



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia generale

Corso di laurea triennale in Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche

Elaborato finale

**Ruolo del contrasto dei flankers nelle interazioni laterali
tra detettori sintonizzati su specifiche frequenze spaziali e
orientazioni**

**The role of flankers contrast on lateral interactions between detectors tuned
on specific spatial frequencies and orientations**

Relatore
Prof. Gianluca Campana

Laureanda: **Giuditta Cossi**
Matricola: **2012807**

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

Abstract	3
CAPITOLO 1. INTRODUZIONE	5
1.1 Introduzione alle vie visive	5
1.2 Organizzazione della corteccia visiva primaria	7
1.3 Modulazione contestuale e interazioni laterali	8
1.4 Lo studio di Zenger e Sagi (1996)	13
1.5 Scopo dell'elaborato	14
CAPITOLO 2. MATERIALI E METODI	15
2.1 Partecipanti	15
2.2 Strumentazione	15
2.3 Stimoli	16
2.4 Procedura sperimentale	20
CAPITOLO 3. RISULTATI	23
3.1 Risultati esperimento n.1	23
3.2 Risultati esperimento n.2	26
CAPITOLO 4. DISCUSSIONE	28
4.1 Discussione generale	28
4.2 Prospettive future (tRNS e clinica)	32
4.3 Limiti dello studio	35
BIBLIOGRAFIA	36

Abstract

Le interazioni tra neuroni della corteccia visiva primaria, chiamati anche detettori per il loro ruolo di rilevazione di particolari caratteristiche degli stimoli, sono da diverso tempo fonte di interesse per la ricerca in ambito psicobiologico e psicofisico. La letteratura ha evidenziato la presenza di alcune specifiche connessioni fra i detettori di quest'area cerebrale, chiamate interazioni laterali, che modulano, innalzando o inibendo, la risposta di un neurone bersaglio sotto indagine. A livello psicofisico, quindi, la mera presenza di alcuni determinati stimoli può influenzare (facilitando o inibendo) la detezione di uno stimolo bersaglio. Per studiare questo fenomeno in letteratura viene spesso utilizzato il paradigma del mascheramento laterale che prevede l'affiancamento, alle due estremità di uno stimolo Gabor¹ bersaglio centrale, di due Gabor collineari chiamati "fianchi" o "flankers". Nella maggior parte dei lavori presenti in letteratura sono stati utilizzati flankers caratterizzati da un contrasto elevato rispetto alla Gabor bersaglio centrale (> 0.6 contrasto di Michelson). In questa condizione, si sono osservati effetti facilitatori e inibitori a seconda della distanza tra la Gabor bersaglio centrale e i flankers. A distanze corte, uguali o inferiori a 2λ (λ indica la misura della lunghezza d'onda del reticolo sinusoidale da cui è composta la Gabor) sono stati trovati effetti inibitori, che rendono necessario un contrasto maggiore per rilevare la Gabor bersaglio centrale rispetto ad una condizione senza flankers. A distanze medio-lunghe ($> 3\lambda$) sono stati trovati effetti facilitatori, che rendono invece possibile la rilevazione della Gabor bersaglio centrale con un contrasto minore rispetto ad una condizione senza flankers.

In questo elaborato si è indagato, in maggior dettaglio, con il paradigma del mascheramento laterale, il ruolo del contrasto dei flankers e nello specifico quando essi sono presentati a basso contrasto. I risultati di due esperimenti mostrano come la probabilità di rilevare la Gabor bersaglio sia modulata dal valore di contrasto dei flankers. In dettaglio, quando i flankers hanno un contrasto elevato, i risultati sono coerenti con quanto presente in letteratura ($\leq 2\lambda$ inibizione, $\geq 3\lambda$ facilitazione). Sorprendentemente, per le condizioni a basso contrasto dei flankers, si è osservato un effetto opposto (facilitatorio) a distanze uguali o minori di 2λ . Questi risultati sono in linea con il modello

¹ Variazione sinusoidale di luminanza moltiplicata per una funzione gaussiana. Per una definizione formale vedere la sezione "Materiale e Metodi".

di Zenger e Sagi (1996) e sottolineano l'importanza di considerare anche la condizione a basso contrasto dei flankers. Questi risultati potrebbero essere rilevanti per comprendere meglio l'organizzazione della corteccia visiva primaria e delle interazioni laterali in condizioni cliniche come l'ambliopia e la degenerazione maculare.

CAPITOLO 1. INTRODUZIONE

1.1 Vie visive e campi recettivi delle cellule

Le vie visive rappresentano l'insieme delle connessioni attraverso le quali le informazioni ricavate dagli occhi sono inviate alla corteccia visiva. Le informazioni sono elaborate a livello della retina grazie alle diverse tipologie di cellule retiniche presenti², vanno poi incontro ad un'ulteriore elaborazione nei neuroni dei nuclei genicolati laterali del talamo destro e sinistro, per poi continuare con l'elaborazione a livello della corteccia visiva primaria (da qui in avanti chiamata V1), situata nel lobo occipitale intorno alla fessura calcarina. V1 corrisponde all'area 17 di Broadman ed è formata da 6 strati, da cui il nome corteccia striata, dove sono presenti le varie tipologie di cellule neuronali delle quali si approfondirà in seguito.

Tutte queste strutture sono caratterizzate da un'organizzazione retinotopica secondo la quale le informazioni inviate da cellule retiniche adiacenti, che elaborano porzioni vicine del campo visivo, arrivano a destinazione a cellule adiacenti anche a livello del nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo e di V1. Una peculiarità di V1 è inoltre la magnificazione corticale che prevede una maggior quantità di neuroni destinati all'elaborazione degli stimoli visivi presentati in fovea, per permetterne un'elaborazione più dettagliata a discapito degli stimoli presentati in periferia che verranno di conseguenza elaborati da un numero minore di cellule.

Relativamente alle cellule coinvolte nelle vie visive è importante accennare alla struttura dei loro campi recettivi, diversi per le varie tappe e descritti originariamente da Hubel e Wiesel nel 1962. Il campo recettivo delle cellule coinvolte nelle vie visive corrisponde all'area della retina che, in risposta ad uno stimolo presentato in una determinata porzione del campo visivo, porta ad una modifica della loro frequenza di scarica. Per esempio a livello retinico, si trovano le cellule bipolari e gangliari che hanno campi recettivi concentrici con risposta opponente centro-periferia, chiamate anche centro ON o centro OFF. Una cellula gangliare a centro ON aumenterà la propria frequenza di scarica nel

² La luce colpisce i fotorecettori che la trasducono in segnale elettrico. Il segnale viaggia poi attraverso le cellule bipolari e gangliari. A livello della retina troviamo anche le cellule orizzontali e amacrine che sono cellule inibitorie la cui funzione è quella di modulare la risposta delle altre cellule retiniche andando a creare i campi recettivi concentrici ad antagonismo centro-periferia delle cellule gangliari.

momento in cui un fascio di luce sarà proiettato nella porzione centrale del suo campo recettivo, mentre diminuirà se sarà presentato nella porzione periferica. Una cellula gangliare di tipo OFF raggiungerà invece la massima frequenza di scarica nel momento in cui la porzione centrale del suo campo recettivo sarà in assenza di luce (buio) e la porzione periferica sarà invece illuminata da un fascio di luce (Fig.1.1).

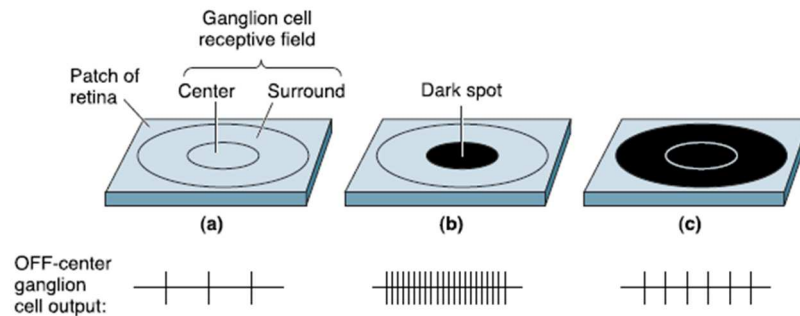


Fig.1.1 Organizzazione del campo recettivo di una cellula gangliare di tipo OFF. La cellula aumenta la propria frequenza di scarica quando un fascio di luce colpisce la zona periferica del campo recettivo mentre la zona centrale resta al buio.

Tali campi recettivi svolgono l'importante ruolo di rilevazione dei contrasti a livello locale e portano ad una prima ricostruzione dei bordi delle immagini viste. Queste cellule gangliari retiniche vengono ulteriormente suddivise in "magnocellulari", caratterizzate da un campo recettivo di dimensioni maggiori (e insensibili alle lunghezze d'onda degli stimoli visivi) e "parvocellulari", caratterizzate invece da campi recettivi di minori dimensioni; entrambe queste tipologie di cellule si recheranno poi in precise porzioni del NGL del talamo. Le informazioni a questo punto vengono inviate, grazie ai tratti ottici, ai neuroni del NGL del talamo distribuiti in sei strati distinti, quattro dei quali costituiti da cellule parvocellulari e i restanti due strati da cellule magnocellulari e sono tutti quanti caratterizzati da neuroni riceventi input monoculari. I neuroni del NGL del talamo, oltre a ricevere informazioni da queste cellule retiniche ne ricevono altre direttamente dalle cellule di V1 sotto forma di feedback. Il campo recettivo dei neuroni magno e parvocellulari del NGL è anch'esso ad antagonismo centro-periferia con zone ON e OFF e funziona come per le cellule gangliari retiniche. Questi neuroni tramite la radiazione ottica inviano successivamente informazioni ai neuroni presenti in V1.

Nella corteccia visiva primaria V1 si incontrano le cellule semplici, anch'esse aventi campi recettivi ad antagonismo centro-periferia ma caratterizzate in questo caso da un

campo recettivo allungato e sensibile a barre di luce (o di oscurità) con un preciso orientamento. Sono presenti anche le cellule complesse con un campo recettivo allungato ma, a differenza di tutti i campi recettivi visti fino a questo momento, non presentano una porzione periferica che causa l'inibizione della cellula. Sono sensibili quindi a barre di luce con una determinata orientazione che possono presentarsi in qualunque punto del campo recettivo e sono selettive in aggiunta alla direzione di movimento della barra. Infine si incontrano le cellule ipercomplesse o end-stopping aventi un campo recettivo allungato, selettive per barre di una determinata orientazione e alla direzione del movimento della barra. A differenza di tutte le altre cellule nominate fino a questo momento, per le cellule ipercomplesse è importante anche la lunghezza della barra: se troppo lunga o troppo corta rispetto alla lunghezza del proprio campo recettivo la risposta di tale cellula sarà nulla.

L'insieme di tutte queste tipologie di cellule è disposto secondo un'organizzazione gerarchica che vede coinvolte cellule di diverso ordine aventi selettività per la stessa orientazione; per esempio, più cellule semplici inviano informazioni ad una sola cellula complessa così come più cellule complesse inviano informazioni ad una cellula ipercomplessa. Tale organizzazione è dovuta al fatto che cellule di ordine superiore presentano un campo recettivo di dimensioni maggiori e sono necessarie informazioni da più cellule di ordine inferiore per poterlo coprire interamente.

1.2 Organizzazione di V1

I neuroni a livello di V1 sono organizzati in colonne perpendicolari alla corteccia costituite da un insieme di detettori selettivi per stimoli con una specifica frequenza spaziale e orientazione. A loro volta più colonne formano le ipercolonne, ovvero porzioni di corteccia visiva striata contenenti al loro interno tutti i meccanismi necessari per svolgere un'analisi completa di quella determinata porzione di campo visivo e sono quindi formate da un insieme di detettori aventi campi recettivi sovrapposti. Ogni ipercolonna è inoltre costituita da colonne di dominanza oculare provenienti sia dall'occhio destro che dall'occhio sinistro (Hubel & Wiesel, 1962, 1968); infatti, ricevono input separatamente dall'occhio destro e da quello sinistro già a livello del NGL del talamo e da colonne adibite all'analisi del colore che prendono il nome di blobs (Fig.1.2)

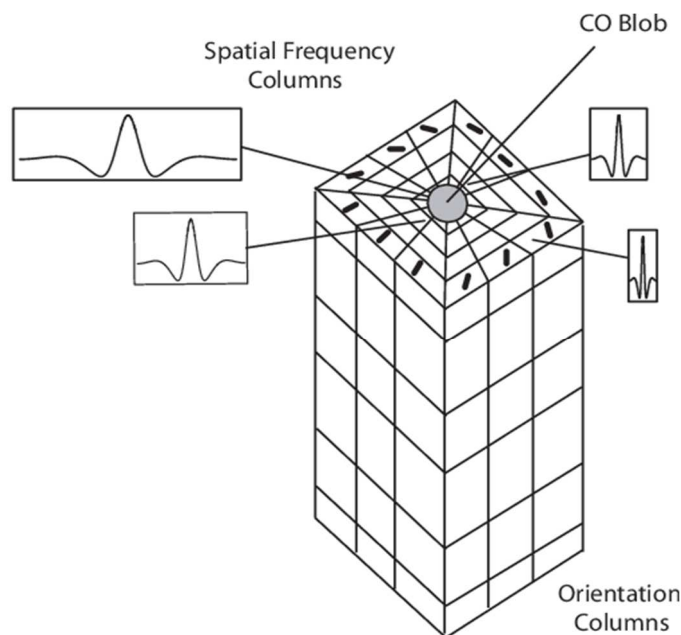


Fig.1.2 Rappresentazione di una ipercolonna. Sono rappresentate le colonne selettive per le diverse frequenze spaziali, le colonne selettive per ogni determinata orientazione della barra luminosa e i blobs, colonne specializzate per l'analisi del colore.

1.3 Modulazione contestuale e interazioni laterali

Per l'elaborazione degli stimoli visivi i neuroni di V1, oltre ad utilizzare le informazioni ricavate dal proprio campo recettivo sono in grado di sfruttare informazioni ricevute da diverse tipologie di connessioni, a feedback ed orizzontali (Gilbert, Hirsch & Wiesel, 1990). Le connessioni a feedback sono inviate da neuroni appartenenti a porzioni di corteccia visiva extrastriata, in particolare V2 e V4, che integrano informazioni da una porzione maggiore di campo visivo in quanto si trovano a un livello di elaborazione più alto.

Le connessioni che in questo elaborato verranno studiate più in dettaglio sono invece le connessioni orizzontali, su cui si basa il concetto di interazione laterale. Si ritiene che queste connessioni orizzontali si abbiano tra neuroni appartenenti a ipercolonne diverse che sono però selettive per la medesima orientazione e frequenza spaziale dello stimolo (Ts'o, Gilbert & Wiesel, 1986; Gilbert & Wiesel, 1989). In altre parole, la presenza di stimoli all'esterno del campo recettivo del singolo neurone può modularne la risposta, andando per esempio a migliorare o peggiorare la detezione di uno stimolo bersaglio

(Gilbert, Hirsch & Wiesel, 1990; Bosking, Zhang, Schofield & Fitzpatrick, 1997). Questo fenomeno prende il nome di modulazione contestuale e ricopre un ruolo importante negli studi di percezione visiva in quanto può andare a migliorare o peggiorare la prestazione dei partecipanti in compiti in cui viene misurata la sensibilità al contrasto. Il contrasto è definito come il rapporto tra differenze di luminosità e può essere descritto dalla formula di Michelson (formula 1) che si basa sul concetto di luminanza intesa come la misura dell'intensità luminosa degli stimoli:

(formula 1)

$$\text{Contrasto di Michelson} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

dove L_{max} corrisponde alla luminanza massima dello stimolo e L_{min} alla luminanza minima.

La sensibilità al contrasto è un indice di quanto il soggetto sia in grado di rilevare le differenze di luminosità tra zone adiacenti di uno stimolo visivo e si ottiene dal reciproco del contrasto. La curva di sensibilità al contrasto (CSF) è una funzione ampiamente utilizzata anche nella pratica clinica, in quanto mostra il cambiamento di tale sensibilità al contrasto in relazione al cambiamento delle frequenze spaziali degli stimoli presentati (Fig.1.3). Il picco massimo di sensibilità al contrasto di un individuo con visione normale si ha per frequenze spaziali intermedie (Campbell & Robson, 1968), mentre per frequenze spaziali più basse, ma in particolare per quelle più alte, la sensibilità del soggetto diminuisce, rendendo necessario un contrasto più elevato per rendere gli stessi stimoli visibili.

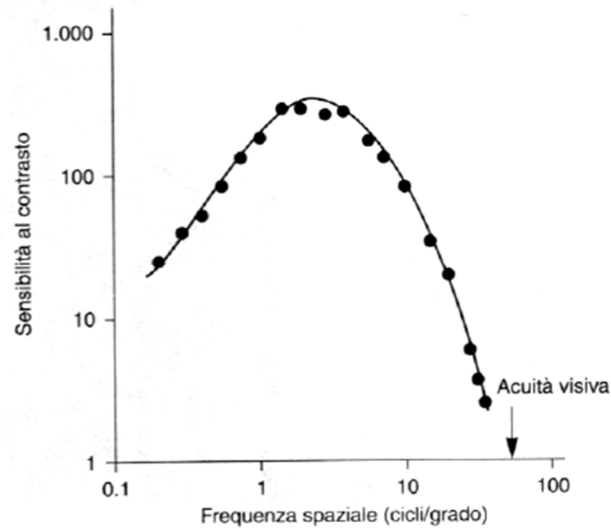


Fig.1.3 Curva di sensibilità al contrasto. La curva di sensibilità al contrasto riporta il cambiamento della sensibilità al contrasto in funzione della frequenza spaziale degli stimoli. Per stimoli caratterizzati da frequenze spaziali basse, e in particolare da quelle alte, la sensibilità al contrasto risulta essere bassa, come conseguenza di una maggiore difficoltà nella percezione degli stimoli.

Lo studio di queste interazioni laterali è stato approfondito da numerosi autori che hanno trovato nelle Gabor gli stimoli ideali in quanto: 1) generalmente rispecchiano il campo recettivo delle cellule semplici in V1 e 2) sono facilmente manipolabili dallo sperimentatore (Marcelja, 1980; Polat & Tyler, 1999). Formalmente una Gabor è un reticolo sinusoidale di luminanza convoluto in una funzione gaussiana che presenta porzioni più luminose alternate a porzioni meno luminose la cui intensità decresce all'aumentare della distanza dal centro, descritte dall'equazione:

(formula 2)

$$G(x, y) = \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}X + \varphi\right) e^{\left(-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right)}$$

caratterizzate dalla lunghezza d'onda sinusoidale (λ), fase (φ) e deviazione standard della luminanza dell'involuppo Gaussiano ($\sigma=1\text{deg}$ per l'esperimento n.1, $\sigma=1/12\text{deg}$ per l'esperimento n.2) nello spazio di immagine (x,y).

Il paradigma maggiormente utilizzato per lo studio delle interazioni laterali è il mascheramento laterale che si basa sulla presenza di una Gabor bersaglio centrale

affiancata da due Gabor laterali collineari che prendono il nome di flankers, aventi la stessa orientazione e frequenza spaziale della Gabor bersaglio (Polat & Sagi 1993; Zenger & Sagi 1996; Polat, Mizobe, Pettet, Kasamatsu & Norcia, 1998). Dallo studio di Polat e Sagi del 1993 (Fig.1.4) è stato visto come sia di fondamentale importanza la distanza che va dal centro della Gabor bersaglio al centro dei flankers, indicata come lambda (λ), per l'ottenimento della condizione facilitatoria o di quella inibitoria che verranno descritte in seguito (pag.11).

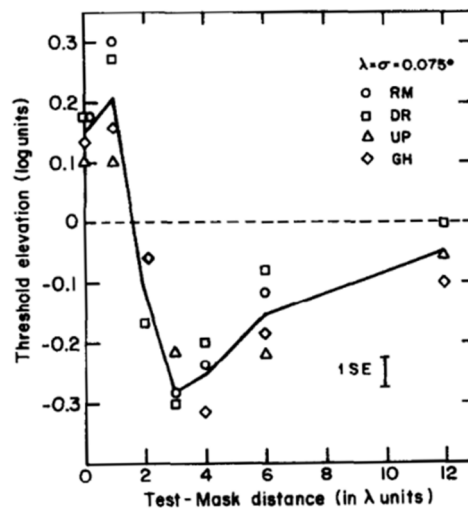


Fig.1.4 Rappresentazione dell'andamento dell'elevazione di soglia rispetto ad una condizione in assenza di flankers (in letteratura indicata come threshold elevation) misurata per un insieme di distanze tra i flankers e la Gabor bersaglio. Si nota come per distanze inferiori o uguali a 2λ si ottengano condizioni inibitorie; mentre per distanze maggiori o uguali a 3λ si ottengano condizioni facilitatorie (Polat & Sagi, 1993).

Lo studio evidenzia il cambiamento della soglia di detezione dello stimolo bersaglio (elevazione di soglia) in funzione della distanza λ . Il valore di tale soglia riporta la misura di quanto un soggetto sia sensibile ad uno stimolo bersaglio ed è dato dal logaritmo del rapporto tra il valore di contrasto del bersaglio che può essere visto in presenza dei flankers (soglia bersaglio con flankers) e quello che può essere visto in assenza di essi (soglia bersaglio) (formula 3). Tale misura riporta un'indicazione di quello che è l'effetto delle interazioni laterali nella detezione di uno stimolo.

(formula 3)

$$\text{Elevazione di soglia} = \log_{10} \frac{(\text{soglia bersaglio con flankers})}{(\text{soglia bersaglio})}$$

Dal grafico si nota come alla distanza di 1λ la soglia di detezione dello stimolo abbia raggiunto il suo picco più alto, indicando come il partecipante risulti essere meno sensibile allo stimolo a causa di questi stimoli laterali che causano un effetto di mascheramento. In tal caso la condizione prende il nome di inibizione ed è il risultato dell'effetto inibitorio causato dalle interazioni laterali tra i detettori coinvolti. Successivamente a questo picco di soglia positivo, si nota come il valore della soglia in funzione della distanza bersaglio-flankers decresca in maniera repentina fino ad arrivare al valore minimo in corrispondenza della distanza di 3λ . Tale picco negativo della soglia corrisponde alla condizione in cui il soggetto ha un'aumentata sensibilità al contrasto per gli stimoli presentati, condizione che viene definita di facilitazione in quanto basteranno contrasti minori per riuscire a vedere lo stimolo. Da questo momento in poi all'aumentare della distanza tra la Gabor bersaglio e i flankers, il valore della soglia (elevazione di soglia) torna verso i valori di soglia baseline del soggetto misurata con la sola Gabor centrale in assenza dei flankers. È possibile notare dal grafico (Fig.1.4) come alla condizione di inibizione corrispondano valori di elevazione di soglia positivi (porzione superiore del grafico) mentre alla condizione di facilitazione corrispondano valori di elevazione di soglia negativi (porzione inferiore del grafico).

Nello specifico, il passaggio da distanze λ associate a effetto inibitorio a quelle associate a effetto facilitatorio è dovuto alla presenza o meno degli stimoli all'interno dello stesso campo percettivo, definito come il corrispettivo psicofisico del campo recettivo delle cellule (Jung & Spillmann, 1970; Spillmann 2014). Il fenomeno dell'inibizione sarebbe dovuto alla presenza dello stimolo bersaglio e di porzioni dei flankers all'interno dello stesso campo percettivo; ciò causerebbe l'attivazione di campi recettivi sovrapposti appartenenti alla medesima ipercolonna. Diversamente, il fenomeno della facilitazione collineare sarebbe dovuto alla presenza dei flankers a una distanza dallo stimolo bersaglio di 3λ nel caso della visione foveale, tale da farli ricadere all'interno di due campi percettivi differenti, causando quindi l'attivazione di campi recettivi non sovrapposti appartenenti a ipercolonne adiacenti (Lev & Polat, 2011).

1.4 Lo studio di Zenger e Sagi (1996)

Utilizzando il paradigma della modulazione contestuale, Zenger e Sagi nel 1996 proposero una predizione dell'andamento della soglia di detezione di uno stimolo bersaglio prendendo in considerazione due parametri: la distanza λ tra la Gabor centrale e i flankers e la misura del contrasto tra la luminosità dei flankers e della Gabor bersaglio (rapporto di contrasto, formula 4) (Fig.1.5).

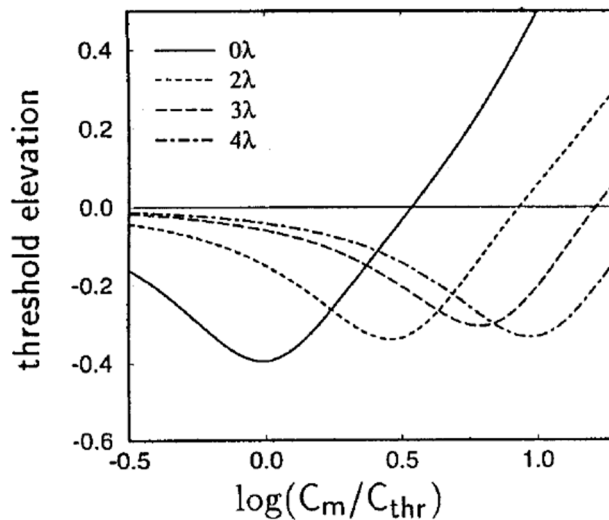


Fig.1.5 Predizione dell'andamento della soglia di detezione di uno stimolo bersaglio in funzione del rapporto di contrasto tra i flankers e il singolo stimolo bersaglio. All'aumentare del rapporto di contrasto corrisponde un aumento del contrasto dei flankers.

Tale rapporto di contrasto, riportato sull'asse delle x può essere descritto dall'equazione:

(formula 4)

$$\text{Rapporto di contrasto} = \log_{10} \frac{(\text{contrasto dei flankers})}{(\text{soglia bersaglio})}$$

In questo modello la massima facilitazione si osserva quando lungo l'asse delle x si incontra il valore di 0.5 per la condizione 2λ e il valore di 1 nella condizione 4λ . Secondo la formula 4, il valore 0.5 indica che il contrasto dei flankers è pari a circa 3 volte la soglia misurata in una condizione senza flankers (Gabor singola 'baseline'). Il valore 1 indica che il contrasto dei flankers è pari a circa 10 volte la soglia misurata con una Gabor senza

flankers. Quindi, secondo il modello degli autori sopracitati, l'effetto del contrasto dei flankers sulla misura della soglia della Gabor bersaglio centrale cambia in funzione del valore di soglia individuale misurato con una Gabor singola (baseline). In altre parole, secondo il modello di Zenger e Sagi (1996), un partecipante che ha un valore di soglia c in una condizione senza flankers, potrebbe avere un effetto facilitatorio quando i flankers sono posti ad una distanza di 2λ e hanno un contrasto pari a $f = c \times 3$. Lo stesso valore del contrasto dei flankers f potrebbe essere inibitorio per un altro partecipante che ha un valore di soglia con la Gabor singola pari a d se $d < c$.

1.5 Scopo dell'elaborato

Lo scopo di questo elaborato è quello di investigare più in dettaglio il ruolo delle interazioni laterali tra neuroni adiacenti in V1 tramite l'utilizzo del paradigma del mascheramento laterale che prevede la presentazione di stimoli Gabor centrali e flankers collineari, sfruttando in particolare diverse condizioni di contrasto tra gli stimoli flankers e quello bersaglio. Zenger e Sagi (1996) hanno proposto un modello che predice come alcune caratteristiche specifiche degli stimoli Gabor possano andare ad influenzare la performance in un compito di sensibilità al contrasto in presenza di flankers.

Nello specifico è stata formulata l'ipotesi che la presenza dei flankers, a diversi valori di contrasto, potesse andare a modulare l'effetto delle interazioni laterali, causando un innalzamento (inibizione) o un abbassamento (facilitazione) della soglia di detezione dello stimolo bersaglio, risultando così in una inibizione o in una facilitazione.

Nel primo esperimento sono state utilizzate Gabor dalla frequenza spaziale di 1cpd (cicli per grado), sono state scelte distanze λ di 2 e 4, rispettivamente per la condizione di inibizione e di facilitazione, ed è stata scelta l'orientazione verticale.

Con la seconda ipotesi ci si è invece chiesti se, andando a modificare determinate variabili all'interno della procedura sperimentale utilizzata nel primo esperimento, si sarebbero ottenuti valori coerenti con essi. Le modifiche che sono state apportate riguardano: a) le dimensioni, e quindi la frequenza spaziale, degli stimoli Gabor utilizzati che in questo secondo esperimento sono di 12cpd; b) le distanze λ per replicare le condizioni di inibizione (1.5λ) e facilitazione (3λ); c) l'orientazione globale e locale delle Gabor, che

in questo caso presenta un'inclinazione di 45deg verso destra. In particolare, le distanze λ di questo secondo esperimento sono state scelte a fini esplorativi in quanto entrambe rientrano nel range dell'inibizione e della facilitazione individuati dal modello di Zenger e Sagi (1996). Nel complesso, le caratteristiche di questo secondo esperimento sono state scelte in quanto, come riportato da alcuni studi (Richard, Johnson, Thompson & Hansen, 2015; Battaglini, Contemori, Penzo & Maniglia, 2020), stimoli di frequenza spaziale maggiore e orientazione obliqua risultano essere maggiormente influenzati dall'utilizzo della stimolazione elettrica transcranica. Questa tecnica offre diverse potenzialità, sia a livello clinico che di ricerca. Proprio per questo motivo sono stati scelti i parametri sopramenzionati che sono riconosciuti subire una maggiore influenza dall'utilizzo della tecnica stessa. L'obiettivo è quello di riuscire ad implementare, nel breve termine, nuovi protocolli sperimentali da utilizzare in ambito clinico.

CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI

2.1 Partecipanti

Hanno preso parte ai due esperimenti 20 partecipanti ciascuno, tutti con una visione normale o corretta con l'utilizzo di lenti o occhiali quando necessario. Nel dettaglio, al primo esperimento hanno partecipato 20 soggetti di cui 16 femmine e 4 maschi (età media di 21.35 e deviazione standard, $ds=1.63$) mentre nel secondo esperimento hanno partecipato 20 partecipanti, di cui 11 femmine e 9 maschi (età media di 23.25 e deviazione standard, $ds=5.55$). I 40 soggetti totali non erano a conoscenza delle ipotesi degli esperimenti e la maggior parte di loro non aveva mai svolto compiti visivi simili di detezione del segnale.

2.2 Strumentazione

Per la presentazione degli stimoli visivi è stato utilizzato un monitor di 20'' CRT (Philips 202P) con una risoluzione di 1600×1200 e una frequenza di aggiornamento di 85 Hz. Il computer utilizzato è un ASUS P8H61-M LX2 con un processore Intel Core i5 3450 e

con sistema operativo Windows 7 Pro 64bit SP1. L'esperimento si è svolto all'interno di una stanza buia con la sola luminosità del monitor la cui luminanza media risulta essere di 44.8 cd/m^2 . Ogni pixel sottende 1.5 minuti di arco. Nel computer è presente una scheda video NVIDIA GeForce GT 220 insieme al sistema Bits ++ (Cambridge Research Systems). Ciò ha permesso al sistema di raggiungere una risoluzione di luminanza di 12-bit (con una scala di grigi di 4096 livelli). Per la programmazione dell'esperimento sono stati usati il software MATLAB (The Mathworks, Inc., version 7.8.0.347) e l'estensione di Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997). Lo schermo è stato calibrato usando il colorimetro ColorCal2 (Cambridge Research Systems). Affinché la luminosità fosse una funzione lineare della rappresentazione digitale dell'immagine è stata fatta una correzione della funzione gamma del monitor.

2.3 Stimoli

Gli stimoli visivi utilizzati nei due esperimenti sono delle Gabor, ovvero reticoli caratterizzati da una variazione sinusoidale di luminanza moltiplicata per una funzione gaussiana, descritti matematicamente dalla formula 2 (vedi pag.10), caratterizzati da una lunghezza d'onda (λ), da una fase (ϕ) e una funzione gaussiana di deviazione standard σ . Le Gabor utilizzate per entrambi gli esperimenti sono caratterizzate da una deviazione standard $\sigma = \lambda$ e sono state presentate al centro dello schermo per essere viste in visione foveale. Nello specifico, nell'esperimento n.1 la deviazione standard corrispondeva a $\sigma = 1$ deg, la frequenza spaziale a 1cpd (Fig.2.1a) e l'orientazione era verticale. Nell'esperimento n.2 il σ corrispondeva a $1/12$ deg, la frequenza spaziale a 12cpd e l'orientazione era obliqua (inclinata di 45deg verso destra, vedi Fig.2.1b)³.

³ L'approccio ideale sarebbe stato quello di cambiare solo una variabile per volta per ridurre la possibilità di avere effetti confondenti dovuti alla modificazione di diverse variabili, ma per la programmazione di un esperimento tRNS, che è stata dimostrata essere efficace solo con certi parametri, si è deciso di cambiare più parametri per volta (vedi "Limiti dello studio").

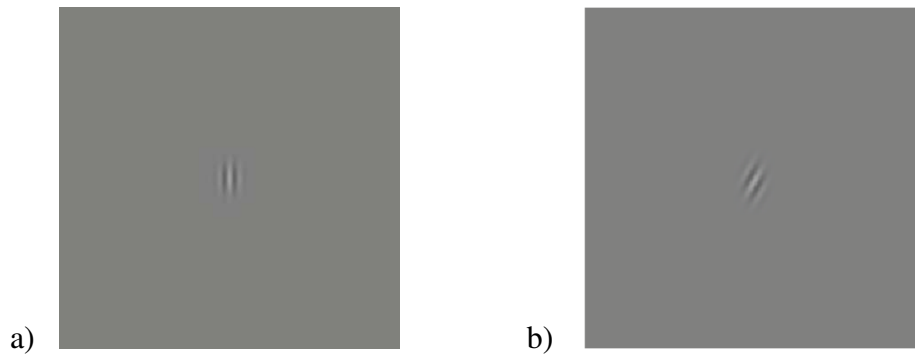


Fig.2.1 Illustrazione di uno stimolo Gabor verticale e di uno stimolo Gabor obliquo. a) nell'esperimento n.1, la frequenza spaziale utilizzata era di 1 cpd e con orientamento verticale. b) Nell'esperimento n.2, la frequenza spaziale utilizzata era di 12 cpd e con un'orientazione di 45deg verso destra.⁴

In entrambi gli esperimenti sono state misurate otto soglie di contrasto in otto diversi blocchi. In ogni blocco la soglia di contrasto della Gabor bersaglio centrale aumentava o diminuiva secondo la procedura Levitt 3:1 (3 down 1 up, approfondita nel paragrafo 3.4), mentre il contrasto dei flankers rimaneva sempre invariato. Sono stati utilizzati sette valori di contrasto dei flankers (Fig.2.2), diversi per ogni blocco, indicati in tabella 1. Nel primo blocco di entrambi gli esperimenti è stato presentato il solo stimolo bersaglio senza flankers (Fig.2.1a e b) per avere una misura di riferimento.

⁴ Le due foto non sono in scala in quanto la Gabor di 1cpd nella realtà si presenta con dimensioni maggiori rispetto alla Gabor di 12cpd. In questo elaborato, per facilitarne la visione, la Gabor di 12cpd è stata presentata come se fosse stata inquadrata ad una distanza ravvicinata.

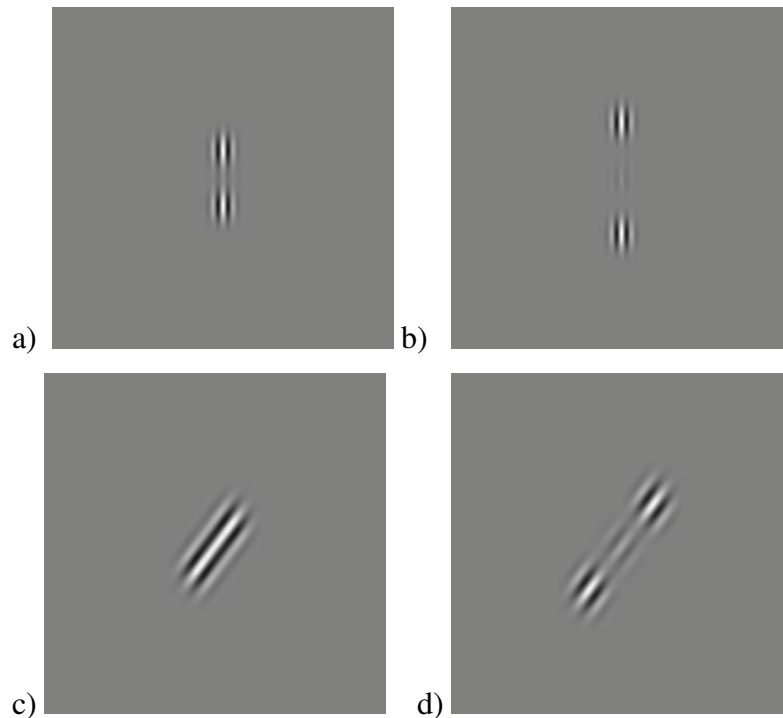


Fig.2.2. Esempi di condizioni utilizzate. Sono riportate in figura alcune delle condizioni utilizzate: le immagini a e b raffigurano gli stimoli dell'esperimento n.1 con Gabor di 1cpd verticali mentre le immagini c e d raffigurano gli stimoli utilizzati nell'esperimento n.2 con Gabor di 12cpd e orientamento obliquo. In tutte e quattro le fotografie riportate il livello preso in considerazione è il livello sette che corrisponde al massimo valore di contrasto. a) condizione 2λ ; b) condizione 4λ ; c) condizione 1.5λ ; d) condizione 3λ .

I sette valori di contrasto dei flankers utilizzati sono stati calcolati prendendo in esame il modello di Zenger e Sagi (1996, Fig.1.5) che predice una modulazione contestuale dei flankers, non solo in funzione del λ , ma anche del contrasto dei flankers stessi.

Per falsificare o confermare tale predizione sono stati scelti sette valori (considerando una scala quasi-logaritmica) che sono stati poi moltiplicati per la soglia misurata individualmente nella condizione baseline. In questo modo sono stati ottenuti i sette valori di contrasto dei flankers (vedi tabella 2.1), utili a investigare l'intera curva⁵ rappresentata in figura 1.5 del modello di Zenger e Sagi (1996).

⁵ In altre parole, questi livelli di contrasto dei flankers permettevano di studiare la prestazione in un compito di mascheramento laterale con valori di contrasto dei flankers (molto) bassi e (molto) alti.

LIVELLI	MOLTIPLICATORI	VALORE LOGARITMICO
1	0,5623	-0,25003
2	1,235	0,09167
3	2,7123	0,43334
4	5,9566	0,775
5	13,0818	1,11667
6	28,7298	1,45833
7	63,0957	1,8

Tab.2.1 Valori dei moltiplicatori utilizzati nell'esperimento n.1 con Gabor dalla frequenza spaziale di 1cpd; i valori dei moltiplicatori sono stati inseriti su MATLAB per l'ottenimento del contrasto desiderato tra i flankers e la Gabor bersaglio centrale.

Il valore massimo dell'asse delle x (rapporto di contrasto) rappresentato nella figura 1.5 di Zenger e Sagi (1996) era di 1.5; in questo esperimento il valore massimo scelto corrisponde a 1.8, rendendo pertanto possibile utilizzare flankers con un contrasto di circa sessanta volte superiore rispetto alla luminanza della Gabor bersaglio.

Per l'esperimento n.2 sono stati modificati i moltiplicatori in accordo ad un esperimento pilota. Infatti nell'esperimento n.2 con una Gabor bersaglio a 12cpd, le soglie di contrasto misurate sono risultate molto più alte rispetto all'esperimento n.1 e di conseguenza i moltiplicatori sono stati ridotti per non avere valori di contrasto dei flankers superiori a 0,99. La distanza dei moltiplicatori ha sempre rispettato una scala quasi-logaritmica (Tab.2.2).

LIVELLI	MOLTIPLICATORI	VALORE LOGARITMICO
1	0,1	-1
2	0,215	-0,6667
3	0,464	-0,3333
4	1	0
5	2,15	0,3333
6	4,64	0,6667
7	10	1

Tab.2.2 Valori utilizzati nell'esperimento n.2 con Gabor dalla frequenza spaziale di 12cpd.

2.4 Procedura sperimentale

La procedura sperimentale seguita è stata la medesima per entrambi gli esperimenti; le differenze sostanziali tra i due esperimenti, come riportato in precedenza, riguardano la frequenza spaziale dei reticoli scelti, la distanza λ dei flankers dalla Gabor bersaglio e l'orientazione delle Gabor.

In entrambi gli esperimenti, dai partecipanti è stato svolto un compito di scelta forzata tra due intervalli (2IFC). È stata scelta una distanza di visione dal monitor di 70 cm nel primo esperimento e di 114 cm nel secondo, per poter presentare a schermo una frequenza spaziale di 12cpd. Gli esperimenti sono stati svolti con l'utilizzo di una mentoniera che permetteva ai partecipanti di mantenere una distanza fissa dallo schermo in ogni prova. La stanza in cui è stato svolto l'esperimento era buia e l'unica fonte di luce proveniva dal monitor del computer utilizzato.

Nella fase iniziale è stato chiesto ai partecipanti di premere il tasto M sulla tastiera per dare inizio al compito mantenendo lo sguardo fisso sul centro dello schermo. Nello specifico, nell'esperimento n.1 è stato presentato un punto di fissazione, che è stato poi rimosso nell'esperimento n.2 per evitare che andasse a mascherare lo stimolo centrale; al posto di esso è stato presentato un cerchio dal diametro di 5cm (2.5deg) al cui interno veniva presentata l'intera configurazione degli stimoli costituita dalle tre Gabor collineari. All'inizio di ogni trial è stato presentato un intervallo di 1000 ms di schermo senza nessuno stimolo nel primo esperimento, e con il cerchio nel secondo, successivamente sono seguiti due intervalli di 130 ms l'uno scanditi da due toni. I due intervalli sono stati a loro volta separati da un intervallo inter-stimolo (ISI) di 200 ms. Lo stimolo bersaglio è stato presentato in uno dei due intervalli e il compito del soggetto consisteva nel riuscire ad indicare in quale dei due intervalli fosse riuscito a vederlo (Fig.2.3).

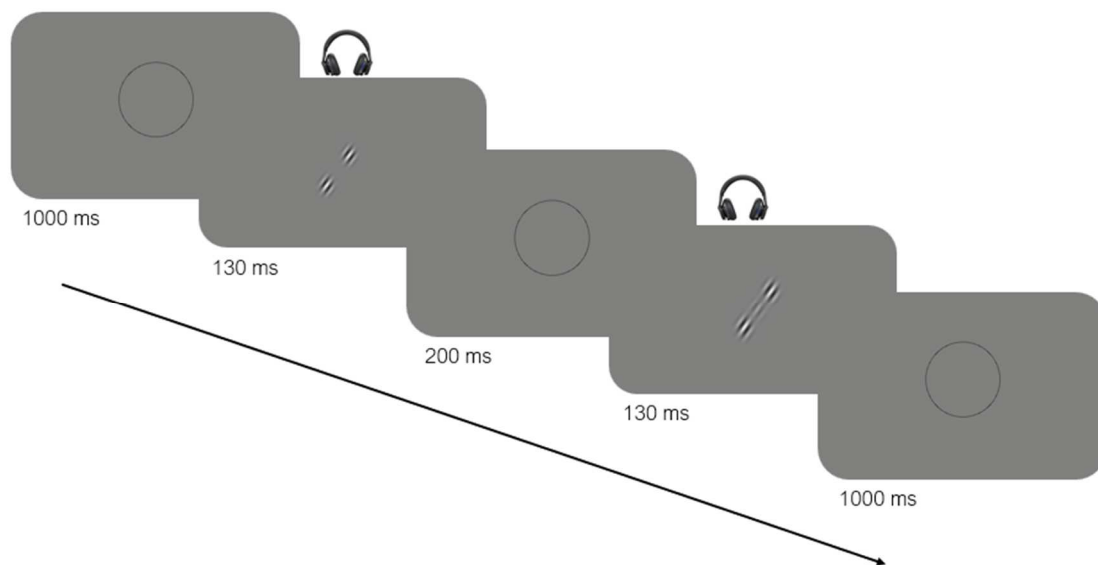


Fig.2.3 Procedura dell'esperimento n.2. Lo stimolo bersaglio centrale è presentato solamente in uno dei due intervalli della durata di 130 ms, mentre nell'altro sono presentati esclusivamente i flankers. Entrambi questi intervalli sono scanditi da un segnale acustico.

La presenza dello stimolo bersaglio, in uno o nell'altro intervallo, è stata affidata ad una randomizzazione svolta per ogni trial. I partecipanti hanno comunicato la loro scelta dopo ogni trial premendo il tasto M una sola volta, nel caso in cui lo stimolo bersaglio fosse stato rilevato nel primo intervallo e due volte consecutive se fosse stato rilevato nel secondo intervallo. Subito dopo la scelta, ai partecipanti è stato presentato un feedback audio, consistente in un tono ad alta frequenza nel caso in cui la risposta data fosse stata scorretta e un tono a più bassa frequenza nel caso di risposta corretta. Si ricorda che in totale sono stati svolti otto blocchi, di cui quello iniziale con un valore di contrasto dei flankers pari a zero (baseline). La soglia misurata in questa condizione era il valore di riferimento da moltiplicare per trovare i sette livelli di contrasto presentati in ordine casuale nei sette blocchi successivi (cioè ordine randomizzato per ogni partecipante) (Fig.2.3).

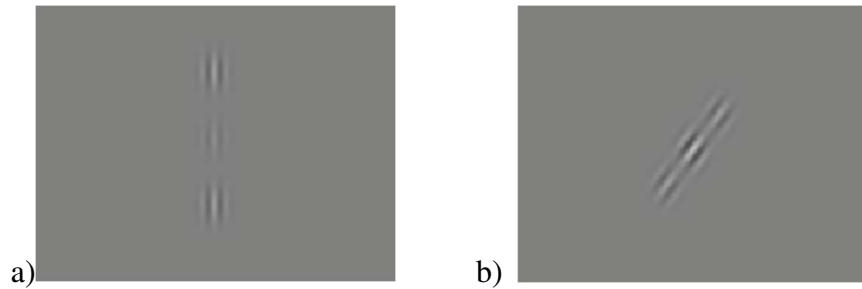


Fig.2.3. Esempi di livelli intermedi. a) esperimento n.1, condizione 4λ , livello 4; b) esperimento n.2, condizione 3λ , livello 4.

L'esperimento comprendeva due sessioni da svolgere in due giornate diverse. Nella prima sessione per tutti i soggetti è stata utilizzata la distanza bersaglio-flankers minore, rispettivamente di 2λ nel primo esperimento e di 1.5λ nel secondo, mentre nella seconda sessione i soggetti hanno svolto nuovamente i sette livelli di cui sopra con i flankers alla distanza maggiore, rispettivamente di 4 e 3λ (Fig.2.2).

Come già accennato nel paragrafo 2.3, per entrambi gli esperimenti è stata utilizzata la procedura staircase Levitt 3:1 per aumentare e diminuire il contrasto della Gabor bersaglio centrale. Ogni blocco terminava dopo 120 prove oppure dopo 18 inversioni ("reversal"). Il valore della soglia di detezione del segnale è stato poi calcolato in entrambi gli esperimenti mediando il valore degli ultimi 6 reversal di ogni blocco (corrispondente ad un'accuratezza di 79.4% di risposte corrette). La procedura prevedeva un aumento del valore del contrasto di 0.1 unità logaritmiche per ogni risposta sbagliata e una diminuzione del contrasto dello stesso valore dopo tre risposte corrette consecutive. All'interno dello stesso blocco tutte le caratteristiche degli stimoli sono state mantenute costanti, l'unica variabile era appunto il contrasto della Gabor bersaglio che aumentava, o diminuiva, a seconda delle risposte fornite dal soggetto seguendo la procedura Levitt. In entrambi gli esperimenti alla fine di ognuno dei sette blocchi, svolti per tutte e quattro le condizioni⁶, è stato salvato il valore corrispondente alla nuova soglia raggiunta dal partecipante.

⁶ Esperimento n.1: Gabor con frequenza spaziale di 1cpd, distanze 2 e 4λ .
Esperimento n.2: Gabor con frequenza spaziale di 12cpd, distanze 1.5 e 3λ .

CAPITOLO 3 RISULTATI

3.1 Esperimento n.1

Nell'esperimento n.1 sono state utilizzate Gabor dalla frequenza spaziale di 1cpd, orientazione verticale e distanze di 2 e 4λ . Sono stati ottenuti i valori delle soglie di detezione dello stimolo bersaglio, di ogni partecipante, per le sette diverse condizioni di contrasto dei flankers. A partire da questi dati è stato calcolato il valore relativo all'effetto dell'elevazione di soglia ("threshold elevation") sulla detezione degli stimoli bersaglio (formula 3) che può essere classificato come inibitorio o facilitatorio. Una volta ottenuti questi valori è stata calcolata la media per i sette livelli. I valori delle medie così ottenuti sono stati sottoposti a un'analisi statistica per assicurarsi della loro significatività.

È stato scelto un t-test a campione unico per confrontare i dati ottenuti dalle misurazioni di tutti i sette livelli di entrambe le condizioni. L'ipotesi nulla di partenza (H_0) assume nessuna differenza da zero (nessun effetto del contrasto dei flankers). L'ipotesi alternativa (H_1) invece assume una differenza dal valore zero⁷. Sono quindi stati eseguiti t-test a campione unico con l'utilizzo del programma JASP (versione 0.17.1) che ha fornito i valori del t-calcolato e del p-value. Nella condizione che vedeva l'utilizzo di Gabor con frequenza spaziale di 1cpd e distanza di 2λ si sono ottenuti valori di p-value significativi per i livelli due (<0.001), tre (0.001) e sette (<0.001) (Tab.3.1).

Contrasto dei flankers	t	df	p
livello_1	-0.032	19	0.974
livello_2	-5.862	19	< .001
livello_3	-3.761	19	0.001
livello_4	-1.771	19	0.093
livello_5	-0.241	19	0.812
livello_6	1.096	19	0.287
livello_7	4.890	19	< .001

Tab.3.1. t-test a campione unico per la condizione di 1cpd a 2λ

⁷ L'effetto del contrasto dei flankers rende l'elevazione di soglia positiva, nel caso in cui ci sia inibizione, e negativa nel caso in cui ci sia facilitazione.

Contrasto dei flankers	t	df	p
------------------------	---	----	---

df: gradi di libertà⁸

Tali valori risultano statisticamente significativi in quanto minori rispetto al valore alfa⁹ scelto per questi esperimenti ($\alpha=0.05$). È stato svolto un ulteriore controllo tramite la correzione di Bonferroni, che prevede il confronto dei p-value ottenuti con un nuovo valore α , ricavato dalla divisione del valore α scelto in precedenza per il numero dei t-test svolti. Considerando entrambi gli esperimenti trattati in questo elaborato, sono stati svolti in totale 28 t-test differenti, ovvero sette per ogni condizione sperimentale. Dalla divisione di α per 28 si è così ottenuto il valore 0.0017. I p-value ottenuti per i livelli due, tre e sette (Tab.3.1), risultano essere significativi anche con la correzione di Bonferroni. I risultati ottenuti per la condizione 4 λ sono riportati in Tab.3.2. Dall'analisi statistica si evince che i valori di p-value significativi sono quelli relativi ai livelli tre (0.047), quattro (<0.001), cinque (<0.001), sei (0.004) e sette (0.015).

Contrasto dei flankers	t	df	p
livello_1	1.391	19	0.180
livello_2	-0.745	19	0.465
livello_3	-2.127	19	0.047
livello_4	-4.189	19	< .001
livello_5	-4.707	19	< .001
livello_6	-3.299	19	0.004
livello_7	-2.680	19	0.015

Tab.3.2. t-test a campione unico per la condizione di 1cpd a 4 λ

Utilizzando invece il valore di α pari a 0.0017 ottenuto dalla correzione di Bonferroni, si nota come solamente i livelli quattro (<0.001) e cinque (<0.001) risultino essere a esso

⁸ I df, degree of freedom, corrispondono ai gradi di libertà del campione utilizzato e si ottengono dalla sottrazione di 1 al numero dei partecipanti. In questi esperimenti si ottiene un grado di libertà pari a diciannove in quanto si è partiti da un campione di venti soggetti.

⁹ Alfa, definito anche errore di I tipo, rappresenta la probabilità di rifiutare l'ipotesi nulla nel caso in cui essa sia vera.

minori e di conseguenza significativi. In conclusione si può affermare che i livelli quattro e cinque siano quelli con un effetto facilitatorio.

Gli effetti delle interazioni laterali tra detettori in funzione dei livelli di contrasto dei flankers per questo primo esperimento sono rappresentati in Fig.3.1.

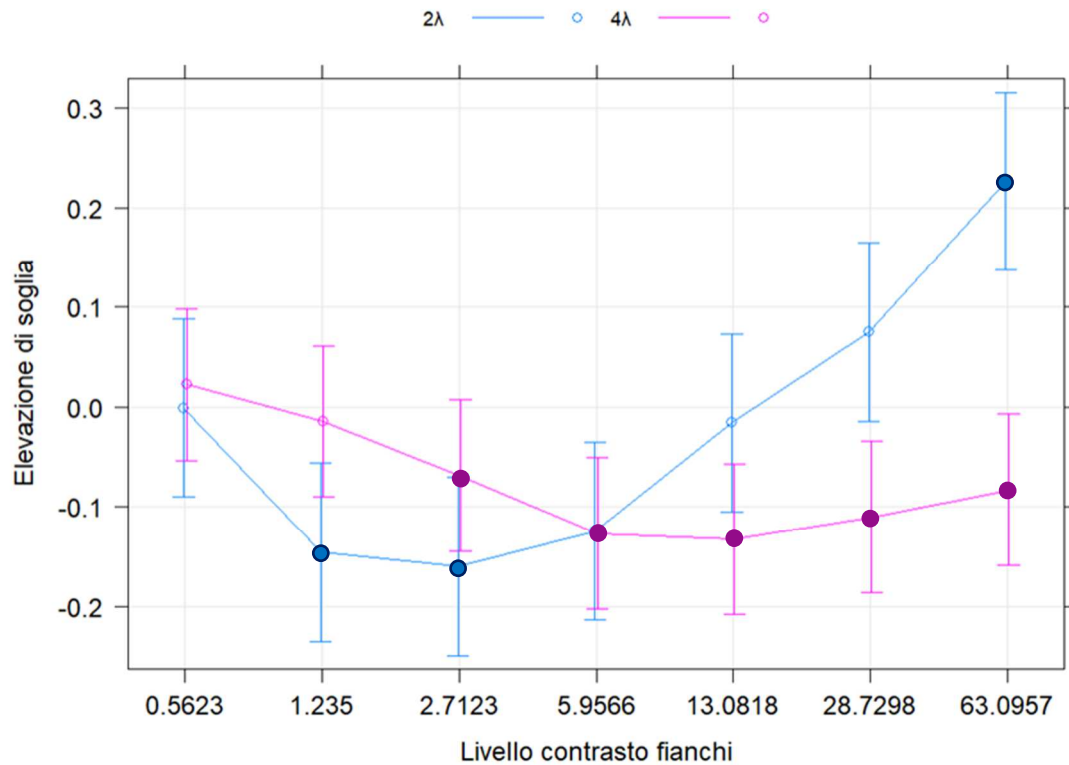


Fig.3.1 Andamento dell'effetto delle interazioni laterali in funzione dei sette livelli di contrasto tra i flankers e la Gabor bersaglio. Sono riportate le condizioni di 1cpd, alle distanze di 2 e 4λ. I valori presenti nella parte superiore del grafico, caratterizzati da valori delle interazioni laterali positivi, corrispondono alla condizione di inibizione. I valori presenti nella parte inferiore del grafico sono invece caratterizzati da valori negativi degli effetti delle interazioni laterali e corrispondono alla condizione di facilitazione. Come è possibile osservare, nella condizione 2λ, per valori di contrasto minori, si ottengono effetti facilitatori. L'effetto delle interazioni laterali cambia all'aumentare del contrasto, portando ad una situazione sempre più inibitoria. Per quanto riguarda invece la condizione 4λ, per contrasti minori si ha un debole effetto inibitorio mentre all'aumentare del contrasto si ottengono valori sempre più facilitatori. I livelli significativi sono evidenziati con cerchi pieni di dimensioni maggiori.

3.2 Esperimento n.2

In questo secondo esperimento, come già accennato precedentemente, è stata modificata la frequenza spaziale delle Gabor: è stata scelta una frequenza spaziale di 12cpd, visibilmente più piccola rispetto a quella precedente di 1cpd. Sono stati modificati anche i valori della distanza tra la Gabor bersaglio centrale e i flankers, scelti di 1.5 e 3 λ . L'ultima modifica è stata fatta sull'orientazione globale e locale delle Gabor, che è passata da quella verticale del primo esperimento ad una inclinazione di 45deg verso destra nel secondo.

Così come per il primo esperimento, a partire dai dati ottenuti per i venti partecipanti, sono stati calcolati i valori degli effetti delle interazioni laterali ("elevazione di soglia", formula 3). L'analisi statistica tramite t-test è stata svolta sulle medie di questi valori ottenuti, uno per ogni livello (Tab.3.3). Per quanto riguarda la condizione di 1.5 λ si sono ottenuti valori di p-value significativi per il livello tre (0.006), livello quattro (0.003), livello sei (0.032) e livello sette (<0.001).

Contrasto dei flankers	t	df	p
livello_1	-0.982	19	0.339
livello_2	-0.952	19	0.353
livello_3	-3.126	19	0.006
livello_4	-3.341	19	0.003
livello_5	-0.373	19	0.713
livello_6	2.313	19	0.032
livello_7	6.510	19	< .001

Tab.3.3 t-test a campione unico per la condizione 12cpd a 1.5 λ

Confrontando i dati con il valore di α ottenuto tramite la correzione di Bonferroni (0.0017), solamente il livello sette risulta essere significativo. In questo modo si conferma il risultato inibitorio ottenuto per il livello sette.

Per quanto riguarda la condizione 12cpd a 3 λ , si ottiene un solo valore di p-value che rende il risultato significativo (Tab.3.4). Nello specifico si fa riferimento al livello sei (0.011) che risulta essere minore del valore di α di 0.05.

Contrasto dei flankers	t	df	p
livello_1	0.637	19	0.532
livello_2	0.682	19	0.504
livello_3	-0.412	19	0.685
livello_4	0.088	19	0.930
livello_5	-1.650	19	0.115
livello_6	-2.837	19	0.011
livello_7	-1.864	19	0.078

Tab.3.4 T test a campione unico per la condizione 12cpd a 3λ

Confrontando il valore del p-value con quello ottenuto dalla correzione di Bonferroni non si ottiene la significatività.

Gli effetti delle interazioni laterali tra detettori in funzione dei sette livelli di contrasto per l'esperimento n.2 sono riportati in Fig.3.2.

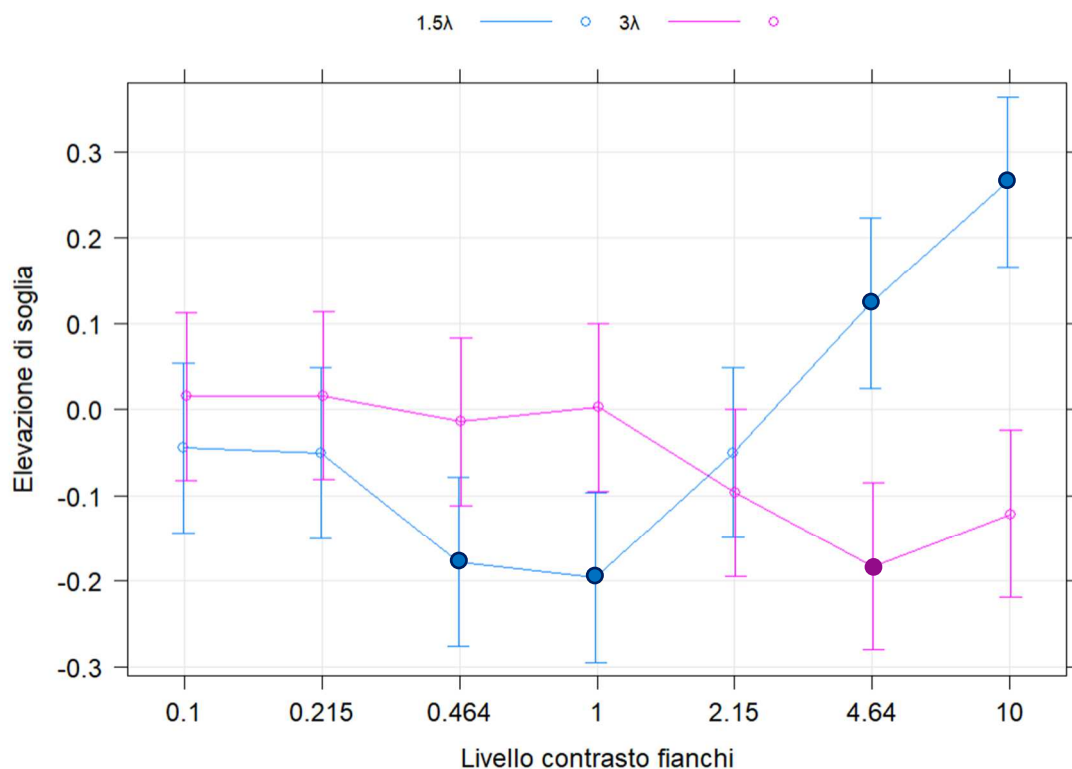


Fig.3.2 Andamento dell'effetto delle interazioni laterali in funzione dei sette livelli di contrasto tra i flankers e la Gabor bersaglio. Sono riportate le condizioni di 12cpd, alle distanze di 1.5λ e 3λ . Nello specifico si può notare per la distanza di 1.5λ la facilitazione ottenuta per i livelli tre e

quattro e l'inibizione ottenuta per i livelli sei e sette. Per quanto riguarda la distanza di 3λ è possibile notare un trend facilitatorio per i livelli cinque, sei e sette ottenuti per livelli di contrasto maggiori, anche se solamente il livello sei è risultato essere significativo. I livelli significativi sono evidenziati con cerchi pieni di dimensioni maggiori.

CAPITOLO 4 DISCUSSIONE

4.1 Discussione generale

Le connessioni orizzontali tra detettori appartenenti a ipercolonne diverse, selettivi per la medesima frequenza spaziale e orientazione (Ts'o, Gilbert & Wiesel, 1986; Gilbert & Wiesel, 1989), sono state approfondite in questo elaborato insieme al paradigma delle interazioni laterali. Nello specifico è stato utilizzato il paradigma del mascheramento laterale che prevede l'affiancamento, ad una Gabor bersaglio centrale, di due Gabor collineari presentate alle due estremità della Gabor bersaglio, chiamati flankers. Lo stimolo finale risultante sarà così formato da tre Gabor collineari, l'una a fianco all'altra, aventi la stessa frequenza spaziale e orientazione (Fig.2.2).

Gli effetti delle interazioni laterali tra detettori risentono dell'influenza di due fattori: 1) la distanza λ tra il centro della Gabor bersaglio e il centro dei flankers; 2) il rapporto di contrasto, ovvero il logaritmo del rapporto tra la luminanza dei flankers e quella del bersaglio (formula 4).

In questo elaborato è stato approfondito il ruolo del contrasto e per fare ciò sono stati presentati flankers con valori precisi di contrasto rispetto alla Gabor bersaglio con l'obiettivo di indagare gli effetti che diverse condizioni di contrasto avrebbero svolto sulle interazioni laterali. In numerosi studi è stato scelto l'utilizzo di flankers ad alto contrasto per permettere il raggiungimento di una condizione di massima facilitazione o di massima inibizione (Polat & Sagi, 1993). La condizione di massima facilitazione si raggiunge nel momento in cui la presenza dei flankers porta ad un abbassamento della soglia di detezione dello stimolo bersaglio. Questo a dimostrazione di come il risultato delle interazioni laterali tra i detettori coinvolti causi un aumento della sensibilità al contrasto. La condizione di massima inibizione, invece, la si raggiunge nel momento in cui la presenza dei flankers porta ad un aumento della soglia di detezione del bersaglio. Questo

a dimostrazione di come la presenza degli stimoli in prossimità di quello bersaglio vada ad inibire la risposta del detettore, causando una diminuzione della sensibilità al contrasto. Gli esperimenti riportati in questo elaborato, sono stati svolti con l'obiettivo di indagare le tipologie di risposta, eccitatoria o inibitoria, che stimoli bersaglio sono in grado di generare in presenza di determinati valori di contrasto tra i flankers e le Gabor bersaglio centrali. Questi valori sono stati ricavati a partire dalle predizioni di Zenger e Sagi (1996); sono stati selezionati sette valori di contrasto che sono stati poi personalizzati per ogni partecipante sulla base della propria soglia di detezione dello stimolo bersaglio misurata in assenza dei flankers (baseline).

In entrambi gli esperimenti è stato svolto dai partecipanti un compito di scelta forzata tra due intervalli (2IFC) in due sessioni distinte, che vedeva il susseguirsi di otto diversi compiti, sette dei quali caratterizzati da flankers aventi uno dei valori di contrasto riportati nelle Tab.2.1 e 2.2. Nello specifico, l'esperimento n.1 è stato svolto utilizzando come stimoli delle Gabor con frequenza spaziale di 1cpd e orientazione verticale. I flankers sono stati posti a due diverse distanze dalla Gabor centrale: 1) distanza di 2λ , che ad alto contrasto è solita andare ad influenzare l'effetto delle interazioni laterali causando un innalzamento della soglia di detezione del bersaglio (effetto inibitorio); 2) distanza di 4λ , che ad alto contrasto è solita portare le interazioni laterali a causare invece un abbassamento della soglia di detezione del bersaglio (effetto facilitatorio) (Polat & Sagi, 1993).

L'ipotesi di partenza consisteva proprio nell'indagare quali potessero essere gli effetti che flankers, con valori di contrasto differenti rispetto alla Gabor bersaglio, potessero avere sulla detezione dello stimolo bersaglio stesso. L'interesse di questo elaborato riguarda ciò che si potrebbe ottenere sfruttando anche valori di contrasto minori, lasciando invariate le altre caratteristiche degli stimoli (frequenza spaziale e orientazione).

Per quanto riguarda la condizione 2λ , per valori di contrasto pari a due o tre volte il valore della soglia (baseline), che corrispondono rispettivamente ai livelli due e tre della figura 3.1, si sono ottenute le condizioni di massima facilitazione, evidenziate dall'abbassamento del valore della soglia di detezione della Gabor bersaglio in accordo con il modello di Zenger e Sagi (1996). Dallo stesso grafico è possibile osservare come, per la condizione ad elevato contrasto del livello sette (di circa 63 volte maggiore rispetto alla condizione della baseline) si sia ottenuto un valore di massima inibizione,

caratterizzato da un innalzamento della soglia di detezione dello stimolo bersaglio. In quest'ultimo caso, quindi, l'effetto delle interazioni laterali tra i detettori in presenza di flankers a una distanza di 2λ e ad un contrasto elevato ha reso più difficile lo svolgimento del compito per i partecipanti peggiorandone la performance; tale risultato è conforme con i dati presenti in letteratura (Polat & Sagi, 1993; Zenger & Sagi, 1996).

La condizione di 4λ , tipicamente associata ad effetti facilitatori se presentati flankers ad alto contrasto, riporta gli effetti di facilitazione ottenuti grazie alle interazioni laterali per i livelli tre, quattro, cinque, sei e sette; tra questi livelli però, solamente il quattro e il cinque sopravvivono alla correzione di Bonferroni. Anche in questo caso i dati ottenuti sono conformi con le predizioni di Zenger e Sagi (1996). Nessun livello si è rivelato inibitorio.

Così come l'ipotesi di partenza del primo esperimento, anche l'ipotesi del secondo esperimento consisteva nell'indagare gli effetti che i diversi valori di contrasto dei flankers avrebbero potuto svolgere sulla detezione della Gabor bersaglio. In particolare, ci si è chiesti se andando a modificare le caratteristiche fisiche degli stimoli Gabor (frequenza spaziale a 12cpd e orientazione obliqua a 45deg verso destra) i risultati ottenuti sarebbero stati coerenti con quelli ottenuti nell'esperimento n.1 e di conseguenza, con le previsioni di Zenger e Sagi (1996).

Per quanto riguarda la condizione di 1.5λ i livelli numero tre e quattro corrispondono al massimo effetto di facilitazione mediato dalle interazioni laterali, che hanno portato ad un abbassamento della soglia rispetto alla baseline. In particolare, i valori ottenuti per i livelli tre e quattro non sopravvivono alla correzione di Bonferroni, ma possono comunque essere considerati significativi in quanto è stato ottenuto un p-value < 0.05 (Fig.3.2). Nel blocco a più alto contrasto, livello sette, così come nel primo esperimento (1cpd, verticale, 2λ) si è ottenuto l'effetto massimo di inibizione.

La condizione di 3λ a 12cpd (Fig.3.2) appare meno chiara rispetto alle condizioni precedenti. Si nota un trend verso la facilitazione per i livelli cinque, sei e sette a più alto contrasto, con il picco di facilitazione raggiunto con il valore di contrasto del livello sei, significativo con un $\alpha=0.05$ ma che non sopravvive alla correzione di Bonferroni.

Da un eventuale confronto delle condizioni di 2λ dell'esperimento n.1, e di 1.5λ dell'esperimento n.2, è possibile notare come i livelli di facilitazione significativa, per quanto simili, non coincidano del tutto (Fig.4.1).

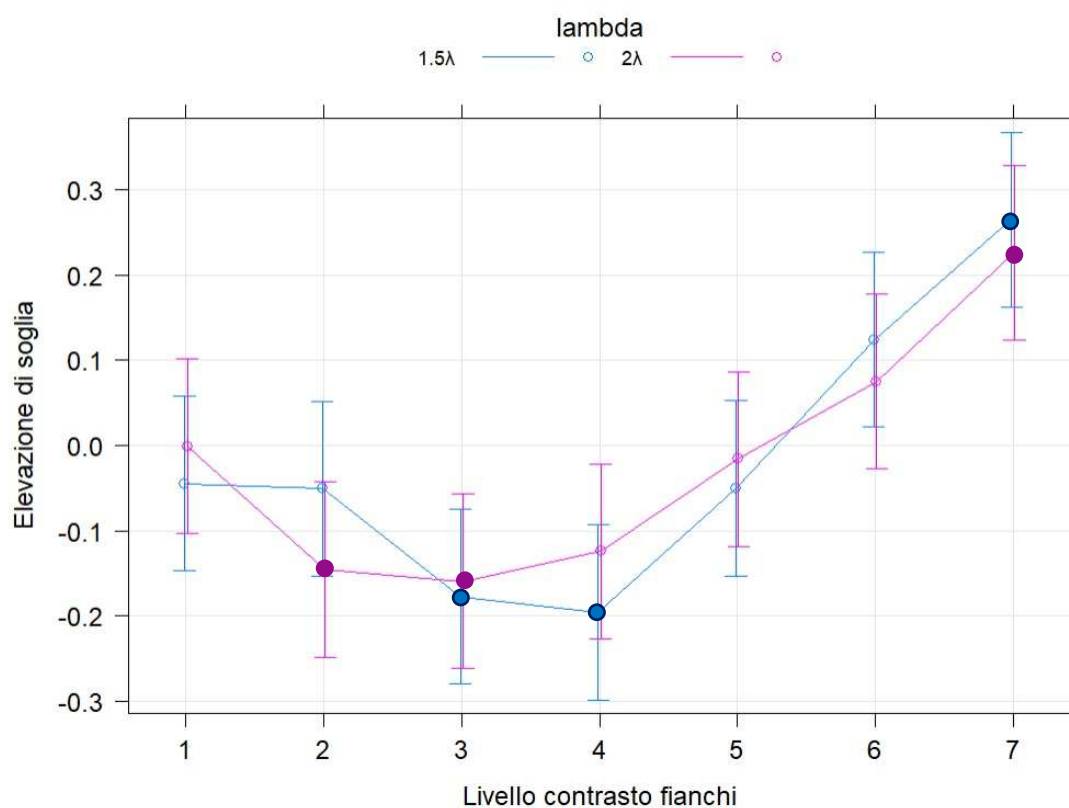


Fig.4.1 Andamento dell'elevazione di soglia nelle condizioni di 1cpd a 2λ e 12cpd a 1.5λ .

Nello specifico, nella condizione di 2λ è stata ottenuta facilitazione a partire dal livello due, mentre nella condizione di 1.5λ il primo livello ad essere significativo per la facilitazione riscontrata è il livello tre. In entrambi gli esperimenti è stato ottenuto un andamento degli effetti delle interazioni laterali simile a quello predetto dallo studio di Zenger e Sagi (1996), ma con le Gabor dalla frequenza di 12cpd sembra essere necessario un contrasto maggiore per poter vedere, nelle soglie trovate, gli effetti della facilitazione. Dai risultati ottenuti in questi esperimenti si può affermare che il modello di Zenger e Sagi (1996) sembra essere generalizzabile anche andando a modificare le frequenze spaziali e le orientazioni delle Gabor. Le differenze riscontrate tra i due esperimenti (Fig.4.1 e Fig.4.2) potrebbero quindi essere una conseguenza delle diverse caratteristiche delle Gabor utilizzate, caratteristiche che potrebbero entrambe avere un effetto sull'andamento del modello.

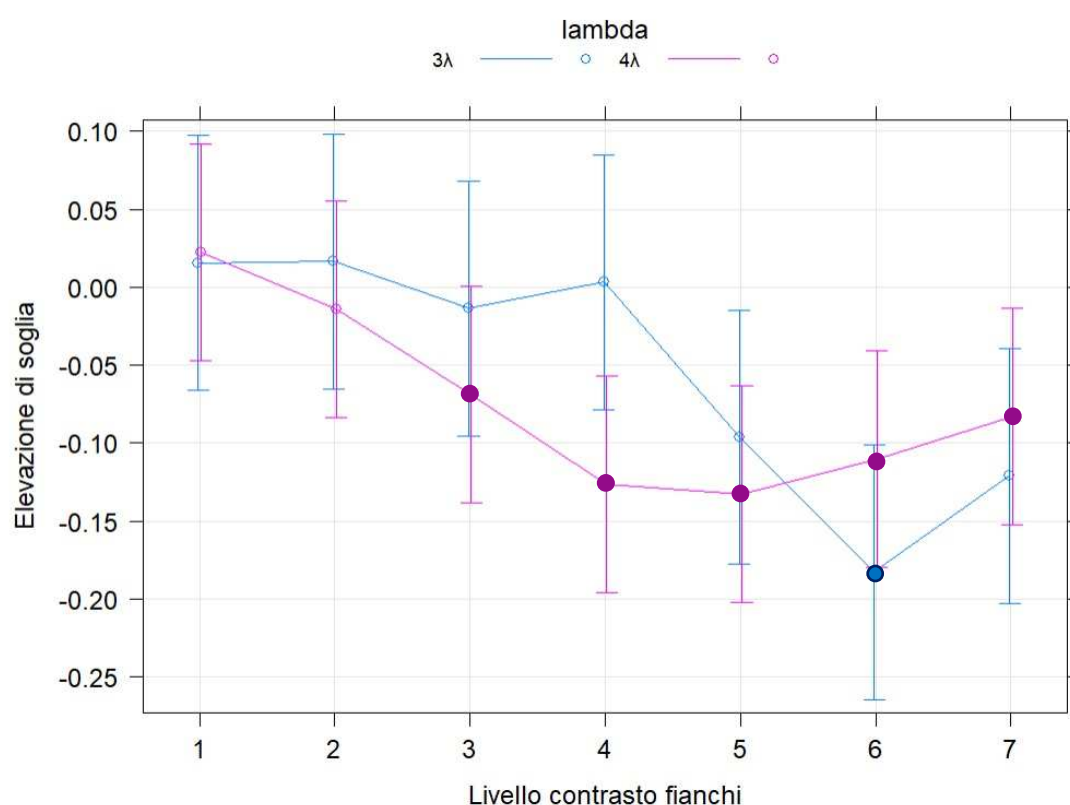


Fig.4.2 Andamento dell'elevazione di soglia nelle condizioni di 1cpd a 4λ e 12cpd a 3λ .

4.2 Prospettive future

La scelta delle caratteristiche dell'esperimento n.2 è originata dall'interesse nei confronti di tecniche di stimolazione elettrica transcranica non invasiva, in particolare la stimolazione elettrica transcranica a rumore casuale (tRNS), una stimolazione a frequenza alternata che vede l'alternarsi di frequenze casuali in un range compreso da 0.1 a 640 Hz (Fertonani, Pirulli & Miniussi, 2011; Moret, Donato, Nucci, Cona & Campana, 2019). La tRNS è risultata essere responsabile di una maggiore eccitazione a livello cerebrale che è in grado, da un lato, di migliorare la performance dei partecipanti al compito se somministrata online¹⁰ e, dall'altro, di diminuire la durata complessiva del training di apprendimento percettivo (Campana, Camilleri, Pavan, Veronese & Lo Giudice, 2014; Camilleri, Pavan, Ghin, Battaglini & Campana, 2014). Nello specifico, in letteratura è

¹⁰ La somministrazione della stimolazione elettrica può avvenire prima (offline) o in contemporanea (online) allo svolgimento del compito. In particolare, nel caso della tRNS i risultati migliori si ottengono con la somministrazione online (Pirulli, Fertonani & Miniussi, 2013).

riportato l'effetto che la tRNS ha su stimoli Gabor con determinate frequenze spaziali e orientazioni. In particolare, si è visto come siano le frequenze maggiori, come quelle di 12cpd, e le orientazioni oblique, a elicitare un maggiore effetto della stimolazione sui neuroni di V1 (Battaglini, Contemori, Penzo & Maniglia, 2020).

L'ipotesi, che in parte è già stata portata avanti da alcuni ricercatori dell'Università di Padova, è la verifica che l'aggiunta di tRNS al medesimo compito dell'esperimento n.2 di questo elaborato, possa migliorare le prestazioni dei partecipanti. L'interesse verso l'utilizzo della tRNS come tecnica risiede nell'esplorare come tale stimolazione vada a modulare la forza delle interazioni laterali ottenute dalla presenza dei flankers a determinate λ , orientazioni e livelli di contrasto.

Il quesito che può essere posto è se l'effetto della tRNS vada ad aumentare sia gli effetti della facilitazione, migliorando così la performance del partecipante, che gli effetti dell'inibizione, causando così un ulteriore peggioramento della performance. Le risposte a questo quesito potrebbero essere importanti per il trattamento di patologie visive risultate in grado di sfruttare il paradigma del mascheramento laterale e le sottostanti connessioni orizzontali, per permettere un miglioramento della capacità visiva (Camilleri, Pavan, Ghin & Campana, 2014; Casco, Guzzon, Moise, Vecchies, Testa & Pavan, 2014). Di particolare rilievo risulta essere il fenomeno dell'apprendimento percettivo basato sull'esecuzione di specifici allenamenti (Polat, Ma-Naim, Belkin & Sagi, 2004); si parla, in questo caso, di training visivi risultati in grado di migliorare determinate funzioni visive, come l'acuità visiva¹¹ e la sensibilità al contrasto (Barollo, Contemori, Battaglini, Pavan & Casco, 2017). Un'altra caratteristica dell'apprendimento percettivo è la generalizzazione che ne deriva, in quanto l'allenamento di una funzione si è visto essere in grado di apportare miglioramenti anche ad altre funzioni, pur non essendo state allenate direttamente (Camilleri, Pavan, Ghin, Battaglini & Campana, 2014). Più in concreto si parla di patologie come l'ambliopia e la degenerazione maculare.

L'ambliopia è una patologia caratterizzata da una ridotta acuità visiva e acuità di Vernier, ridotta sensibilità al contrasto e presenza di crowding¹². È un disturbo dell'età evolutiva che comporta uno sviluppo difettoso delle connessioni tra l'occhio ambliope e la porzione

¹¹ L'acuità visiva può essere descritta come la capacità dell'occhio di distinguere due punti vicini tra di loro e sfrutta le frequenze spaziali più alte dedicate alla visione dei dettagli e delle caratteristiche fini.

¹² Difficoltà nel riconoscimento di uno stimolo bersaglio in presenza di stimoli che si comportano da distrattori.

di corteccia visiva primaria ad esso dedicata (Holmes & Clarke, 2006). Il periodo critico in cui si sviluppano la maggior parte delle connessioni cerebrali va dalla nascita all'età di otto anni circa; se questo disturbo non sarà individuato e corretto entro la fine di questo periodo critico, porterà ad una disfunzione della vista permanente. L'apprendimento percettivo è stato visto essere in grado di apportare miglioramenti per pazienti ambliopi anche in età adulta, permettendo così un miglioramento anche nella vita di tutti i giorni (Polat, Ma-Naim, Belkin & Sagi 2004; Barollo, Battaglini, Casco & Contemori, 2017).

La degenerazione maculare è una degenerazione del tessuto della macula¹³ tipica dell'età senile, ma riscontrabile anche in età giovanile, caratterizzata da deficit che colpiscono la visione centrale con la possibile comparsa di scotomi. A seguito di tale perdita della visione centrale, viene utilizzata una porzione retinica periferica (locus preferenziale retinico, PRL) come nuovo punto di fissazione per la messa a fuoco degli stimoli visivi. L'ipotesi che ne deriva è che la porzione di corteccia visiva primaria, destinata solitamente all'elaborazione degli stimoli presentati nella porzione foveale della retina, vada incontro ad una riorganizzazione a livello delle connessioni neuronali, risultante nella sua capacità di rispondere a stimoli presentati in questa porzione (PRL) utilizzata come nuovo punto di fissazione. Training che sfruttano il paradigma del mascheramento laterale, e quindi la presentazione di una Gabor bersaglio centrale affiancata da due flankers collineari, sono stati usati con pazienti che presentavano questa forma di degenerazione maculare. È stato visto come per distanze di 2λ e flankers ad alto contrasto questi pazienti abbiano ottenuto un effetto facilitatorio (Contemori, Battaglini & Casco, 2019), diversamente dall'effetto inibitorio solitamente ottenuto da persone che presentano una visione normale. I risultati dello studio condotto nell'esperimento n.1 di questo elaborato potrebbero far pensare ad un'ipotesi alternativa rispetto a quella della riorganizzazione corticale di V1. In particolare, nell'esperimento di cui sopra, si è ottenuto un effetto facilitatorio per la condizione di 2λ con la presenza di flankers a basso contrasto. La domanda che ne deriva è se, per queste particolari popolazioni cliniche affette da ipovisione, la presenza di flankers ad alto contrasto non venga effettivamente percepita come una condizione ad alto contrasto. In altri termini, contrasti che per una persona con visione normale sono considerati alti e causano un effetto inibitorio, per i pazienti con forme di ipovisione potrebbero risultare bassi e causare quindi un effetto

¹³ Porzione centrale della retina adibita, per esempio, alla rilevazione dei dettagli.

facilitatorio. Sarebbe, pertanto, particolarmente interessante, valutare questo determinato aspetto in trials clinici su pazienti affetti dalle patologie sopra menzionate.

4.3 Limiti dello studio

Il passaggio dall'esperimento n.1 all'esperimento n.2 vede il cambiamento di più variabili contemporaneamente. Nello specifico sono stati modificati i seguenti parametri:

- 1) la frequenza spaziale delle Gabor, passate dalla frequenza di 1cpd a quella di 12cpd;
- 2) la distanza λ tra il centro della Gabor bersaglio e i flankers, passate da 2 e 4λ nell'esperimento n.1 a 1.5 e 3λ nell'esperimento n.2;
- 3) l'orientazione globale e locale delle Gabor, passata da verticale a obliqua con una inclinazione di 45deg verso destra.

Idealmente la procedura dovrebbe prevedere il cambiamento di un solo parametro alla volta. Sono state però effettuate tutte e tre le modifiche contemporaneamente in quanto premeva ottenere dati e risultati per poter svolgere studi in un prossimo futuro con l'ausilio della stimolazione elettrica transcranica, che, come riportato in letteratura (Battaglini, Contemori, Penzo & Maniglia, 2020), si è visto apportare il maggior risultato per Gabor con le caratteristiche dell'esperimento n.2 (paragrafo 4.2).

BIBLIOGRAFIA

- Barollo M., Contemori G., Battaglini L., Pavan A. & Casco C. (2017). Perceptual learning improves contrast sensitivity, visual acuity, and foveal crowding in amblyopia. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 35(5), 483-496. <https://doi.org/10.3233/rnn-170731>
- Battaglini, L., Contemori, G., Penzo, S., & Maniglia, M. (2020). TRNS effects on visual contrast detection. *Neuroscience Letters*, 717, 134696. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.134696>
- Bosking W.H, Zhang Y., Schofield B. & Fitzpatrick D. (1997). Orientation Selectivity and the Arrangement of Horizontal Connections in Tree Shrew Striate Cortex. *Journal of Neuroscience*, 17 (6) 2112-2127. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-06-02112.1997>
- Camilleri R., Pavan A., Ghin F., Battaglini L. & Campana G., (2014). Improvement of uncorrected visual acuity and contrast sensitivity with perceptual learning and transcranial random noise stimulation in individuals with mild myopia. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01234>
- Camilleri R., Pavan A., Ghin F. & Campana G., (2014). Improving myopia via perceptual learning: is training with lateral masking the only (or the most) efficacious technique? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76, 2485–2494. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0738-8>
- Campana, G., Camilleri, R., Pavan, A., Veronese, A., & Lo Giudice, G. (2014). Improving visual functions in adult amblyopia with combined perceptual training and transcranial random noise stimulation (tRNS): A pilot study. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.01402>

- Casco C., Guzzon D., Moise M., Vecchies A., Testa T. & Pavan A., (2014). Restorative Neurology and Neuroscience, 32(5), 639-653. [10.3233/RNN-140389](https://doi.org/10.3233/RNN-140389)
- Contemori G., Battaglini L. & Casco C., (2019). Contextual influences in the peripheral retina of patients with macular degeneration. *Scientific report*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45648-4>
- Fertonani A., Pirulli C. & Miniussi C., (2011). Random Noise Stimulation Improves Neuroplasticity in Perceptual Learning. *Journal of Neuroscience*, 31(43), 15416-15423; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2002-11.2011>
- Gilbert, C. D., Hirsch, J. A., & Wiesel, T. N. (1990). Lateral interactions in visual cortex. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 55, 663–677. <https://doi.org/10.1101/sqb.1990.055.01.063>
- Gilbert, C.D. & Wiesel, T.N. (1989). Columnar specificity of intrinsic horizontal and corticocortical connections in cat visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 1989, 9 (7) 2432-2442. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.09-07-02432.1989>
- Holmes J.M. & Clarke M.P., (2006). Amblyopia. *The lancet* 367 (9519), 1343-1351. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68581-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68581-4).
- Hubel D.H. & Wiesel T.N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology*, 601(11). <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1962.sp006837>
- Hubel D.H. & Wiesel T.N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology*, 195(1), 215-243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008455>
- Lev M. & Polat U. (2011). Collinear facilitation and suppression at the periphery. *Vision Research* 51 (23–24), 2488-2498. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.10.008>

- Marçelja, S. (1980). Mathematical description of the responses of simple cortical cells*. *JOSA*, 70(11), 1297–1300. <https://doi.org/10.1364/JOSA.70.001297>
- Moret, B., Donato, R., Nucci, M., Cona, G., & Campana, G. (2019). Transcranial random noise stimulation (tRNS): A wide range of frequencies is needed for increasing cortical excitability. *Scientific Reports*, 9(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51553-7>
- Pirulli C., Fertonani A., Miniussi C. (2013). The Role of Timing in the Induction of Neuromodulation in Perceptual Learning by Transcranial Electric Stimulation. *Brain stimulation: Basic, translational, and clinical research in neuromodulation*, 6 (4), 469-712. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.12.005>
- Polat U., Mizobe K., Pettet M.W., Kasamatsu T. & Norcia A., (1998). Collinear stimuli regulate visual responses depending on cell's contrast threshold. *Nature*, 391, 580–584. <https://doi.org/10.1038/35372>
- Polat, Ma-Naim, Belkin & Sagi, (2004). Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *PNAS* 101 (17) 6692-6697. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401200101>
- Polat, U., & Sagi, D. (1993). Lateral interactions between spatial channels: Suppression and facilitation revealed by lateral masking experiments. *Vision Research*, 33(7), 993–999. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(93\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(93)90081-7)
- Polat, U., & Tyler, C. W. (1999). What pattern the eye sees best. *Vision Research*, 39(5), 887–895. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(98\)00245-4](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(98)00245-4)
- Richard B., Johnson A.P., Thompson B. & Hansen B.C (2015). The effects of tDCS across the spatial frequencies and orientations that comprise the contrast sensitivity function. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01784>

- Spillmann L. (2014). Receptive Fields of Visual Neurons: The Early Years. *Sage Journal*, 43(11). <https://doi.org/10.1068/p77>
- Ts'o, D. Y., Gilbert, C. D., & Wiesel, T. N. (1986). Relationships between horizontal interactions and functional architecture in cat striate cortex as revealed by cross-correlation analysis. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 6(4), 1160–1170. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.06-04-01160.1986>
- Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1963). SINGLE-CELL RESPONSES IN STRIATE CORTEX OF KITTENS DEPRIVED OF VISION IN ONE EYE. *Journal of Neurophysiology*, 26, 1003–1017. <https://doi.org/10.1152/jn.1963.26.6.1003>
- William H. Bosking, Y. Zhang, B. Schofield & D. Fitzpatrick (1997.) Orientation Selectivity and the Arrangement of Horizontal Connections in Tree Shrew Striate Cortex. *Journal of Neuroscience*, 17(6), 2112-2127; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-06-02112.1997>
- Zenger, B., & Sagi, D. (1996). Isolating Excitatory and Inhibitory Nonlinear Spatial Interactions Involved in Contrast Detection **Part of this paper was presented at the 17th ECVF conference, Eindhoven, The Netherlands (September 1994). *Vision Research*, 36(16), 2497–2513. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00303-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00303-7)