuale di accuratezza al di sotto del caso significherebbe il tirare a indovinare del partecipante, senza che questo avvenga: un partecipante che ha compreso il compito e ha una media di accuratezza superiore a 0.5 (ossia il caso) non tira a indovinare ma è convinto che le due immagini estremamente simili siano identiche, tale per cui risponde in maniera errata. Anche l'indice HaarPSI, raggiungendo tanti valori sotto lo 0.2 evidenzia la presenza di un *bias* nel partecipante, ma il grafico sostiene anche una maggiore varianza nel giudizio di accuratezza nelle coppie di immagini molto simili, inoltre risulta un valore R2 inferiore rispetto all'indice di Jaccard, il quale mostra la più forte capacità predittiva.

Come prova ulteriore di cui avvalersi per la scelta dell'indice di Jaccard come metrica più accurata è stata calcolata anche una correlazione tra i diversi strumenti. La Figura 2.3 mostra una matrice di correlazione per le quattro metriche di somiglianza, le quali sono tutte correlate tra loro in maniera positiva ed elevata (superiore a 0,50), a riprova del fatto che misurino tutte la stessa cosa (affidabilità degli strumenti), sia che avvenga in maniera più o meno accurata. L'indice di somiglianza che correla mediamente con punteggi più elevati nei confronti delle altre metriche è il coefficiente di Jaccard.



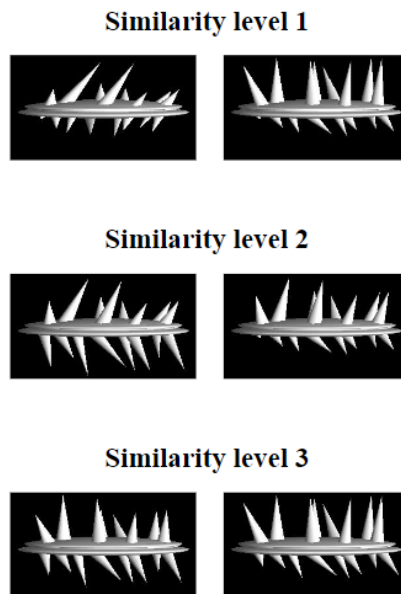
**Figura 2.3.** *Matrice di correlazione tra metriche*

Calcolo delle correlazioni tra le metriche sopra citate; i valori negativi sono stati invertiti in modo tale da far combaciare tutte le metriche lungo un'unica direzione di punteggio. L'indice di similarità di Jaccard possiede i valori di correlazione più alti con le altre metriche.

## 2.2.7 ANALISI DEI DATI

Successivamente, dopo aver individuato la metrica di somiglianza più forte nella previsione di accuratezza, è stata avviata l'analisi vera e propria dei dati raccolti nel programma R.

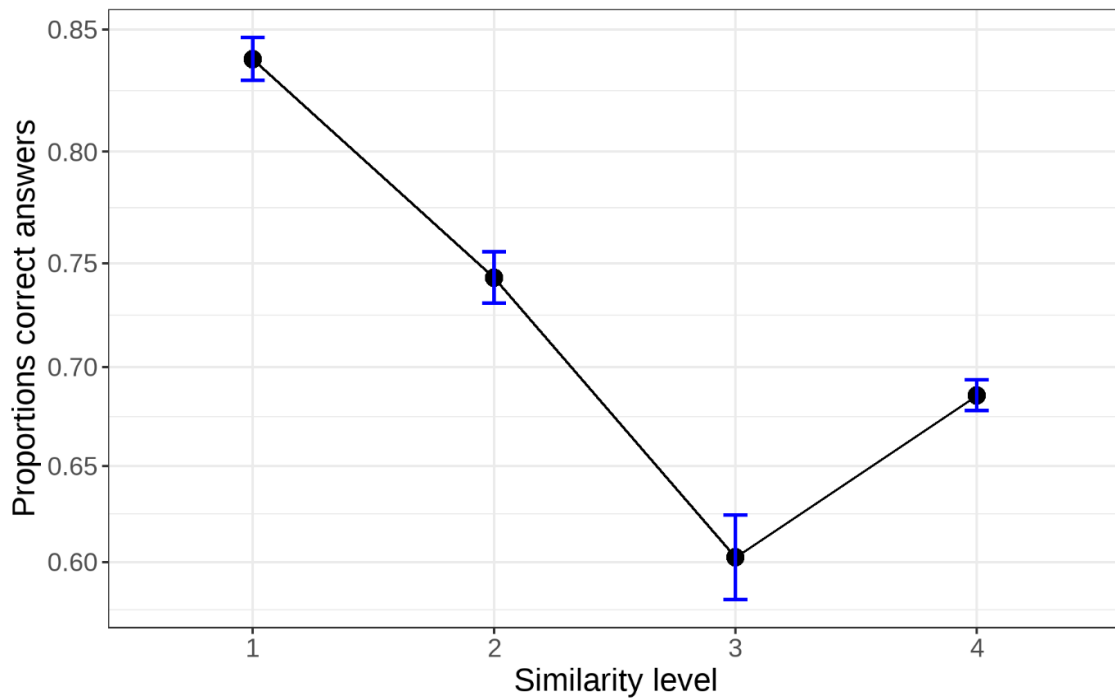
Inizialmente i dati sono stati raccolti in un *dataset* ed è stato calcolato l'indice di similarità Jaccard per ogni coppia di stimoli presentata a ogni partecipante.



**Figura 2.4.** *Livelli di similarità degli stimoli*

In questa figura si possono osservare concretamente i livelli di similarità tra gli stimoli bersaglio individuati dopo aver effettuato un raggruppamento a partire dagli indici di Jaccard.

Considerando un *database* che comprendeva solamente le prove “diverse”, i punteggi del coefficiente di Jaccard sono stati suddivisi in tre gruppi in base al livello di somiglianza degli oggetti, attraverso la funzione “discretize()”. Così facendo il grado di similarità si può identificare come una variabile discreta, i cui livelli si estendono in un range di valori da 1 a 3. Il grado di somiglianza tra le coppie di oggetti varia dal livello 1 ( $N = 7148$ ), che corrisponde al minimo grado di similarità (ossia coppie di oggetti molto diversi tra loro), con un coefficiente Jaccard medio di 0,513; il livello 2 ( $N = 5090$ ) corrisponde al livello intermedio di similarità con un coefficiente medio di 0,609; mentre il terzo gruppo ( $N = 1846$ ) raccoglie tutte le coppie di stimoli che sono percettivamente molto simili, quasi uguali con un coefficiente Jaccard medio pari a 0,755 (Figura 2.4). È stato inserito anche un quarto (4) livello separato che comprende tutti gli stimoli effettivamente uguali, la cui risposta corretta è n, ossia “*same*”. La precisione media di risposta è 0,69. Come ci si aspettava, si osserva che l’accuratezza media diminuiva con l’aumentare della similarità (suddivisa in livelli) in maniera quasi lineare, illustrato in Figura 2.5.



**Figura 2.5.** *Grafico dei dati dell'indice di Jaccard*

Grafico dell'effetto di similarità; in ascissa i livelli di similarità (1, 2, 3) e la condizione "same" (4). Mentre in ordinata i livelli di accuratezza delle risposte corrette: da sopra il caso 0.5 a 0.85 circa. Si nota come i tre livelli di difficoltà del compito abbiano un andamento decrescente per quanto riguarda la proporzione di risposte corrette, mentre la condizione in cui le immagini sono identiche risale come punteggio di accuratezza.

Per determinare un effetto basale di comportamento con la maschera foveale (*baseline*) da cui partire per osservare un eventuale cambiamento, sono stati analizzati i dati circa l'accuratezza nel compito visivo di discriminazione periferica. È stato utilizzato un modello misto lineare generalizzato con due fattori ordinali: la presenza/assenza della maschera e la condizione uguale/diversa; considerando la variabilità individuale data dalle misure ripetute è stata inserita anche un'intercetta casuale individuale e una pendenza casuale individuale per ogni condizione. Il modello è stato ricavato dalla funzione `glmer()` in R, che permette di porre in relazione diverse variabili dipendenti con delle variabili manipolate (indipendenti).

Altri effetti indagati sono stati sempre tradotti con un modello misto lineare generalizzato che considerava altre variabili differenti. Un'altra analisi riguarda l'effetto della maschera a seconda dell'asincronia di insorgenza dello stimolo (SOA), l'analisi è avvenuta considerando i dati di accuratezza adattando un modello con la SOA (10 livelli) come



fattore ordinato e la condizione “*same*” o “*different*”. Al fine di controllare la correlazione entro i soggetti tipica delle misure ripetute, sono state incluse un’intercetta casuale individuale e una pendenza casuale individuale.

L’ultima analisi effettuata con un modello misto lineare generalizzato, considerava due fattori ordinati: i livelli di SOA (10 livelli) e i livelli di similarità (4 livelli), mentre la variabile dipendente da esse è accuratezza delle risposte del partecipante (considerato l’unità di misura di questa analisi). Nella scrittura della formula sono stati presi in considerazione anche i possibili ed eventuali effetti *random*, dettati dal fatto che ci siano delle misure ripetute entro i partecipanti.

I modelli misti sono stati stimati con una procedura di probabilità ristretta massimamente (RELM). Per testare gli effetti fissi è stato utilizzato un test di Wald di tipo III con la funzione Anova() in R.

Per stimare la posizione del picco/discesa, sono stati comparati ogni livello di SOA con la *baseline* che non prevede il mascheramento con rumore, separatamente delle condizioni “uguale” e “diverso”. Per mezzo di cinque t-test di campioni appaiati, è stata usata anche una correzione di FDR (*false discovery rate*, un tasso di scoperta dei falsi) per le comparazioni multiple, per aggiustare i valori P dei test.

Con lo scopo di effettuare un’analisi di controllo, al modello misto lineare generalizzato è stata applicato il test statistico ANOVA (*analysis of variance*), necessario a valutare gli effetti di interazione tra più di una variabile indipendente. Con questo test è possibile individuare sia l’effetto principale (l’accuratezza in funzione degli SOA e in funzione del grado di similarità degli stimoli) sia gli effetti incrociati, ovvero l’interazione tra SOA e livelli di similarità. L’intercetta, ovvero la media generale, ha un valore p estremamente basso, e dunque è statisticamente significativa. Le variabili “similarità” e “ms” sono dei fattori significativi nell’esplicare l’accuratezza, la prima altamente significativa mentre la seconda ha una significatività meno evidente. Tuttavia, l’interazione tra le due variabili indipendenti non sembra essere significativa, il valore p è maggiore del solito livello di significatività.

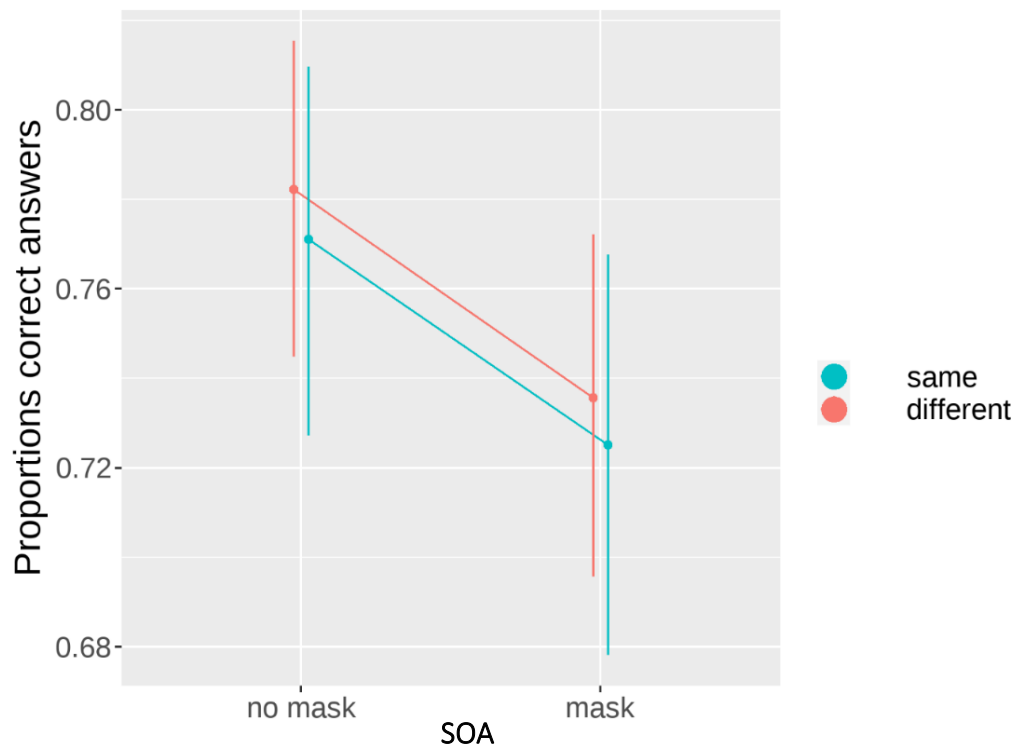
Infine, sono stati effettuati dei test post-hoc (parametrici) per un confronto a coppie delle medie delle variabili.

## CAPITOLO 3

### 3.1 RISULTATI

Tutti i partecipanti hanno svolto la prova con un'accuratezza maggiore dello 0,5, dunque maggiore del livello casuale. L'accuratezza minima è stata di 0,6, mentre quella massima è risultata di 0,86. Di seguito, sono riportati i risultati dei modelli misti lineari generalizzati, utilizzati per indagare l'accuratezza nell'interazione tra il mascheramento e la condizione “uguale”, i livelli di intervallo SOA ed entrambe le condizioni “uguale” e “diverso”; i livelli di similarità (basati sul coefficiente di Jaccard) e gli intervalli.

Sono state confrontate le condizioni senza maschera (*baseline*) e con la maschera presentata simultaneamente allo stimolo, separatamente per le condizioni “uguale” e “diversi” (Figura 3.1). I risultati dei test chi-quadrato di Wald di tipo III indicano un effetto significativo della maschera ( $W(1)= 13,7489$ ,  $p < 0,001$ ), ma nessuna differenza tra le condizioni ( $W(1)= 0,121$ ,  $p= 0,728$ ), e non interazione ( $W(1)= 0,007$ ,  $p= 0,932$ ). Ciò significa che vi è un calo delle prestazioni del 5% per quanto riguarda la presenza del

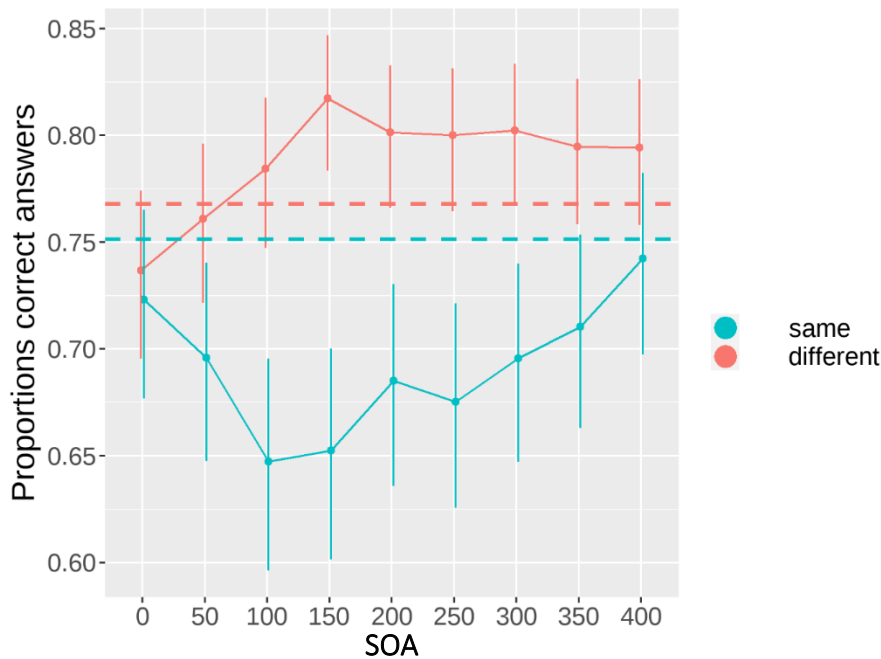


**Figura 3.1.** Condizione di *baseline* (senza) e con la maschera a  $SOA=0$ , per le condizioni “uguale” e “diverso”

Proporzione di risposte corrette in funzione di assenza o presenza della maschera ( $SOA=0$ ) per le due condizioni; calo della prestazione del 5%. Intervalli di confidenza del 95%

mascheramento, ma non si è registrata differenza per le condizioni “uguale” e “diverso”. Inoltre, il numero di risposte “diversi” non è variato, suggerendo che non ci sia stato alcun cambiamento di criterio.

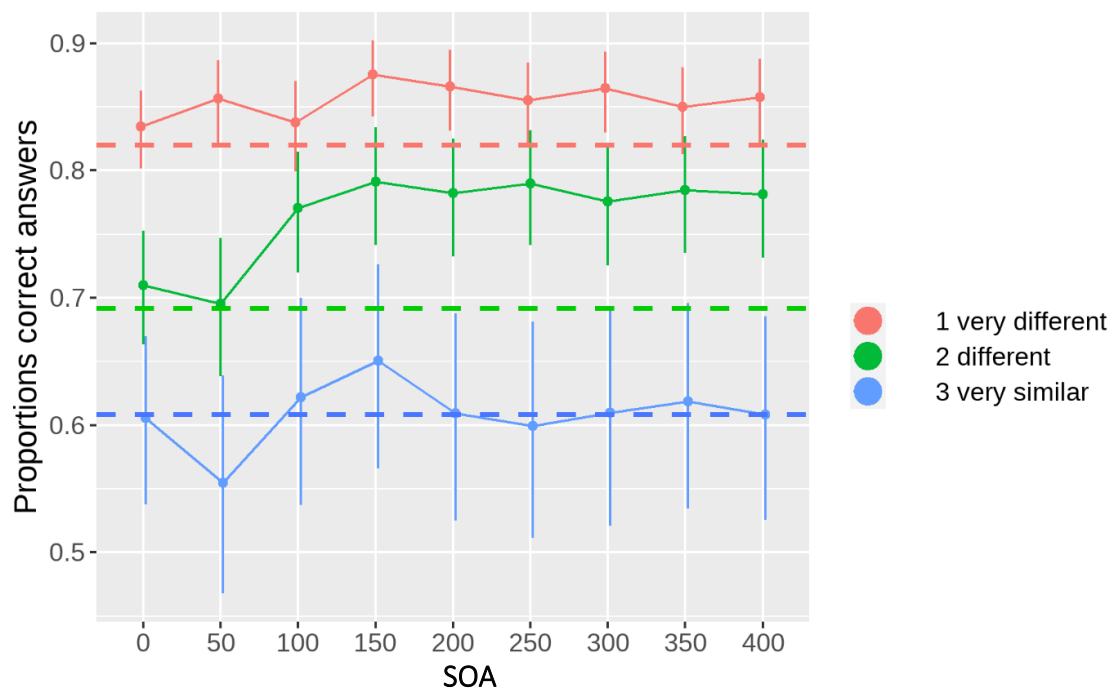
Nella misurazione dell'effetto della variazione degli SOAs in relazione separatamente alle condizioni “uguali” e “diversi” si notano delle differenze. I risultati dei test chi-quadrato di Wald di tipo III indicano un effetto significativo della SOA ( $W(8) = 24.988$ ,  $p = 0.002$ ), una differenza significativa tra le condizioni ( $W(1) = 10.827$ ,  $p = 0.001$ ) e un'interazione significativa ( $W(8) = 60.736$ ,  $p < 0.001$ ). Come si può notare in Figura 3.2, l'interruzione causata dalla maschera a diverse SOA ha portato a una variazione opposta delle prestazioni nelle due condizioni di “*same*” e “*different*”: si osservano prestazioni crescenti per il compito “diverso” e decrescenti nella condizione “uguale”. Questa dissonanza suggerisce che il numero complessivo di risposte “diverse” è aumentato, dunque, si è verificato un cambiamento di criterio. Grazie alle analisi post-hoc (contrastii polinomiali ortogonali) si notano effetti lineari e quadratici significativi in entrambe le condizioni, ossia significano che l'effetto della maschera non è stato lineare nel tempo. Inoltre, sono stati condotti dei confronti tra ogni SOA per entrambe le condizioni rispetto alla linea di base (ossia nessun mascheramento). I risultati mostrano differenze significative nella condizione “uguali” a 50 ms ( $z\text{-score}(\text{inf}) = -2.470$ ,  $p = 0.035$ ), 100 ms ( $z\text{-score}(\text{inf}) = -4.474$ ,  $p < 0.001$ ), 150 ms ( $z\text{-score}(\text{inf}) = -4.271$ ,  $p < 0.001$ ) e 200 ms ( $z\text{-score}(\text{inf}) = -2.931$ ,  $p = 0.015$ ), 250 ms (punteggio  $z(\text{inf}) = -3.341$ ,  $p = 0.005$ ) e 300 ms punteggio  $z(\text{inf}) = -2.486$ ,  $p = 0.035$ ). Tra i contrastii significativi per la “stessa” condizione il calo delle prestazioni (bassa accuratezza) è stato riscontrato a 100 ms, con una stima di 0,647. Mentre, per quanto riguarda la condizione “diversi” vi è solamente una differenza significativa rispetto alla base, ossia a 150 ms ( $z\text{-score}(\text{inf}) = 2.850$ ,  $p = 0.016$ ), con un picco di prestazione stimato di 0,817.



**Figura 3.2.** *Proporzione di risposte corrette in funzione della presentazione della maschera a diversi intervalli temporali (SOAs) per le condizioni “uguale” e “diverso”.*

Le linee tratteggiate nel grafico rappresentano le prestazioni di base (*baseline*) per le condizioni uguale (ciano) e diverso (rosso). Intervalli di confidenza al 95%.

Infine, dall'analisi dell'accuratezza basata sulle SOAs variabili in funzione della somiglianza tra gli stimoli, risulta che esiste un effetto significativo di SOA ( $W(8)=23.083$ ,  $p=0.003$ ), un effetto significativo di similarità ( $W(3)=490.417$ ,  $p<0.001$ ) ma un'interazione non significativa ( $W(24)=15.785$ ,  $p=0.468$ ). Grazie ai test post-hoc si è notato che i contrasti ortogonali sono significativi solo per SOA nel secondo livello di somiglianza, suggerendo che l'effetto della maschera non è lineare nel tempo. I risultati mostrano una differenza significativa per il livello 1 "molto diverso" a 150 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3.131$ ,  $p=0.007$ ), 200 ms (punteggio  $z(\text{inf})=2,534$ ,  $p=0,034$ ), 300 ms (punteggio  $z(\text{inf})=2,471$ ,  $p=0,036$ ). Per il livello 2 “diverso” a 100 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=2,949$ ,  $p=0,011$ ), 150 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3,691$ ,  $p=0,003$ ), 200 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3.388$ ,  $p=0.004$ ), 250 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3.727$ ,  $p=0.003$ ), 300 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3.152$ ,  $p=0.007$ ), 350 ms ( $z\text{-score}(\text{inf})=3,512$ ,  $p=0,004$ ), 400 ms (punteggio  $z(\text{inf})=3,362$ ,  $p=0,004$ ). Per il livello 3 “molto simile” non c'era alcuna differenza significativa in nessuna delle SOA. (Figura 3.3)



**Figura 3.3.** *Proporzione di risposte corrette in funzione degli SOAs del rumore foveale in base ai tre livelli di difficoltà del compito.*

Le linee tratteggiate rappresentano la *baseline* per i tre livelli di similarità degli stimoli, “molto diverso” (1, rosso), “diverso” (2, verde), “molto simile” (3, blu).

### 3.2 DISCUSSIONE

Il presente studio di percezione visiva indaga le dinamiche che coinvolgono la corteccia retinotopica foveale nella presentazione di stimoli periferici e maschera nel campo visivo. Nello specifico, esso indaga il momento e la modalità con cui la corteccia foveale viene coinvolta attivamente nel processo visivo; infatti, i risultati dello studio presentato e gli studi precedenti sottendono la complessità del processo di elaborazione visiva e le complesse relazioni tra le fasi di cui esso si compone al fine di plasmare la percezione visiva.

La prima osservazione che si può condurre è circa la performance generale dei partecipanti. Si nota un significativo calo delle prestazioni quando i due stimoli bersaglio posti in periferia sono identici, mentre avviene un aumento significativo delle prestazioni quando i due bersagli sono diversi. Questo può significare che vi sia un’influenza della maschera/ rumore posta al centro del campo visivo, e dunque, l’arrivo simultaneo del *feedback* e delle informazioni sulla maschera possono indurre i partecipanti a percepire la dissomiglianza anche quando gli oggetti sono identici.

Contemori et al. (2022) hanno introdotto questo fenomeno come “*bias* percettivo”, che si riscontra nell’aumento complessivo del numero di risposte “diversi”. Si può sostenere perciò che i tempi di presentazione dello stimolo e, consecutivamente l’arrivo delle informazioni legate alla maschera e al *feedback*, influenzano in modo significativo i giudizi di somiglianza espressi dai partecipanti. In più, si verifica una differenza di tempistica tra le due condizioni “uguali” e “diversi”: il calo di prestazione significativo avveniva a 100 ms quando i due oggetti sono identici, mentre il picco di prestazione accade intorno ai 150 ms quando i due oggetti sono diversi. Tale effetto ritardato si può leggere come conferma delle ipotesi iniziali, ossia che l’elaborazione di oggetti dissimili richiede tempo aggiuntivo affinché la corteccia foveale possa elaborarli discriminando le loro caratteristiche e possa effettuare un giudizio accurato circa la loro somiglianza.

Dunque, dall’interpretazione precedente possiamo supporre che oggetti diversi presentati nel campo visivo, richiedano più tempo di elaborazione rispetto alla presentazione di oggetti uguali. Ma contrariamente alle aspettative iniziali, non è stata osservata alcuna modulazione significativa della difficoltà del compito sulla prestazione. Ossia, i livelli di difficoltà rappresentati dal grado di similarità degli stimoli non hanno influito sull’effetto del mascheramento presentato in diversi intervalli (SOAs). Indipendentemente dal livello di somiglianza tra i due stimoli, si è osservato un picco di prestazione costante verso i 150 ms nella condizione “diversi”.

Il solo effetto significativo osservato è stato un effetto quadratico dell’asincronia della maschera sul livello intermedio di somiglianza; queste due variabili sono legate da una relazione quadraticamente dipendente. Probabilmente non è stato possibile notare un effetto per i livelli di somiglianza più basso e più alto poiché si avvicinano maggiormente al massimale e al minimo della media delle prestazioni, rendendo più difficile da individuare l’effetto delle SOA.

Un confronto valido è tra i risultati di questo studio e i risultati ottenuti dallo studio di Fan et al. (2016). Questi ultimi avevano ottenuto uno spostamento dell’effetto maschera verso asincronie di insorgenza dello stimolo (SOA) più grandi, interpretandolo come conseguenza della complessità del compito, poiché maggiore era il grado di rotazione mentale che i partecipanti dovevano effettuare, maggiore era il tempo necessario e dunque si verificava uno spostamento di performance. Invece, nello studio qui riportato, non si è

verificato nessuno spostamento dell'effetto di mascheramento all'aumentare della similarità degli oggetti. Ciò suggerisce che non è la difficoltà del compito in sé ad influenzare i tempi del *feedback* foveale, ma piuttosto la complessità delle operazioni mentali eseguite sui bersagli. Questa deduzione supporta ulteriormente l'ipotesi che la corteccia retinotopica foveale funzioni come un taccuino visuospatiale, su cui è possibile esercitare un certo livello di carico cognitivo da cui dipende la flessibilità nella tempistica del *feedback*.

Un'altra questione che si voleva indagare è la posizione della condizione "uguali" tra i livelli di difficoltà. Come avviene l'elaborazione degli oggetti uguali? I dati in Figura 3.2 mostrano andamenti opposti delle due diverse condizioni. Mentre la condizione "*different*" cresce per quanto riguarda la proporzione di risposte corrette, la condizione "*same*" risulta scendere, anche di accuratezza, sotto la *baseline*, ossia la condizione senza mascheramento. In questa discesa di accuratezza di risposta, si nota un visibile calo di accuratezza nella performance a circa 100 ms, individuato come l'effetto dirompente/disturbante della maschera. Se la maschera produce un effetto di ostacolamento, significa che il *feedback* avviene esattamente in quell'intervallo di tempo. L'interruzione esiste, ma anteriormente rispetto alla condizione opposta. Dunque, di fatto l'accuratezza di questa condizione cala, ma possono esistere più spiegazioni plausibili che giustifichino la diminuzione di accuratezza delle performance dei partecipanti. Una spiegazione potrebbe essere fornita dalla diminuzione di risposte "uguali", che a sua volta deriva dallo spostamento del criterio di scelta che i partecipanti hanno assunto durante il compito. È possibile, infatti, che data la difficoltà del compito, spesso le coppie di stimoli uguali siano state individuate come diverse, per via di "abitudine" o essendo falsati dall'aspettativa di stimoli simili ma non identici.

Un'altra interpretazione e conseguente conclusione parte dal fatto che la mancanza più profonda avviene a 100 ms, ovvero 50 ms in precedenza rispetto al picco della condizione opposta. Questo potrebbe significare che la condizione "uguali" non richiede operazioni mentali difficoltose o complesse e dunque l'intervento del *feedback* si verifica appena possibile. Si potrebbe dedurre che la discriminazione tra oggetti uguali avviene quasi immediatamente e non comporta molta difficoltà, altrimenti l'effetto di mascheramento interromperebbe il *feedback* più avanti nel tempo (a SOA più lontane). Quindi possiamo dire che la condizione "*same*" sia più semplice delle altre condizioni. La difficoltà di tale

condizione e la tempistica del *feedback* però sono indipendenti dal criterio e dalla scelta di risposta del partecipante.

Sempre osservando lo stesso grafico (Figura 3.2) possiamo interpretare anche un'altra questione marginale posta all'inizio della ricerca. Quale criterio di risposta hanno utilizzato i partecipanti? I risultati qui riportati sostengono la scoperta di Contemori et al. (2022) circa lo spostamento di criterio dei partecipanti. Si è notato l'aumento delle risposte "diversi" rispetto al numero di risposte "uguali" e ciò è dettato dal fatto che i partecipanti hanno mantenuto un criterio più conservatore nelle risposte. C'è da sottolineare che il criterio di risposta è considerato differente dalla sensibilità di discriminazione degli oggetti (d'). Si può osservare un criterio conservatore a partire dall'aumento di risposte "diversi"; secondo la Teoria della Detezione del Segnale, esse possono essere considerate le risposte di "non percezione": ciò comporta un aumento di *miss* ma anche un maggior numero di *correct rejection*.

Approfondendo l'indagine, il cambiamento del criterio di risposta si può attribuire a una percezione dei bersagli "distorta" che conduce a giudizi distorti di somiglianza. Secondo il lavoro svolto dal gruppo dell'Università di Padova e qui riportato, tale distorsione della percezione deriva dalla "contaminazione neurale", ossia l'interferenza che si crea nella rappresentazione neurale quando sono presentati sia i bersagli periferici sia la maschera centrale. La distorsione avviene perché le prime fasi di elaborazione visiva sono facilmente influenzabili da altre posizioni retinotopiche, portando, perciò, a interpretare le coppie di oggetti stimoli in maniera sbagliata (considerando diverse anche le coppie uguali).

I risultati ottenuti da questo studio sono importanti per la comprensione del funzionamento della percezione visiva e del ruolo della corteccia foveale nel plasmare le nostre esperienze soggettive. Nonostante non vi sia esplicita modulazione della difficoltà del compito sull'accuratezza delle risposte, sicuramente vi è una differenza di elaborazione delle condizioni "stesso" e "diverso" e sicuramente vi è il coinvolgimento della corteccia retinotopica foveale, in maniera controintuitiva rispetto allo svolgimento tradizionale del processo visivo.



### 3.3 CONCLUSIONE

In sintesi, lo studio condotto presso i laboratori dell'Università degli Studi di Padova conferma un'interazione tra la visione foveale e la visione periferica e sostiene l'idea che la corteccia retinotopica foveale svolge attivamente anche compiti in cui non è direttamente coinvolta. Sicuramente è stato notato che i diversi intervalli di tempo di presentazione della maschera influenzano in modo significativo i giudizi dei partecipanti; mentre non risulta, invece, che i livelli di difficoltà del compito abbiano un'influenza modulatrice sul mascheramento o sulla performance dei partecipanti. I risultati sono considerati coerenti e costanti poiché vi è un calo delle prestazioni per la condizione "same" circa sempre attorno ai 100 ms e un picco delle prestazioni per la condizione "different" in media sempre attorno ai 150 ms, indipendentemente dal livello di somiglianza. Differentemente alla discussione dei dati condotta da Fan et al. (2016), i risultati non riportano uno slittamento progressivo di tempistica all'aumentare della difficoltà del compito, anzi; la tempistica del feedback è interpretata in funzione della complessità delle operazioni mentali da eseguire, non semplicemente dall'aumento delle difficoltà del compito.

In questa ricerca potrebbero essere individuati dei limiti, primo fra tutti l'individualità e soggettività di ogni partecipante. Le differenze individuali potrebbero essere fondamentali nell'influencare lo svolgimento del compito e successivamente la prestazione del soggetto; per esempio, il criterio di scelta adottato dai partecipanti potrebbe essere frutto di tale individualità, piuttosto che provenire dalla percezione.

Lo studio qui presentato supporta l'idea che la corteccia retinotopica foveale sia uno strumento fondamentale da utilizzare come taccuino di elaborazione delle informazioni che vengono recapitate, dunque che il suo ruolo sia attivo e necessario per creare la percezione visiva che consociamo. Questi risultati aiutano la comprensione del complesso sistema di percezione visiva e permettono di portare avanti ricerche ulteriori circa l'interazione tra il *feedback* foveale da periferia a fovea, interruzioni di questo dovuto al rumore e compiti di discriminazione.

## BIBLIOGRAFIA

Association WM. Declaration of Helsinki (1964). *Bmj*. 1996. p. 1448. <https://doi/10.1136/bmj.313.7070.1448a>

Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscienze: esplorando il cervello*. Edra.

\*Chambers, C. D., Allen, C. P. G., Maizey, L., & Williams, M. A. (2013). Is delayed foveal feedback critical for extra-foveal perception? *Cortex*, 49(1), 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.03.007>

Contemori, G., Oletto, C. M., Cessa, R., Marini, E., Ronconi, L., Battaglini, L., & Bertamini, M. (2022). Investigating the role of the foveal cortex in peripheral object discrimination. *Scientific Reports*, 12(1), 19952. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23720-w>

Fan, X., Wang, L., Shao, H., Kersten, D., & He, S. (2016). Temporally flexible feedback signal to foveal cortex for peripheral object recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(41), 11627–11632. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606137113>

\*Hochstein, S., & Ahissar, M. (2002). View from the top. *Neuron*, 36(5), 791–804, [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)01091-7](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)01091-7)

Majaj, N. J., Hong, H., Solomon, E. A., & DiCarlo, J. J. (2015). Simple Learned Weighted Sums of Inferior Temporal Neuronal Firing Rates Accurately Predict Human Core Object Recognition Performance. *The Journal of Neuroscience*, 35(39), 13402–13418. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5181-14.2015>

Margalit, E., Biederman, I., Herald, S. B., Yue, X., & Von Der Malsburg, C. (2016). An applet for the Gabor similarity scaling of the differences between complex stimuli. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(8), 2298–2306. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1191-7>

Oletto, C. M., Contemori, G., Bertamini, M., & Battaglini, L. (2022). The Role of Foveal Cortex in Discriminating Peripheral Stimuli: The Sketchpad Hypothesis. *NeuroSci*, 4(1), 9–17. <https://doi.org/10.3390/neurosci4010002>

- Op De Beeck, H. P., Baker, C. I., DiCarlo, J. J., & Kanwisher, N. G. (2006). Discrimination Training Alters Object Representations in Human Extrastriate Cortex. *The Journal of Neuroscience*, 26(50), 13025–13036. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2481-06.2006>
- Op De Beeck, H. P., Torfs, K., & Wagemans, J. (2008). Perceived Shape Similarity among Unfamiliar Objects and the Organization of the Human Object Vision Pathway. *The Journal of Neuroscience*, 28(40), 10111–10123. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2511-08.2008>
- Reisenhofer, R., Bosse, S., Kutyniok, G., & Wiegand, T. (2018). A Haar wavelet-based perceptual similarity index for image quality assessment. *Signal Processing: Image Communication*, 61, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.11.001>
- Stewart, E. E. M., Valsecchi, M., & Schütz, A. C. (2020). A review of interactions between peripheral and foveal vision. *Journal of Vision*, 20(12), 2. <https://doi.org/10.1167/jov.20.12.2>
- The MathWorks Inc. (2022). MATLAB version: 9.13.0 (R2022b), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>
- Ullman, S. (2007). Object recognition and segmentation by a fragment-based hierarchy. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(2), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.11.009>
- Weldon, K. B., Rich, A. N., Woolgar, A., & Williams, M. A. (2016). Disruption of Foveal Space Impairs Discrimination of Peripheral Objects. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00699>
- Williams, M. A., Baker, C. I., Op De Beeck, H. P., Mok Shim, W., Dang, S., Triantafyllou, C., & Kanwisher, N. (2008). Feedback of visual object information to foveal retinotopic cortex. *Nature Neuroscience*, 11(12), 1439–1445. <https://doi.org/10.1038/nn.2218>
- Yu, Q., & Shim, W. M. (2016). Modulating foveal representation can influence visual discrimination in the periphery. *Journal of Vision*, 16(3), 15. <https://doi.org/10.1167/16.3.15>

\*Zhaoping, L. (2017). Feedback from higher to lower visual areas for visual recognition may be weaker in the periphery: glimpses from the perception of brief dichoptic stimuli. *Vision Research*, 136, 32–49, <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.05.002>

\*=opere non direttamente consultate