

# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Fisica e Astronomia

**Corso di Laurea in Ottica e Optometria**

TESI DI LAUREA

## **Ruolo della visione periferica**

Relatore: Prof.ssa Ortolan Dominga

Correlatore: Prof. Battaglini Luca

Laureanda: Claudia Lagni

Matricola: 1156504

Anno Accademico 2019/2020



# Indice

<b>Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Dall'occhio al cervello .....</b>	<b>3</b>
1.1 Anatomia della retina.....	3
1.1.1 Coni e bastoncelli .....	6
1.1.2 Distribuzione dei fotorecettori .....	8
1.2 Fisiologia della visione.....	10
1.2.1 Fototrasduzione del segnale .....	10
1.2.2 Campi recettivi delle cellule gangliari .....	13
1.3 Le vie visive: dalla retina al cervello .....	15
<b>2 Visione periferica.....</b>	<b>19</b>
2.1 Sistema Parvocellulare e Magnocellulare.....	19
2.1.1 Percezione del movimento .....	20
2.3 Ruolo dell'attenzione.....	22
2.4 Campo visivo.....	23
2.4.1 Mappa retinotopica e magnificazione corticale .....	25
2.4.2 Affollamento visivo della periferia del campo visivo .....	26
<b>3 Ruolo della visione periferica.....</b>	<b>28</b>
3.1 Ruolo del defocus periferico nella progressione miopica.....	28
3.2 Ruolo della visione periferica nella lettura.....	31
3.4 Test per la valutazione della visione periferica.....	33
<b>4 Lo studio .....</b>	<b>39</b>
4.1 Introduzione e scopo.....	39

4.2 Partecipanti .....	40
4.3 Apparato strumentale e stimoli.....	42
4.4 Metodo .....	45
4.5 Analisi dei dati.....	47
<b>5 Discussione.....</b>	<b>57</b>
<b>6 Conclusione.....</b>	<b>60</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>62</b>

## **Abstract**

**OBIETTIVO:** valutare la percezione di movimento periferico in un campione di soggetti miopi, senza correzione, con occhiali e con lenti a contatto.

**METODI E MATERIALI:** si è analizzato un gruppo di 18 soggetti miopi, maschi e femmine, con ametropia compresa tra -0.75D e 8.50D. Il test di percezione di movimento periferico è caratterizzato da stimoli random dots realizzato con la psychtoolbox di Matlab. Ogni soggetto doveva svolgere il test tre volte (con occhiali, con lenti a contatto e senza correzione) determinando il movimento coerente dei puntini target (verso l'alto o verso il basso) all'interno di un insieme di punti rumore con movimento casuale. Lo stimolo poteva comparire a destra o a sinistra rispetto al punto di fissazione.

**RISULTATI:** La media delle soglie della performance con occhiali e con lenti a contatto sono risultate quasi uguali (media LAC = 0,487701 ; media OCC = 0,468765), mentre la media delle soglie della performance senza correzione è stata nettamente più alta (media NC = 0,768927), evidenziando un peggioramento nella performance. I T-test con correzione di Bonferroni confermano i risultati.

È stata fatta l'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute con *tipo di correzione e direzione di movimento* come fattori entro i soggetti. Il fattore tipo di correzione è risultato significativo.

**CONCLUSIONE:** avere una buona correzione del difetto visivo è importante per ottenere una buona performance di percezione del movimento e non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra performance con occhiali e performance con lenti a contatto.

## Introduzione

La visione periferica è una parte della visione che risiede al di fuori dell'asse di sguardo.

Quando ci focalizziamo su qualcosa, ci concentriamo su ciò che è direttamente di fronte a noi, ad esempio il foglio o il computer da cui stiamo leggendo queste righe. Nello stesso momento, i nostri occhi e il nostro cervello sono costantemente consapevoli delle cose che accadono intorno a noi, ad esempio se qualcosa vicino a noi si muove, o se si avvicina qualcuno.

Questo è particolarmente importante durante la guida di un'auto, mentre passeggiamo e attraversiamo la strada o mentre pratichiamo uno sport. Un guidatore può cogliere un accenno di movimento con la coda dell'occhio che lo avvisa di un pedone che sta per attraversare la strada. Oppure un giocatore di pallacanestro può passare la palla a un compagno di squadra che si trova sul lato che ha visto usando la visione periferica.

Le persone con una visione periferica limitata non hanno questa capacità di vedere al lato e sono costrette a muovere gli occhi, o anche la testa, per vedere ciò che non è direttamente di fronte a loro.

Avere il campo visivo integro è fondamentale per gestire lo spazio intorno a noi.

La visione periferica ha un ruolo importante in molti aspetti, non solo nel permetterci di vedere molto oltre all'area attorno al punto della scena visiva che osserviamo, ma anche nell'esecuzione efficace di alcuni compiti come ad esempio la lettura di cui parleremo in un capitolo successivo. Inoltre, sembra avere un'influenza anche nella progressione del difetto visivo, in particolar modo nella miopia.

La periferia retinica è molto sensibile al movimento grazie alle cellule nervose, ovvero le cellule gangliari, che presentano delle determinate caratteristiche e sono connesse ad aree del cervello specializzate per l'elaborazione del movimento.

In questo elaborato viene proposto uno studio di percezione del movimento periferico, svolto su un campione di soggetti miopi. L'obiettivo è quello di valutare l'influenza che può avere il tipo di correzione (occhiali e lenti a contatto) nel risultato della performance al test e verificare se la gravità del difetto visivo incide nella performance.

# **1 Dall'occhio al cervello**

L'apparato oculare è formato da un insieme di strutture che contribuiscono all'attuazione della sensazione visiva.

Questo è costituito dal bulbo oculare, dalle vie ottiche e dagli annessi oculari. Il bulbo oculare si trova all'interno della cavità orbitaria ed è costituito da tre tuniche: fibrosa, vascolare e nervosa. La tunica fibrosa, la più esterna, si distingue in cornea e sclera; la tunica vascolare si compone di coroide, corpo ciliare e iride; la tunica nervosa, la più interna, è costituita dalla retina, che si compone di una porzione posteriore di retina visiva e di una porzione anteriore formata dal corpo ciliare e dalla superficie posteriore dell'iride.

## **1.1 Anatomia della retina**

La retina, o tunica nervosa, rappresenta la struttura nervosa che ricopre i due terzi posteriori della superficie interna del bulbo oculare ed è compresa tra la coroide e l'umor vitreo.

A livello funzionale, la retina, ha il compito di assorbire la luce e realizza una prima elaborazione delle immagini per poi inviare il segnale al cervello, il quale si occuperà di successive elaborazioni.

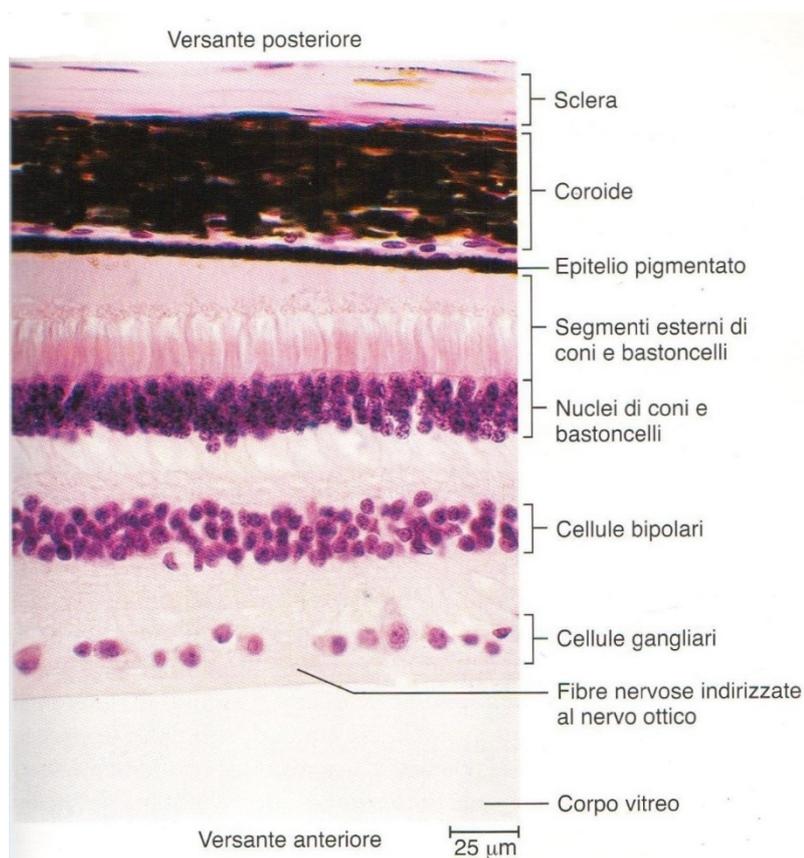
La retina viene strutturalmente distinta in due parti principali: l'epitelio pigmentato e il foglietto interno.

Il foglietto interno corrisponde alla parte sensoriale della retina, ed è una membrana sottile e trasparente, la quale si estende dal nervo ottico fino all'ora serrata.

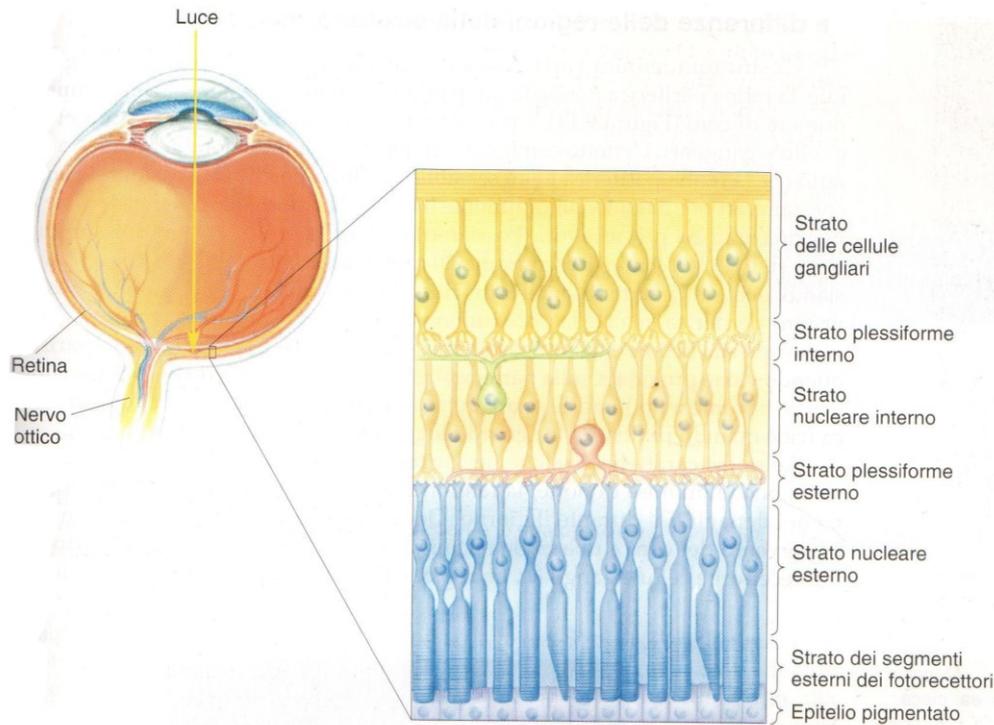
La retina sensoriale è suddivisa in nove strati, così dall'esterno verso l'interno:

1. Strato dei coni e bastoncelli;
2. Membrana limitante esterna;
3. Strato nucleare esterno;
4. Strato plessiforme esterno;
5. Strato nucleare interno;
6. Strato plessiforme interno;
7. Strato delle cellule ganglionari;
8. Strato delle fibre nervose
9. Membrana limitante interna.

In questi strati istologici sono localizzati vari tipi di cellule: le cellule recettoriali, chiamati coni e bastoncelli, deputati alla trasformazione dello stimolo luminoso in impulso elettrico; le cellule bipolari, conduttrici dell'impulso visivo dai fotorecettori alle cellule gangliari; le cellule gangliari che, attraverso i loro assoni, vanno a formare il nervo ottico; le cellule orizzontali e amacrine che creano associazione orizzontali e integrazione tra gli stimoli; infine altre cellule con funzione di sostegno, come quelle gliari di Müller, le quali attraversano verticalmente tutti gli strati della retina (Bucci, 1993).



*Fig. 1: immagine istologica degli strati retinici*



*Fig. 2: La figura ci mostra l'organizzazione laminare della retina e gli strati sono disposti dall'interno verso l'interno.*

La luce deve attraversare il segmento anteriore, poi l'umor vitreo e tutti gli strati retinici prima di raggiungere i fotorecettori.

Sebbene la luce debba attraversare varie strutture oculari prima di arrivare alle cellule neuronali, la distorsione dell'immagine viene minimizzata grazie alla quasi completa trasparenza degli strati retinici e di tutte le strutture prima di essi.

L'epitelio pigmentato, situato sotto i fotorecettori, gioca un ruolo importante sia per il mantenimento dei fotorecettori stessi, sia per l'assorbimento della luce che attraversa la retina evitando la riflessione all'interno dell'occhio (Bear, Connors & Paradiso, 2016).

### 1.1.1 Coni e bastoncelli

La retina contiene due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli. I nomi sono dovuti alla loro forma: i bastoncelli sono lunghi e sottili, mentre i coni hanno una forma conica e sono corti e tozzi.

Entrambi i fotorecettori hanno fondamentalmente la stessa struttura e comprendono quattro regioni:

- il segmento esterno
- il segmento interno
- il corpo cellulare
- la terminazione sinaptica

Nel segmento interno vengono costruite le molecole chiamate fotopigmenti che vengono poi immagazzinate nei dischi lipoproteici, impilati uno sull'altro, del segmento esterno.

Nei bastoncelli troviamo la rodopsina, mentre nei coni possono esserci tre opsine, le quali hanno diversa sensibilità alla luce e in base alla lunghezza d'onda che assorbono, si dividono in: eritropsina, cloropsina, cianopsina (Rossetti & Gheller, 2003).

Il fotopigmento contiene il cromoforo fotoassorbente retinale, un'aldeide della vitamina A, il quale è associato a una proteina appartenente alla famiglia delle opsine.

Le diverse opsine determinano le proprietà di assorbimento della luce per una particolare regione dello spettro. È infatti la componente proteica del fotopigmento, diversa in coni e bastoncelli, che determina la specializzazione funzionale di questi due tipi di fotorecettori (Purves et al., 2013).

La figura 3 mostra i due tipi di fotorecettori della retina, facilmente riconoscibili per l'aspetto del loro segmento esterno.

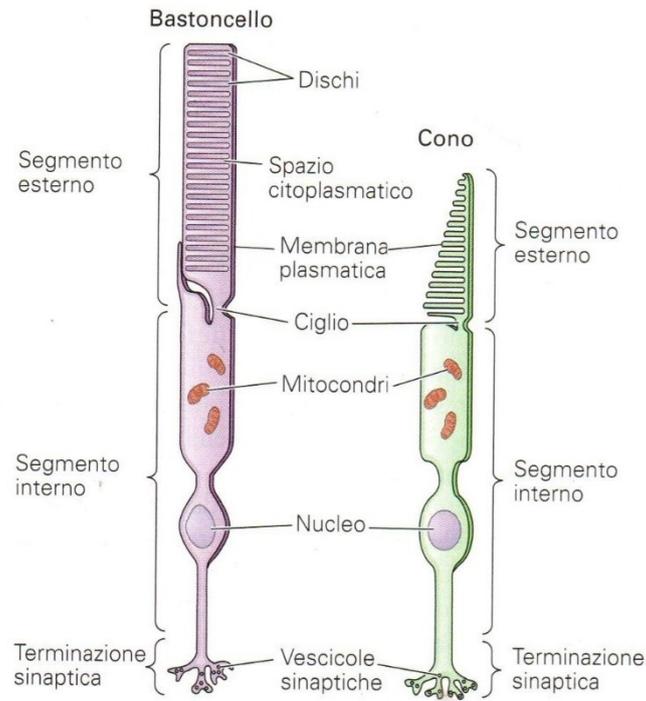


Fig.3: disegno schematico della struttura di un bastoncello, a sinistra, e di un cono a destra.

I bastoncelli hanno un segmento esterno più lungo e cilindrico, che contiene molti dischi. I coni hanno un segmento esterno più corto che va assottigliandosi e al cui interno vi sono relativamente pochi dischi membranosi.

Per questo motivo, il maggior numero di dischi e la maggior concentrazione di fotopigmenti nei bastoncelli li rende mille volte più sensibili alla luce rispetto ai coni. Infatti, in condizioni di luminosità notturna (penombra), o *condizione scotopica*, solo i bastoncelli contribuiscono alla visione.

Diversamente, in condizioni di luminosità diurna, o *condizione fotopica*, i coni eseguono la maggior parte del lavoro (Bear et al., 2016).

### 1.1.2 Distribuzione dei fotorecettori

In ciascun occhio sono presenti circa 120 milioni di bastoncelli e 6 milioni di coni, situati nello strato più esterno della retina sensoriale e distribuiti in modo diverso.

La concentrazione dei coni è massima nella fovea, circa 140.000 per millimetro quadrato, e diminuisce repentinamente verso la periferia, mentre i bastoncelli raggiungono la massima densità a 20° dalla fovea, riducendosi verso il centro e la periferia, e sono completamente assenti in fovea (Bucci, 1993).

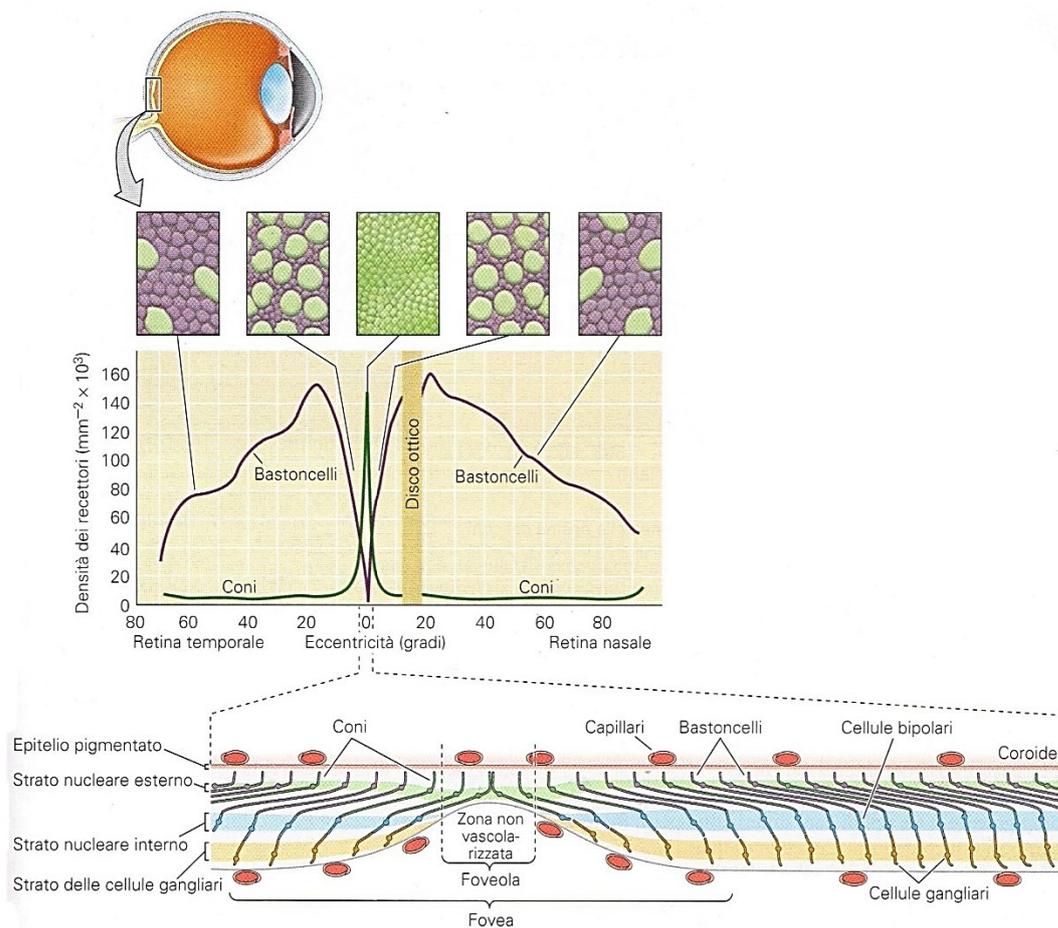


Fig. 4: Organizzazione laminare della retina

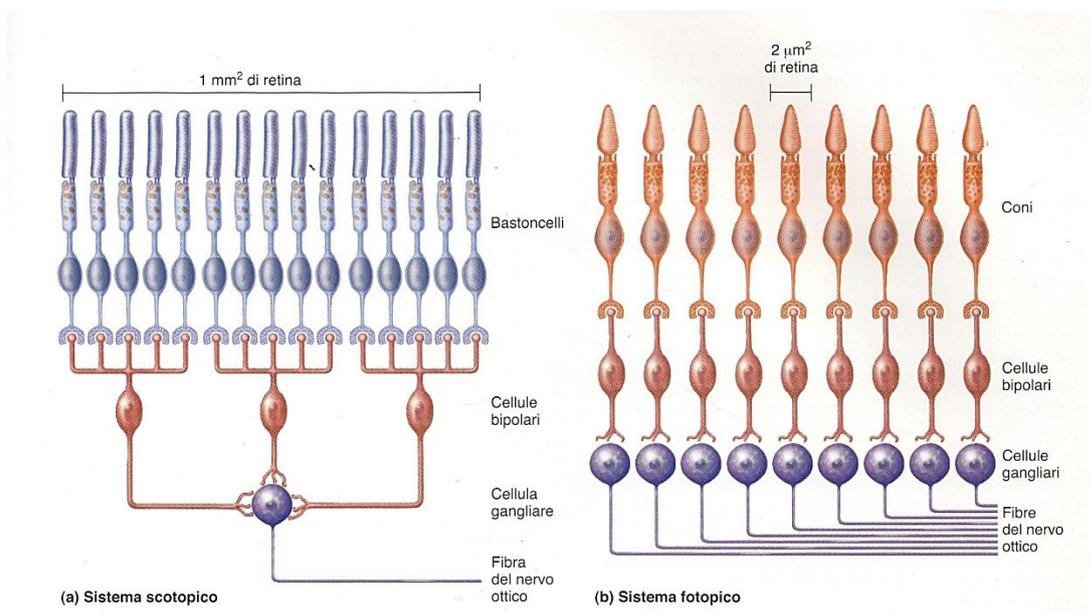
La fovea è la zona retinica, vicino all'asse ottico, che coincide con il centro della direzione di sguardo che rivolgiamo agli oggetti che attirano la nostra attenzione.

In questa zona i corpi cellulari dei neuroni degli strati prossimali della retina sono spostati lateralmente e ciò rende i fotorecettori foveali in grado di essere colpiti

direttamente dalla luce e ricevere l'immagine visiva nella sua forma meno distorta possibile. Per questo motivo, a livello della fovea la visione è più nitida ed è massima l'acuità visiva (Kandel, Schwartz, Jessel, Siegelbeum & Hudspeth, 2015).

Grazie alla loro localizzazione e struttura possiamo riassumere che i bastoncelli sono maggiormente attivi nella visione periferica e grazie alla loro maggiore sensibilità sono specializzati nella visione a bassa luminanza (visione scotopica), ma hanno una minore capacità di "vedere" i dettagli; invece i coni hanno una bassa sensibilità alla luce, ma sono maggiormente attivi nella visione centrale altamente discriminata e nella visione dei colori (visione fotopica), cioè ci permettono di distinguere maggiori dettagli in un'immagine.

Le differenze funzionali dei fotorecettori retinici stanno in due importanti differenze anatomico-fisiologiche: la densità e il grado di convergenza dei fotorecettori sulle cellule gangliari.



*Fig.5: convergenza bastoncelli e coni sulle cellule gangliari*

La periferia retinica, grazie alla maggiore densità di bastoncelli, è più sensibile perché c'è una sommazione del segnale.

Questa sommazione del segnale è data dall'alta convergenza dei bastoncelli sulle cellule gangliari, ovvero più bastoncelli convergono sulla stessa cellula gangliare,

la quale trasmetterà il segnale al cervello, garantendo appunto alta sensibilità, ma bassa acuità.

La fovea è meno sensibile a causa della bassa convergenza tra coni e cellule gangliari, ma grazie a un rapporto uno a uno tra fotorecettore e cellula gangliare, riesce a risolvere punti vicini nello spazio garantendo una maggiore acuità visiva.

## 1.2 Fisiologia della visione

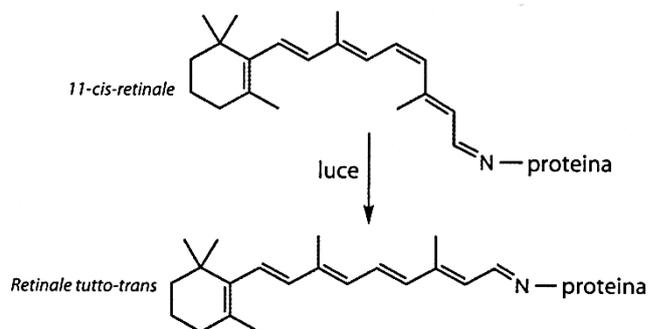
### 1.2.1 Fototrasduzione del segnale

La fototrasduzione è il processo attraverso il quale i fotorecettori della retina convertono l'assorbimento di onde elettromagnetiche in segnale nervoso.

Consideriamo l'esempio dei bastoncelli, in quanto più numerosi nella retina rispetto ai coni, per descrivere come avviene la conversione della luce.

Quando un fotone colpisce un disco del segmento esterno di un fotorecettore, bastoncello nel nostro caso, il fotone viene assorbito dalla rodopsina e dà inizio a una serie di reazioni chimiche a cascata che portano a una variazione del potenziale graduato di membrana.

L'attivazione della rodopsina ha inizio con l'assorbimento di un fotone. Il quanto di luce, incontrando la rodopsina, ne determina lo sbiancamento, che fa sì che il retinale assuma una configurazione diversa, passando da 11-cis a tutto-trans, come mostrato in figura.



*Fig.6: molecola di retinale*

Questa isomerizzazione è l'evento critico che innesca l'attivazione della cascata intracellulare della fototrasduzione, determinando l'insorgenza di una variazione del potenziale di membrana, ossia di un segnale nervoso.

Tale segnale consiste in una iperpolarizzazione, con conseguente riduzione del rilascio di neurotrasmettitore (Presti, 2016).

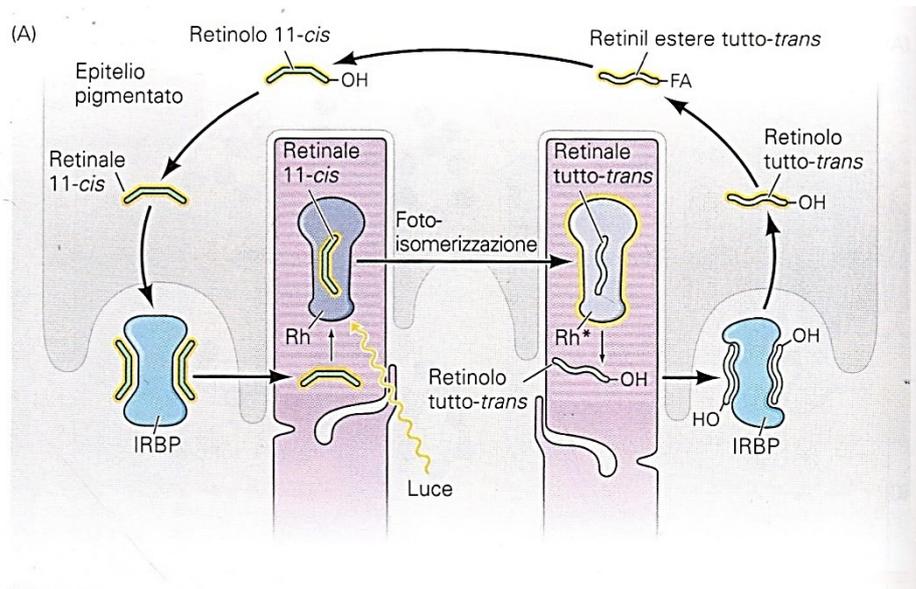
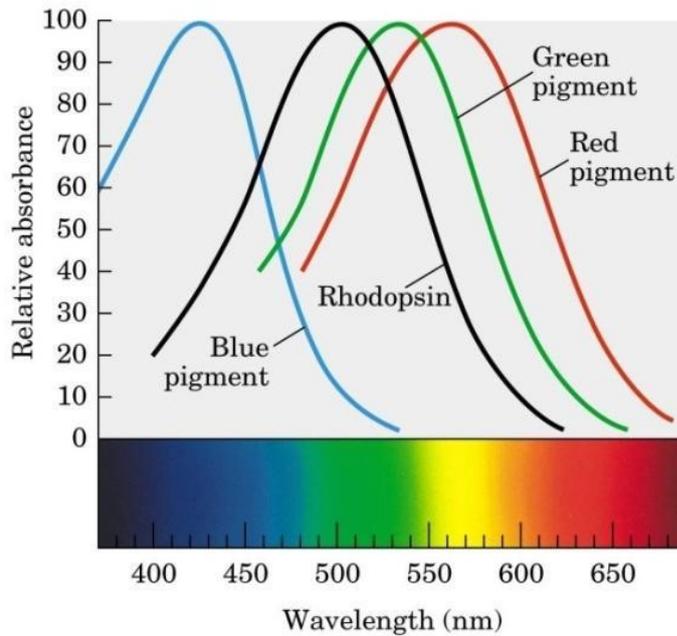


Fig.7: Fototrasduzione

L'ampiezza del potenziale di recettore aumenta all'aumentare dell'intensità dello stimolo luminoso, fino a raggiungere un massimo di iperpolarizzazione oltre il quale ulteriori incrementi dello stimolo non provocano altri effetti (saturazione). La minima intensità luminosa richiesta per attivare il recettore evocando un potenziale di recettore è chiamata soglia.

Analogamente ai bastoncelli, anche il pigmento visivo dei coni è composto da due parti: una proteina, detta opsina dei coni, e una molecola in grado di assorbire la luce che è ancora il retinale 11-cis.

I tre pigmenti dei coni contengono diverse isoforme dell'opsina dei coni, ciascuna delle quali interagisce in modo diverso con il retinale 11-cis rendendolo più sensibile a una banda specifica dello spettro visibile, sensibilità che sta alla base della visione tricromatica dell'uomo (Bear et al., 2016).



*Fig.8: Sensibilità spettrale dei tre tipi di pigmenti dei coni e della rodopsina dei bastoncelli*

L'immagine mostra la risposta spettrale dei fotorecettori retinici.

Il massimo assorbimento della rodopsina si ha per le bande luminose con lunghezza d'onda di circa 500 nm (nanometri).

La luce di questa lunghezza d'onda, che corrisponde a un verde scuro, è quella che degrada maggiormente i pigmenti dei bastoncelli e cui l'occhio è più sensibile in condizione di bassa luminanza.

I pigmenti dei coni, come spiegato precedentemente, sono di tre tipi in base al tipo di opsina: cianopsina, cloropsina, eritropsina.

Un altro tipo di classificazione dei coni considera il range di assorbimento della luce nello spettro visibile. In questo modo si dividono in coni che assorbono lunghezze d'onda corte (coni S o coni blu), coni che assorbono lunghezze d'onda medie (coni M o coni verdi), e quelli per lunghezze d'onda lunghe (coni L o coni rossi).

Il massimo di assorbimento di questi, si ha rispettivamente a 470 nm, 540 nm e 570 nm (Bucci, 1993).

## 1.2.2 Campi recettivi delle cellule gangliari

L'informazione visiva viene elaborata a partire dai recettori retinici, più precisamente dai coni e dai bastoncelli, e poi dalle cellule gangliari i cui assoni formano il nervo ottico fino ad arrivare ai centri cerebrali.

Gli studi di Stephen Kuffler del 1950 portarono a scoprire che ciascuna cellula gangliare risponde alla stimolazione di una piccola area circolare della retina, che costituisce il **campo recettivo** della cellula.

Da questi studi si poterono distinguere due classi di cellule gangliari: quelle centro-on e quelle centro-off.

Se viene proiettato un punto luminoso al centro del campo recettivo di una **cellula gangliare centro-on**, si registra una scarica di potenziali d'azione. Applicando lo stesso stimolo luminoso al centro del campo recettivo di una **cellula gangliare centro-off** si ottiene, al contrario della situazione precedente, una riduzione della frequenza di scarica, mentre questa risponde con una forte scarica di potenziali d'azione nel momento in cui lo stimolo luminoso si spegne.

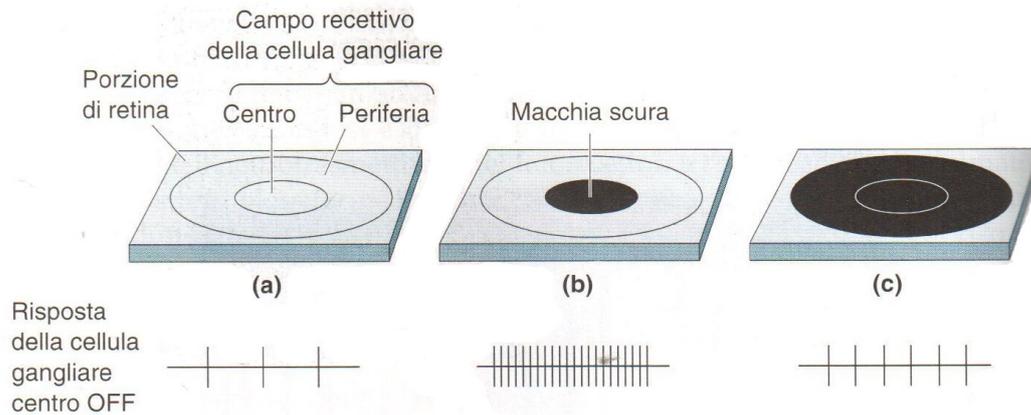


Fig.9: Campo recettivo centro-periferia di una cellula gangliare

I due tipi di cellule rispondono in modo complementare, pertanto le cellule centro-on aumentano la loro frequenza di scarica in presenza di *incrementi* di luminanza al centro del loro campo recettivo, mentre le cellule centro-off aumentano la loro frequenza di scarica in presenza di *riduzioni* di luminanza al centro del loro campo recettivo (Purves et al., 2013).

Le cellule gangliari, oltre alla divisione sulla base del loro campo recettivo centro-on o centro-off, vengono distinte in due vie che funzionano in parallelo: la via parvocellulare (P) e la via magnocellulare (M), le quali comprendono entrambe sia cellule gangliari centro-on sia centro-off.

Le cellule M costituiscono circa il 5% delle cellule gangliari, hanno corpi cellulari e campi recettivi più estesi delle cellule P e i loro assoni mostrano una velocità di conduzione più elevata. Queste cellule hanno elevata sensibilità per frequenze spaziali basse ( $\leq 0,5$  cicli per grado [cpg]), frequenze temporali alte (16-24Hz), basso contrasto di luminanza (2%); sono inoltre sensibili a stimoli con velocità di movimento alta ( $> 6$  gradi al secondo [ $^{\circ}/s$ ]) e a stimoli con presentazione eccentrica rispetto la fovea, mentre non rispondono a stimoli statici o al contrasto di colore. Le cellule M rispondono transitoriamente agli stimoli visivi e sono più sensibili agli stimoli a basso contrasto.

Le cellule P costituiscono il 90% della popolazione retinica e hanno corpi cellulari e campi recettivi di dimensioni minori e rispondono in modo prolungato con una scarica sostenuta, per tutta la durata dello stimolo, con bassa velocità di conduzione. Queste sono sensibili al colore e ai dettagli spaziali fini e vengono eccitate maggiormente da stimoli ad alto contrasto e ad alte frequenze spaziali ( $> 8$ cpg), frequenze temporali basse (1 Hz) con velocità dello stimolo bassa ( $< 2^{\circ}/s$ ) (Kandel et al., 2015).

Il restante 5% sono cellule che non fanno parte né del sistema P né del sistema M, e si riferiscono a un sistema minore detto koniocellulare.

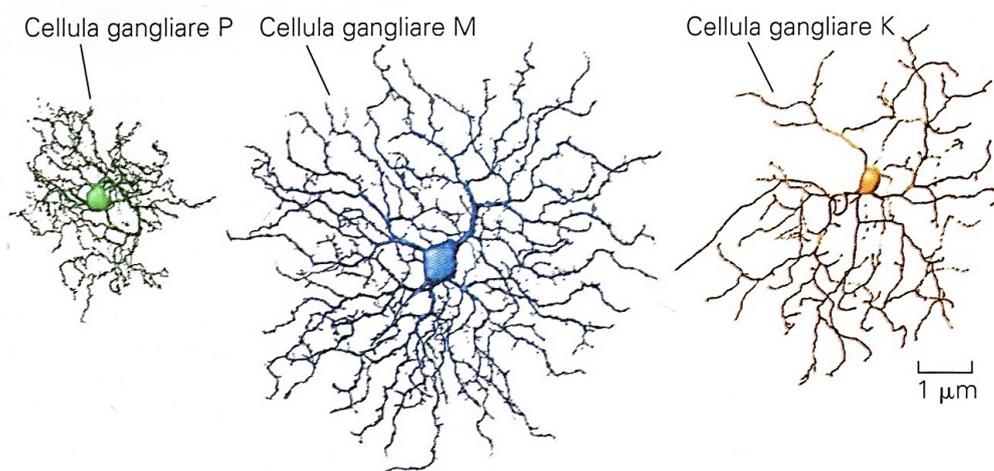


Fig.10 Cellule gangliari Magno, Parvo e Konio

A differenza delle cellule M, solo le cellule gangliari P possono trasmettere informazioni cromatiche grazie ai loro campi recettivi attivati dai coni.

### 1.3 Le vie visive: dalla retina al cervello

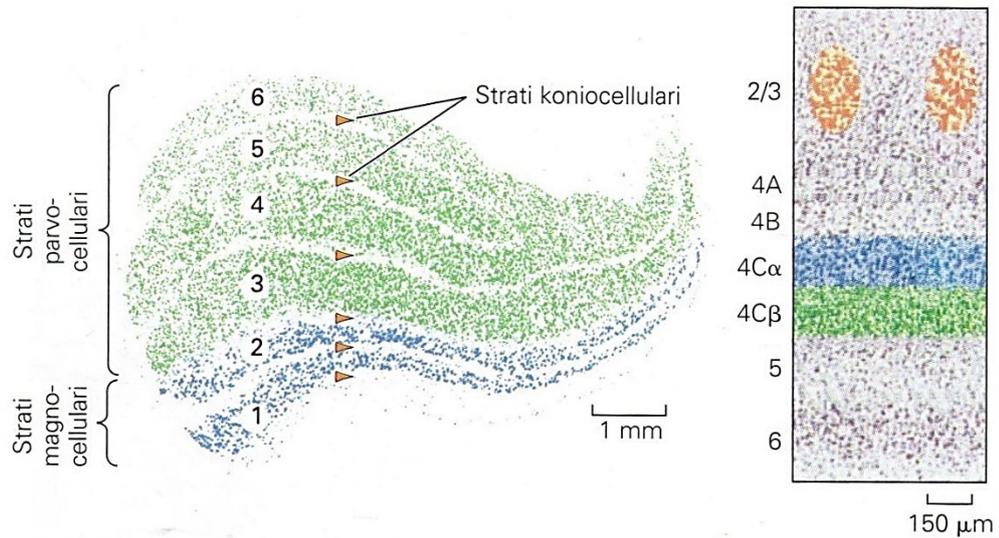
Dalla retina, gli assoni delle cellule gangliari vanno a formare il **nervo ottico**, arrivando poi al **chiasma** ottico dove avviene una decussazione delle fibre provenienti dalle emi-retine nasali che si incrociano, mentre le fibre delle emi-retine temporali non si incrociano.

Dopo il chiasma, attraverso il tratto ottico, il 10% degli assoni del nervo ottico si dirige in una struttura chiamata **collicolo superiore**, che si trova nel mesencefalo. Questa via svolge un ruolo importante nelle risposte rapide a stimoli sensoriali non consapevoli.

Il restante 90% delle fibre del nervo ottico si dirigono al talamo del diencefalo, dove entrano in un paio di strutture chiamate **nuclei genicolato laterali (NGL)** del talamo, ovvero la prima stazione di elaborazione visiva situato al centro del cervello. Gli assoni che portano informazioni dal campo visivo destro si dirigono nel NGL di sinistra, mentre gli assoni che portano informazioni del campo visivo sinistro si dirigono nel NGL di destra (Presti, 2016).

Ogni NGL (quello dell'emisfero destro e quello sinistro) è diviso in sei strati:

- i primi due strati ventrali (1 e 2) ricevono afferenze dalle cellule M e per questo vengono chiamati strati Magnocellulari del NGL;
- gli altri quattro strati (3,4, 5 e 6) ricevono afferenze dalle cellule P e vengono definiti strati Parvocellulari;
- tra i vari strati sono presenti degli strati minori appartenenti alle cellule K che formano la via Koniocellulare.



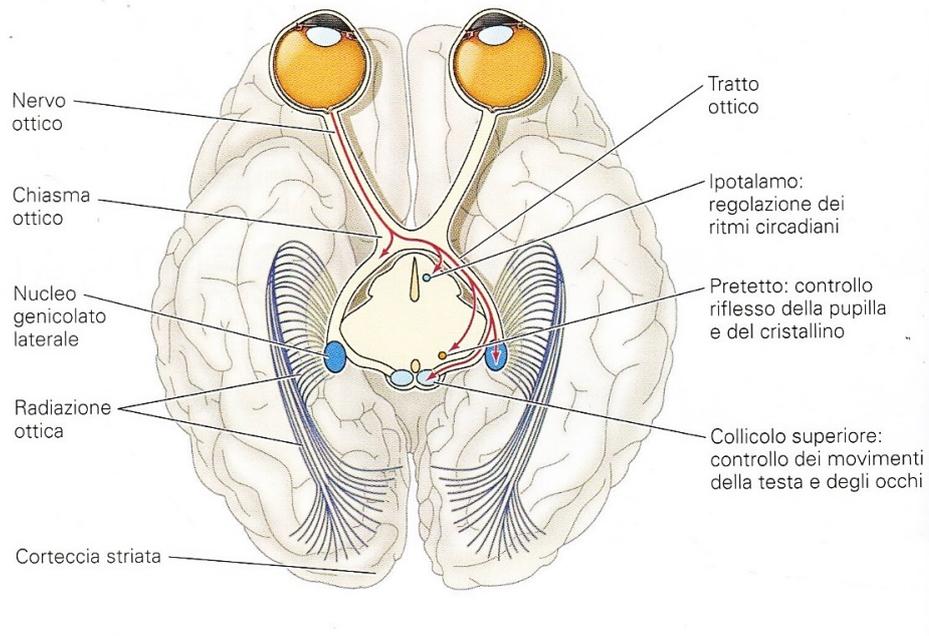
*Fig.11: Strati del nucleo genicolato laterale*

Il contributo della via Koniocellulare alla percezione visiva non è ancora del tutto chiaro, ma sembra che dia delle informazioni aggiuntive al sistema Parvo, riguardo alcuni aspetti della visione cromatica.

Un'importante caratteristica del NGL è che mantiene segregate le informazioni Magnocellulari e Parvocellulari e ogni suo strato riceve informazioni monoculari.

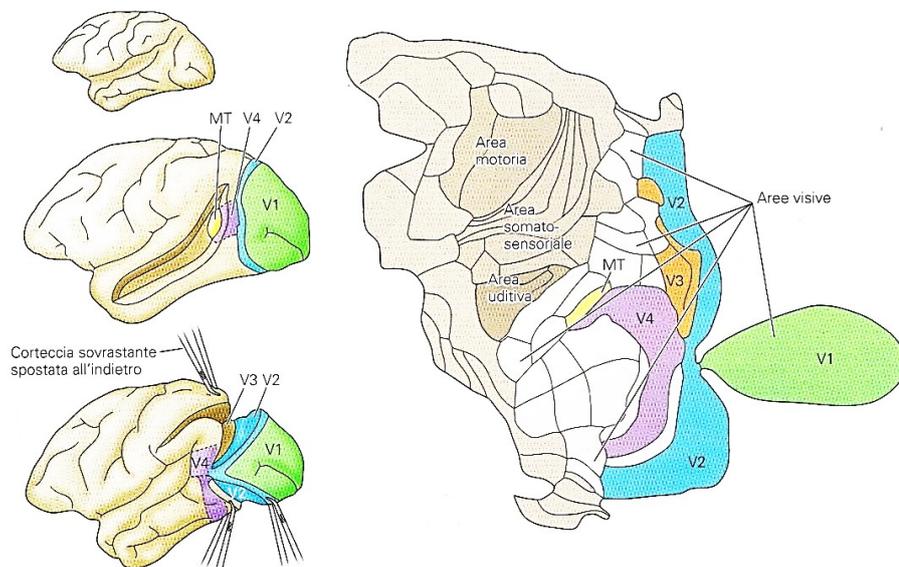
Considerando il NGL destro, gli strati 1, 4 e 6 ricevono informazione dall'occhio controlaterale, ovvero dall'occhio sinistro; mentre gli strati 2, 3 e 5 ricevono informazioni dall'occhio dello stesso lato, detto ipsilaterale, quindi dall'occhio destro.

Le vie visive dal NGL del talamo, attraverso un fascio di fibre chiamate **radiazioni ottiche**, arrivano alla **corteccia visiva primaria V1**, la quale si estende nel lobo occipitale.



*Fig.12: le vie visive*

Le cellule di V1 inviano assoni alle altre aree visive extra-striate della corteccia cerebrale chiamate V2, V3, V4 e V5 (chiamata anche MT che sta per medio-temporale).



*Fig.13: aree della corteccia visiva*

Le informazioni fornite dai due occhi rimangono segregate, fino allo strato della corteccia visiva primaria, e solo nello strato IV – B, dove arrivano le afferenze delle cellule M, e nello strato III, dove arrivano le afferenze delle cellule P, cominciano a trovarsi dei neuroni con campi recettivi binoculari, ovvero che rispondono alla stimolazione di entrambi gli occhi.

Le cellule binoculari sono in grado di valutare la profondità e permettono di stimare la distanza degli oggetti. Il riconoscimento immediato degli oggetti e della loro funzione avviene però grazie all'azione di altre parti del cervello – dette aree associate visive – che collaborano con V1.

Nella corteccia visiva primaria sono riunite tutte le informazioni riguardanti un oggetto grazie alla presenza di neuroni selettivi per porzione retinica, occhio di provenienza, lunghezza d'onda, direzione del movimento, frequenza spaziale e orientamento (Purves et al., 2013).

## 2 Visione periferica

### 2.1 Sistema Parvocellulare e Magnocellulare

L'elaborazione delle immagini viene compiuta da due vie parallele, la via Magnocellulare e la via Parvocellulare, le quali, come abbiamo visto precedentemente, prendono origine fin dalla retina con le cellule gangliari, proseguono nel NGL per poi arrivare alla corteccia visiva primaria (V1) e ad altre zone della corteccia extrastriata.

La via Magnocellulare, detta anche via dorsale, è definita “via del dove”. A essa sono deputate diverse funzioni fondamentali per l'analisi degli stimoli esterni, le principali delle quali sono le seguenti:

- la visione del movimento e localizzazione spaziale degli stimoli
- la stereopsi
- il movimento coordinato degli occhi
- l'attivazione/direzionamento dell'attenzione alla base della visione periferica

Tale via inizia nelle cellule gangliari tipo M della retina, proiettando agli strati Magno del NGL; la via prosegue negli strati IVC $\alpha$  e successivamente agli strati IVB di V1.

Da V1 arriva poi a V2 e V3 proseguendo in V5, ovvero nell'area medio-temporale (MT). Tale zona è importante per l'analisi del movimento e della profondità.

La via Parvocellulare, chiamata anche via ventrale, è definita “via del cosa” e fornisce informazioni riguardo la forma, i dettagli e il colore degli oggetti; inoltre, è fondamentale per il riconoscimento dei volti.

Tale sistema nasce dalle cellule gangliari P della retina che proiettano al NGL; la via prosegue nello strato IVC $\beta$ , successivamente allo strato III di V1, per poi arrivare a V2 e a V4, terminando nella corteccia infero-temporale (Kandel et al., 2013).

Vi sono inoltre diverse aree chiamate associative, ciascuna delle quali è impiegata in funzioni visive specifiche. Alcune di queste aree ricevono informazioni sia dalla via ventrale che dalla via dorsale ed integrano forma e movimento (Culham & Kanwisher, 2001).

### **2.1.1 Percezione del movimento**

Viviamo in un mondo in movimento: l'uomo, gli animali e oggetti inanimati come l'acqua che scorre in un fiume, sono in continuo movimento.

Il movimento è parte integrante della nostra vita ed è una fonte ricca di informazione e di lavoro per la nostra percezione: i nostri sensi, in particolare la vista, ci permettono di rilevarlo per poi elaborarlo.

Gli esseri viventi sono attratti da oggetti in movimento, e la percezione di quest'ultimo ha un significativo valore comportamentale.

La periferia retinica non è in grado di riconoscere nel dettaglio gli oggetti che si trovano nell'estrema periferia del nostro campo visivo, ma è in grado di percepirli se sono in movimento.

A livello di elaborazione visiva, come accennato precedentemente, la via deputata alla percezione ed elaborazione del movimento e localizzazione spaziale degli oggetti e alla coordinazione occhio-mano è quella dorsale, o Magnocellulare.

Come sopra citato, l'area MT (area V5) è fondamentale per l'elaborazione specializzata del movimento. I neuroni dell'area MT hanno campi recettivi di grandi dimensioni e ognuno di essi risponde a una ristretta gamma di direzioni dello stimolo in movimento presentato. Infatti, tutte le cellule di MT sono organizzate in colonne selettive per la direzione, per l'orientamento e per i diversi tipi di movimento.

Oltre l'area MT vi sono altre aree specializzate all'analisi del movimento, come l'area MST (medio temporale superiore) che riceve afferenze dall'area MT.

In questa zona ci sono cellule selettive per movimenti lineari, movimenti radiali, e movimenti circolari.

Grazie a queste elaborazioni siamo in grado di muoverci nell'ambiente con disinvoltura; siamo in grado di dirigere i nostri occhi con movimenti di inseguimento di un oggetto o con rapide saccadi per spostare lo sguardo verso un oggetto periferico che attira la nostra attenzione (Bear et al., 2016).

Per provare che la via magnocellulare fosse effettivamente deputata a elaborare il movimento sono stati svolti diversi studi. Tra questi troviamo studi anatomici ed elettrofisiologici eseguiti su delle scimmie, nei quali analizzarono le loro capacità

di eseguire dei compiti visivi di detezione del movimento, dopo aver lesionato selettivamente gli strati magnocellulari del NGL o l'area MT. Queste lesioni ebbero scarsi effetti sull'acuità visiva e sulla percezione cromatica, ma portarono uno specifico deterioramento della capacità di percepire la direzione del movimento in una configurazione di stimoli in rapido cambiamento (Hubel & Wiesel, 1968; Newsome & Pare, 1988).

Un'altra forte evidenza scientifica, che le aree corticali MT e MST sono cruciali per la percezione del movimento nell'uomo, viene dallo studio di Josef Zihl del 1983 (Zihl, 1983). Zihl e i suoi colleghi studiarono il caso di una donna che, all'età di 43 anni, fu colpita da un ictus che le danneggiò bilateralmente la regione della corteccia visiva striata omologa all'area MT studiata nelle scimmie, deputata alla percezione del movimento.

La donna, oltre a dimostrare evidenti disturbi dovuti all'ictus, mostrò di avere molte funzioni, anche visive, ancora intatte, a eccezione di una serie di disturbi specifici: sembrava incapace di percepire visivamente il movimento. Per esempio, aveva difficoltà a versare il the nella tazza perché le appariva congelato fino a quando lo vedeva improvvisamente traboccare; oppure la sua difficoltà nel seguire una conversazione per il fatto che non percepiva i movimenti della bocca del suo interlocutore.

Un'altra problematica, più pericolosa, era la difficoltà della donna nell'attraversare la strada poiché non era in grado di valutare il movimento delle automobili che sopraggiungevano.

Questo caso fu la prova lampante per dimostrare la correlazione tra la percezione del movimento e la sua elaborazione tramite la via dorsale (Zihl, Cramon & Mai, 1983).

## 2.3 Ruolo dell'attenzione

L'attenzione è la nostra capacità di focalizzazione sia del pensiero su un argomento, sia dell'ascolto di una persona in particolare tra tante altre che parlano nella stessa stanza, sia della vista su un oggetto, filtrando il resto.

Lo psicologo e filosofo William James nel 1890 scrisse: "L'attenzione è il prendere possesso da parte della mente in chiara e vivida forma di uno fra tanti oggetti e fra tanti treni di pensieri possibili. Esso comporta il ritrarsi della mente da alcune cose per poter operare su altre con grande efficienza".

Infatti, anche nella visione, l'attenzione è fondamentale per concentrarci sugli stimoli che ci interessano e trascurarne altri. L'atto di elaborare in modo differente delle fonti simultanee di informazioni, preferendone alcune, è chiamata attenzione selettiva, la quale permette di prediligere degli stimoli ignorando altri possibili elementi di disturbo.

L'attenzione visiva di solito coincide con la visione foveale, ovvero nel portare la nostra direzione di sguardo nell'oggetto o dettaglio che vogliamo osservare. Con questo non è detto che oggetti che si trovano nel nostro campo visivo periferico non possano essere visti: se qualcosa ci distrae, la nostra attenzione automaticamente si sposta sul nuovo oggetto (Bear et al.,2016).

Inoltre, è possibile spostare la nostra attenzione su oggetti che si trovano nel nostro campo visivo periferico, senza spostare il nostro sguardo direttamente verso lo stimolo.

Questo fenomeno è stato studiato da Posner con l'introduzione del paradigma che prese il suo nome. Questo paradigma ha segnato un sostanziale passo in avanti nella comprensione di come viene orientata l'attenzione.

Nel paradigma di base, il compito, misurato attraverso i tempi di reazione, consiste nella detezione di un semplice stimolo visivo in uno schermo. Il soggetto deve visualizzare costantemente un punto al centro dello schermo e determinare se a destra o a sinistra compare o meno lo stimolo. La presentazione dello stimolo viene preceduta dall'apparizione di un segnale di suggerimento (stimolo cue), ovvero una freccia che indica la direzione nella quale stimolo può apparire con probabilità maggiore. Il suggerimento può essere valido se lo stimolo appare proprio nella

direzione suggerita, invalido se lo stimolo appare nella direzione opposta al suggerimento o neutro se viene presentato un semplice simbolo di allerta.

È stato così verificato che nelle prove con suggerimento valido si ha un miglioramento delle prestazioni rispetto alla condizione neutra, anche senza il movimento degli occhi indirizzato verso lo stimolo; invece, nelle prove con suggerimento invalido, si ha un peggioramento (Posner, 1980).

I nostri occhi nell'esplorare un oggetto, o una scena, compiono rapidi movimenti chiamati saccadi che ci consentono di spostare gli occhi velocemente da un punto a un altro dello spazio, rinnovando l'immagine retinica; diversamente, per seguire con attenzione un oggetto in movimento, utilizziamo un movimento continuo degli occhi, chiamato inseguimento.

La tendenza a spostare la nostra attenzione verso stimoli nuovi, situati in zone periferiche del nostro campo visivo, è importante per la sopravvivenza in quanto l'attenzione permette di reagire in modo efficace in situazioni di pericolo.

L'attenzione periferica ci consente di cogliere, o almeno di non perdere, ciò che è periferico rispetto al punto di fissazione.

Secondo Loftus e Mackworth dirigere la nostra attenzione verso uno stimolo inatteso ci aiuta a identificarlo e questo implica il ruolo importante dei fattori cognitivi nell'elaborazione visiva periferica (Loftus & Mackworth, 1978).

## **2.4 Campo visivo**

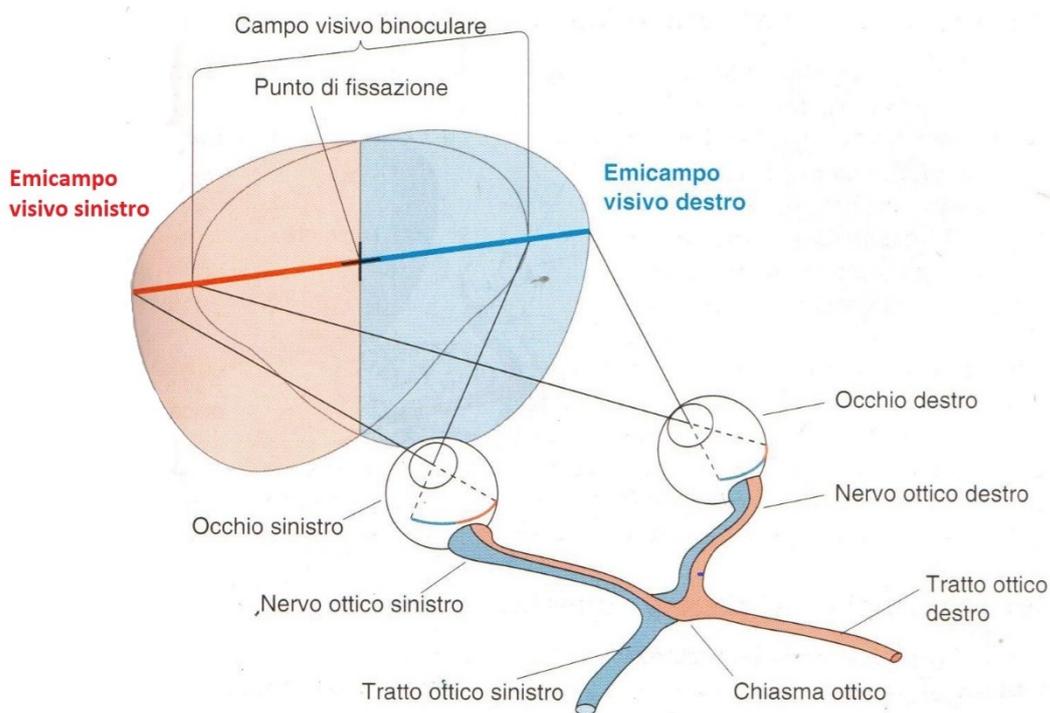
Il campo visivo è la parte del mondo esterno visibile dai due occhi in assenza di movimenti della testa e degli occhi stessi.

Questo può essere diviso in due porzioni immaginando una linea verticale che passa per il punto di fissazione: una zona sinistra (emicampo sinistro) e una zona destra (emicampo destro).

L'emicampo sinistro proietterà le immagini sull'emiretina nasale dell'occhio sinistro e su quella temporale dell'occhio destro, mentre, le immagini dell'emicampo destro cadranno sull'emiretina nasale dell'occhio destro e su quella temporale dell'occhio sinistro.

Le porzioni di campo visivo temporali sono più estese delle porzioni nasali a causa della limitazione data dalla conformazione anatomica prominente del naso e dell'arcata sopraccigliare.

Guardando un oggetto dritto davanti a noi, prima con entrambi gli occhi aperti e poi chiudendo alternativamente prima un occhio e poi l'altro, ci rendiamo conto che la porzione centrale del campo visivo è vista da entrambe le retine: quest'area è chiamata campo visivo binoculare; diversamente, le porzioni minori del campo visivo più periferiche sono monoculari (Purves et al., 2013).



*Fig.14: Emicampo visivo destro e sinistro*

Come si vede nell'immagine in Fig.14, la porzione binoculare dell'emicampo visivo sinistro viene proiettata nella porzione di retina nasale dell'occhio sinistro e nella porzione di retina temporale dell'occhio destro. Viceversa, per la porzione binoculare dell'emicampo destro.

I limiti del campo visivo monoculare misurato in gradi, a partire dal punto di fissazione, sono circa 60° superiormente, 75° inferiormente, 100° temporalmente e 60° nasalmente. Inoltre, all'interno del campo visivo temporale, si trova la macchia cieca (o punto cieco), ovvero la zona da cui escono gli assoni delle cellule gangliari

retiniche formando il nervo ottico. Questa zona cieca ha circa le dimensioni di  $5,5^\circ$  in larghezza e  $7,5^\circ$  in altezza ed è priva di fotorecettori, motivo per il quale la luce non viene rilevata. Noi però non ci accorgiamo e siamo inconsapevoli di questa cecità; inoltre, in visione binoculare, il sistema visivo utilizza l'informazione di un occhio per riempire la macchia cieca dell'altro occhio (Bucci,1993).

A livello cerebrale, tutto il campo visivo destro viene elaborato dall'emisfero cerebrale sinistro, mentre il campo visivo sinistro viene elaborato dall'emisfero destro. Questo è dato dal fatto che i due nervi ottici, quando giungono al chiasma ottico, decussano parzialmente: i fasci di assoni corrispondenti alle emiretine nasali si incrociano procedendo verso i tratti ottici controlaterali, mentre gli assoni delle emiretine temporali non decussano, procedendo nello stesso lato.

#### **2.4.1 Mappa retinotopica e magnificazione corticale**

Con il termine mappa retinotopica si intende la proiezione ordinata e puntuale della retina nei centri encefalici superiori.

Con questo tipo di organizzazione neurale, le cellule gangliari retiniche, che si trovano spazialmente vicine, sono connesse e inviano informazioni alle cellule corrispondenti, spazialmente vicine, nel NGL.

Le cellule del NGL, a loro volta inviano le informazioni alle cellule corrispondenti in V1. La particolarità della corteccia visiva V1 è la sua organizzazione in ipercolonne.

Per ipercolonna si intende un blocco di corteccia striata che contiene tutti i meccanismi necessari per l'elaborazione degli stimoli visivi, a lei deputati, di una determinata area del campo visivo monoculare (Hubel 1982).

Hubel e Wiesel, con i suoi studi, affermarono che una porzione di corteccia corrispondente a 2 millimetri quadrati, è necessaria e sufficiente per analizzare l'immagine di un punto nello spazio.

In questo modo ogni porzione del campo visivo viene rappresentato ed elaborato nella corteccia visiva e la superficie bidimensionale della retina viene tracciata come una mappa nelle strutture successive.

La mappatura del campo visivo, a livello corticale, non viene però ricostruita con un rapporto uno a uno tra punto del campo visivo e punto nella corteccia cerebrale; infatti, ci sono molte più cellule gangliari, con campi recettivi nella zona foveale,

che elaborano il campo visivo centrale, rispetto a quelle presenti nella periferia della retina. Questo significa che la rappresentazione del campo visivo subisce una distorsione spaziale nella corteccia striata: la limitata zona centrale del campo visivo viene maggiormente rappresentata e notevolmente ingigantita, ovvero magnificata, nella mappa retinotopica.

La magnificazione corticale descrive quanti neuroni, in una data area della corteccia visiva, sono responsabili per il processamento di un determinato stimolo, con una determinata dimensione, in funzione della sua posizione nel campo visivo (Bear et al. 2016).

#### **2.4.2 Affollamento visivo della periferia del campo visivo**

Nella periferia del campo visivo si verifica il fenomeno dell'affollamento visivo, o crowding, ed è definito come l'influenza deleteria degli elementi di contorno vicini a uno stimolo target.

La visione periferica è caratterizzata da una scarsa risoluzione spaziale. Inoltre, la visione spaziale periferica viene ulteriormente compromessa quando le caratteristiche sono presentate in disordine. Ad esempio, è stato studiato e verificato che la capacità di riconoscere una piccola lettera isolata, presentata nella periferia del campo visivo, è molto più facile rispetto a quando la stessa lettera viene presentata circondata da altre lettere (elementi di contorno).

Il riconoscimento della lettera nella visione periferica è compromesso da lettere affiancate fino a 0,5 volte l'eccentricità della lettera target (Toet & Levi, 1992).

Quello che viene influenzato non è la detezione dello stimolo, nel senso che il soggetto vede la presenza della lettera, ma non riesce a distinguerla se sono presenti altre lettere attorno.

L'affollamento visivo influenza anche il riconoscimento di stimoli più complessi come i volti.

In un mondo visivo, come può essere una stanza in cui sono presenti persone, componenti di arredo e oggetti di vario tipo, ogni elemento ha la propria struttura più o meno complessa e le proprie caratteristiche. Questi possono essere distribuiti in modo più o meno disordinato nello spazio, in posizioni ravvicinate o sovrapposte.

Per riconoscere un oggetto in particolare, il soggetto dovrà mentalmente isolare l'oggetto e le singole parti che lo compongono e integrarle per renderle riconoscibili.

Nei test per l'affollamento visivo viene misurato lo spazio critico, ovvero la distanza alla quale i fianchi (elementi vicini) degradano la performance di un soggetto rendendo il compito difficile.

Si ha affollamento visivo se la separazione è inferiore allo spazio critico e questo non viene influenzato dalla dimensione del target e degli elementi di contorno (Bouma, 1970).

## **3 Ruolo della visione periferica**

### **3.1 Ruolo del defocus periferico nella progressione miopica**

A livello optometrico la periferia retinica ha un ruolo nel difetto visivo di un soggetto.

Da vari studi è emersa l'ipotesi che la visione periferica possa influenzare la condizione refrattiva e la progressione della miopia.

La miopia è una condizione refrattiva multifattoriale le cui cause sono dovute a più aspetti: dal fattore genetico, ambientale, posturale, dallo stress visivo, dall'eccessiva attività visiva prossimale, fino alle carenze vitaminiche e minerali.

La miopia è un difetto visivo in cui il piano focale dell'immagine si trova in un piano situato prima del piano retinico in condizioni di accomodazione rilassata, considerando l'osservazione di un oggetto posto all'infinito. Il soggetto miope, infatti, ha difficoltà della visione da lontano.

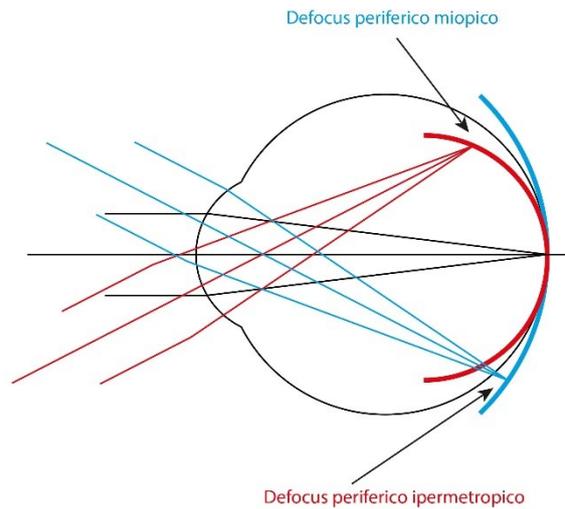
La refrazione dell'occhio è caratterizzata da diverse componenti oculari correlate, le quali sono: la lunghezza assiale del bulbo, la profondità della camera anteriore, la curvatura della cornea e lo spessore del cristallino.

Un occhio miope è il frutto di una disarmonia tra le varie componenti: generalmente si nota una più elevata lunghezza assiale oppure una cornea o un cristallino troppo curvi rispetto alle dimensioni totali dell'occhio.

Con refrazione periferica si intende la posizione del punto focale dei raggi fuori dall'asse visivo primario che arrivano all'occhio quando i raggi orizzontali sono focalizzati sulla fovea.

I raggi periferici che non giungono al piano retinico, ma in un piano anteriore o posteriore a esso, creano una sfuocatura periferica chiamata defocus periferico.

Il defocus periferico può essere di tipo miopico se i raggi in periferia focalizzano prima della retina, oppure di tipo ipermetropico se i raggi giungono in zone posteriori alla retina.



*Fig 15: defocus periferico*

Nel soggetto miope, la forma prolata del bulbo va a creare quello che viene definito defocus periferico ipermetropico, cioè i raggi luminosi che vanno a fuoco in corrispondenza della zona retinica centrale, in periferia vanno a fuoco posteriormente alla retina: in questo modo la zona visiva centrale rimane emmetrope mentre nella periferia si crea uno stato refrattivo ipermetropico (Rossetti & Gheller, 2003).

L'ipotesi attualmente più diffusa è che l'ipermetropia periferica costituisca un fattore predisponente allo sviluppo e progressione della miopia e, se così fosse, la correzione dell'errore periferico si tradurrebbe in un minor tasso di progressione miopica.

In uno studio svolto su un campione di scimmie, Smith et al. hanno verificato in due modi se la progressione miopica centrale viene effettivamente influenzata dal defocus ipermetropico periferico. Nella prima fase hanno applicato delle lenti sferiche, su occhi non trattati, che hanno indotto una miopia centrale ed un defocus periferico ipermetropico.

In un secondo momento, hanno rimosso la fovea tramite fotoablazione. Tale tecnica non si è rivelata sufficiente a prevenire la progressione della miopia e gli autori hanno quindi concluso che l'errore refrattivo periferico è determinante nello sviluppo dell'errore refrattivo centrale (Smith & Hung 1999).

Dato che, come abbiamo visto nelle valutazioni di Smith, la defocalizzazione ipermetropica, imposta sperimentalmente, promuove la miopia assiale in molti animali (comprese le scimmie), è ragionevole ipotizzare che il defocus ipermetropico nella periferia, possa promuovere la miopia assiale anche nell'uomo. Ci sono studi più recenti svolti su bambini e adulti che avvalorano questa teoria.

Uno studio di Berntsen et al., ha voluto determinare gli effetti dell'uso di lenti oftalmiche progressive e monofocali sul defocus periferico in 84 bambini miopi di età compresa tra i 6 e gli 11 anni. Gli autori di tale studio hanno cercato di verificare gli effetti del defocus periferico miopico rispetto al defocus periferico ipermetropico nella progressione dell'ametropia centrale (miopia). Dopo 12 mesi, è stato riscontrato un defocus periferico ipermetropico nei soggetti corretti con lenti monofocali per tutti i gradi di eccentricità studiati. Nei soggetti con lenti progressive, invece, è stato trovato un defocus periferico miopico tranne che nei 20 gradi inferiori. La variazione della miopia centrale è stata di -0,38 D nei bambini con lenti progressive e di -0,65 D nei bambini con lenti monofocali.

Gli autori hanno potuto affermare che l'uso di lenti progressive produce un defocus periferico miopico e una minor progressione miopica nel tempo, Questo va a sostegno della continua ricerca di un design ottico che supporti il defocus miopico periferico o il minor defocus ipermetropico possibile come potenziale via per il rallentamento della progressione miopica (Bernsten et al. 2013).

Un'ulteriore conferma, riguardo l'influenza della visione periferica sull'allungamento assiale oculare, è data da uno studio nel quale è stato notato che, a differenza di un soggetto miope, gli occhi di un ipermetrope sono perifericamente miopi. Per questo è stato ipotizzato che solo un defocus periferico miopico può bloccare la progressione della miopia. (Mutti D.O. 2010)

Studi recenti hanno messo in dubbio questa teoria, ritenendo il defocus ipermetropico periferico non direttamente collegabile alla progressione miopica.

Lo studio di Sng et al., svolto su un campione di 187 bambini in età prescolare e lo studio di Mutti D. et al su un ulteriore campione di bambini, valutarono la correlazione tra miopia e defocus ipermetropico. Dalle loro valutazioni e conclusioni al follow up, hanno ritenuto che l'ipermetropia periferica sembri avere poca influenza nell'insorgenza della miopia e nella sua progressione o sull'allungamento assiale del bulbo oculare (Sng et al. 2011; Mutti et al. 2011).

Complessivamente, finora gli studi svolti sull'uomo non sono stati in grado di confermare gli esperimenti fatti sugli animali nei quali è stato riscontrato il ruolo della refrazione periferica nel processo di emmetropizzazione.

Inoltre, gli studi sull'uomo e sugli animali non sono direttamente comparabili, poiché gli studi sull'uomo non implicano l'imposizione di ipermetropia periferica o ablazione foveale.

Complessivamente, dagli studi fatti sull'uomo si trovano ancora pareri contrastanti, e non risulta del tutto chiaro se, e in quale misura, il defocus periferico incida sul difetto visivo del soggetto e nella sua progressione.

### **3.2 Ruolo della visione periferica nella lettura**

Leggere è un'abilità complessa che richiede padronanza e coordinamento di una serie di processi biologici come i movimenti oculari, fissazione e accomodazione.

La periferia del campo visivo è funzionale alla lettura svolgendo il compito di pre-elaborazione. Quando leggiamo una riga di un testo, elaboriamo la parola che stiamo osservando in un preciso istante e contemporaneamente pre-elaboriamo la parola successiva, senza rendercene conto.

Nella fase di pre-elaborazione il nostro sistema visivo stima la lunghezza della parola successiva e questo serve per programmare una saccade efficiente. Per essere funzionale, la saccade deve finire al centro della parola, altrimenti la lettura viene rallentata.

La lettura, infatti, è caratterizzata da movimenti saccadici e da fissazioni. Le saccadi sono movimenti oculari molto rapidi definiti balistici in quanto la loro traiettoria una volta iniziata non può essere modificata, e possono raggiungere una velocità fino a 900° al secondo e impiegano 150-200 ms per essere pianificate ed eseguite (Goldbert et al. 1991).

I movimenti oculari sono indotti dalle aree del lobo frontale, le quali sono connesse con le aree visive mediotemporali MT che codificano il movimento durante i

movimenti oculari. Le aree parietali sono coinvolte nello spostamento attentivo verso il bersaglio nei movimenti saccadici e di inseguimento.

La fovea e la periferia eseguono un diverso livello di analisi visiva. La visione periferica integra in modo grossolano alcune caratteristiche e fornisce una pre-segmentazione grezza che permette una selezione delle regioni salienti come possono essere i contorni degli oggetti o le parole, utile per le saccadi successive.

In un paragrafo precedente è stato trattato il fenomeno dell'affollamento visivo (o crowding) presente in periferia; questo è presente anche nella lettura e ne influenza la velocità.

Levi e colleghi si sono chiesti se effettivamente, il fatto che esista affollamento visivo nella periferia, influenzasse il processo di lettura. La loro ipotesi era che allargando la spaziatura tra le lettere, riducendo così il crowding della parola pre-elaborata dalla parafovea, doveva aumentare la velocità di lettura. Scopirono effettivamente che raddoppiando la spaziatura, raddoppia la velocità di lettura, dimostrando che la variabile importante non è la dimensione delle lettere ma la spaziatura tra esse (Levi et al. 2007).

La visione periferica non porta solo affollamento visivo, ma facilita la lettura. Durante la fissazione acquisiamo informazioni dalla parola fissata ma anche da quella a destra e a sinistra della fissazione riconoscendo 4 lettere a sinistra e 6/8 lettere a destra dal punto di fissazione.

Inhoff e Ryner hanno confrontato la durata di una fissazione, nella lettura, nel caso di effettiva pre-elaborazione della parola successiva e nel caso di assenza di pre-elaborazione da parte della parafovea. Nel secondo caso hanno cambiato la parola, successiva alla prima fissazione, sostituendola con un'altra. Questo è possibile, senza che il soggetto si accorga dello scambio, grazie alla soppressione saccadica (Inhoff & Ryner, 1986).

È stato così verificato che la durata della fissazione di una parola è circa 30 ms più breve quando la parola era precedentemente vista dalla parafovea rispetto a quando non era pre-vista.

Molti studi hanno cercato di capire tutti i meccanismi che possono influenzare un compito di lettura e molti autori sostengono tutt'ora la teoria della correlazione tra

il deficit di lettura riscontrati nei soggetti dislessici e l'alterazione della via Magnocellulare.

Sappiamo che le cellule magnocellulari sono incaricate nel riconoscimento del movimento come lo sono le lettere che scorrono sotto la scansione dei movimenti oculari e sono fissate per brevissimo tempo (Stella, 2004).

Il deficit forse più evidente nei soggetti dislessici è la velocità ridotta di processamento del testo.

### **3.4 Test per la valutazione della visione periferica**

Nella clinica vi sono degli esami specifici per la valutazione della visione periferica, i quali si basano sull'indagine dell'integrità del campo visivo, determinando i limiti estremi dell'area di percezione della retina periferica e la differenza di sensibilità all'interno dell'area stessa.

In questo caso non vengono utilizzate mire con lettere e simboli, valutando la lettera più piccola che viene percepita nei vari punti dello spazio visivo quando l'occhio è immobile, come nel caso della misurazione dell'acuità visiva. Diversamente, viene misurata la soglia luminosa dei vari punti del campo visivo, ovvero la sensibilità che il sistema visivo ha di percepire uno stimolo presentato su uno sfondo a contrasto. Lo stimolo soglia corrisponde a quello che può essere percepito il 50 % delle volte quando viene presentato in un determinato punto del campo visivo.

Ogni punto del campo visivo ha una sua soglia visiva, costituita dallo stimolo più debole che quel punto riesce a percepire nelle condizioni d'esame.

La perimetria è la principale metodica diagnostica che consente di testare in modo sistematico il campo visivo e può essere effettuata in modalità cinetica o statica.

La perimetria cinetica prevede il movimento dello stimolo presentato, mentre nella perimetria statica vengono presentati degli stimoli fissi e viene variata la loro luminanza in punto specifico del campo visivo definendo il valore di soglia per tutti i punti del campo visivo.

L'esame perimetrico viene svolto dal medico oculista in caso di indagine o controllo di una possibile patologia che interessa il campo visivo, la quale ne compromette la sua integrità.

Alcune patologie associate a un restringimento del campo visivo sono: retinite pigmentosa, degenerazione maculare, glaucoma, distacco di retina e altre.

### **Test optometrici**

In ambito optometrico è possibile svolgere una valutazione di screening del campo visivo con metodi molto semplici. Questi test non hanno valenza clinica, ma con essi possono emergere delle possibili anomalie. In tal caso, si consiglia al soggetto di recarsi dal suo medico oculista per accertamenti.

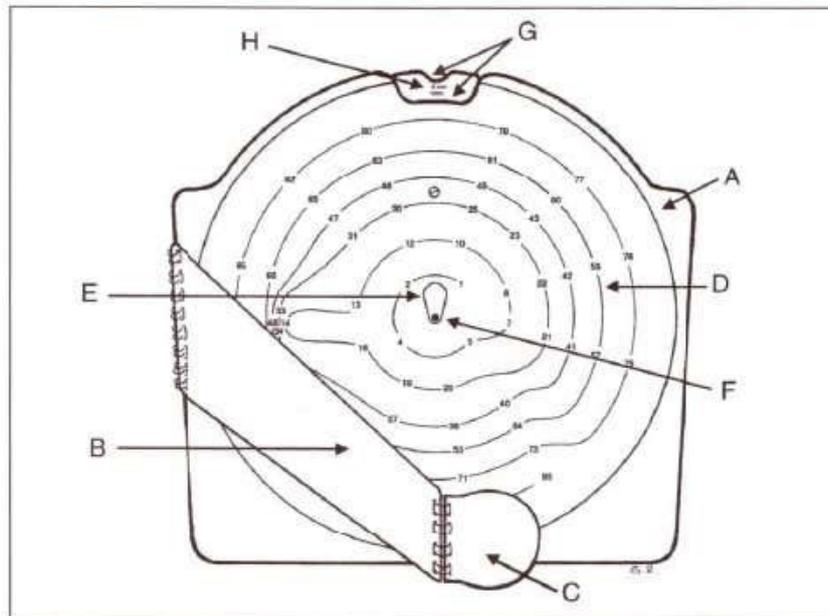
### **Campimetro e perimetro manuali**

In alternativa al campimetro computerizzato è possibile svolgere un esame preliminare utilizzando il campimetro manuale di Damato per valutare i 30° di campo visivo centrale, e l'Hand Disc Perimeter per valutare l'estensione perimetrica del campo visivo.

Entrambi i test si eseguono in condizione fotopica per valutare la capacità di rilevare una mira luminosa da uno sfondo ben illuminato.

- **Campimetro manuale di Damato:** tale strumento permette la valutazione dei 30° centrali del campo visivo ed è simile a un disco orario con cerchi concentrici su entrambi i lati: su una facciata è presente uno schema che permette di esaminare l'occhio destro e sulla facciata opposta si trova lo schema per la valutazione dell'occhio sinistro. Ogni lato mostra uno stimolo centrale circondato da una serie di numeri e mire di fissazione. Il paziente guarda una mira di fissazione in modo da poter valutare 30 aree rilevanti del campo visivo. Mentre il paziente mantiene la fissazione sulla mira progressivamente indicata, l'esaminatore gira il disco in modo che lo stimolo nero su sfondo bianco appaia brevemente nella finestra centrale del test. Un occlusore su un braccio attaccato al test permette l'occlusione di un occhio e mantiene la corretta distanza del paziente dal test. Lo stimolo è un

pallino nero su fondo bianco, disponibile in due diametri (1,5 o 3 mm). L'assenza di stimolo del punto cieco è la tecnica usata come controllo. Gli stimoli non riconosciuti vengono segnati su una carta ridotta che rappresenta fedelmente la griglia del test (R.I.O., 2013).



*Figura 16: Campimetro manuale di Damato*

*Viene mostrata la scheda (A), il braccio per il controllo della distanza (B), l'occlusore (C), lo schema a spirale del test (D), la finestra di presentazione dello stimolo (E), lo stimolo (F), la finestra di rotazione del disco (G) e la descrizione dello stimolo (H).*

- **Hand disk perimeter:** è costituito da mire di fissazione nel centro di curvatura e punti di stimolazione posti lungo la superficie. Il test viene eseguito, di norma, lungo i meridiani principali a 180°, 90°, 45° e 135°, ma può essere eseguito lungo qualunque meridiano. Si chiede al soggetto di mantenere la fissazione della mira posta nel centro di curvatura e di avvisare quando lo stimolo luminoso è percepito, partendo dal non visto al visto (R.I.O., 2013).



*Fig. 17: Hand disk perimeter*

### **Test del confronto**

La tecnica del confronto consiste in una valutazione semplice e grossolana del campo visivo. L'esaminatore si siede di fronte al soggetto a una distanza di 50 cm. L'esame viene svolto invitando il paziente a chiudere un occhio e a guardare con l'occhio scoperto, ovvero quello esaminato, l'occhio opposto dell'esaminatore. Anche l'esaminatore terrà chiuso l'altro occhio ed esamina il soggetto muovendo una mira, tenuta in mano, in varie direzioni dalla periferia verso il centro del campo visivo, a metà distanza tra se stesso e la persona esaminata.

Durante questa procedura, il soggetto deve avvisare quando vedrà apparire la mira tenuta dall'esaminatore.

In questo modo l'esaminatore potrà confrontare il suo campo visivo con quello del soggetto.

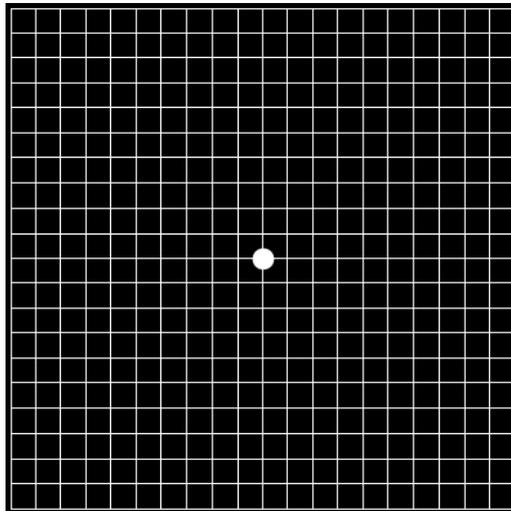
Questo test è approssimativo, ma agevole e rapido e permette di evidenziare eventuali restringimenti perimetrici solo se di notevole entità. Inoltre, non dà alcuna informazione sull'integrità del campo visivo centrale (Midena, 2006).

## Test di Amsler

Il test di Amsler, o grata di Amsler, permette di evidenziare delle anomalie del campo visivo centrale.

Si tratta di una griglia formata da linee verticali e orizzontali di colore bianco con un pallino al centro su sfondo nero. Il soggetto deve tenere tra le mani la mira, ponendola a una distanza di 30/40 cm, e coprendo un occhio, deve fissare con il controlaterale il punto bianco al centro della griglia.

Il soggetto deve localizzare eventuali distorsioni o interruzioni della griglia e in tal caso c'è la possibilità che possa avere delle anomalie del campo visivo che andranno poi valutate con test clinici più specifici.



*Fig. 19: Griglia di Amsler*

Il vantaggio della griglia di Amsler, per un rapido screening del campo visivo, è nell'essere veloce, portatile e, nella maggior parte dei casi, semplice da comprendere. Ciò non toglie che l'esame completo del campo visivo sia più sensibile, specifico e ripetibile (Rossetti & Gheller, 2003).

## Tavola periferica di McDonald

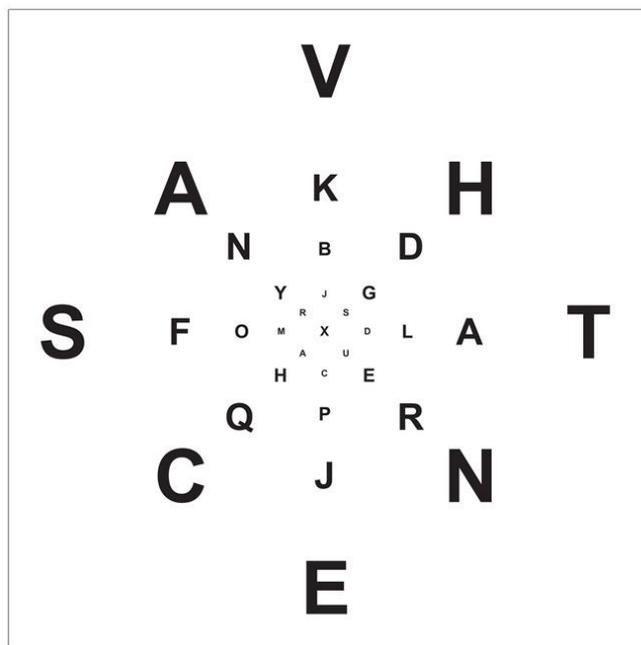
La tavola periferica di McDonald, o Peripheral Awareness Chart, sviluppa la capacità di mantenere la fissazione nel tempo di training e migliora la consapevolezza periferica. Inoltre, aiuta a evitare le restrizioni della visione periferica e ridurre lo stress visivo.

La struttura del test con lettere esterne più grandi e lettere interne più piccole dimostra la variazione dell'acuità diventa sempre più grossolana in periferia ovvero con l'aumentare dell'eccentricità.

La dimensione delle lettere considera il fattore di magnificazione corticale in quando ogni lettera ha una dimensione tale da essere vista dalla "stessa quantità" di area corticale.

La procedura del test consiste nel mantenere lo sguardo sul punto al centro della tavola e contemporaneamente leggere le lettere che si trovano attorno ad esso. Si comincia dalle lettere disposte radialmente attorno al centro, procedendo verso quelle periferiche verso l'esterno. Al termine si svolge lo stesso compito partendo dalle lettere più esterne andando verso quelle più interne, sempre mantenendo la fissazione al centro.

Questo test viene usato per allenare la visione periferica.



*Fig. 18: Tavola periferica di McDonald*

## 4 LO STUDIO

### 4.1 Introduzione e scopo

Come descritto nei paragrafi precedenti, molti studi hanno evidenziato il ruolo fondamentale della periferia retinica e della via dorsale magnocellulare nella percezione del movimento. Questo, a livello retinico, grazie alla maggiore sensibilità data dalla convergenza di più fotorecettori retinici alle singole cellule gangliari; mentre, a livello cerebrale, grazie ai campi recettivi di tipo M più grandi rispetto a quelli foveali di tipo P, e alle aree della corteccia visiva deputate all'elaborazione del movimento.

Lo scopo di questa ricerca è quello di valutare la percezione di uno stimolo in movimento presentato nel campo visivo periferico del soggetto miope.

In letteratura troviamo che un compito di random dots viene usato per stimolare il sistema magnocellulare il quale elabora le informazioni di movimento.

Il compito di random dots prevede la presentazione di un numero di puntini bianchi in movimento, presentati su sfondo nero. Il soggetto sottoposto al test vedrà comparire, per pochissimo tempo un insieme di punti in movimento: una parte di questi si muove con direzione e movimento coerente, gli altri si muovono in modo casuale e costituiscono quello che in psicofisica viene definito rumore. Il soggetto deve determinare la direzione dei punti con movimento coerente.

Sappiamo inoltre che il sistema magnocellulare è il canale più sensibili alle basse frequenze spaziali che sono necessarie per percepire e riconoscere la direzione del movimento.

*Per questo motivo, la nostra ipotesi è di valutare se un soggetto miope, cui vengono tolte le alte frequenze spaziali (necessarie per discriminare i dettagli) nel momento in cui svolge il test Random dot senza indossare alcun tipo di correzione per il difetto visivo, riesce a vedere e distinguere il movimento allo stesso modo che con la correzione indossata.*

Infatti, in questo test non era importante discriminare dei dettagli, ma estrarre solamente informazioni di movimento di uno stimolo presentato nella periferia retinica.

In particolare, ci siamo chiesti se il soggetto miope ottenesse lo stesso risultato, o simile, svolgendo il test in tre condizioni differenti: con occhiali, con lenti a contatto e senza correzione.

Misurando le soglie ottenute da ogni soggetto per ciascuna delle condizioni correttive, si sono potuti comparare i dati di soglia tra i soggetti miopi verificando, se e quanto, il metodo di correzione del difetto visivo o la non correzione, potessero incidere nella performance, comparandoli anche con i risultati del campione controllo di soggetti non ametropi.

Inoltre, per fare in modo che l'apprendimento percettivo non influenzasse i valori di soglia calcolati, i dati sono stati controbilanciati proponendo ad ogni soggetto un ordine differente delle tre prove da svolgere.

## **4.2 Partecipanti**

A questo esperimento hanno partecipato 18 soggetti miopi con età compresa tra 19 e 41 anni, di cui 6 maschi e 12 femmine. Ognuno dei soggetti presentava un livello di ametropia miopica compresa tra -0.75 diottrie fino a -8.50 diottrie.

Nella *Tabella 1* sono riportati i valori in diottrie del difetto visivo di ogni soggetto. Tutti i 18 soggetti portano abitualmente sia occhiali che lenti a contatto.

Per questi soggetti non è stato verificato il valore della miopia con test di acuità visiva, ma ci siamo basati sulla loro correzione abituale di occhiali e lenti a contatto.

Alcuni soggetti presentavano anche un leggero astigmatismo compreso tra 0.25 D e 1.00 D, che non è stato considerato nelle nostre analisi.

Tabella 1: Acuità visiva dei soggetti miopi (sistema TABO)

<b>SOGGETTO</b>	<b>Sfera OD</b>	<b>Sfera OS</b>	<b>Atigmatismo OD</b>	<b>Astigmatismo OS</b>
ANV	-3.75	-5.75		
AZ	-3.00	-2.75		
CG	-0.75	-0.75		
DB	-4.25	-4.75		
DL	-2.00	-2.00		
EB	-4.75	-5.25		
EF	-1.50	-1.50		
EZ	-4.00	-4.00		
GS	-3.25	-3.50	-0.75 axis 100	-0.75 axis 90
MB	-4.50	-4.00		-1.00 ax 180
NG	-2.25	-2.75	-0.75 axis 10	-0.75 axis 180
NS	-7.50	-8.00		
PV	-7.00	-5.25		
RF	-2.25	-1.50		-0.75 axis 10
RL	-0.75	-0.75		
SS	-6.00	-5.75		
TG	-2.50	-2.50		
VS	-6.00	-6.50		

Sono stati reclutati anche altri 12 soggetti per formare il campione controllo, ovvero persone senza alcun difetto visivo, per cui non portano alcun tipo di correzione.

Non è stata verificata l'effettiva emmetropia del campione controllo, e ci siamo basati sulle loro visite oculistiche/optometriche nelle quali non hanno riscontrato la necessità di correzione per alcun tipo di difetto visivo (miopico, ipermetropico o astigmatico).

Abbiamo considerato emmetropi i soggetti del campione controllo, ipotizzando un possibile difetto visivo non corretto, a loro sconosciuto, compreso tra +0.50 diottrie in caso di ipermetropia e -0.50 diottrie in caso di miopia.

Tutti i soggetti hanno dichiarato di non avere patologie oculari, o sistemiche, rilevanti che potessero influire nel test e hanno partecipato volontariamente all'esperimento firmando un consenso informato in accordo con la dichiarazione di Helsinki.

### 4.3 Apparato strumentale e stimoli

Per questo esperimento sono stati utilizzati degli stimoli, creati con la Psychtoolbox del programma MATLAB© (Brainard, 197; Pelli, 1997; Kleiner, 2007) ed è stato usato un computer laptop HP con schermo da 15.6 pollici e schermo a 8bit (256 scala di grigi) con risoluzione 1366×768 pixel.

Con ogni partecipante è stato mantenuto lo stesso livello di illuminazione dello schermo del computer.

Il test è stato eseguito in un luogo concordato con il soggetto che ha aderito alla partecipazione. Spesso è stato svolto nell'abitazione del soggetto, cercando di mantenere una condizione ambientale (luminanza della stanza e l'assenza di riflessi nello schermo causati da finestre o altro) più simili possibili per le esecuzioni del test con tutti i soggetti.

La sensibilità visiva al movimento è stata valutata con soglie di coerenza del movimento ottenute con random dots.

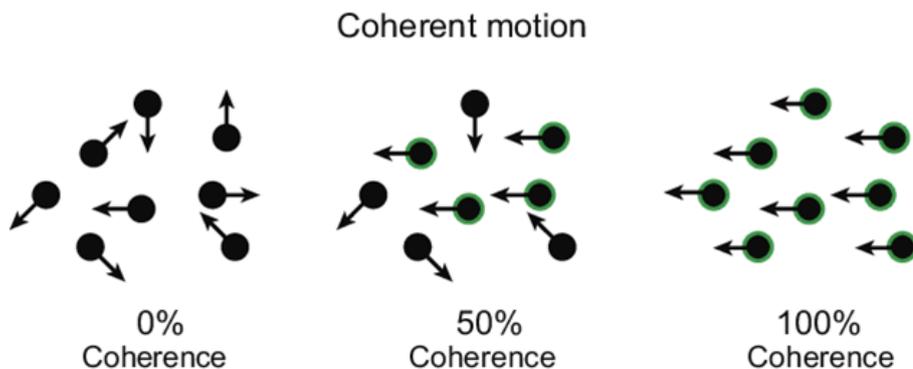
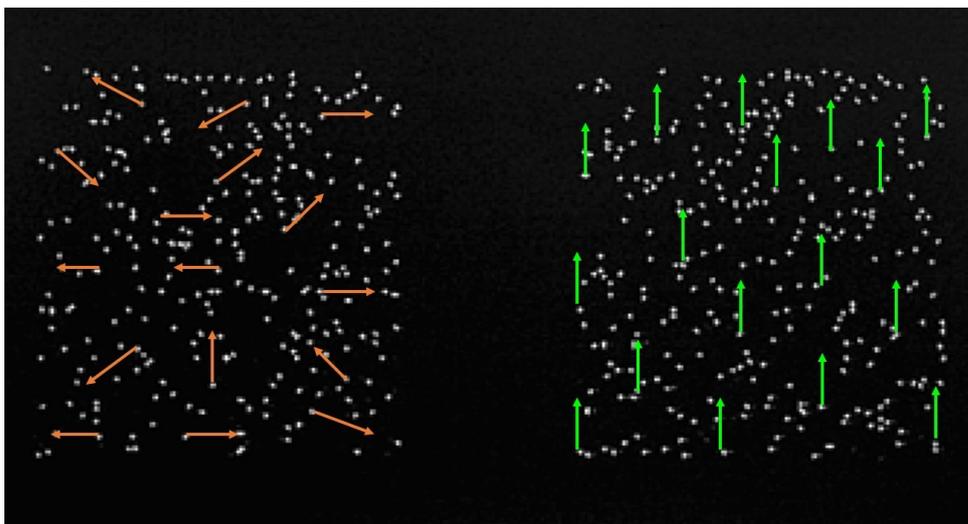


Fig. 20: esempio di percentuale di coerenza in uno stimolo random dots.

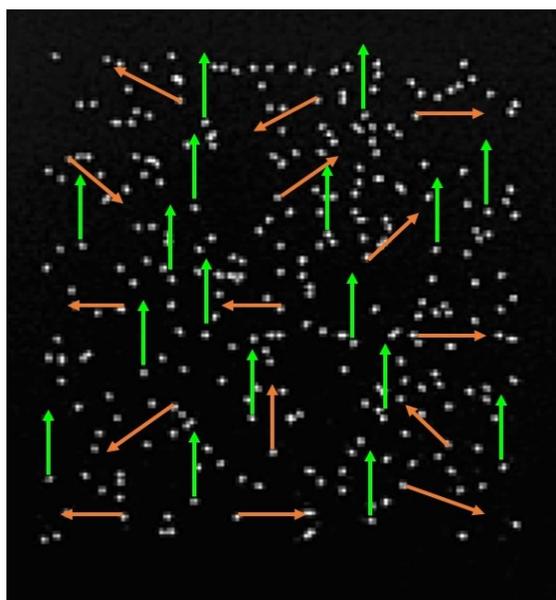
Maggiore è la coerenza dei punti in movimento, più semplice è per il soggetto distinguere il movimento.



*Fig. 21: random dots con movimento casuale e con movimento coerente*

*A sinistra viene evidenziato con delle frecce arancioni il movimento casuale che hanno i puntini rumore;*

*A destra viene evidenziata la direzione del movimento coerente dei puntini target che il soggetto doveva determinare. Nel nostro caso potevano avere un movimento con direzione verso l'alto o verso il basso.*



*Fig. 22: esempio di random dot simile a quello usato nell'esperimento.*

*Lo stimolo presentato (a destra o a sinistra rispetto al punto centrale di fissazione) comprendeva un certo numero di punti con movimento coerente e un numero di punti con movimento casuale.*

I partecipanti vedevano un riquadro formato da punti in movimento mostrati su uno sfondo nero omogeneo. Lo stimolo poteva comparire a destra o a sinistra rispetto al punto di fissazione centrale dello schermo.

Lo stimolo era di forma quadrata e conteneva 200 punti bianchi ad alto contrasto.

La durata della visualizzazione dello stimolo era di 200 millisecondi (ms), e venivano presentate 150 trials, per una durata del test di circa 5 minuti (variabile in base al tempo preso da ogni soggetto per dare la risposta).

L'insieme di punti presentato formava un quadrato di dimensioni pari a  $10^2$  cm, corrispondente a  $10^\circ$  di angolo visivo se osservato a 57 cm di distanza. Lo stimolo veniva presentato a  $10^\circ$ , a destra o a sinistra in modo casuale a ogni trial, rispetto al punto di fissazione centrale

Con i random dot si misura la soglia di sensibilità a quello che viene definito "movimento coerente", cioè allo spostamento unidirezionale e congiunto di un gruppo di punti (cluster) inseriti entro uno sfondo di identici punti che traslano in maniera casuale (rumore).

La soglia di coerenza del movimento viene espressa con il numero di puntini segnale necessario affinché il soggetto riesca a percepire un movimento coerente del cluster. Se il valore di soglia diminuisce significa che vi è stato un miglioramento, e il soggetto avrà bisogno quindi di meno puntini per capire la direzione di movimento.

Random dots è il modello di test psicofisico più usato per valutare la percezione del movimento, si ritiene che stimoli solo il sistema Magnocellulare e non il sistema Parvocellulare. Questo perché è selettivo per le cellule grandi dei campi recettivi M in quanto impedisce che la forma, la conformazione strutturale, il colore e le alte frequenze spaziali di altre conformazioni reclutino il sistema P, viziando i risultati.

## 4.4 Metodo

L'esecuzione dei test è avvenuta tramite il programma di calcolo MATLAB© (Brainard, 1997; Pelli, 1997), dove sono stati inseriti i vari parametri per creare degli stimoli Random Dots appropriati per la nostra valutazione.

Tutte le serie di test sono stati somministrati in visione binoculare a 57cm di distanza dallo schermo, in un ambiente in condizioni fotopiche (illuminazione diurna).

Prima di cominciare il test vero e proprio, per verificare che il soggetto capisse la tipologia di compito da affrontare, sono stati presentati due blocchi trial di prova, ovvero delle esercitazioni per far comprendere al soggetto come gestire i comandi e capire il funzionamento del test.

La prima demo consisteva nella presentazione dello stimolo al centro dello schermo, sopra al punto di fissazione. Il soggetto, mantenendo lo sguardo fisso sul punto centrale, doveva determinare se l'insieme punti dello stimolo che compariva per breve tempo, si muovessero verso l'altro o verso il basso. Per dare la risposta, la persona doveva utilizzare la tastiera del computer premendo "M" per gli stimoli ritenuti in movimenti verso l'alto, "Z" per gli stimoli verso il basso.

Nella seconda demo il soggetto doveva determinare il movimento dei punti in alto o in basso come nella prima demo, con la differenza che lo stimolo veniva presentato in una zona più periferica del campo visivo: questo compariva a destra o a sinistra rispetto al punto di fissazione, in modo casuale.

Inoltre, in questa seconda demo, la persona aveva a disposizione un feedback delle risposte date per capire quando rispondeva in modo corretto o in modo errato: il punto di fissazione centrale si colorava di azzurro dopo una risposta corretta oppure si colorava di rosso, dopo una risposta errata.

Il test vero e proprio, su cui poi sono stati analizzati i risultati di soglia, era sostanzialmente uguale alla seconda demo, solo che non era presente il feedback sulle risposte errate (il soggetto non poteva sapere quando sbagliava).

Lo stimolo del test era costituito da un insieme di puntini che si muovevano verso l'alto o verso il basso e un insieme di puntini rumore che si muovevano in modo casuale. I puntini bianchi venivano presentati su sfondo nero e il compito consisteva nell'individuare la direzione dei puntini target.

Ogni tre risposte corrette, il numero dei puntini rumore aumentava rendendo il compito più difficile, mentre ad ogni singola risposta sbagliata diminuiva la difficoltà. Questa procedura viene chiamata Staircase “one up – three down” (Levitt, 1971).

Il test veniva effettuato dal soggetto miope per tre volte, in tre condizioni diverse:

- con occhiali
- con lenti a contatto
- senza alcuna correzione

L'ordine di esecuzione è stato cambiato per ogni soggetto, utilizzando tutte le combinazioni possibili, come mostrato in tabella. Questo per evitare che i risultati nell'analisi statistica venissero influenzati dall'apprendimento percettivo dato dalla ripetizione del test.

*Tabella 2: ordine di prove svolte dai soggetti.*

<b>SOGGETTO</b>	<b>PRIMA PROVA</b>	<b>SECONDA PROVA</b>	<b>TERZA PROVA</b>	<b>AMETROPIA</b>
ANV	NC	LAC	OCC	-8,25
AZ	OCC	NC	LAC	-6,25
CG	NC	OCC	LAC	-6,125
DB	OCC	LAC	NC	-3,375
DL	LAC	NC	OCC	-2,00
EB	OCC	NC	LAC	-0,75
EF	LAC	NC	OCC	-2,50
EZ	NC	LAC	OCC	-4,00
GS	LAC	OCC	NC	-6,125
MB	LAC	OCC	NC	-4,75
NG	LAC	OCC	NC	-5,00
NS	OCC	NC	OCC	-4,25
PV	OCC	LAC	NC	-2,50
RF	NC	OCC	OCC	-1,50
RL	NC	LAC	OCC	-1,875

SS	OCC	LAC	NC	-2,875
TG	OCC	NC	LAC	-4,50
VS	NC	OCC	LAC	-0,75

*NC sta per “prova senza correzione”, LAC sta per “prova con lenti a contatto”, OCC sta per “prova con occhiali”*

Una volta raccolti i dati di ogni prova, sono state calcolate le medie delle soglie nelle tre condizioni di svolgimento e le correlazioni con il livello di ametropia del soggetto.

Inoltre, i risultati ottenuti dai soggetti miopi sono stati correlati con i risultati dei soggetti senza alcun difetto visivo (campione controllo).

#### 4.5 Analisi dei dati

In questo paragrafo vengono descritti i risultati ottenuti nel test, cui sono stati sottoposti i soggetti, nelle tre diverse condizioni correttive.

Nella *tabella 2* vengono riportati i valori di soglia normalizzati calcolati alla fine di tutte le prove svolte dai soggetti miopi e i valori del campione controllo.

*Tabella 3: valori medi si soglia*

SOGGETTO	SOGLIA MEDIA U&D LAC	SOGLIA MEDIA U&D OCC	SOGLIA MEDIA U&D NC	AMETROPIA MEDIA	SOGLIA MEDIA U&D CC
ANV	0,171667	0,223333	0,389722	-4.75	0,584722
AZ	0,435278	0,414444	0,855	-2.875	0,258611
CG	0,622778	0,505556	0,653056	-0.75	0,431111
DB	0,591389	0,845278	0,98	-4.50	0,971597
DL	0,373055	0,339444	0,614167	-2.00	0,307222
EB	0,325556	0,600556	0,983334	-5.00	0,479722
EF	0,450278	0,412778	0,654444	-1.50	0,1325
EZ	0,233611	0,195278	0,981389	-4.00	0,4075

GS	0,557778	0,540278	0,979167	-3.375	0,301388
MB	0,488889	0,317778	0,991389	-4,25	0,419722
NG	0,93	0,590556	0,808889	-2.50	0,423056
NS	0,593889	0,391944	0,708056	-8.25	0,601944
PV	0,315278	0,343889	0,638021	-6.125	
RF	0,706111	0,696389	0,963333	-1.875	
RL	0,436111	0,45	0,661	-.075	
SS	0,395833	0,515278	0,850278	-6.125	
TG	0,581667	0,661389	0,785	-2.50	
VS	0,569444	0,393611	0,344444	-6.25	

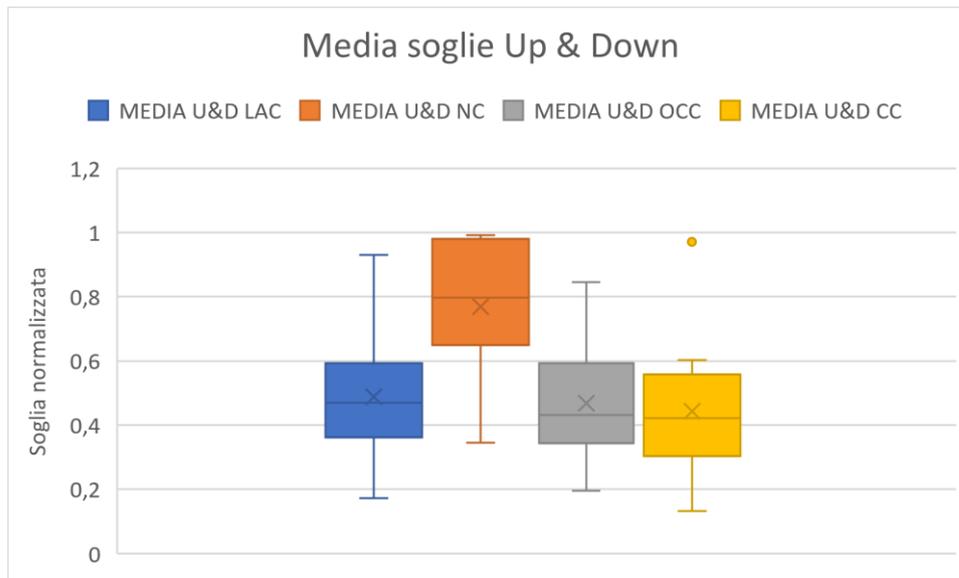
Le due soglie, stimoli Up e stimoli Down, misurate ad ogni prova, sono state mediate in modo da poter avere un valore di soglia unico per ognuna delle tre condizioni di misurazione di soglia.

Successivamente i valori ottenuti sono stati normalizzati per ottenere dei numeri compresi tra 0 e 1: la soglia, più si avvicina allo zero, più la performance del soggetto è buona.

Inoltre, in tabella vengono riportati i valori di ametropia medi, ovvero una media aritmetica del potere in diottrie della correzione dell'occhio destro e dell'occhio sinistro, per tutti i soggetti del campione.

Nella colonna in verde vengono riportati i valori di soglia (sempre normalizzati dai valori medi Up e Down) dei soggetti del controllo campione (senza difetto visivo).

Utilizzando i dati medi delle soglie è stato creato un grafico (*grafico 1* sotto riportato), dove si possono notare le differenze fra i risultati ottenuti nel campione di soggetti miopi nelle tre condizioni di esecuzione del test: il grafico blu corrisponde alle prove con lenti a contatto, il grafico rosso corrisponde alle prove senza correzione, il grafico grigio corrisponde alle prove con occhiali e quello giallo alle prove del campione controllo.



*Grafico 1: media soglie Up & Down per le tre condizioni e per il gruppo controllo*

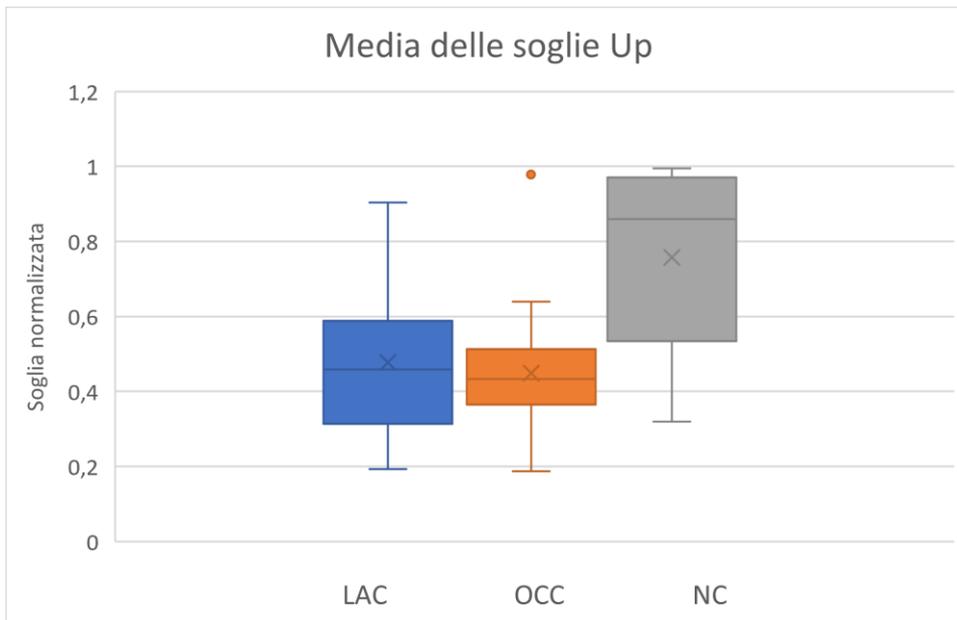
Si può notare che il valore medio di soglia delle prove con lenti, con occhiali e del campione controllo è sostanzialmente simile; invece, c'è stato un netto aumento della soglia media nelle prove effettuate senza correzione da parte dei soggetti miopi.

Considerando separatamente le soglie con stimoli Up e le soglie con gli stimoli Down, sono stati realizzati due grafici per valutare se ci fossero differenze in base alla direzione di movimento dello stimolo.

Nel *grafico 2* vengono riportati i valori di soglia medi per gli stimoli Up e le tre colonne dell'istogramma rappresentano le tre performance: lenti a contatto nella colonna 1, occhiali nella colonna 2 e senza correzione nella colonna 3.

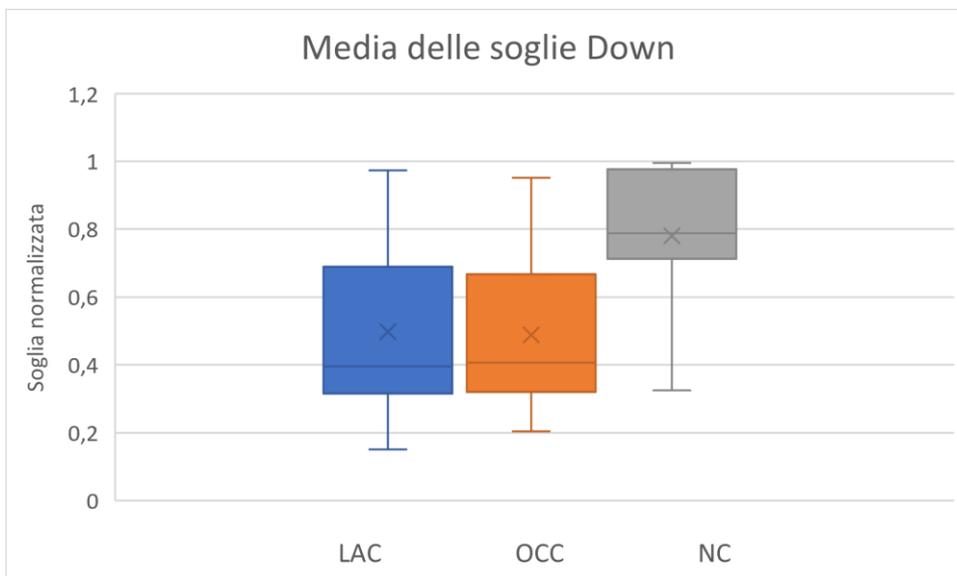
Si può notare che le colonne 1 e 2 indicano valori medi di soglia molto simili, corrispondenti ai risultati dei soggetti nella performance eseguita con lenti a contatto e con occhiali, e si possono considerare praticamente equivalenti.

Diversamente, la colonna 3 indica dei valori di soglia molto più alti e questo evidenzia un peggioramento consistente nella performance dei soggetti miopi senza alcuna correzione.



*Grafico 2: media degli stimoli Up*

*Colonna 1 lenti a contatto, colonna 2 occhiali, colonna 3 senza correzione*



*Grafico 3: media degli stimoli Down*

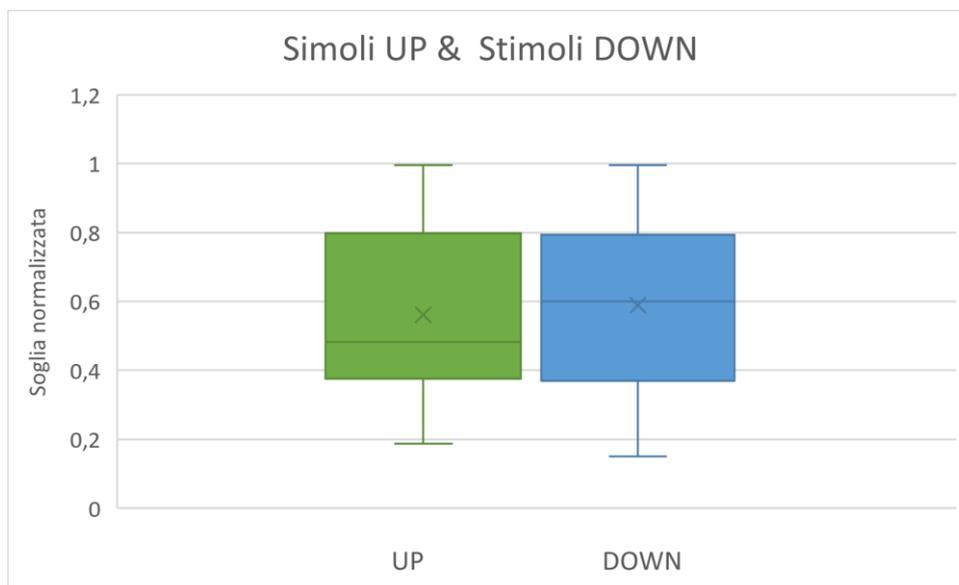
*Colonna 1 lenti a contatto, colonna 2 occhiali, colonna 3 senza correzione*

Il grafico 2 e il grafico 3 danno risultati molto simili, e si può intuire che non c'è stata una differenza di performance nei soggetti nel caso degli stimoli presentati con movimento verso l'alto (stimoli Up) e stimoli verso il basso (stimoli Down).

Per poter affermare che c'è una differenza significativa tra i risultati medi Up e Down senza correzione e risultati con occhiali o con lenti a contatto, sono stati svolti dei test statistici. È stata fatta l'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute con *tipo di correzione* (no correzione, lenti a contatto e occhiali) e *direzione di movimento* (alto vs basso) come fattori entro i soggetti. Il fattore tipo di correzione è risultato significativo ( $F(2,34) = 24.965$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta^2_p = 0.595$ ).

Il fattore direzione di movimento non è risultato significativo ( $F(1,17) = 0.45$ ;  $p < 0.51$ ;  $\eta^2_p = 0.026$ ). il che suggerisce che non c'è una differenza nelle performance tra le due direzioni del movimento.

Infatti, considerando tutti i valori Up (stimolo verso l'alto), delle tre condizioni di esecuzione del test, mediati insieme e lo stesso per i valori Down, vediamo nel *grafico 4* due colonne molto simili.



*Grafico 4: media degli stimoli Up & Down complessivi di tutte e tre le prove*

Inoltre, l'interazione tra i due fattori ( $F(2,34) = 0.061$ ;  $p = 0.94$ ;  $\eta^2_p = 0.004$ ) non risulta significativa. Questo vuol dire che il tipo di correzione non ha effetto solo su un movimento (Up o Down).

Per confermare che vi è una differenza significativa nelle prove svolte con occhiali rispetto a quelle svolte senza correzione e una differenza altrettanto significativa

della performance svolte con lenti a contatto rispetto a quelle senza correzione, sono stati svolti dei post-hoc t-test (con correzione di Bonferroni).

Questi test di confronto a coppie rivelano che è presente un decremento nella performance (aumento di soglia) quando il test viene eseguito senza correzione rispetto a quando viene eseguito con le lenti a contatto ( $p < 0.001$ ), ovvero che la soglia dei soggetti è più alta nelle prove fatte senza correzione rispetto a quelle svolte con lenti a contatto.

Lo stesso vale quando viene eseguito con gli occhiali rispetto alle prove senza correzione ( $p < 0.001$ ).

La performance, invece, non risulta essere statisticamente differente quando il test viene eseguito con gli occhiali rispetto alla performance con lenti a contatto ( $p = 0.99$ ).

Con questo test statistico si può concludere che la performance con occhiali e con lenti a contatto non danno risultati diversi, mentre senza correzione, la performance dei nostri soggetti peggiora di molto.

Qui di seguito vengono riportati tre grafici che mostrano la retta di regressione correlando i valori di soglia con i valori di ametropia dei soggetti, per ognuna delle tre situazioni (test con occhiali, con lenti a contatto e senza correzione).

Il *grafico 5* ci mostra i valori medi di soglia normalizzata dei risultati della performance fatta con occhiali. Ogni punto arancione corrisponde alla performance di un soggetto.

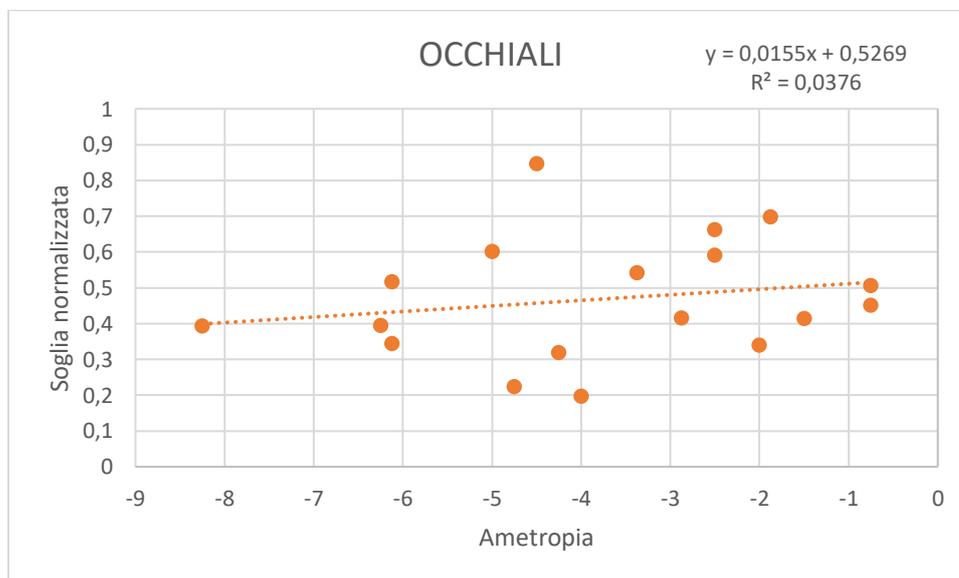


Grafico 5: dispersione X Y dei dati medi di soglia con occhiali

Nell'asse delle ascisse sono riportati i valori dell'ametropia in diottrie, mentre nell'asse delle ordinate sono riportati i valori di soglia normalizzata, che vanno da 0 a 1.

La retta di regressione, ovvero la retta che minimizza lo scarto quadratico medio di ogni valore dalla media globale, risulta avere una pendenza minima. Questo significa che vi è poca correlazione tra i valori di soglia e il valore di ametropia del soggetto.

Il coefficiente di determinazione  $R^2$ , nel caso delle prove effettuate con occhiali, è pari a 0,0376.

Il valore di  $R^2$  più risulta simile a 1, più i dati di soglia sono simili e vicini alla retta di regressione. Il valore trovato, invece, ci dimostra l'elevata dispersione dei dati, cosa che si può notare anche guardando il grafico.

Anche nel *grafico 6*, che analizza i dati ottenuti dalle prove con lenti a contatto, e nel *grafico 7*, corrispondente ai dati ottenuti dalle prove senza correzione, notiamo due situazioni simile alla precedente.

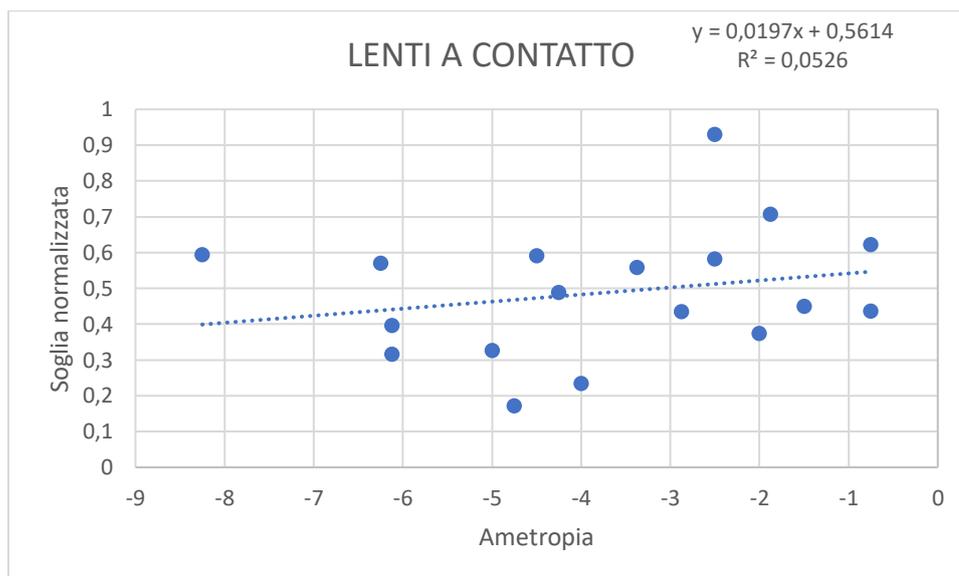
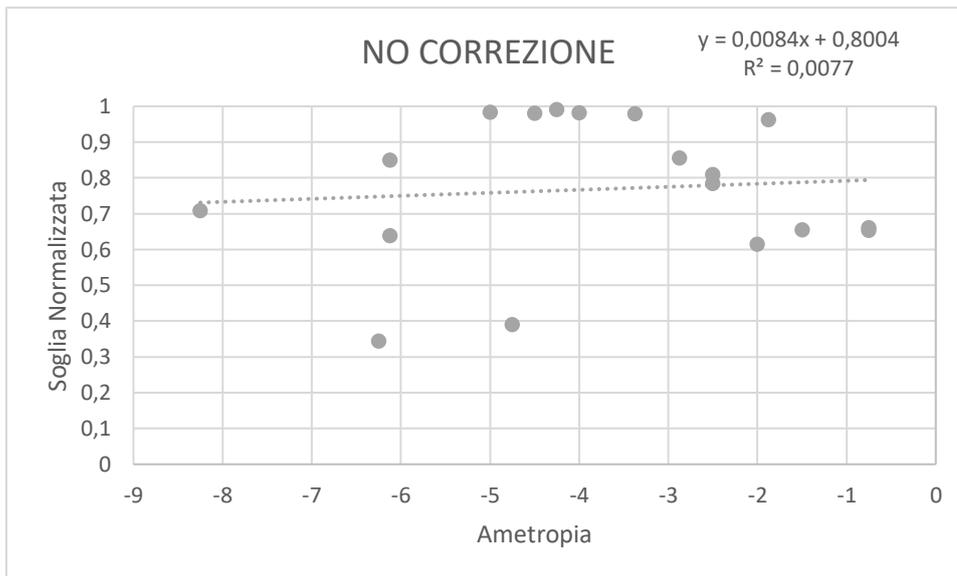


Grafico 6: dispersione X Y dei dati medi di soglia lenti a contatto

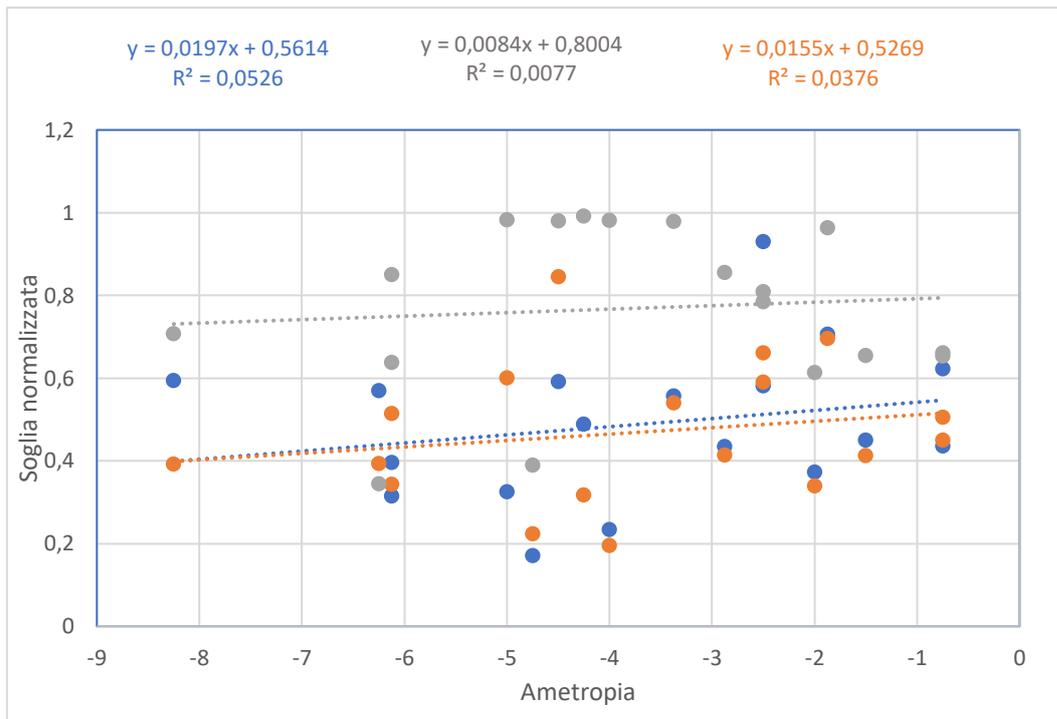


*Grafico 7: dispersione X Y dei dati medi di soglia senza correzione*

Le rette di regressione calcolate sui dati delle prove con lenti a contatto e senza correzione, mostrano una pendenza quasi nulla, tendente a zero. Questo significa che la gravità del difetto visivo non incide nella performance.

In entrambi i casi i coefficienti di determinazione  $R^2$  hanno un valore molto simile a zero ( $R^2=0.0526$  per le prove con LAC, e  $R^2=0.0077$  per le prove senza correzione). Questo indica, come nel caso precedente, un'elevata dispersione dei dati.

Il *grafico 8* mostra i tre grafici precedenti messi insieme. In questo modo si possono mettere a confronto, in modo più chiaro, i risultati delle tre condizioni di svolgimento dell'esperimento.



*Grafico 8: dispersione X Y dei dati medi di soglia di tutte le tre prove*

*La retta e i punti colorati in grigio corrispondono alla condizione senza alcuna correzione*

*La retta e i punti colorati in blu corrispondono alla condizione con lenti a contatto*

*La retta e i punti colorati in rosso corrispondono alla condizione con occhiali*

Vista la conferma dai precedenti test statistici che la performance senza correzione è risultata peggiore rispetto alle due performance svolte con correzione, ci saremmo aspettati che almeno per la situazione senza correzione ci fosse stata una correlazione l'ametropia.

In altre parole, ci saremmo aspettati dei dati di soglia elevati, tendenti a 1, nelle performance svolte senza correzione dai soggetti con miopia elevata, quindi performance peggiori, e dei valori di soglia più tendenti a 0, ovvero performance migliori, nei soggetti con miopia lieve.

Per riassumere, la correlazione tra miopia e ametropia non è stata trovata, questo indica che la soglia individuale per la detezione del movimento non è influenzata dal grado di ametropia, cioè un soggetto con ametropia elevata può avere comunque una soglia minore (essere più bravo al compito) di un individuo con ametropia lieve. Tuttavia, entrambi i soggetti migliorano al compito di random dots, quando sono corretti rispetto a quando non lo sono.

Si è, inoltre, voluto testare l'influenza dell'apprendimento percettivo sui dati osservati.

L'apprendimento percettivo è il meccanismo cognitivo grazie al quale la ripetizione di un compito porta al miglioramento della capacità di apprendere, discriminare o rilevare uno stimolo. Per fare in modo che l'apprendimento percettivo non influenzasse i valori di soglia calcolati, i dati sono stati controbilanciati proponendo ad ogni soggetto un ordine differente delle tre prove da svolgere.

Dai nostri risultati, abbiamo così eseguito un'altra ANOVA a misure ripetute con sessione (prima prova, seconda prova, terza prova) e direzione di movimento come fattori entro i soggetti.

I partecipanti eseguivano tre volte lo stesso test, una volta con correzione lenti a contatto, una volta con gli occhiali e una volta senza correzione. L'ordine era casuale per ogni partecipante. Svolgendo un test statistico (ANOVA), i fattori entro i soggetti *sessione* ( $F(2,34) = 0.2$ ;  $p < 0.8$ ;  $\eta^2p = 0.026$ ) e *direzione di movimento* ( $F(1,17) = 0.51$ ;  $p < 0.51$ ;  $\eta^2p = 0.026$ ) non risultano significativi.

Inoltre, anche l'interazione tra i due fattori non è significativa ( $F(2,34) = 1.24$ ;  $p < 0.3$ ;  $\eta^2p = 0.07$ ).

Questa analisi suggerisce che la performance non è influenzata dal numero della sessione, e suggerisce, inoltre, che i risultati osservati nella nostra prima analisi (cioè che l'assenza di correzione influenza la performance in un compito random dots) non sono influenzati dall'ordine con cui sono testati i soggetti.

## 5 Discussione

La visione centrale è deputata alla discriminazione del dettaglio di quello che guardiamo, garantendoci la massima acuità visiva raggiungibile dal nostro sistema oculare. La visione periferica non discrimina come la visione centrale, e risulta sempre più sfuocata all'aumentare dell'eccentricità.

Nel nostro esperimento siamo andati a presentare uno stimolo periferico per capire se il soggetto miope senza correzione percepisse correttamente, o meno, lo stimolo in movimento.

In letteratura troviamo che il compito di random dots viene usato per stimolare il sistema magnocellulare, il quale è sensibile al movimento. Per percepire e riconoscere la direzione del movimento vengono usate le basse frequenze spaziali. Per questo motivo, la nostra ipotesi, era che un soggetto miope cui vengono tolte le alte frequenze spaziali (necessarie per discriminare i dettagli), nel momento in cui non porta alcun tipo di correzione per il difetto visivo, potesse vedere e distinguere ugualmente bene il movimento.

Infatti, in questo test non era importante discriminare dei dettagli, ma estrarre informazioni di movimento.

Questa nostra ipotesi è stata smentita dai risultati ottenuti, i quali ci dicono che avere una buona correzione del difetto visivo è importante per ottenere una buona performance in un compito di random dots come quello proposto. La correzione adeguata garantisce quindi una buona percezione del movimento anche nella vita reale.

Il fatto che la performance nei soggetti miopi non peggiori in relazione alla gravità dell'ametropia, in nessuna delle tre condizioni di svolgimento del test, potrebbe essere spiegato dal fatto che probabilmente ognuno dei soggetti ha una propria soglia individuale e che questa non dipenda dal difetto visivo. È possibile che la variabilità individuale vada a mascherare la correlazione tra la soglia della performance e l'ametropia, in quanto sembra essere più importante la performance individuale rispetto l'ametropia.

La performance individuale, quindi, non è correlata alla gravità del difetto visivo. Un soggetto bravo nello svolgimento del compito ottiene dei buoni risultati in tutte e tre le performance, pur avendo un aumento di soglia nella condizione senza

correzione. Un soggetto scarso nello svolgimento del compito ottiene dei risultati mediocri in tutte e tre le performance, pur avendo un aumento di soglia nella condizione senza correzione. Un soggetto con miopia elevata può quindi risultare più bravo di un soggetto con una miopia lieve.

Dai nostri dati si conclude che il fattore correzione è importante in quanto si è visto che tutti i soggetti hanno avuto dei risultati peggiori nella performance svolta senza correzione, ma non vi è una correlazione con il livello di ametropia.

Diversamente dalle ipotesi iniziali, sembra che anche le alte frequenze spaziali siano necessarie per ottenere una buona performance in un compito di percezione di movimento come quello proposto.

Da questo si può dedurre che anche il sistema parvocellulare, il quale è caratterizzato da una risposta di tipo sostenuto agli stimoli e che risponde alle alte frequenze spaziali e basse frequenze temporali, sembra dare un contributo evidente anche in compiti che stimolano principalmente il sistema magnocellulare. Dunque, nel compito di random dots si potrebbe ipotizzare un coinvolgimento del sistema parvocellulare.

Inoltre, ci eravamo posti il quesito se il tipo di correzione potesse influire sulla performance. Gli occhiali costituiscono una sorta di ingombro davanti agli occhi e le lenti oftalmiche possono creare aberrazioni o effetti prismatici durante i movimenti oculari.

Le lenti a contatto, a differenza degli occhiali, seguono gli occhi nei movimenti oculari.

In realtà, nel tipo di compito richiesto in questo esperimento, il soggetto doveva tenere lo sguardo fisso nel punto di fissazione al centro dello schermo, quindi il problema dell'influenza della correzione nei movimenti oculari non sussisteva.

Ci siamo comunque chiesti se la performance potesse cambiare in una delle due situazioni.

È emerso che le prove effettuate con occhiali e con lenti a contatto, da ogni soggetto, non hanno evidenziato differenze sostanziali: con questo possiamo affermare che il tipo di correzione non influisce sulla percezione di movimento, in questo tipo di compito, anche se le lenti oftalmiche e le lenti a contatto hanno delle caratteristiche differenti.

Inoltre, l'ametropia non correla con la performance al test in nessuna delle tre condizioni.

L'abilità di rilevare correttamente il movimento coerente non dipende dall'ametropia, ma dipende dall'abilità interna del soggetto per come è sviluppato il suo sistema di percezione del movimento a livello neurale.

Le prove svolte con occhiali o lenti a contatto, non danno differenze nei risultati al test, quindi il metodo correttivo non incide nella performance.

Quello che cambia sono le performance svolte senza correzione, le quali danno dei risultati globalmente peggiori.

Questo risultato ci porta a considerare che il defocus miopico influisca negativamente in un compito di percezione di movimento come quello proposto.

Per noi optometristi risulta quindi importante garantire una buona correzione, che vada a compensare il difetto visivo del soggetto miope, non solo per garantirgli una buona acuità visiva, ma anche per garantire una buona soglia di percezione del movimento periferico.

## 6 Conclusione

La periferia retinica è strutturata diversamente dalla retina centrale, come è diversa l'elaborazione cerebrale degli stimoli situati in zone periferiche del nostro campo visivo, rispetto a quello centrale.

La visione periferica ha un ruolo importante in alcuni compiti che svolgiamo quotidianamente come la lettura, in quanto pre-elabora la parola successiva a quella fissata e ci consente di eseguire dei movimenti oculari efficienti.

Inoltre, come descritto precedentemente, sembra possa influire nella progressione miopica in caso di defocus periferico ipermetropico.

Diversi studi hanno evidenziato il ruolo fondamentale della periferia retinica e della via dorsale magnocellulare nella percezione del movimento. Questo, a livello retinico, grazie alla maggiore sensibilità data dalla convergenza di più fotorecettori retinici alle singole cellule gangliari; mentre, a livello cerebrale, grazie ai campi recettivi di tipo M più grandi e specializzati nell'elaborazione del movimento.

Con lo studio proposto siamo andati a valutare la percezione di movimento, presentando uno stimolo random dot nella periferia, in un campione di soggetti miopi, ipotizzando che ci potesse essere un'influenza data dal tipo di correzione (occhiali e lenti a contatto), e dalla gravità del difetto visivo.

Dai nostri risultati, avere una buona correzione del difetto visivo è importante per ottenere una buona performance, ma non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra performance con occhiali e performance con lenti a contatto. Inoltre, non è stata rilevata alcuna correlazione con il livello di ametropia.

I limiti di questo studio sono senza dubbio la numerosità del campione. Sarebbe interessante svolgere lo stesso studio in un campione più grande potendo così analizzare anche soggetti di altre fasce di età e con valori diottrici di difetto visivo diversi. Su questo ultimo aspetto, in realtà, siamo riusciti ad avere una buona varietà di ametropie, da soggetti con miopia lieve a soggetti con miopia elevata ed è stato positivo per il nostro esperimento e analisi dei dati.

Un altro limite, riscontrato anche dai soggetti stessi, è stata la difficoltà di mantenere lo sguardo fisso al centro dello schermo e la concentrazione per tutta la durata del test.

Un aspetto negativo era che non avevamo modo di controllare l'effettiva assenza di movimenti oculari durante lo svolgimento della prova. Si potrebbe eventualmente riproporre il test integrando un visore che permette di registrare i movimenti oculari. Sarebbe interessante svolgere un esperimento con un compito uguale a quello qui proposto, utilizzando stimoli più periferici, magari servendosi di uno schermo più grande e confrontare i risultati ottenuti.

## **Bibliografia**

Bear M. F., Connors B.W., Paradiso M. A. (2016). *Neuroscienze Esplorando il cervello*. Edra; pp 275-297,328-352

Berntsen D.A., Barr C.D., Mutti D., Zadnik C (2013). Peripheral defocus and myopia progression in myopic children randomly assigned to wear single vision and progressive addition lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* August; Vol.54, 5761-5770

Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*; 226, 177–178

Bucci M.G. (1993). *Oftalmologia*. casa editrice: Società Editrice Universo: pp 272-287

Culham J.C., Kanwisher N.G. (2001). Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. Department of Psychology, University of Western Ontario; 11: 157–163

Loftus G.R., Mackworth N.H. (1978). Cognitive Determinants of Fixation Location During Picture Viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*; Vol 4: 565-572

Hubel D.H, Wiesel T.N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology*; 215-243

Inhoff A.W., Rayner K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*. 40 (6), 431-439.

Rossetti A., Gheller P. (2003). *Manuale di optometria e contattologia*; pp 72-77,250-254

Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessel T.M., Siegelbaum S.A., Hudspeth A.J. (2015). *Principi di neuroscienze*. Casa editrice Ambrosiana; capitoli 25-26-27

- Mather G. (2016). Foundations of sensation and perception. Psychology Press
- Posner M. I. (1980). Orienting of attention. Quarterly Journal of Experimental Psychology; University of Oregon; 32, 3-25
- Purves D., Augustine G.J., Fitzpatrick D., Hall W.C., LaMantia A.S., White L.E. (2013). Neuroscienze; pp. 236-260
- Presti D. (2016). Fondamenti di neuroscienze. Edizione italiana a cura di Elena Rusconi; pp 197-201
- Midena E. (2006). Malattie dell'apparato visivo. Cedam: pp 24-26
- Mutti D.O. (2010). Hereditary and environmental contribution to emmetropization and myopia; Optometry and Vision Science. vol. 87, pp. 255-9
- Mutti D.O.; Sinnott L.T.; Mitchell G.L.; Jordan L.A.; Moeschberger M.L.; Cotter S.A.; Kleinstein R.N.; Manny R.E.; Twelker J.D.; Zadnik K.; "Relative Peripheral Refractive Error and the Risk of Onset and Progression of Myopia in Children"; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2011; Vol.52, 199-205
- Newsome W.T., Pare E.B.; "A selective impairment of motion perception following lesions of middle temporal visual area MT"; Journal of Neuroscience; 1988; 2210-2211
- Rivista Italiana di Optometria (2013). Nuovi test visivi per la patente di guida. Milano; Vol. 35, n.3
- Smith E.L., Hung L.F.; The role of optical defocus in regulating refractive development in infant monkeys; Vision Research Journal; 1999; vol. 39, pp. 1415-35
- Sng CC, Lin XY, Gazzard G et al.; "Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children"; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2011; 52: 7880-7887

Stella, G. (2004). *La dislessia*. Bologna: Il Mulino

Toet, A., & Levi, D. M. (1992). The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. *Vision Research*, 32, 1349–1357.

Zihl J., Cramon D., Mai N.; “Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage”. 1983; *Brain* 106: 313-340