

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA
DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA, SOCIOLOGIA,
PEDAGOGIA E PSICOLOGIA APPLICATA

Corso di Laurea in
Optica e Optometria

Teoria di un deficit Magnocellulare nella
dislessia: ruolo del sistema neuronale in
aspetti caratteristici della visione binoculare

Relatore: Prof. CLARA CASCO

Correlatore: Dott. MICHELE BAROLLO

Laureanda: MARTINA ISSORI
matricola N. 615811

A.A. 2013 / 2014

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1	5
Accenni sull'anatomia e la fisiologia del sistema visivo Magnocellulare e Parvocellulare: due vie parallele dall'occhio alla corteccia visiva.....	5
1.1 Le vie visive dall'occhio al nervo ottico.....	5
1.2 Le vie magnocellulare e parvocellulare.....	5
1.3 Le vie dorsale e ventrale della corteccia extrastriata.....	7
Capitolo 2	9
Il ruolo del sistema Magnocellulare nella lettura.....	9
2.1 I processi visivi implicati nella lettura.....	9
2.2 Il “buon” funzionamento della via Magnocellulare nella lettura.	11
Capitolo 3	15
La dislessia evolutiva: un esempio di malfunzionamento del sistema magnocellulare?.....	15
3.1 Definizione di dislessia e modello di lettura.....	15
3.2 La dislessia evolutiva secondo diverse ipotesi eziopatologiche. .	16
3.3 L'ipotesi visiva o Magnocellulare	18
3.4 La visione binoculare nella dislessia: Un sostegno per l'ipotesi Magnocellulare?.....	20
Capitolo 4	23
Uno studio sperimentale del sistema Magnocellulare nella dislessia evolutiva.....	23
4.1 Ipotesi sperimentali.....	23
4.2 Metodo.....	25
4.2.1 Soggetti.....	26
4.2.2 Valutazione neurovisiva.....	29
4.2.3 Valutazione optometrica.....	33

Capitolo 5	39
Analisi dati e discussione.....	39
5.1 Valutazione neurovisiva: analisi dati.....	39
5.1.1 Test di screening.....	39
5.1.2 Test per la differenziazione della risposta Magnocellulare da quella Parvocellulare.....	42
5.1.3 Test per la diagnosi differenziale di un deficit magnocellulare	47
5.1.4 Breve conclusione della valutazione neurovisiva.....	49
5.2 Valutazione optometrica: analisi dati.....	50
5.2.1 Test sulla motilità oculare.....	50
5.2.2 Test sulla binocularità.....	52
5.2.3 Test sull'accomodazione.....	54
5.2.4 Breve conclusione della valutazione optometrica.....	56
Capitolo 6	57
Conclusioni.....	57
Bibliografia	59
Appendice 1	63
Documenti.....	63
Appendice 2	68
Tabelle.....	68

Introduzione

Presupposti per lo studio. Lo studio nasce da diverse ricerche che dimostrano come i bambini con dislessia evolutiva possano presentare una ridotta risposta funzionale nella via visiva Magnocellulare: sottosistema del sistema visivo che media la visione globale, la visione del movimento, la coordinazione binoculare e il processamento veloce dell'informazione visiva (Stein, & Walsh, 1997; Laycock, & Crewther, 2008).

La dislessia evolutiva è un disturbo che ostacola il normale processo di interpretazione dei segni grafici con cui si rappresentano per iscritto le parole, e viene definito, in breve, un disturbo della capacità di lettura; essa insorge nel bambino prima dell'apprendimento della letto-scrittura e si differenzia dalla dislessia acquisita, che è dovuta a un trauma in un soggetto già capace di leggere e scrivere (Stella, 2004).

La lettura è un alto processo cognitivo che dipende da numerosi fattori: movimenti oculari, capacità linguistiche e semantiche, capacità fonologiche e uditive. Un deficit in uno o più dei suddetti meccanismi può essere all'origine della dislessia.

Diverse ricerche (Stein, & Walsh, 1997; Jainta, & Kapoula, 2011) mostrano come i movimenti oculari durante la lettura siano ridondanti nei bambini dislessici, con un maggiore numero di fissazioni e regressioni e una maggior ampiezza delle saccadi, che conferiscono al testo l'aspetto di essere in movimento e distorto.

Dall'altro lato, altre ricerche sulla capacità dei bambini dislessici (Evans, Drasdo, & Richards, 1996; Stein, 2001), mostrano come essi abbiano sensibilità significativamente più basse per frequenze spaziali basse e frequenze temporali alte, registrate in test psicofisici di sensibilità al contrasto (flickers) utilizzati per la diagnosi differenziale di un deficit del sottosistema visivo transiente.

Nonostante questi risultati, altre ricerche (Skottun, 2000; Bucci, Nassibi, Gerard, Bui-Quoc, & Seassau, 2012) non confermano l'ipotesi del deficit Magnocellulare come causa eziologica della dislessia evolutiva, e propongono ipotesi eziologiche alternative come quella fonologica (Ramus, 2003), che sostiene la presenza di un disturbo nell'elaborazione, nella codifica e nella rappresentazione dei suoni linguistici o l'ipotesi del deficit percettivo multimodale (Facoetti, et al., 2003), che suggerisce come i bambini dislessici possano presentare un deficit specifico nell'elaborazione temporale di stimoli sensoriali, presentati loro sia nella modalità visiva, che in quella uditiva.

Scopo dello studio. Ci si propone di sottoporre a verifica sperimentale le seguenti ipotesi:

- che nei bambini con dislessia evolutiva esiste una ridotta funzionalità del sistema magnocellulare rispetto ai bambini normo-lettori di pari età;
- che vi sia anche una ridotta funzionalità a livello del coordinamento binoculare in condizioni di visione di stimoli statici e in movimento.

A tal fine lo studio si suddivide in due distinte procedure di valutazione, basate su misurazioni specifiche per la funzionalità visiva magnocellulare (procedura neurovisiva) e su misurazioni adeguate all'indagine della funzionalità visiva binoculare (procedura optometrica).

Materiali e metodi. Per lo svolgimento della batteria di test neurovisivi vengono utilizzati due computer portatili: Samsung RV 520, con risoluzione nativa dello schermo 1366X768 e Acer TravelMate 4200, con risoluzione nativa dello schermo 1280X800; su cui vengono installati i software per generare gli stimoli test-specifici: FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test), versione 3.7.1b (2012), e Matlab, versione 2010a compiler, utilizzato per la compilazione dei programmi: Acuità_2a;

Gabor_2a; Neurotraining_2013.

Per lo svolgimento della batteria di test optometrici vengono utilizzati strumenti ambientali che testano acuità visiva, visione binoculare, capacità accomodativa e motilità oculare.

Lo studio condotto è del tipo caso-controllo: vengono sottoposti alle due valutazioni un gruppo di bambini dislessici e un gruppo di bambini normo-lettori di pari età, per il confronto incrociato nei gruppi e tra i gruppi delle differenze tra le misure ottenute dalle due procedure di valutazione. In particolare sono stati reclutati 20 bambini di età compresa tra 9 e 11 anni, suddivisi in: un "Gruppo controllo", composto da 12 bambini normo-lettori, 6 maschi e 6 femmine e un "Gruppo dislessia", composto da 8 bambini con ritardo delle capacità di lettura e con diagnosi di dislessia, 5 maschi e 3 femmine.

Risultati e conclusioni. L'analisi statistica dei test neurovisivi, specifici per la discriminazione della via Magnocellulare, indica che i bambini dislessici hanno maggior difficoltà ad identificare uno stimolo selettivo per tale sistema. Di conseguenza, si conferma l'ipotesi secondo cui i bambini con dislessia evolutiva, evidenziano un deficit di tipo temporale, regolato dal sistema Magnocellulare, (Stein, & Walsh, 1997).

Le maggiori difficoltà in ambito optometrico, riscontrate nei bambini dislessici invece, riguardano la motilità oculare e la flessibilità di vergenza, a conferma dell'ipotesi circa la presenza di qualche problema di visione binoculare che potrebbe, in qualche modo, influenzare la loro capacità di lettura.

Capitolo 1

Accenni sull'anatomia e la fisiologia del sistema visivo Magnocellulare e Parvocellulare: due vie parallele dall'occhio alla corteccia visiva

La visione è la traduzione di singoli attributi tra loro scorrelati, come colore, forma, movimento, profondità, in singole immagini percettive; l'elaborazione di questi attributi o, più in generale, degli stimoli luminosi dagli occhi al sistema nervoso centrale, è opera del sistema visivo e, in particolare, dell'attività coordinata di diverse aree cerebrali nelle quali confluiscono le informazioni convogliate da due vie nervose, denominate Magnocellulare e Parvocellulare (Kandel, Schwartz & Jessel, 2003, cap. 25, 26, 27).

1.1 Le vie visive dall'occhio al nervo ottico

L'assorbimento della luce attraverso l'occhio e la sua trasformazione in segnale elettrico avviene ad opera dei fotorecettori della retina. L'informazione viene trasmessa dai recettori retinici alle cellule gangliari che, a loro volta, la inviano ai centri cerebrali superiori attraverso i propri assoni, i quali formano il nervo ottico (Kandel, et al., 2003, cap. 25, 26, 27).

1.2 Le vie magnocellulare e parvocellulare

Due vie di cellule gangliari che funzionano in parallelo, Magnocellulare (M) e Parvocellulare (P), proiettano il segnale rispettivamente agli strati Magno e Parvo del corpo genicolato laterale del talamo (CGL).

Il CGL del talamo è la più importante stazione sottocorticale che trasmette le informazioni, raccolte dal 90% degli assoni retinici, alla corteccia cerebrale; è composto da sei strati di corpi cellulari, due ventrali o

magnocellulari, 4 dorsali o parvocellulari, dove le due vie gangliari rimangono separate.

Le vie Magno e Parvo cellulari, dotate di caratteristiche anatomico-fisiologiche differenti, trasmettono informazioni di natura diversa alla corteccia visiva, che riguardano: la sensibilità ai contrasti di colore, il contrasto di luminanza (misura della differenza fra la parte più illuminata e la parte più scura di uno stimolo), la frequenza spaziale (numero di volte con cui una certa struttura viene replicata in un certo spazio) e la frequenza temporale di uno stimolo (misura della rapidità con cui una struttura visiva varia nel tempo).

In particolare le cellule Magno (o canali transienti), così chiamate per il campo recettivo ampio e l'alta velocità di conduzione, rappresentano il 10% delle cellule gangliari, che trasmettono gli stimoli dall'occhio al sistema nervoso centrale, ed hanno elevata sensibilità per frequenze spaziali basse ($\leq 0,5$ cpg), frequenze temporali alte (> 16 Hz), basso contrasto di luminanza (2%); sono inoltre sensibili a stimoli con velocità di movimento alta (> 5 cpg) e a stimoli con presentazione eccentrica rispetto la fovea, mentre non rispondono a stimoli statici o al contrasto di colore.

Al contrario, le cellule Parvo (o canali sostenuti), costituite da campi recettivi di dimensioni ridotte e bassa velocità di conduzione, sono sensibili al colore e ai fini dettagli spaziali e vengono maggiormente eccitate da stimoli ad alto contrasto e ad alte frequenze spaziali (> 4 cpg).

Dal CGL del talamo i neuroni proiettano alla corteccia visiva primaria, o corteccia striata (V1), dove le vie M e P convogliano l'informazione visiva a differenti strati delle aree corticali, IV C α e IV B; IV C β ; le fibre si uniscono parzialmente dopo il livello della corteccia extrastriata (V2), come illustrato in figura 1. (Kandel, et al., 2003, cap. 25, 26, 27).

1.3 Le vie dorsale e ventrale della corteccia extrastriata

A questo livello si trovano altre due vie fondamentali nella percezione visiva, distinte per connessioni anatomiche e attività dei neuroni: la via dorsale e la via ventrale. La prima si estende alla corteccia parietale posteriore (CPP), e comprende l'area medio temporale (MT), mentre la seconda proietta alla corteccia infero temporale (CIT).

Queste diverse aree di afferenza corticale contribuiscono, ancora una volta, a una differente analisi delle informazioni visive; la via dorsale, o magnocellulare, è deputata al riconoscimento delle funzioni spaziali, ovvero il "dove" sono localizzati gli oggetti; è inoltre implicata nell'attenzione visiva, nella ricerca visiva, nei movimenti oculari e nell'integrazione dell'informazione dal campo visivo centrale e periferico (Walsh, 1995). La via ventrale, o parvocellulare, è adibita al riconoscimento degli oggetti, ovvero il "cosa" sono; essa è sensibile alla sagoma delle immagini, al loro orientamento e ai loro margini, grazie all'elevato potere risolutivo.

(Kandel, et al., 2003, cap. 25, 26, 27)

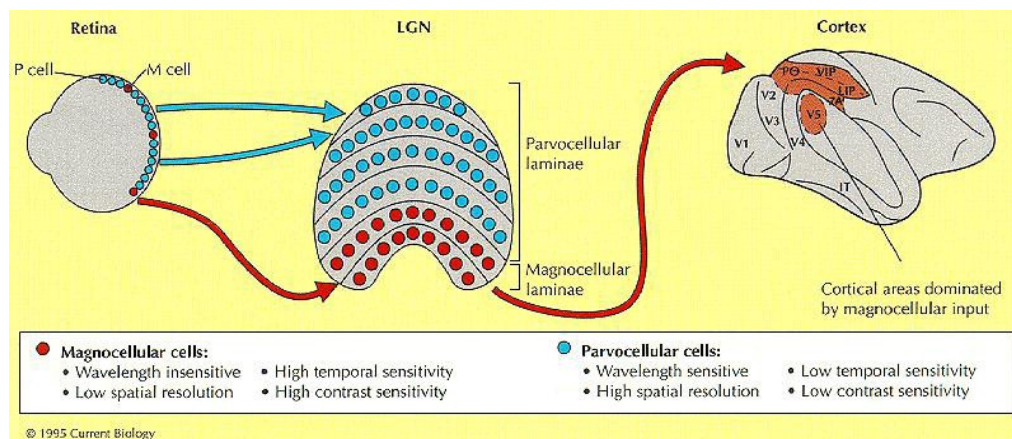


Figura 1: Gli outputs delle lamine magnocellulari del CGL del talamo. Le due lamine ventrali forniscono l'input più importante alle aree V1, dove le cellule rispondono al movimento, alla stereopsi, al contrasto basso e alle frequenze spaziali basse nell'immagine visiva (Walsh, 1995).

Capitolo 2

Il ruolo del sistema Magnocellulare nella lettura

Il ruolo del sistema Magnocellulare nella comprensione e nella capacità di lettura è descritto in letteratura da numerosi studi, che trattano dell'associazione tra compiti mediati da tale sistema e buone capacità di lettura (Boden & Giaschi, 2007; Laycock & Crewther, 2008); allo stesso modo lo studio della dislessia contribuisce all'analisi del sistema visivo, in quanto i disturbi della lettura possono riflettere processi visivi anormali (Stein & Walsh, 1997).

Saper leggere fluentemente è un'attività tra le più complesse in cui è coinvolta la visione, per questo è utile approfondire quali siano i compiti svolti dal sistema visivo, prima di descrivere come il sistema Magno diriga tali meccanismi.

2.1 I processi visivi implicati nella lettura

La lettura di un testo non avviene attraverso un movimento continuo degli occhi sulla pagina, ma grazie a piccoli movimenti chiamati saccadi. Questi movimenti hanno una durata media di 30-50ms, e servono a dirigere lo sguardo a una nuova porzione di testo distante circa 8 caratteri, in visione centrale. Tale distanza, in media maggiore della lunghezza di una parola, indica che lo sguardo non posa su tutte le parole. Tra due saccadi successive gli occhi fissano il testo per circa 200-300ms e alla fine di ogni riga una saccade inversa riporta la fissazione alla riga successiva (Casco, 2012).

La probabilità che una parola venga fissata e, più in generale, l'analisi dei movimenti oculari, dipendono da vari aspetti specifici del testo scritto, come il contrasto, il colore delle lettere o dello sfondo, la distanza di lettura, e la difficoltà dell'argomento (Casco, 2012).

Tra due saccadi successive la durata di ciascuna fissazione può essere influenzata anche dalle parole vicine; Morrison, nel suo modello del 1984, afferma che durante la prima fissazione di una parola il focus attentivo si trova nella stessa posizione spaziale degli occhi, e qui avviene il processamento dettagliato della parola N; il focus attentivo si sposta successivamente alla parola N+1 sebbene gli occhi siano ancora fissi su quella precedente. Tra questi due momenti avviene il processamento parafoveale della parola N+1 e la programmazione saccadica. Alcune informazioni sulla parola N+1 sono dunque disponibili prima che gli occhi la fissino centralmente in fovea, e per questo motivo l'effetto viene chiamato Parafoveal on Foveal.

Successivamente gli occhi, grazie al movimento saccadico, si riallineano con l'attenzione; se la parola N+1 è stata elaborata dal processamento parafoveale, può essere saltata dallo sguardo e gli occhi passano direttamente alla parola N+2 (Morrison, 1984).

Mediante questa sequenza di saccadi e fissazioni, a livello corticale viene rappresentata un'immagine stabile.

Un altro importante aspetto funzionale durante la lettura è determinato dai movimenti di vergenza tra una saccade e l'altra, in quanto la coordinazione binoculare ha lo scopo, in compiti di lettura, di mantenere gli assi visivi allineati nel testo, per promuovere la fusione delle immagini. Liversedge et al., in un articolo del 2006, esaminano le caratteristiche spaziali della coordinazione dei due occhi durante la lettura, trovando che gli occhi non fissano necessariamente lo stesso punto interno ad una parola, ma che può esistere una piccola disparità di fissazione che il sistema visivo è in grado di tollerare (Liversedge, White, Findlay, & Rayner, 2006).

Nel 2009, Kapoula e Vernet precisano l'importanza dei movimenti di vergenza nella compensazione della disparità di fissazione: l'occhio che

compie un'adduzione all'inizio della saccade effettua un movimento più lungo e veloce rispetto il controlaterale abducente, producendo una leggera divergenza durante la prima parte del movimento saccadico; tale divergenza viene compensata da un movimento convergente alla fine della saccade.

Questo meccanismo è particolarmente enfatizzato nell'infanzia e diminuisce con la crescita: la coordinazione binoculare infatti raggiunge il livello adulto tra gli 11 e i 12 anni; dunque un deficit di visione binoculare nei bambini può riflettersi in un debole controllo oculomotorio.

2.2 Il “buon” funzionamento della via Magnocellulare nella lettura

La lettura, come si è visto, richiede abilità e coordinazione da parte di un certo numero di processi visivi. Tutti questi processi permettono che il testo, visto in rapide e successive fissazioni, venga elaborato in informazione cognitiva e compreso (Laycock, & Crewther, 2008).

Nonostante ciò, la relazione apparente tra via Magno e lettura potrebbe non risultare chiara e ci si potrebbe chiedere: in che modo interviene il sistema magnocellulare sui meccanismi descritti?

Vi sono diversi aspetti utili per una buona lettura riconducibili sia all'attività della via Magnocellulare come, ad esempio, una buona sensibilità al contrasto o una buona percezione del movimento (Boden, & Giaschi, 2007), sia riconducibili alle regioni della corteccia visiva primaria in cui proietta tale via (corteccia parietale posteriore) come, un adeguato controllo dei movimenti oculari e l'attenzione visivo-spaziale (Laycock, & Crewther, 2008).

Per quanto riguarda il movimento, Un'importante funzione a carico del sistema Magno è il processamento temporale dell'informazione, che permette la discriminazione di stimoli in movimento o in controfase come distinti e l'elaborazione globale della parola durante tempi brevi di

presentazione, come avviene in lettura (Stein, & Walsh, 1997).

Per quanto riguarda il controllo dei movimenti oculari, la funzione Magno contribuisce al mantenimento di una fissazione binoculare stabile (Stein, & Walsh, 1997) e, secondo Bodden e Giaschi (2007), un'instabile fissazione binoculare (a sua volta risultante da un cattivo controllo della vergenza oculare) potrebbe impedire o rallentare l'integrazione delle caratteristiche all'interno delle parole.

Un'altra funzione, strettamente legata al mantenimento della fissazione binoculare, è la percezione della profondità, o stereopsi che dipende esclusivamente dalla disparità retinica. La disparità retinica è la piccola distanza fra le immagini retiniche dei due occhi, dovuta alla differente posizione degli occhi nel volto; è regolata dalla convergenza e tollerata entro i limiti di un'area di fusione, denominata area di Panum. Le cellule sensibili alla disparità sono presenti in molte aree corticali di affluenza del sistema Magno, come l'area medio-temporale della corteccia parietale (Kandel, et al., 2003, p. 553-556).

Il sistema Magno durante la lettura si occupa anche dell'inibizione del sistema Parvocellulare durante i movimenti saccadici; questa funzione evita che le lettere del testo si sovrappongano tra loro e si crei confusione tra le immagini (Stein, & Walsh, 1997).

Anche le funzioni relazionate all'attenzione contribuiscono alla lettura; l'attenzione "dell'area parietale" è, infatti, responsabile dell'elaborazione dettagliata di oggetti e della focalizzazione su specifiche posizioni del testo tra una saccade e l'altra (Vidysagar, & Pammer, 2009).

Un inadeguato meccanismo di input da parte del sistema Magno, potrebbe rendere difficoltosa la focalizzazione dell'attenzione sulla parola fissata e/o l'orientamento sulla parola successiva; successivamente l'inadeguata localizzazione dell'informazione potrebbe portare difficoltà nella programmazione saccadica dei movimenti oculari (Stein, & Walsh, 1997;

Boden, & Giaschi, 2007).

In più, effetti di affollamento (crowding), dovuti a debole capacità attentiva e, dunque, a un mancato riconoscimento di stimoli presentati a breve durata, disturbano il riconoscimento di lettere e parole (Stein, & Walsh, 1997).

Capitolo 3

La dislessia evolutiva: un esempio di malfunzionamento del sistema magnocellulare?

Uno dei vari ambiti di studio del sistema Magnocellulare, in cui si cerca di capire come un possibile deficit di quest'ultimo influisca sulle capacità di lettori "non bravi", è il dibattuto tema della dislessia.

Ad oggi, infatti, è dimostrato come la dislessia abbia dei collegamenti con alcune funzioni visive di basso livello, come l'integrazione spaziale, il controllo binoculare e l'integrazione temporale, tutte dominate dai neuroni delle lamine Magnocellulari del CGL (Walsh, 1995).

Molte, e dibattute, sono le ricerche effettuate in questo campo; alcuni studi (Stein, 2001; Laycock, & Crewther, 2008) sostengono che un deficit del sistema Magnocellulare possa essere una causa eziologica della dislessia evolutiva; tuttavia i molteplici meccanismi coinvolti nella lettura e le continue scoperte scientifiche lasciano ancora spazio al dibattito.

3.1 Definizione di dislessia e modello di lettura

La dislessia evolutiva è un disturbo che ostacola il normale processo di interpretazione dei segni grafici, con cui si rappresentano per iscritto le parole, e viene definito, in breve, un disturbo della capacità di lettura; essa insorge nel bambino prima dell'apprendimento della letto-scrittura e si differenzia dalla dislessia acquisita, che invece è dovuta a un trauma in un soggetto già capace di leggere e scrivere (Stella, 2004).

La lettura, secondo il modello di Struiksma del 1979 (citato in Maffioletti et al., 2005, pp. 191-193) è un alto processo cognitivo, sintesi di diversi processi connessi tra di loro. Tra questi vi sono: una buona analisi visiva, che permette di riconoscere e tracciare segni grafici ed analizzare i

costituenti di una lettera; una buona coordinazione visivo-motoria per il controllo di saccadi e fissazione; una buona discriminazione visiva, mediante la quale è possibile distinguere un grafema dall'altro (es.: p, q, b, d); la capacità di discriminazione e sintesi uditiva per distinguere e fondere i fonemi; la percezione dell'ordine temporale, grazie al quale si mantiene la sequenzialità delle parole. Infine è necessario avere una buona corrispondenza grafema-fonema in quanto la lettura richiede il processo di traduzione fra un medium grafico e uno fonetico, una sintesi uditiva per poter leggere parole e pseudo-parole e competenze linguistiche per comprendere il significato dei testi.

3.2 La dislessia evolutiva secondo diverse ipotesi eziopatologiche

In uno studio del 2001, Stein sostiene che, nei dislessici, lo sviluppo del sistema visivo Magnocellulare negli strati del corpo genicolato laterale è compromesso; la loro sensibilità al movimento è ridotta, molti dislessici possiedono visione binoculare instabile e, di conseguenza, una scarsa localizzazione visiva, che causa la sensazione che le lettere si muovano e si incrocino mentre avviene la lettura.

Così, una corretta funzione Magnocellulare è essenziale per un'elevata sensibilità al movimento, per una fissazione stabile e, in ultima analisi, per lo sviluppo delle abilità della letto-scrittura.

Molti dislessici hanno anche problemi uditivo-fonologici. La possibilità di distinguere il suono delle lettere dipende dai cambiamenti di frequenza e ampiezza che lo caratterizzano. Le sensibilità alle diverse modulazioni di frequenze e ampiezze d'onda, nei dislessici, sono notevolmente inferiori rispetto ai buoni lettori (Stein, 2001).

Nell'articolo si fa un chiaro accenno alle due principali ipotesi eziopatologiche della dislessia evolutiva: l'ipotesi visiva, o Magnocellulare, che verrà ripresa più avanti, e l'ipotesi fonologica.

L'ipotesi fonologica, in particolare, sostiene la presenza di un disturbo nell'elaborazione, nella codifica e nella rappresentazione dei suoni linguistici, che non permette di effettuare l'intuitiva corrispondenza grafema-fonema dei normo-lettori. Questo deficit, a sua volta, può indebolire la capacità del lettore di immagazzinare la rappresentazione globale delle parole e, infine, impedirne l'identificazione (Ramus, 2003).

Si distinguono poi altre ipotesi come:

L'ipotesi uditiva, in cui, a causa di un deficit uditivo, è ridotta la capacità di discriminare e riconoscere un fonema al variare delle sue caratteristiche acustiche. Tale problema pare abbia origine in un deficit del processamento temporale, ovvero dal fatto che i bambini dislessici necessitano di più tempo per giudicare l'ordine di presentazione dei fonemi; un errato giudizio nell'ordine dei suoni percepiti si riflette, in ultima analisi, in un problema di lettura (Stein, & Walsh, 1997).

L'ipotesi linguistica, secondo cui la compromissione del livello fonologico, che si occupa della pronuncia delle parole e della scomposizione nei fonemi che le compongono, non basti a spiegare il paradosso di persone intelligenti ma con problemi di lettura e comportamenti, in qualche modo, il coinvolgimento dei livelli superiori del linguaggio, quelli della semantica, che si occupa del significato delle parole, e quelli della sintattica, che elabora la grammatica del linguaggio (Maffioletti, et al., 2005, p.212).

L'ipotesi di un deficit percettivo multimodale suggerisce, infine, che i bambini dislessici abbiano un deficit specifico nell'elaborazione temporale di stimoli sensoriali rapidi, presentati loro sia nella modalità visiva che in quella uditiva (Facoetti, et al., 2003).

Le ipotesi non sono totalmente disgiunte le une dalle altre, ed il quadro dei sintomi dei bambini con dislessia evolutiva può manifestarsi contemporaneamente in una riduzione delle abilità fonologiche, di quelle visive, di quelle motorie. Alla base di questa diversità vi è un modello che

mostra come tali disturbi eterogenei possano nascere da un deficit della via Magnocellulare:

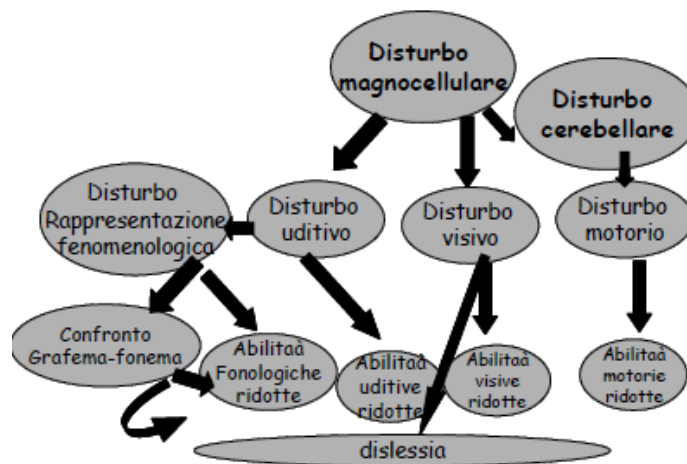


Figura 2: Teoria generale del sistema Magnocellulare della dislessia evolutiva (Ramus, 2003)

In particolare il deficit Magno alla base del disturbo evolutivo di lettura riguarda l'elaborazione temporale degli stimoli, che comprende tutti e tre i sistemi coinvolti nella lettura: acustico, visivo, motorio (Ramus, 2003). Questa elaborazione si esprime come un deficit nel riconoscere l'ordine di diversi suoni presentati in sequenza, riconoscere stimoli visivi presentati in rapida successione, gestire compiti con un determinato ordine prefissato (Laycock, & Crewther, 2008).

3.3 L'ipotesi visiva o Magnocellulare

L'ipotesi visiva suppone che sia presente un malfunzionamento della via Magnocellulare, che porterebbe a disturbi di elaborazione visiva e, attraverso la corteccia parietale posteriore, ad un'instabilità binoculare e ad una capacità visuo-attentiva deficitarie (Stein, & Walsh, 1997).

Tale teoria è sostenuta a livello biologico dalle scoperte anatomiche sui cervelli post-mortem di Galapurga (1997) che trovò delle anomalie nelle lamine Magnocellulari, ma non in quelle Parvocellulari, del NGL del

talamo. Le cellule delle lamine erano per il 27% più piccole delle cellule nei cervelli dei soggetti controllo, dotate, presumibilmente, di assoni più sottili e minor velocità di conduzione del segnale (Laycock, & Crewther, 2008).

A livello funzionale, è stato dimostrato che nei bambini con dislessia evolutiva vi è una piccola riduzione della sensibilità al contrasto alle basse frequenze spaziali ed, in particolare, durante il test flickers, di stimoli in movimento (Evans, Drasdo, & Richards, 1996); mentre alle alte frequenze spaziali, dominate dal sistema Parvo, non vengono riscontrate soglie superiori al normale.

I risultati di tali esperimenti mostrano che i lettori dislessici presentano soglie maggiori nelle presentazioni con durata corrispondente a quella di una fissazione durante la lettura (100ms). Questo suggerisce che il disturbo corticale non riguardi l'analisi dei dettagli ma, precisamente, la risposta alle frequenze spaziali e temporali importanti per lo svolgimento di compiti di integrazione visiva (Casco, 2012).

Tali evidenze vengono smentite da Skottun (2000) che analizza come il suddetto ed altri studi sulla sensibilità al contrasto non discriminino puntualmente la risposta selettiva dei sistemi Magno e Parvo cellulari nei loro esperimenti.

Un altro aspetto a favore della teoria Magnocellulare è il cattivo processamento temporale dell'informazione riscontrato nei bambini con dislessia evolutiva; un deficit temporale si esprime come una ridotta capacità di elaborare informazioni rapide nel sistema visivo (Stein, & Walsh, 1997). Un aspetto importante legato al processamento temporale è costituito dall'attenzione visiva che, come spiegato da Vidyasagar e Pammer (2009), costituisce uno dei meccanismi essenziali per eseguire una buona lettura. Nel loro articolo essi spiegano come un deficit fonologico, come quello che si può riscontrare in molti bambini, potrebbe non essere

la causa della difficoltà di lettura, ma la conseguenza di un input deficitario nelle regioni che mediano la corrispondenza grafema-fonema, dovuto a deficit più generale nel processamento temporale che coinvolge, quindi, sia la modalità fonologica che quella visiva.

Un'altra dibattuta ipotesi sul ruolo del sistema Magnocellulare è costituita dal ruolo di questo su una fissazione binoculare stabile e, più in generale, sui movimenti oculari. I lettori dislessici, come i lettori principianti, mostrano fissazioni più lunghe, un maggior numero di fissazioni e regressioni rispetto ai normo-lettori; Stein (2001) attribuisce il cattivo controllo binoculare, come anche l'instabilità visiva, ad un deficit del sistema Magnocellulare.

In disaccordo con tale ipotesi, Bucci, Nassibi et al. (2012), dopo alcuni esperimenti di confronto sulla qualità della coordinazione oculare durante la lettura tra più gruppi di bambini, dislessici e normolettori, trovano risultati in contrasto con la teoria Magnocellulare, ma in linea con un'altra ipotesi che sostiene l'im maturità nell'apprendimento dei meccanismi di coordinazione binoculare fine delle saccadi.

3.4 La visione binoculare nella dislessia: Un sostegno per l'ipotesi Magnocellulare?

La possibile relazione causale tra disordini della visione binoculare e la dislessia, come abbiamo visto, è tutt'altro che scontata e i risultati delle varie ricerche sperimentali sul tema, contraddittori; a sostegno dell'ipotesi Magnocellulare si può, tuttavia, analizzare come e quanto gli aspetti caratteristici della visione binoculare risultino fuori norma.

In particolare si prendono in considerazione:

Convergenza: essa si definisce come il movimento degli occhi in direzione adducente che avviene in visione prossimale, durante la fissazione di un punto ravvicinato. Il punto più vicino al quale si può mantenere la

convergenza prima di sdoppiare è chiamato punto prossimo prossimo di convergenza (PPC).

Alcuni studi di confronto tra bambini dislessici e normo-lettori (Evans et al., 1996; Kiely, Crewther, & Crewther, 2001) non evidenziano una minor capacità di queste due funzioni in uno dei due gruppi. La facilità di vergenza, un test che valuta velocità e facilità con cui si manifesta la vergenza in caso di diverse richieste visive, risulta invece minore, ed, in particolar modo, deficitaria nei soggetti dislessici (Buzzelli, 1991).

Forie e riserve fusionali: le forie sono definite come una deviazione (eso o exo) dell'allineamento dei due assi visivi su un punto, che non è manifesta in visione binoculare e si associano alle riserve fusionali, ovvero alla capacità degli occhi di compensare una deviazione degli assi visivi, espressa in diottrie prismatiche, prima che sia percepita diplopia. Gli studi che analizzano questo aspetto si trovano in accordo nel affermare che in bambini con diagnosi di dislessia emerge una leggera tendenza all'exoforia, soprattutto per il vicino (Kiely, et al., 2001) con scarse riserve fusionali, specie nel recupero (Evans, et al. 1996).

Stereopsi: è la capacità sensoriale binoculare di percepire la profondità e risulta a norma, nella maggior parte degli studi già citati, (Buzzelli, 1991; Evans, et al., 1996) in linea con quella trovata nei controlli di normo-lettori, senza influenza sulle scarse capacità di lettura dei dislessici.

Dominanza oculare: La dominanza, intesa come la prevalenza di un occhio nello stabilire la posizione relativa degli oggetti nello spazio, è considerata importante in quanto un disturbo della lateralizzazione, ovvero il mancato stabilirsi della dominanza mano-occhio, può avere un ruolo importante in dislessia (Evans, 2001) e, come spiegato da Stein e Walsh (1997) essere collegato al sistema Magnocellulare. Gli studi specifici sulla dominanza (Maffioletti et al., 2005) indicano, in maniera controversa, come nei bambini dislessici possa esserci una maggior incidenza di dominanza

crociata o incompleta o, al contrario, come non ci sia una differenza significativa tra i dislessici e i normo-lettori (Evans, 2001).

Saccadi e fissazioni: le saccadi, movimenti coordinati e saltatori dei due occhi insieme e le fissazioni, sono altri due aspetti deficitari nei dislessici. Diversi studi attribuiscono fissazioni dalla durata più lunga, maggior numero di saccadi regressive, eccessivo numero di saccadi progressive nella lettura dei bambini dislessici rispetto normo-lettori.

Secondo l'ipotesi Magnocellulare, un deficit di queste due caratteristiche sarebbe associato al problema del processamento temporale che si ripercuote sull'attenzione visiva e di conseguenza sul controllo dei movimenti oculari (Vidyasagar, & Pammer, 2009; Jainta, & Kapoula, 2011); ancora una volta, tuttavia, gli studi sono tutt'altro che in accordo (Ramus, 2003).

Capitolo 4

Uno studio sperimentale del sistema Magnocellulare nella dislessia evolutiva

4.1 Ipotesi sperimentali

Numerose ricerche dimostrano come i bambini con dislessia evolutiva possano presentare una ridotta risposta funzionale nella via visiva Magnocellulare (Stein, & Walsh, 1997; Laycock, & Crewther, 2008). Sulla base di questi risultati è stato proposto un possibile legame di causa-effetto tra il deficit funzionale della via magnocellulare e la dislessia evolutiva, citato come "ipotesi visiva" o "Magnocellulare" (Stein, 2001).

L'ipotesi magnocellulare non è però pienamente supportata da tutte le ricerche sulla dislessia evolutiva; esistono altre ipotesi alle quali potrebbe essere attribuita la causa eziologica di tale disturbo, come: l'ipotesi di origine puramente fonologica (Ramus, 2003), o l'ipotesi di un'origine mista (Facoetti, et al., 2003).

Sulla base dell'ipotesi magnocellulare, ci si può aspettare che la dislessia evolutiva sia associata a prestazioni alterate nelle funzioni visive specificatamente mediate dal sistema Magnocellulare, comprese quindi le funzionalità visive di coordinamento binoculare. Ci si propone di sottoporre a verifica sperimentale le seguenti ipotesi:

- che nei bambini con dislessia evolutiva, esista una ridotta risposta agli stimoli che attivano selettivamente il sistema Magnocellulare rispetto ai normo-lettori di pari età;
- che vi sia anche una ridotta funzionalità a livello del coordinamento binoculare in condizioni di visione di stimoli statici e in movimento.

A tal fine lo studio si suddivide in due distinte procedure di valutazione,

basate su misurazioni specifiche per la funzionalità visiva magnocellulare (procedura neurovisiva) e su misurazioni adeguate all'indagine della funzionalità visiva binoculare (procedura optometrica).

Sfruttando la dissociazione funzionale delle due vie visive Magno e Parvo, vengono utilizzate tecniche di misurazione comportamentale psicofisica che consentono di ottenere misure specifiche per i due sistemi Magno e Parvo (Kandel, Schwartz, & Jessel, 2003).

In particolare si misurano: acuità visiva centrale ad alto contrasto, acuità visiva periferica con presentazione breve dello stimolo, spaziatura critica dell'affollamento visivo, sensibilità al contrasto statica centrale, sensibilità al contrasto con stimoli in movimento e in alternanza di fase.



Figura 3: L'acuità visiva viene misurata tramite un compito di riconoscimento di lettere singole del set di caratteri di Sloan. L'affollamento visivo viene quantificato tramite la misura della spaziatura critica tra lettere in triplette orizzontali del set di caratteri di Sloan. Tutte le soglie di contrasto vengono misurate utilizzando stimoli di Gabor, ovvero reticoli di luminanza sinusoidali verticali, a varie frequenze spaziali e in condizioni di movimento e alternanza di fase, modulati da una funzione gaussiana bidimensionale con σ prefissata.

Le soglie di contrasto che, qualora risultassero eccessivamente elevate, ci potranno fornire l'indicazione di un deficit specifico del sistema Magnocellulare rispetto al Parvocellulare sono caratterizzate dai seguenti parametri di presentazione dello stimolo Gabor:

- Frequenze spaziali basse (0.5-3 cp/g) rispetto alle alte (4-10 cp/g).
- Frequenze temporali alte (20-30 Hz), rispetto alla condizione statica (0 Hz).
- Posizione nel campo visivo eccentrica (10° eccentricità), rispetto alla

posizione foveale (0° eccentricità).

- Velocità di movimento elevata, rispetto alla bassa velocità.

La valutazione optometrica è orientata a verificare se vi sia un'anomala funzione binoculare statica e dinamica nei bambini dislessici rispetto ai bambini di controllo normo-lettori. Sebbene non vi siano evidenze sperimentali che possano suggerire un legame di causa effetto tra disfunzioni di binocularità e diagnosi specifica di dislessia evolutiva, l'indicazione di una eventuale correlazione potrebbe fornire utili indicazioni a favore dell'ipotesi magnocellulare (Evans, Drasdo, & Richards, 1996) e potrebbe suggerire l'adozione di strumenti di screening/valutazione/trattamento non neurovisivi/psicologici e precoci per la condizione di dislessia evolutiva.

4.2 Metodo

Lo studio condotto è del tipo caso-controllo: vengono sottoposti alle valutazioni neurovisiva e optometrica un gruppo di bambini dislessici e un gruppo di bambini normo-lettori di pari età, per il confronto incrociato nei gruppi e tra i gruppi delle differenze tra le misure ottenute dalle procedure di valutazione.

Tutte le procedure di misurazione per la valutazione neurovisiva vengono normalmente utilizzate nell'ambito dell'attività di ricerca e di trattamento dei disturbi neurovisivi dal Laboratorio NeuroVis.U.S, Laboratori Interdipartimentali per la Ricerca Psicologica Applicata e Clinica (L.I.R.I.P.A.C.), Università degli Studi di Padova, direttore Prof. C. Casco. Si ringraziano il personale e i collaboratori del Laboratorio NeuroVis.U.S. per il supporto gentilmente fornito nella predisposizione degli strumenti e delle procedure di misurazione.

Per ogni soggetto, l'esecuzione dei test della valutazione neurovisiva è stata condotta in tre diverse sessioni giornaliere pomeridiane: la sequenza

di esecuzione dei test è stata randomizzata assegnando a rotazione ad ogni soggetto una delle quattro sequenze dei 27 test ordinate casualmente.

Tutte le procedure di misurazione per la valutazione optometrica vengono eseguite utilizzando test di tipo ambientale per interagire in maniera diretta con il bambino, avere un controllo visivo continuo sulla direzione del suo sguardo e sull'attenzione posta al test.

I test sono stati eseguiti secondo la sequenza definita dalle linee guida dell'American Optometric Association e puntualizzata da Spadoni (2011); tale sequenza è stata, inoltre, intervallata con i test neurovisivi.

Per evitare che i dati raccolti siano affetti da errori dovuti a stanchezza e calo di attenzione, i test sono stati somministrati in tre sessioni differenti, cercando tuttavia di eseguire lo stesso giorno le prove facenti parte dello stesso blocco funzionale.

Entrambi gli esaminatori, autonomi con gli strumenti per l'esecuzione dei test, sono stati presenti ad ogni sessione giornaliera, avvenuta sempre in casa dei bambini.

4.2.1 Soggetti

Per questo studio caso-controllo sono stati reclutati 20 bambini di età compresa tra 9 anni e 11 anni suddivisi in due gruppi:

1. "Gruppo controllo": 12 bambini normo-lettori, 6 maschi e 6 femmine, età media 9,9 anni (intervallo di età 9-11 anni);
2. "Gruppo dislessia": 8 bambini con ritardo delle capacità di lettura e con diagnosi di dislessia, 5 maschi e 3 femmine, età media 10,2 anni (intervallo di età 9-12 anni).

Le normali capacità di lettura dei bambini del Gruppo controllo sono state rilevate sulla base delle indicazioni degli insegnanti e confermate dai genitori dei bambini.

I genitori dei bambini del Gruppo dislessia hanno esibito una diagnosi di

dislessia evolutiva rilasciata, per il loro figlio, dagli specialisti delle U.L.S.S. delle relative città di residenza, e formulata sulla base dei seguenti criteri diagnostici:

- soggetto con disturbo di lettura con livello intellettivo nella norma (Q.I.≥85);
- livello di lettura inferiore alla II deviazione standard prevista per l'età o la classe frequentata;
- il soggetto non deve presentare disturbi neurologici o sensoriali;
- il disturbo di lettura deve essere persistente, nonostante una scolarizzazione adeguata e interventi didattici specifici;
- il disturbo di lettura deve produrre conseguenze negative sulla scolarizzazione o nelle attività in cui è richiesto l'impiego della letto-scrittura (Andreoli, Cassano, & Rossi, 2007).

Esclusivamente per alcuni test (gabor_2a-flicker) si inserisce nello studio anche un gruppo di adulti, normolettori, su cui non sono stati effettuati personalmente i test e i dati per l'indagine statistica sono stati gentilmente forniti dal laboratorio Neuro.Vis.U.S di Padova.

Poichè ci si propone di analizzare l'efficienza dei meccanismi specifici della via magnocellulare e di coordinamento binoculare, per tutti i soggetti di entrambi i gruppi si richiede la presenza dei tre gradi della funzione binoculare. A tal fine sono dunque stati applicati i seguenti criteri di esclusione:

1. AV minimo leggibile con correzione 10/10 binoculare e almeno 8/10 monoculare, in visione da lontano e prossimale (40 cm);
2. assenza di sintomi gravi e persistenti in visione prossimale: tre soggetti (LB, CP e AA), non esclusi dall'analisi, riferiscono sintomi non gravi e non persistenti;
3. assenza di deviazioni eterotropiche al Cover test;

4. stereopsi $\leq 80''$ d'arco: un soggetto appartenente al gruppo controllo è stato escluso perché presenta una stereopsi di $200''$ (ST). Per l'analisi dei dati, il Gruppo controllo risulta dunque essere composto da 11 bambini normolettori, 5 maschi e 6 femmine, età media 9,9 anni (intervallo di età 9-11 anni).

Nel Gruppo controllo un bambino (GC) porta la correzione refrattiva su occhiale per la compensazione di un astigmatismo monolaterale (OD: piano; OS: cil. -0,50D asse 180°).

Nel Gruppo dislessia 4 bambini portano correzione oftalmica: per una lieve miopia (CD: OD: sf. -0.50D; OS: sf. -0.50D); per un lieve astigmatismo bilaterale (DS: OD: sf. 0.00D, cil. -0.50D asse 10° ; OS: cil. -0.50D asse 175°); per due casi di ipermetropia (AM e GC: OD: sf. +1.50D; OS: sf. +1.50D) e (OD: sf +0,50D; OS: +0,50D).

Il soggettivo monoculare condotto a partire da un forte annebbiamento permette di evidenziare che un bambino (AA) accetta sf. +0.50D in entrambi gli occhi per il lontano, riferendo inoltre di soffrire di mal di testa dopo periodi prolungati di attività visiva prossimale; altri due bambini accettano rispettivamente +0,50D (AB) e +0,75D (FC) in entrambi gli occhi e non lamentano sintomi.

Sulla base della valutazione optometrica si rileva inoltre un possibile caso di insufficienza di convergenza (LB: PPC: 20cm). Si provvede ad informare i rispettivi genitori dei due bambini.

Lo stato di salute generale, come dichiarato dai genitori sulla base di un apposito questionario (si veda appendice documenti), è risultato ottimale per tutti i bambini; sulla base del questionario specifico sulla funzionalità visiva somministrato ai bambini (si veda appendice documenti) si riscontra la sola condizione con sintomi per il bambino ST nel Gruppo controllo.

I bambini dei due gruppi sono stati reclutati presso le città di Marghera

(Venezia) e Rovigo.

Al momento del reclutamento nei due gruppi di studio, ai genitori dei bambini viene chiesto di sottoscrivere un apposito consenso informato (si veda appendice documenti). Lo studio viene svolto nel rispetto delle normative etiche dell'Università di Padova e delle indicazioni della Dichiarazione di Helsinki.

Criterio di esclusione per la parte neurovisiva:

1. Per ogni test si ricava la media dei dati e la deviazione standard. I dati vengono esclusi dall'analisi se risultano superiori o inferiori al range limitato da ciascuna media più o meno due deviazioni standard ($Media \pm 2DS$).

Non si escludono soggetti dallo studio perché solo 1 valore di tutti i dati del Gruppo controllo e 0 del Gruppo dislessia non rientrano nel range stabilito; si sceglie invece di sostituire tale dato col valore medio della raccolta (si veda tabella XXIV, dato segnato in colore verde). Per ulteriori informazioni sui dati raccolti dei soggetti del gruppo "controllo" e del gruppo "dislessia" si vedano le tabelle III-XXX in Appendice 2.

4.2.2 Valutazione neurovisiva

La valutazione neurovisiva è stata svolta utilizzando due personal computer portatili con sistema operativo Microsoft Windows 7: Samsung RV 520, dotato di schermo LCD con risoluzione nativa 1366x768 pixel e dimensioni 34,5X19,5 cm; Acer TravelMate 4200, dotato di schermo LCD con risoluzione nativa 1280x800 pixel e dimensioni 33,3X21 cm. La calibrazione di luminanza e colore degli schermi e la produzione della tabella LUT caricata sulla scheda video per la linearizzazione della risposta di luminanza sono state ottenute, presso il Laboratorio NeuroVis.U.S., utilizzando un colorimetro Spyder4Elite (Datacolor, 5 Princess Rd, Lawrenceville, NJ, USA) con il software dedicato Spider4Elite

v.4.5.4 (calibrazione iterativa del bilanciamento del grigio, punto di bianco 6500K, gamma 1.0, luminanza del nero 0.1 cd/m², luminanza del bianco 110 cd/m²).

Per la presentazione degli stimoli visivi e la raccolta delle misure sono stati utilizzati i programmi di seguito indicati.

FrACT versione 3.7.4b, 2012 (Michael Bach, Freiburg Visual Acuity and Contrast Test). Applicazione sviluppata per Adobe Flash Player e distribuita gratuitamente, per la misurazione iterativa di acuità visiva, sensibilità al contrasto e acuità Vernier: la determinazione delle soglie si basa sulla procedura adattiva 'Best PEST' e, in questa versione, viene implementata una tecnologia di 'bit stealing' per l'estensione della gamma di contrasti rappresentabili a video tramite piccoli scostamenti cromatici nei valori RGB dei pixel. Variabili misurate:

1. acuità visiva di riconoscimento: set di lettere di Sloan (S, O, C, D, K, V, R, H, N, Z) lettere nere su sfondo bianco, presentate singolarmente, 30 presentazioni, durata dello stimolo 30 s (o fino alla risposta del soggetto); distanza del soggetto dallo schermo 2 m; visione monoculare e binoculare; correzione abituale per lontano; illuminazione ambientale soffusa. Misure di acuità visiva espresse in unità logMAR.
2. Curva di sensibilità al contrasto fotopica statica: reticoli sinusoidali delimitati da finestra circolare con diametro fisso di 2°, 30 presentazioni, durata dello stimolo 0.5 s, valutazione della soglia di contrasto alle frequenze spaziali 1, 3, 5, 7, 11, 15 cpd (cicli per grado); distanza del soggetto dallo schermo 2 m; visione binoculare con correzione abituale per lontano; illuminazione ambientale di semioscurità. Le misure delle soglie di contrasto sono espresse in percentuale di contrasto di Michelson:

$$100 * \text{Contrasto}_{\text{Michelson}} = 100 * (L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) / (L_{\text{max}} + L_{\text{min}})$$

L_{\max} e L_{\min} sono rispettivamente le luminanze massima e minima del reticolo sinusoidale, la parte di schermo non occupata dallo stimolo mantiene luminanza costante pari alla media tra luminanze L_{\max} e L_{\min} del reticolo.

Acuità_2a (Massimo Grassi per il Laboratorio NeuroVis.U.S., Dipartimento di Psicologia generale, Università degli Studi di Padova), applicazione sviluppata e compilata in MATLAB versione 2010a (The MathWorks, 3 Apple Hill Drive, Natick, Massachusetts, USA) per la misurazione iterativa dell'acuità visiva periferica: la determinazione della soglia si basa su metodo adattivo. Questo valore di acuità, misurato per ogni soggetto, viene utilizzata per configurare la procedura di misurazione dell'affollamento (crowding) all'eccentricità di 4°: la dimensione delle lettere per il crowding viene impostata calcolando il 125% della soglia di acuità e approssimando per eccesso al primo valore intero in minuti d'arco (misura della soglia di crowding indipendentemente dal valore di soglia di acuità).

Variabile misurata:

1. acuità visiva di riconoscimento periferica con presentazione breve dello stimolo: set di lettere di Sloan presentate singolarmente, 40 presentazioni, lettere bianche su sfondo nero, eccentricità 4°, tempo di presentazione 100 ms; distanza del soggetto dallo schermo 57 cm; visione binoculare con correzione abituale per vicino; illuminazione ambientale soffusa. Misura dell'acuità visiva espressa in minuti d'arco (spessore del tratto del carattere);

Gabor_2a (Massimo Grassi per il Laboratorio NeuroVis.U.S.), applicazione sviluppata e compilata in MATLAB, utilizzando le librerie Psychtoolbox, versione 3 (Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner et al, 2007) per la misurazione iterativa di soglie di contrasto a diverse frequenze spaziali e a diverse durate di presentazione su reticoli statici, dinamici, in alternanza

di fase, al centro e in periferia del campo visivo; lo stimolo è costituito da figure di Gabor con reticolo verticale e σ della gaussiana di 2° ; il compito consiste nel rilevare la presenza della Gabor tramite una scelta forzata tra due alternative temporali, cioè il soggetto deve dire se, tra ogni sequenza di due presentazioni successive (ritardo interstimolo 2s, 30 sequenze per ogni soglia), segnalate con la comparsa preliminare della croce di fissazione e tramite due segnali acustici, la gabor era presente nella prima o nella seconda presentazione; la determinazione della soglia si basa su metodo adattivo. La Gabor dinamica/in movimento viene prodotta tramite lo scorrimento del reticolo sinusoidale all'interno della finestra gaussiana che rimane ferma sullo schermo. Distanza del soggetto dallo schermo 57 cm; visione binoculare con correzione abituale per vicino; illuminazione ambientale di semioscurità. Tutte le soglie misurate vengono espresse in unità di Contrasto di Michelson.

Le soglie di contrasto misurate vengono riportate in tabella 1:

Tabella 1: Soglie di contrasto misurate con test Gabor_2a

Soglia	FS (cpd)	Eccentricità ($^\circ$)	Velocità ($^\circ$ /s)	Durata (ms)	Flicker (Hz)
1. statico fovea 0.5cpd	0.5	0	-	250	-
2. statico fovea 4cpd	4.0	0	-	250	-
3. statico periferia 0.5cpd	0.5	10	-	250	-
3. statico periferia 4cpd	4.0	10	-	250	-
4. movimento 100ms	4.0	10	5	100	-
5. movimento 250ms	4.0	10	5	250	-
6. movimento 400ms	4.0	10	5	400	-
7. movimento 40° /s 0.5 cpd	0.5	10	40	250	-
7. flicker 0.5cpd 10Hz	0.5	10	-	250	10
8. flicker 4cpd 10Hz	4.0	10	-	250	10
9. flicker 0.5cpd 20Hz	0.5	10	-	250	20
10. flicker 4cpd 20Hz	4.0	10	-	250	20
11. flicker 0.5cpd 30Hz	0.5	10	-	250	30
12. flicker 4cpd 30Hz	4.0	10	-	250	30

Neurotraining_2013 (Massimo Pavan per il Laboratorio NeuroVis.U.S.), applicazione sviluppata e compilata in MATLAB, utilizzando le librerie Psychtoolbox, versione 3 (Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner et al, 2007) per la misurazione iterativa di soglie di contrasto in centro e in periferia (10° di eccentricità) del campo visivo su Gabor in movimento alla velocità di 40 °/s, ottenuta tramite lo scorrimento del reticolo sinusoidale verticale all'interno della finestra gaussiana fissa: la Gabor in movimento, con frequenza spaziale di 0.5 cpd, viene mostrata in posizione mediana tra due Gabor distrattori collineari verticali ad alto contrasto con medesima frequenza spaziale di 0.5 cpd. La σ della gaussiana e la distanza dei distrattori vengono definiti in unità di lunghezza d'onda del reticolo sinusoidale della Gabor centrale. Il compito consiste nella discriminazione del movimento in funzione del contrasto della Gabor centrale, tramite una scelta forzata binaria (movimento verso destra o verso sinistra); la soglia viene determinata con metodo adattivo ed è definita come il valore di contrasto al quale il soggetto discrimina correttamente la direzione del movimento nel 75% dei casi. Durata della presentazione dello stimolo 0.5 s. Distanza del soggetto dallo schermo 57 cm; visione binoculare con correzione abituale per vicino; illuminazione ambientale di semioscurità. Le due variabili misurate vengono espresse in unità di Contrasto di Michelson.

4.2.3 Valutazione optometrica

Le procedure di esecuzione dei test sono uniformate sulle indicazioni di Scheiman e Wick (2008). La procedura comprende 13 test di tipo ambientale raggruppati in 5 categorie differenti:

1. Acuità visiva.
2. Test preliminari: Distanza interpupillare, PPC, Stereopsi e Dominanza Spaziale.

3. Forie da vicino e lontano, Vergenze step vicino e lontano, Flessibilità di vergenza, Ampiezza accomodativa, Flipper accomodativi.
4. Refrazione.
5. Motilità oculare.

Per la raccolta dei dati sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

Tavola di acuità visiva: stampata su carta, illuminazione riflessa, costruita per i 0,4 e 4m: le mire raffigurate sono lettere di Sloan (range da 1/10 a 10/10); fornisce i risultati della soglia di acuità in unità decimali.

L'acuità visiva è stata misurata per valutare se è adeguata per l'età e, in caso di correzione, se il difetto refrattivo è corretto adeguatamente. Compito del soggetto è riferire la riga più piccola che riesce a leggere. Distanza del test per il vicino e per il lontano; esecuzione monolare e, successivamente, binolare; buona illuminazione ambientale. In questa fase viene inoltre misurata la distanza interpupillare del soggetto.

Penlight: usata per la misurazione del PPC, che valuta la capacità del sistema di convergere mantenendo la visione binolare. Il test fornisce la distanza in cm alla quale il soggetto riferisce diplopia della mira e successiva ripresa della visione singola quando l'operatore avvicina o allontana la penlight dal suo naso. Il test si esegue a partire da 50 cm di distanza muovendo la mira verso il paziente a livello degli occhi e tra gli occhi; esecuzione binolare; buona illuminazione ambientale.

Cerchi di Wirt (Fricke e Siderov, 1997) all'interno di Titmus stereotest (STEREO OPTICAL CO., INC.; Chicago, Il 60641) + occhiali polarizzati: permettono la misurazione della soglia di stereoacuità (range da 800" a 40", test eseguito a 0,40 m); fornisce risultati in secondi d'arco. La stereopsi è stata utilizzata per valutare la qualità dell'integrazione visiva sensoriale indagando il 3° grado della visione binolare. Compito del soggetto è

identificare tra quattro alternative, la mira (cerchio) stereoscopica; ad ogni risposta corretta la difficoltà del compito aumenta fino al raggiungimento della soglia massima di 40" arco. Esecuzione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Insieme al suddetto test si valuta la dominanza spaziale, oculare e manuale del bambino. Compito del soggetto è fissare una mira mentre l'esaminatore occlude alternativamente i due occhi e chiede al soggetto con quale occhio sparisce la mira. Distanza del test per il vicino (0,4m) e per il lontano (4m); esecuzione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Tavole Thorrington (Maples, Savoy, Harville, Golden e Hoenes, 2009) (costruite per i 0,40m e i 4 m, basate sulla definizione di diottria prismatica) + lente di Maddox: permettono la misurazione delle eteroforie in visione prossimale e in distanza; forniscono i risultati in Diottrie Prismatiche.

Come affermato da Scheiman e Wick (2008) si tratta di una tecnica altamente consigliata per la sua semplicità nel lavoro con i bambini e la sua alta ripetibilità. Per l'esecuzione il soggetto indossa l'occhiale di prova in cui è inserita la lente di Maddox con le striature orientate orizzontalmente e riferisce attraverso quale numero vede passare la linea di luce. Distanza del test per il vicino e per il lontano; esecuzione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Prima dell'esecuzione del suddetto test, si effettua una misurazione oggettiva e qualitativa della presenza di forie e tropie grazie al cover test.

Il test permette di tipi di valutazione:

1. Cover test unilaterale, per l'identificazione di eterotropie Compito del soggetto è fissare una mira mentre l'esaminatore copre l'occhio destro del soggetto e osserva il sinistro o copre l'occhio sinistro e guarda il destro appena il controlaterale viene coperto.

2. Cover test alternante, per l'identificazione delle eteroforie. Compito del soggetto è fissare una mira mentre l'esaminatore copre l'occhio sinistro per qualche secondo al fine di permettere all'occhio destro di prendere la fissazione, trasferisce l'occlusore all'occhio destro ed osserva l'eventuale movimento dell'occhio sinistro.

Per entrambi i test avviene l'esecuzione per il vicino e per il lontano; visione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Stecche a prismi di Berens (range da 1 a 40 DP, con salto di 2DP da 2Dp a 20 Dp e con un salto di 5Dp da 20Dp a 40Dp): il potere del prisma, con cui vengono riportati i risultati, è definito come diottria prismatica (= deviazione su una superficie piana di un centimetro alla distanza di un metro).

Le stecche permettono la misurazione delle vergenze positive e negative utilizzando la tecnica "step" e la misurazione dei punti di rottura e recupero della mira: è importante partire sempre da quelle positive e poi passare alle negative per ottenere la minor interazione possibile tra i risultati dei due test. Compito del soggetto è riferire lo sdoppiamento e il recupero della visione della mira fissata mentre l'esaminatore pone la sbarra dei prismi davanti ad un occhio del bambino. La mira utilizzata è una mira accomodativa costruita per i 0,4m raffigurante lettere di Sloan (6/10) posizionate in una fila verticale. Esecuzione per il lontano e per il vicino; visione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Biprisma con valori 3Dp BI/12 Dp BE: utilizzato per la misurazione della facilità di vergenza, valuta la qualità del sistema in condizioni dinamiche. Il test stima il numero di volte che la mira torna singola e nitida e fornisce tale valore in cicli per minuto (1 ciclo = vengono completate con successo entrambe la base esterna e interna).

Compito del soggetto è guardare le lettere sulla mira accomodativa (acuità lettere 6/10). Una volta inserito il biprisma davanti ai suoi occhi, il soggetto, vedendo annebbiato e doppio, deve provare a riportare la mira

singola e nitida appena possibile e avvisare l'operatore appena ciò accade. Distanza 0,4 m; esecuzione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Flipper accomodativo con valori $\pm 2,00$ D: utilizzato per la misurazione della flessibilità accomodativa, valuta il responso dinamico dell'accomodazione. Il test stima il numero di volte che la mira torna singola e fornisce tale valore in cicli per minuto.

Il soggetto deve guardare le lettere sulla mira accomodativa (6/10). Guardando attraverso le lenti positive e negative, il soggetto, vedendo annebbiato, deve provare a riportare la mira ad essere nitida e singola ed avvisare l'operatore appena ciò avviene. Distanza 0,4 m; esecuzione monoculare e binoculare; buona illuminazione ambientale.

In questa fase viene inoltre valutata la funzione accomodativa attraverso il test PPA, che fornisce il valore del punto prossimo di accomodazione in cm. Il soggetto deve leggere la prima lettera della mira appena questa è a fuoco mentre l'esaminatore allontana la mira dal suo occhio. Esecuzione monoculare; buona illuminazione ambientale.

Mire accomodative con figure: utilizzate per indagare la motilità oculare, questo tipo di mira permette di attirare l'attenzione del bambino. La motilità oculare è valutata utilizzando il N.S.U.C.O (Northeastern State University College of Optometry; Maples, Atchley & Ficklin, 1992), test che fornisce la stima dell'abilità e precisione di sbalzi di fissazione e inseguimenti attraverso istruzioni e punteggi standardizzati (si veda tabella II).

Per i movimenti di inseguimento, il soggetto deve continuare a fissare la mira che si muove ad una distanza di 0,4 m dai suoi occhi mentre questa esegue due movimenti circolari in ogni direzione.

Per gli sbalzi di fissazione, il soggetto deve fissare una delle due mire indicata dall'esaminatore, poste davanti a lui ad una distanza di 0,4 m e distaccate 0,2 m l'una dall'altra; deve continuare a guardarla fino a quando

non viene nominata l'altra. Esecuzione binoculare; buona illuminazione ambientale.

Tabella II: Punteggi standardizzati del test N.S.U.C.O.

Valutazione quantitativa		punteggio
Abilità	Inseguimenti	1= Non completa ½ giro nelle due direzioni 2= ½ rotazione nelle 2 direzioni 3= 1 rotazione nelle 3 direzioni 4= 2 rotazioni in solo in 1 direzione 5= 2 rotazioni in ogni direzione
	Sbalzi di fissazione	1= Completa meno di 2 balzi 2= 2 balzi 3= 3 balzi 4= 4 balzi 5= 5 balzi
Precisione	Inseguimenti	1= Refissazioni > 10 volte 2= Refissazioni 5 a 10 volte 3= Refissazioni 3 o 4 volte 4= Refissazioni 2 volte o meno 5= Nessuna refissazione
	Sbalzi di fissazione	1= Imprecisioni marcate 1 o + volte 2= Imprecisioni medie 1 o + volte 3= Imprecisioni lievi > 50% del tempo 4= Imprecisioni lievi < 50% del tempo 5= Niente imprecisioni
Movimento della testa		1= Partecipazione marcata della testa 2= Movimenti moderati della testa 3= Partecipazione lieve > 50% del tempo 4= Partecipazione lieve < 50% 5= Niente partecipazione testa/corpo

Viene inoltre eseguita una refrazione, utilizzando la cassetta di prova, solamente ai soggetti che presentano visione binoculare alterata e assenza di correzione. Questo permette di determinare l'errore refrattivo e stimare se il deficit binoculare può essere dovuto a tale condizione non corretta.

Capitolo 5

Analisi dati e discussione

Nello specifico, attraverso i test delle due procedure neurovisiva e optometrica si cercherà di avvalorare le seguenti ipotesi di ricerca:

- verificare la possibilità di distinguere la risposta del sistema Magnocellulare da quella del sistema Parvocellulare.
- verificare che i test di diagnosi differenziale per la risposta del sistema Magno diano differenze significative nei risultati tra il gruppo di bambini dislessici e quello dei normo-lettori.
- verificare la visione binoculare, le capacità accomodative e la motilità oculare nei due gruppi di bambini per capire se un deficit Magno influisce su specifici problemi di visione.

5.1 Valutazione neurovisiva: analisi dati

5.1.1 Test di screening

L'esecuzione dei test, per la verifica delle ipotesi proposte, prevede due iniziali test di screening che permettono la verifica dell'acuità visiva e della curva di sensibilità al contrasto statica dei soggetti.

Test d'acuità visiva con lettere di Sloan (Software FrACT):

Eseguito per esser certi che un difetto di tipo refrattivo non contaminava la discriminazione degli stimoli dei successivi test.

Si eseguì un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e un fattore entro i soggetti (occhio: OO; OD; OS). I risultati mostrano una differenza non significativa del fattore gruppo [$F_{1,18}=0.001$, $p=0.971$]; un effetto significativo del fattore occhio [$F_{2,36}=14,035$, $p=0.0001$]; ed un'interazione occhio per gruppo non significativa [$F_{2,36}= 0.095$, $p= 0.91$].

Il confronto tra coppie (correzione di Bonferroni) mostra che l'acuità in OO

è maggiore sia rispetto OD ($p=0.001$) che OS ($p=0.002$), mentre la differenza tra OD e OS non è significativa ($p=1$).

I risultati confermano un'ottima condizione refrattiva, necessaria per l'esecuzione dei successivi test poiché influisce sulla percezione del reticolo di contrasto: lo sfuocamento dovuto a fattori ottici può infatti ridurre il contrasto dell'immagine retinica (Casco, 2012). La differenza significativa di acuità rilevata in ciascun occhio rispetto i due occhi insieme rispetta invece il fisiologico aumento di acuità in visione binoculare (10%) rispetto la visione monoculare (Rossetti, & Gheller, 2003, p.139).

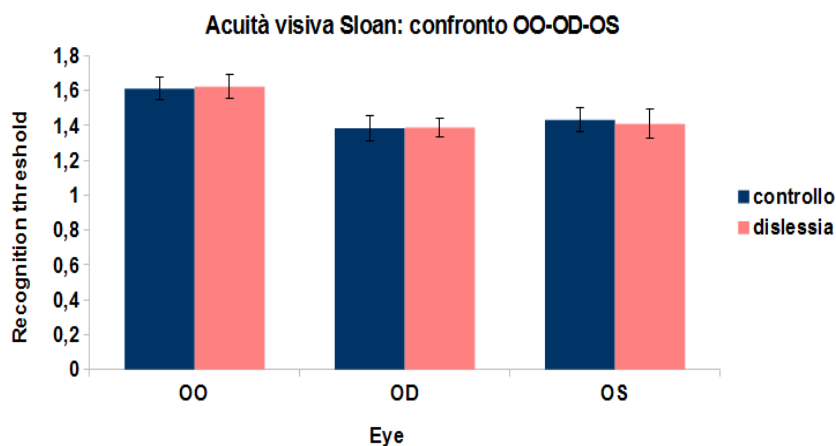


Figura 4: Test d'acuità visiva con lettere di Sloan (Software FrACT)

Test Gratings per la curva di sensibilità al contrasto (CSC) (Software FrACT):

Eseguito per avere una prima descrizione della sensibilità del sistema visivo a diverse frequenze spaziali.

Si esegue un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e un fattore entro i soggetti (frequenza spaziale: 1cpg, 3cpg, 5cpg, 7cpg, 11cpg, 15cpg). I risultati mostrano: un effetto significativo del fattore frequenza spaziale [$F_{5,90}=10,76$; $p=0.0001$]; un effetto significativo del fattore gruppo [$F_{1,18}=7,23$; $p=0.015$]; un effetto significativo dell'interazione gruppo per

frequenze spaziali [$F_{5,90}=2,84$; $p=0.02$ (assumendo la sfericità.) e $p=0.079$ (con green-house correction)].

Il confronto a coppie (correzione di Bonferroni) mostra che la differenza tra gruppi si avvicina alla significatività per le frequenze spaziali: 1 cpg ($p=0,065$), 3 cpg ($p=0.07$) ed è significativa per le frequenze spaziali di 5cpd (0.0007); mentre la differenza tra gruppi non è significativa per 7 cpg ($p=0,3$), 11 cpg ($p=0.89$), 15cpg ($p=0.74$).

Il test mostra soglie di contrasto a favore dell'ipotesi Magnocellulare, che prevede una caduta del gruppo dei dislessici a basse frequenze spaziali rispetto alle alte; questo fatto è dovuto alla risposta fisiologica delle cellule Magno per un contrasto molto basso ma non di quelle Parvo (Skottun, 2000); tuttavia è inaspettata la significatività a 5 cpg, in cui dovrebbe trovare il picco di sensibilità. Essa può essere spiegata per il seguente motivo: nella lettura a 40 cm le lettere, che possiedono contorni netti, contengono tutte le frequenze spaziali, ma prevalgono quelle intorno ai 4cpg. Questa frequenza è molto vicina ai 5cpg, dov'è stata riscontrata la minor sensibilità dei dislessici. Il dato, apparentemente strano, potrebbe essere giustificato dall'epifenomeno secondo cui questi bambini leggono poco a causa della difficoltà di lettura e sono dunque meno allenati dei normo-lettori in questa frequenza spaziale (4cpg).

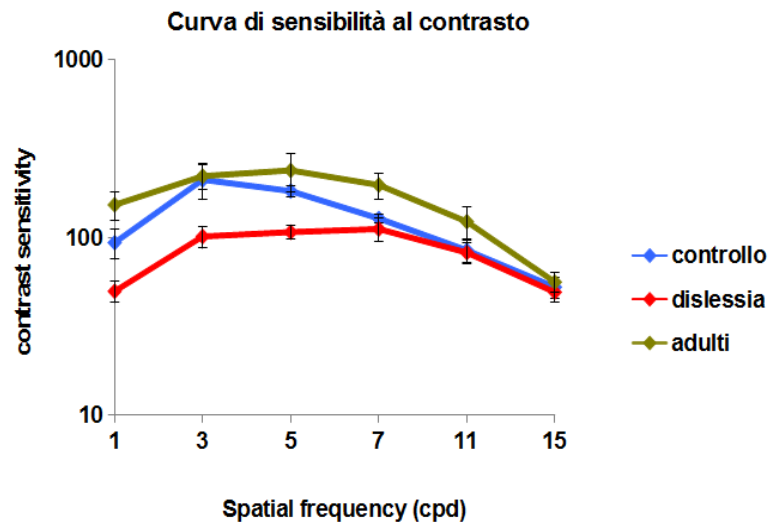


Figura 5: Test gratings per la curva di sensibilità al contrasto (CSC) (Software FrACT)

5.1.2 Test per la differenziazione della risposta Magnocellulare da quella Parvocellulare

Test d'acuità visiva periferica tachistoscopica (test acuità_2a):

Eseguito per verificare la soglia di acuità visiva periferica con brevi tempi di presentazione.

Si esegue un t-test per gruppi indipendenti in cui risulta una differenza tra i gruppi significativa assumendo varianze uguali [$t(18)=-2.24, p=0.038$].

La minore acuità dei bambini dislessici può essere dovuta ai tempi di esposizione ridotti, a sostegno dell'ipotesi di un deficit nella risposta temporale a carico del sistema Magno, che si esprime come una ridotta capacità di elaborare informazioni rapide nel sistema visivo (Stein, & Walsh, 1997), oppure ad un deficit della visione periferica, dovuto al fatto che lo stimolo viene presentato in posizione eccentrica.

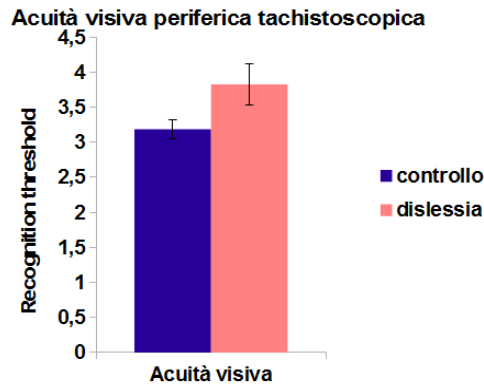


Figura 6: Test d'acuità visiva tachistoscopica (test acuità_2a)

Si decide di approfondire l'aspetto temporale, considerato da alcuni autori (Laycock, & Crewther, 2008) unico fattore in grado di differenziare in maniera selettiva la risposta del sistema Magno rispetto a quella del Parvo. La via Magnocellulare, secondo l'omonima ipotesi, spiega che solo questa via è deficitaria nei bambini con dislessia evolutiva, mentre la via Parvocellulare non risulta danneggiata.

Un primo approfondimento viene dunque eseguito per isolare il sistema Magnocellulare e fare diagnosi differenziale. Come spiegato da Skottun (2000) ciò può esser fatto grazie alla contrapposizione di diverse combinazioni di frequenze spaziali e temporali, in diversi test. Egli spiega che il problema principale nel tentativo di isolare il sistema Magno è costituito dalla ricerca di quelle caratteristiche che lo stimolano selettivamente, ma, anche, dalla ricerca delle caratteristiche che, al contrario, non stimolano (o stimolano in maniera irrilevante) il sistema Parvo. In conclusione solamente stimoli che hanno entrambe frequenza spaziale bassa ($\approx 1,0$ cpg) e frequenza temporale alta (≈ 10 Hz), risultano inconsistenti per la stimolazione della via Parvo e indicano una stimolazione selettiva di quella Magno.

Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli statici foveali (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg):

Si esegue un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e un fattore entro i soggetti (frequenza spaziale: 0,5 cpg; 4 cpg). I risultati mostrano: una differenza significativa del fattore frequenza spaziale [F 1,18=27,2; p=0,0001]; una differenza non significativa per il fattore gruppo [F1,18=1,9 p=0.19]; un'interazione frequenza spaziale per gruppo non significativa [F 1,18=0,004; p=0.95].

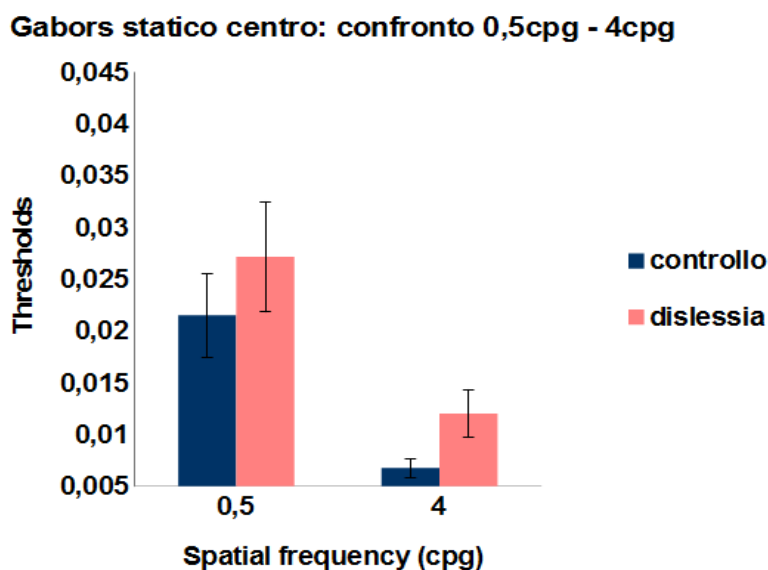


Figura 7: Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli statici foveali (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg)

Il grafico mostra una caduta di sensibilità sia nei bambini dislessici che nel gruppo controllo per le basse frequenze spaziali rispetto alle alte, tuttavia, non vi è una differenza significativa tra i due gruppi e non è possibile trarre una conclusione a favore o contro l'ipotesi Magnocellulare (come sarebbe accaduto in caso di significatività nell'interazione frequenza spaziale per gruppo).

In maniera simile, una minor sensibilità alle basse frequenze spaziali dei bambini dislessici rispetto i normo-lettori è risultata nella curva di

sensibilità al contrasto (si veda test di screening).

Con questi due test gabor-statici si ha un primo riscontro della risposta leggermente differente dei bambini dislessici rispetto i normo-lettori per le basse frequenze spaziali rispetto le alte, che, come confermato da Skottun (2000) si verifica preferibilmente con frequenze inferiori a 1-1,5cpg.

Ulteriori analisi sono però necessarie per spiegare le soglie più basse dei bambini dislessici e selezionare più accuratamente la risposta Magnocellulare; fino ad ora, infatti, non sono stati utilizzati stimoli in controfase, per ottenere una risposta selettiva.

Si procede dunque con test più specifici in cui si testa la differenza dei due sistemi in modo più rigoroso attraverso la presentazione di stimoli con diverse frequenze temporali.

Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli in controfase foveali-flicker (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg):

Si segue un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) a tre livelli (adulti; controllo; dislessia) e un fattore entro i soggetti (frequenza spaziale: 0,5cpg; 4cpg).

I risultati mostrano: una differenza non significativa del fattore gruppo [F_{2,25}= 0,09; p=0.92]; una differenza significativa per il fattore frequenza spaziale [F_{1,25}=5,9; p=0,022]; un'interazione gruppo per frequenza spaziale significativa [F_{2,25}=3,5; p=0.047].

Il confronto tra coppie (correzione di Bonferroni) mostra che le soglie sono più alte con le frequenze spaziali basse, sia per il gruppo controllo (p=0.003), che per il gruppo dislessia (p=0.06), ma non per il gruppo degli adulti (p=0.5); mentre la differenza tra gruppi non risulta significativa per nessuna delle due frequenze spaziali.

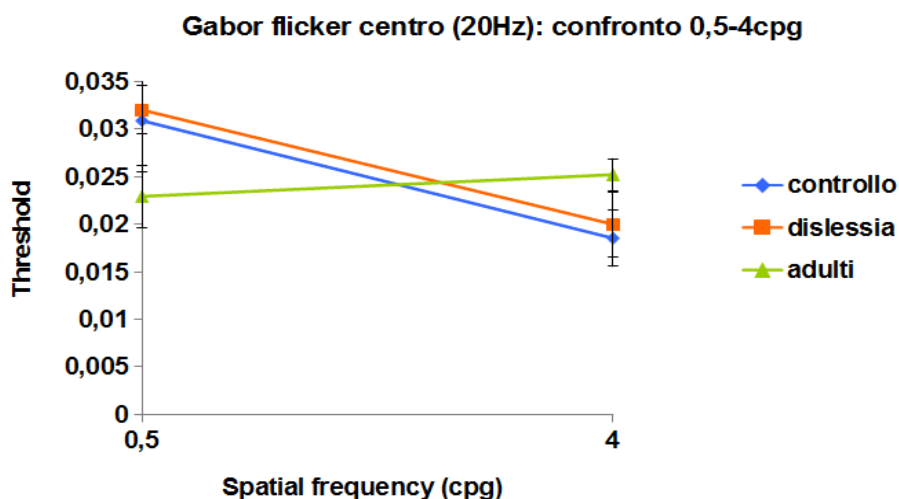


Figura 8: Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli in controfase foveali-flicker (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg)

Il test neurovisivo viene sottoposto a tre gruppi di soggetti: un gruppo di bambini normolettori, un gruppo di bambini dislessici e un gruppo di adulti normolettori; i risultati mostrano che entrambi il gruppo controllo e il gruppo dislessia presentano soglie più alte per la frequenza spaziale 0,5cpg rispetto al gruppo degli adulti, ma che ciò non avviene a 4cpg.

Si riconferma, dunque, una riduzione selettiva della risposta per stimoli ottimali per il sistema magno nei due gruppi di bambini rispetto agli adulti. Da un lato questo risultato non soddisfa l'aspettativa di trovare una soglia più alta nei bambini con dislessia evolutiva rispetto ai bambini normo-lettori per le condizioni selettive del sistema Magno; dall'altro lato si suggerisce un'inefficienza per l'elaborazione degli stimoli ottimali per il sistema Magnocellulare (0.5cpg) in tutti i bambini rispetto agli adulti che rispecchia il fisiologico ritardo di sviluppo del sistema Magnocellulare rispetto al Parvocellulare sostenuto da diverse teorie (Atkinson, 1992; Coch, Skendzel, Grossi, & Neville, 2005). I due sistemi, infatti, non maturano contemporaneamente nel bambino ma il sistema Parvocellulare ha uno sviluppo più veloce di quello Magnocellulare, che continua a formarsi per tutta l'infanzia e mantiene soglie più alte per stimoli in

movimento rispetto quelle degli adulti fino alla pubertà.

Si può confermare, dunque, una sensibilità per i test che attivano il sistema magno; si esegue ora un ulteriore approfondimento che riguarda l'individuazione di stimoli con diverse frequenze temporali da parte dei due gruppi di bambini: si esegue lo stesso test flicker mantenendo le due frequenze spaziali di prima (una bassa e l'altra alta) e variando la frequenza temporale (10Hz; 20Hz; 30Hz). A conferma del deficit Magnocellulare, come già citato, si aspetta un calo nel test con la combinazione di basse frequenze spaziali ed alte frequenze temporali (Skottun, 2000).

5.1.3 Test per la diagnosi differenziale di un deficit magnocellulare

Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli in controfase foveali-flicker (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg) e di tre frequenze temporali (10Hz; 20Hz; 30Hz):

Si esegue un'ANOVA a tre vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e due fattori entro i soggetti (frequenza spaziale: 0,5cpg, 4cpg; frequenza temporale: 10Hz, 20Hz, 30Hz). I risultati mostrano: una differenza non significativa del fattore gruppo [F1,18=3,1; p=0.96]; una differenza significativa per il fattore frequenza spaziale [F1,18=10,3; p=0.0005]; una differenza significativa per il fattore frequenza temporale [F2,36=55,5; p=0,0001]; un'interazione gruppo per frequenza spaziale non significativa [F1,18=1,4; p=0.25]; un'interazione a tre vie, frequenza spaziale per frequenza temporale per gruppo non significativa [F2,36= 0,9; p=0,41]; un'interazione significativa della frequenza temporale per gruppo [F2,35=5,96; p=0.006].

Il confronto tra coppie (correzione di Bonferroni) mostra che la differenza tra i gruppi è significativa alle frequenze temporali alte, 30Hz (p=0,018) ma non alle frequenze temporali più basse, 20Hz (p=0.9) e 10Hz (p=0,1).

Gabor flicker centro: confronto 0,5-4cpg; 10-20-30Hz

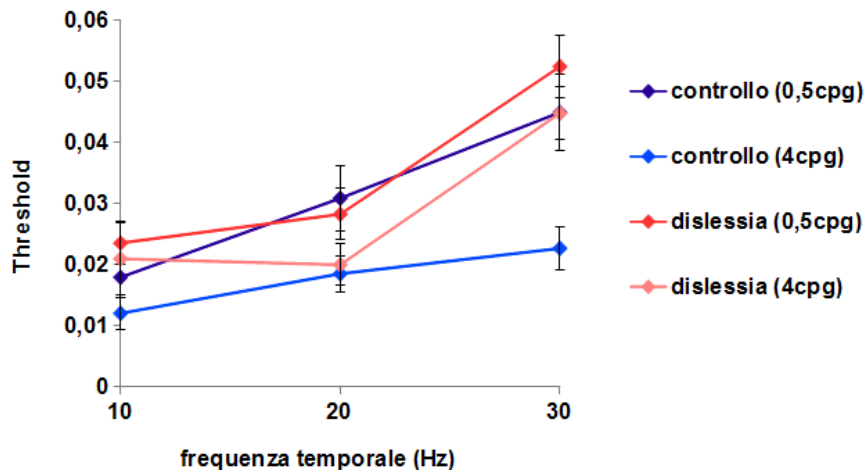


Figura 9: Test di soglia di contrasto ottenuta con stimoli in controfase foveali-flicker (test gabor_2a); confronto di due frequenze spaziali (0,5cpg-4cpg) e di tre frequenze temporali (10Hz; 20Hz; 30Hz)

L'analisi statistica di quest'ultimo test, specifico per la discriminazione della via Magnocellulare, evidenzia una differenza tra i gruppi significativa alle frequenze temporali più alte (30Hz), indicando che i bambini dislessici hanno maggior difficoltà ad identificare uno stimolo selettivo per tale sistema.

I risultati ottenuti concordano con quelli di Evans, et al. (1996), in cui il gruppo di bambini dislessici reclutato nel loro esperimento, mostra una sensibilità significativamente più bassa per frequenze spaziali basse e frequenze temporali alte in un test con stimoli in oscillazione (flickers) a conferma di un deficit nel sotto-sistema visivo transiente.

Di conseguenza, si conferma che i bambini con dislessia evolutiva, rispetto il normale sviluppo del sistema Magnocellulare, evidenziano un deficit di tipo temporale (Stein, & Walsh, 1997). E' importante rilevare che tale deficit interessa sia la frequenza spaziale analizzata (non vi è interazione significativa gruppo per fr. spaziale) che la frequenza temporale alta.

5.1.4 Breve conclusione della valutazione neurovisiva

La lettura fluente di un testo dal punto di vista neuro-visivo, prima di essere integrata dai processi cognitivi di alto livello, richiede il processamento spazio-temporale delle parole nella pagina. Sono necessarie, dunque, abilità "temporali" per discriminare uno stimolo con presentazione di brevissima durata (fissazione≈100ms), compreso tra movimenti rapidi successivi (saccadi) (Laycock, & Crewther, 2008). I bambini dislessici, per identificare distintamente due stimoli successivi, necessitano di un tempo più lungo rispetto ai normali lettori. Questa lentezza di elaborazione dell'informazione visiva deriva da un deficit di processamento temporale (Laycock, & Crewther, 2008).

L'ipotesi di un deficit del processamento temporale, regolato dal sistema Magnocellulare, suppone che i bambini con dislessia evolutiva siano meno abili ad integrare e processare informazioni "temporali" in movimento o oscillazione veloce (Stein, & Walsh, 1997). L'aspetto temporale assume dunque notevole importanza nella difficoltà di lettura nei bambini con dislessia evolutiva. Il deficit del processamento temporale, può influenzare, oltre alla modalità visiva, altre modalità sensoriali, come quella fonologica: in cui i bambini hanno difficoltà a discriminare i suoni che sentono in successione (Stein, & Walsh,1997), e quella motoria: in cui hanno problemi ad organizzare con ordine le cose come, ad esempio, imparare a leggere l'ora, (Stein, & Walsh,1997).

Risulta infine che l'aspetto temporale si esprime in modo diverso in un ampio quadro di modalità e, ciò che è verosimile, è che esso derivi da un deficit Magnocellulare (Stein, & Walsh,1997; Laycock, & Crewther, 2008).

Si considerano dunque soddisfatte le suddette ipotesi e si conferma che, nell'ampia rosa di funzioni gestite dal sistema Magno, il processamento temporale visivo sia ridotto nei bambini con dislessia, e questo spieghi, almeno in parte, la loro difficoltà di lettura.

5.2 Valutazione optometrica: analisi dati

L'analisi dei dati optometrici comprende i tre ambiti di: motilità oculare, binocularità e accomodazione. Le ricerche scientifiche che hanno preso in considerazione queste capacità visive (Buzzelli, 1991; Evans, Drasdo, & Richards, 1996; Evans, 2001) presentano dati discordanti riguardo una possibile disfunzione visiva nella dislessia evolutiva. La seguente analisi optometrica si propone dunque di analizzare i tre ambiti per la ricerca di una differenza significativa tra i due gruppi di bambini che possa spiegare come il sistema visivo è implicato nel deficit della dislessia.

5.2.1 Test sulla motilità oculare

Saccadi, inseguimenti, e movimenti della testa:

Si esegue un'ANOVA (misure ripetute) a due vie con un fattore between tra i soggetti (gruppo) e un fattore within entro i soggetti a 5 livelli (motilità: abilità di esecuzione sbalzi; abilità di esecuzione fissazioni; precisione di esecuzione di sbalzi; precisione di esecuzione fissazioni; movimento della testa).

I risultati mostrano una significatività del fattore motilità [F 4,68=9,36; p=0,0001] e un'interazione significativa motilità per gruppo [F 4,68=2,91; p=0,028]. Il fattore gruppo, invece, non è risultato significativo [F 1,17=2,88; p=0,108].

Il confronto fra coppie valuta la differenza tra i gruppi, si riscontra una differenza significativa nella precisione dei movimenti di inseguimento (p=0,054) e nell'utilizzo della testa durante i movimenti (p=0,028).

La statistica mostra che i bambini dislessici hanno maggior difficoltà nell'esecuzione del compito di inseguimento di una mira. Nella pratica si è notato che, nonostante tutti riescano a completare il test, essi compiano un numero maggiore di refissazioni.

Questo dato fa ipotizzare che sia presente nei dislessici una minor qualità

della motilità che provoca anche una difficoltà nel mantenere la fissazione continua di un oggetto che si muove (Kandel, Schwartz & Jessel, 2003, cap. 27).

I risultati sui movimenti saccadici, invece, discordano dall'aspettativa che i bambini dislessici abbiano minor abilità nell'esecuzione e precisione di tali movimenti: diversi studi riportano che nei dislessici esse sono in esubero e di maggiore entità rispetto ai normo-lettori durante la lettura (Jainta, & Kapoula, 2011), nonostante ciò, i dati statistici non confermano tale ipotesi. La differenza non significativa tuttavia, si attribuisce a una cattiva performance dei bambini controllo piuttosto che ad una buona motricità dei bambini dislessici. Questo giustificato dal fatto che fino a 11-12 anni la coordinazione binoculare fine dei bambini non ha ancora raggiunto un completo sviluppo (Jainta, & Kapoula, 2011).

Un'altra considerazione riguarda il tipo di strumento utilizzato: molti studi utilizzano sistemi elettronici di registrazione dei movimenti oculari in cui si verifica lo spostamento degli occhi in gradi (°) durante compiti di lettura. Nel presente studio invece, lo strumento optometrico utilizzato non permette lo stesso tipo di valutazione e non implica la lettura di un testo.

Da un lato la qualità del controllo binoculare è indipendente dallo stimolo utilizzato (Kapoula, & Vernet, 2009), dall'altro, però, la sensibilità del test è differente: il test optometrico può dare solo indicazioni generali sull'abilità di esecuzione del bambino; in particolare, come confermato dalla significatività dei movimenti della testa, maggiori nei dislessici, questi bambini presentano una più bassa qualità motoria.

Dominanza:

Si esegue una statistica descrittiva dei dati per capire la distribuzione della dominanza crociata all'interno dei due gruppi: i risultati indicano che il 45% dei soggetti normo-lettori e il 12% dei dislessici hanno dominanza

crociata. Lo studio della mancata concordanza di dominanza tra mano e occhio, che potrebbe derivare da un problema di lateralizzazione, non è stato molto approfondito in relazione alla dislessia e, in accordo con Evans (2001) non si riscontra alcun ruolo di questa condizione con il problema della dislessia, trovando che la minor percentuale di dominanza crociata è presente proprio nel gruppo dislessia.

5.2.2 Test sulla binocularità

Forie:

In letteratura lo studio delle forie viene fatto in molteplici studi attraverso la distribuzione delle frequenze relative. I risultati che si trovano sono discordanti: alcuni indicano che non vi è una distribuzione diversa delle forie tra bambini dislessici e normo-lettori (Kiely, Crewther, & Crewther, 2001), altri riscontrano invece una leggera prevalenza di exoforia (Evans, 2001). Si esegue una statistica descrittiva dei dati per capire la distribuzione delle forie all'interno dei due gruppi studiati; si tiene conto delle norme indicative del test di Thorington (Sheiman, & Wick, 2008) per dividere i dati in: a norma, eccesso di exoforia, eccesso di esoforia, per il lontano e il vicino.

Per il vicino si trova che la maggior parte di entrambi i gruppi di bambini presentano forie nella norma (55% normo-lettori; 63% dislessici), alcuni presentano eccesso di esoforia (18% normo-lettori; 37% dislessici) e solo nel gruppo controllo si trova il 27 % di eccesso di exoforia.

Per il lontano, tutti i bambini controllo presentano forie nella norma; nel gruppo di dislessici il 50% presenta forie nella norma, sono presenti alcuni casi di eccesso di exoforia (13%) ed altri di eccesso di esoforia (37%).

In conclusione non si conferma un netto quadro exoforico nei bambini dislessici.

Vergenze:

Si esegue un t-test per campioni indipendenti confrontando, per i due gruppi di bambini, le vergenze (V) da vicino (V) e da lontano (L), positive (P) e negative (N), per i valori di rottura e recupero.

I risultati mostrano che non vi è una differenza significativa tra normo-lettori e dislessici, per nessuno dei risultati ottenuti:

VPL Rottura [t 17=-0,38; p=0,71]; VPL Recupero [t 17=0,22; p=0,83]; VNL Rottura [t 17=0,12; p=0,91]; VNL Recupero [t 17=0,83; p=0,42]; VPV Rottura [t 17=-0,89; p=0,38]; VPV Recupero [t 17=-0,62; p=0,54]; VNV Rottura [t 17=-0,14; p=0,89]; VNV Recupero [t 17=0,76; p=0,46].

Molti studi riguardo le abilità di vergenza dei bambini dislessici confrontati con bambini normo-lettori trovano forie nella norma e basse riserve di vergenza. Per questo motivo i bambini potrebbero presentare una maggior difficoltà a mantenere l'allineamento degli assi visivi che porta a maggiore instabilità binoculare (Evans, 2001). Nonostante ciò, i risultati dello studio non avvalorano tale ipotesi.

PPC:

Si eseguono due t-test per campioni indipendenti in cui si riscontra una differenza non significativa tra il gruppo di normo-lettori e dislessici sia nel test di rottura [t 17=0,84; p=0,41], che in quello di recupero [t 17=1,08; p=0,29].

I risultati ottenuti fanno pensare che questa funzione visiva non sia correlata ai disturbi di lettura dei bambini dislessici in accordo con diversi studi che non trovano differenze significative tra normo-lettori e dislessici (Evans, et al., 1996; Kiely, et al, 2001).

Flessibilità di vergenza:

Si esegue un t-test per campioni indipendenti in cui si riscontra una differenza molto vicina alla significatività tra i due gruppi [t 17=1,94; p=0,06].

A differenza di quanto trovato nei precedenti test, nell'abilità di vergenza si nota una peggiore prestazione nel gruppo di bambini dislessici.

I dati raccolti sono in accordo con lo studio di Buzzelli (1991) che indica come una minor efficienza della facilità di vergenza potrebbe essere un importante contributo alle difficoltà di lettura, a differenza di altri aspetti "statici" come l'acuità visiva e la stereopsi.

Il test eseguito analizza l'aspetto della vergenza da un punto di vista "dinamico" in cui in cui il bambino deve soddisfare, ad ogni ciclo, due richieste opposte di vergenza (positiva e negativa). Il continuo cambio di questa richiesta è simile al movimento di compensazione che le vergenze effettuano tra una saccade e l'altra durante la lettura.

In particolare, la vergenza aggiusta la piccola disparità binoculare dei due occhi dovuta al fatto che occhio abducente e adducente compiono movimenti di ampiezza differente. I micro-movimenti di vergenza sono molto vari: la discrepanza di una saccade, solitamente divergente, viene compensata all'inizio di ogni fissazione da un movimento di convergenza dei due occhi. Si ipotizza che i problemi legati alla vergenza siano in parte responsabili del gran numero di piccoli movimenti degli occhi durante la lettura, tipici dei bambini dislessici (Jainta, & Kapoula, 2011).

5.2.3 Test sull'accomodazione

Punto prossimo di accomodazione:

Si esegue un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e un fattore entro i soggetti (occhio: OD; OS).

I risultati mostrano: un fattore occhio [F 1,17=0,012; p=0,91], un fattore

gruppo [$F_{1,17}=0,75$; $p=0,39$] e un'interazione occhio per gruppo [$F_{1,17}=0,47$; $p=0,5$] non significativi.

Facilità accomodativa binoculare e monoculare:

Si esegue un t-test per campioni indipendenti in cui risulta una differenza non significativa tra i due gruppi [$t_{17}=-0,41$; $p=0,69$].

Per lo studio della flessibilità binoculare si esegue un'ANOVA a due vie con un fattore tra i soggetti (gruppo) e un fattore entro i soggetti (occhio: OO).

I risultati mostrano: una differenza non significativa del fattore gruppo [$F_{1,17}=0,097$; $p=0,76$]; un fattore occhio non significativo [$F_{1,17}=2,48$; $p=0,13$]; fattore interazione occhio per gruppo non significativo [$F_{1,17}=1,24$; $p=0,28$].

AC/A:

Si esegue un t-test per campioni indipendenti per confrontare il valore di AC/A del gruppo dislessia e del gruppo controllo.

Il risultato mostra una differenza non significativa tra i due gruppi [$t_{17}=0,61$; $p=0,55$].

I test che analizzano la funzione accomodativa nei due gruppi e il rapporto convergenza-accomodazione mostrano tutti risultati non significativi. Problemi accomodativi possono potenzialmente interferire con il processo della lettura, ad esempio per un'insufficiente ampiezza accomodativa o per una riduzione della facilità accomodativa. A questo proposito Evans, et al. (1996) trovano nei bambini dislessici un'ampiezza accomodativa ridotta ma facilità nella norma. In accordo con quest'ultimo punto e con vari studi che hanno valutato le capacità accomodative (Buzzelli, 1991), si conclude che tali funzioni non siano relazionate con il ritardo di lettura presentato dai bambini dislessici.

5.2.4 Breve conclusione della valutazione optometrica

La lettura di un testo richiede diverse abilità oculo-motorie: i movimenti oculari permettono il mantenimento dell'immagine sulla fovea e l'allineamento degli assi visivi; in particolare le saccadi spostano gli occhi da destra verso sinistra lungo una riga di testo, mentre l'angolo di vergenza aggiusta ogni piccola deviazione degli assi visivi e permette di dirigerli sullo stesso punto nel testo in modo da ottenere la percezione di un'immagine singola sulla retina.

In altre parole, la visione binoculare di un testo richiede il continuo lavoro dei movimenti oculari e il monitoraggio della vergenza per garantire un'adeguata fusione delle immagini retiniche (Jainta, & Kapoula, 2011).

Alcuni studi (Buzzelli, 1991; Jainta, & Kapoula, 2011) hanno mostrato che nei bambini dislessici questa discrepanza tra i due occhi, o meglio, disparità di fissazione è maggiore rispetto ai bambini normo-lettori.

In conclusione le maggiori difficoltà, in ambito optometrico, riscontrate nei bambini dislessici in questo studio, riguardano proprio la motilità oculare e la flessibilità di vergenza, a conferma dell'ipotesi circa la presenza di qualche problema di visione binoculare dei bambini dislessici che potrebbe, in qualche modo, influenzare la loro capacità di lettura.

Capitolo 6

Conclusioni

I dati optometrici mostrano risultati non significativi tra i due gruppi di bambini normo-lettori e dislessici per la maggior parte dei test svolti; tuttavia si suppone, nel gruppo dislessia, una minor capacità nella coordinazione binoculare che si manifesta nella significatività dei test di facilità di vergenza, e nell'esecuzione di alcuni test della motilità oculare.

I dati neurovisivi indicano invece un deficit a carico del sistema Magnocellulare che si manifesta nel processamento temporale dell'informazione, ovvero, nella discriminazione di stimoli presentati in oscillazione, con alte frequenze temporali e brevi tempi di presentazione (flickers).

Questi dati significativi, i primi di carattere motorio, i secondi di carattere sensitivo, apparentemente sconnessi tra di loro, possono essere correlati grazie alla spiegazione proposta da Stein (2001) riguardo l'instabilità visivo-percettiva dei bambini dislessici. Egli spiega che, a livello retinico, una delle più importanti funzioni degli stimoli in movimento è quella di permettere una stabilità visuo-percettiva per la visione di un oggetto immobile. Questo paradosso è spiegato dal fatto che gli occhi non sono mai completamente immobili, ma anzi, compiono degli impercettibili movimenti definiti, nel complesso, nistagmo fisiologico e sono causati da tremori nei muscoli extra oculari. Questi movimenti fanno sì che l'immagine ottica si muova leggermente ma in continuazione rispetto alla retina e sono necessari per la visione in quanto un'immagine completamente stabilizzata sulla retina, sparisce e non viene percepita; il sistema visivo, dunque, si sforza di far muovere le immagini che arrivano alla retina per ricostruire poi un mondo visivo stabile e immobile.

L'immagine stabile che ne risulta è permessa dalle cellule dai sistemi

Parvocellulare e Magnocellulare. Quest'ultimo, in particolare, analizza l'informazione temporale estratta dall'immagine retinica e corticale; le cellule Magnocellulari sono infatti specializzate per l'elaborazione degli stimoli in movimento. Qualsiasi movimento dell'immagine sulla retina, generato da un movimento involontario degli occhi, genera un feedback che, dal sistema Magno, torna al sistema oculomotorio e viene utilizzato per riportare continuamente gli occhi sul target (Casco, 2012).

La relazione tra il sistema Magnocellulare transiente, e l'instabilità binoculare risulta dunque più chiara: un deficit del processamento temporale che non permette un adeguato feedback sulla vergenza durante le fissazioni può portare ad un'instabilità dell'immagine percepita che, come descritta dai bambini dislessici, appare tremolante e distorta (Stein, & Walsh, 1997).

In conclusione ciò che emerge da questo studio è che i bambini dislessici hanno sicuramente un deficit temporale, verificato nei risultati dei test neurovisivi, e che anche la visione binoculare, in alcuni suoi aspetti, è più carente rispetto i normo-lettori, certificato nei risultati dei test optometrici. Come suggerito da molteplici studi (Stein, & Walsh, 1997; Stein, 2001; Laycock, & Crewther, 2008), si può affermare che il deficit Magnocellulare possa essere causa eziologica della dislessia evolutiva e che esso possa essere associato a problemi di visione binoculare. La dislessia è definita come un deficit neurologico; questo fa sì che i problemi di visione binoculare non siano la maggior causa della difficoltà di lettura, ma, certamente, un adeguato supporto alla teoria Magnocellulare oltre che un concomitante fattore di disturbo nel processo articolato e straordinario della lettura.

Bibliografia

- Andreoli, V., Cassano, G., B., & Rossi, R., (2007). DSM-IV-TR. Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali. Text revision. ICD-10/ICD-9-CM. Classificazione parallela. Amsterdam: Elsevier.
- Atkinson, J., (1992). Early visual development: differential functioning of parvocellular and magnocellular pathways. *Eye*, 6, 129-135.
- Bach M. (2012). The Freiburg Visual Acuity Test – variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arch. Clinical and experimental Ophthalmology*, 245, 965–971.
- Boden, C., & Giaschi, G., (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes. *Psychological Bulletin*, 2 Vol.133, 346–366.
- Brainard, D., H., 1997; Pelli, D., G., 1997; Kleiner, M., et al, 2007. [http:// psychtoolbox. org](http://psychtoolbox.org)
- Bucci, M., P., Nassibi, N., Gerard, C., Bui-Quoc, E., & Seassau, M., (2012). Immaturity of the oculomotor saccade and vergence interaction in dyslexic children: evidence from a reading and visual search study. *PLoS One*, 7(3), Article ID e33458.
- Buzzelli, A., R., (1991). Stereopsis, accomodative, and vergence facility: do they relate to dyslexia?. *Optometry and vision science*, 68(11), 842-846.
- Casco, C., (2012). Dispense di psicofisica della visione. [Dispense del corso di studi di psicofisica della visione, facoltà di Ottica e Optometria. Padova].
- Coch, D., Skendzel, Grossi, & Neville, (2005). Motion and color processing in school-age children and adults: an ERP study. *Developmental Science*, 8, 372-386.
- Cornelissen, P., & Whitney, C., (2005). Letter-position encoding and

- dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28, 274-301.
- Eden, G., F., Stein, J., Wood, H., M., & Wood, F., B., (1995). Temporal and spatial processing in reading disabled and normal children. *Cortex*, 31, 451-468.
 - Evans, B., J., W., (2001). *Dyslexia and vision*. Londra: Whurr publishers.
 - Evans, B., J., W., Drasdo, N., & Richards I., L., (1996). Dyslexia: the link with visual deficits. *Ophthalmic and physiological optics*, 16(1), 3-10.
 - Facchetti, A., Lorusso, M., L., Paganoni, P., Cattaneo, C., Galli, R., Umiltà, C., & Mascetti, G., G., (2003). Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive Brain Research*, 16, 185–191.
 - Fricke, T.R., Siderov, J., (1997, Settembre-Ottobre). Stereopsis, stereotests, and their relation to vision screening and clinical practice. *Clinical and Experimental Optometry*, 80(5): 165-172.
 - Galaburda, A., M., & Livingstone, M., (1993). Evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Annals of the New York academy of science*, 682, 70-82.
 - Jainta, S., & Kapoula, Z., (2011). Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *Plos one*, 6(4),1-10.
 - Kandel, E.E., Schwartz, J.H., & Jessel, T.M., (2003). *Principi di neuroscienze* (III ed. basata sulla IV ed. inglese). Milano: Ambrosiana.
 - Kapoula, Z., & Vernet, M., (2009). Binocular motor coordination during saccades and fixations while reading: a magnitude and time analysis. *Journal of vision*, July 9, 1-13.
 - Keen, A., G., & Lovegrove, W., J., (2000). Transient deficit

hypothesis and dyslexia: examination of whole-parts relationship, retinal sensitivity, and spatial and temporal frequencies. *Vision Research*, 40, 705-715.

- Kiely, P., M., Crewther, S., G., & Crewther, D., P., (2001). Is there an association between functional vision and learning to read?, *Clinical and experimental optometry*, 84(6), 346-353.
- Laycock, R., & Crewther, S. G., (2008). Towards an understanding of the role of the 'magnocellular advantage' in fluent reading. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 1494-1506.
- Liversedge, S.P., White, S.J., Findlay, J.M., & Rayner, K., (2006). Binocular coordination of eye movements during reading. *Vision Research*, 46, 2363-2374.
- Lovegrove, W. J., Bowling, A., Blackwood, M., & Badcock, D. (1980). Specific reading difficulty: Differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 210, 439-440.
- Maffioletti, S., Pregliasco, R., & Ruggeri, L., (2005). Il bambino e le abilità di lettura: il ruolo della visione. Milano: Franco Angeli s.r.l.
- Maples, W.C., Atchley, J., Ficklin, T., (1992). Norms. *Journal of Behavioral Optometry*, 3(6): 143-150.
- Maples, W.C., Savoy, R.S., Harville, B.J., Golden, L.R., Hoenes, R., (2009). Comparison of Distance and Near Heterophoria by Two Clinical Methods. *Optometry & Vision Development*, 40(2):100-106.
- Morrison, R. E., (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: Evidence for parallel programming of saccades. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, 10, 667-682.
- Neuro.Vis.U.S.: [http:// neurovisus. psy. unipd .it](http://neurovisus.psy.unipd.it)
- Ramus, F., (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction?. Current opinion of

neurobiology, 13, 212-218.

- Rossetti, A., & Gheller, P., (2003). Manuale di optometria e contattologia, II ed., Bologna: Zanichelli.
- Skottun, B., C., (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 40, 111-127.
- Sheiman, M., & Wick, B., (2008). Clinical management of binocular vision. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Spadoni, F., (2011). Linee guida per la pratica in Optometria. *P.O. Professional Optometry*, ottobre 2011, 36-40.
- Spderdatacolor.
<http://spyder.datacolor.com/portfolioview/spyder4elite/>
- Stein, J., (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia: An International Journal of Research and Practice*, 7, 12-36.
- Stein, J., & Walsh, V., (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*, 20, 147-52.
- Stella, G., (2004). La dislessia. Bologna: Il mulino, 10.
- Struiksma, A., J., C., (1979). Learning to read: a task analysis and subsequent training. Baltimore: University park press.
- Vidyasagar, T., R., & Pammer, K., (2009). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Opinion*, 12, 57-63.
- Walsh, V., (1995). Reading between the laminae. *Current Biology*, 11, vol. 5.

Appendice 1

Documenti

- **Consenso informato**

Consenso informato

La letteratura sulla visione suggerisce che i bambini con difficoltà di lettura possano presentare una ridotta risposta funzionale dei processi visivi che mediano i vari aspetti della visione dinamica: la visione del movimento, la coordinazione binoculare ed il processamento veloce dell'informazione visiva.

Lo scopo dello studio è quello di avvalorare questa ipotesi. Nello specifico, gli obiettivi dello studio sono:

- stabilire se c'è una ridotta funzionalità del sottosistema che media la visione dinamica con ritardo di lettura.
- stabilire se questo disturbo correla con una anomala visione binoculare e/o stereopsi.

Procedura dello studio

La procedura consiste nell'eseguire due batterie di test: una per la valutazione optometrica della funzione binoculare e accomodativa e una per quella dei processi visivi per la valutazione differenziale della risposta statica e dinamica.

Nel primo caso, verranno utilizzati test optometrici principalmente di natura ambientale mentre nel secondo caso test eseguiti presentando semplici compiti visuo-percettivi tramite l'utilizzo di un computer. Tutte le procedure sono totalmente non invasive.

Tutti i test verranno eseguiti da Martina Issori e Francesca Masarà sotto continua ed attenta supervisione della Prof. Clara Casco per la parte neurovisiva e dal Dott. Michele Barollo per quella optometrica.

Le informazioni saranno raccolte in maniera riservata e protette dal segreto professionale. L'elaborazione dei dati risultanti dai test saranno condotti sotto la supervisione del Laboratorio Neuro.Vis.U.S, dell'Università di Padova, coordinato dalla Prof. Clara Casco.

Sono stato informato che tutti i dati che mi riguardano rimarranno riservati e accessibili solo alle persone incaricate dalla procedura, secondo quanto stabilito dalla legge (Dlgs. n. 196/2003).

Mantengo il diritto di interrompere la mia partecipazione allo studio in qualsiasi momento, senza fornire alcuna spiegazione e senza alcuna

penalizzazione. In questo, i miei dati non verranno utilizzati né a fini valutativi né a fini di ricerca.

Sono stato informato che solo le persone incaricate della procedura potranno avere accesso ai miei dati ai fini della loro elaborazione e alla pubblicazione anonima dei risultati a fine scientifico.

Il sottoscritto / la
sottoscritta.....
Nato/a.....il.....
Residente a.....
Codice Fiscale.....telefono.....
Legale rappresentante di.....

Dichiaro di voler volontariamente sottoporre a mio figlio alla procedura sperimentale sopra citata.

Data..... Firma del legale rappresentante.....

Firma dell'operatore.....

- **Questionario per inclusione soggetti**

Università degli studi di Padova
Corso di studi in Ottica e Optometria

Questionario per i genitori

Si prega di rispondere alle seguenti domande con l'indicazione scritta accanto a ciascun paragrafo (es. Si, no ed eventuale specifica).

1-Storia medica: (si, no ed eventuale specifica)

- Ha il sospetto o la documentazione di diagnosi di una malattia stabile, in evoluzione o in corso di guarigione, con effetto sul sistema visivo del bambino?
- Il bambino assume qualche tipo di farmaco per problemi anche NON correlati sistema visivo? Se si, può indicare quali?

2-Storia oculare: (si, no ed eventuale specifica)

- Il bambino ha mai effettuato una visita oculistica o optometrica o ottica? Se si, quando l'ultima volta?
- Suddetti specialisti le hanno mai consigliato, per il bambino, l'utilizzo di occhiali o di altri trattamenti specifici per la cura della vista?
- Nel caso portasse occhiali o lenti a contatto correttivi, da quanto tempo li utilizza? che gradazione hanno?

3-Storia familiare: (si, no ed eventuale specifica)

- Sono presenti in famiglia casi di patologie oculari (strabismo, ambliopia, retinopatie)?
- I genitori o i fratelli portano occhiali? Se si per quale motivo (miopia, ipermetropia, astigmatismo, presbiopia)?.....
- Sono presenti, in famiglia, casi diagnosticati di dislessia, difficoltà di apprendimento, difficoltà di lettura e scrittura? (specificare il grado di parentela con il bambino)

4-Storia visiva del bambino: (mai, qualche volta, spesso, molto spesso)

- Il bambino lamenta mai mal di testa?.....

Se si specificare quando (es.: dopo aver eseguito i compiti; quando svolge attività da vicino con videogames/computer; la mattina a scuola; la sera; in settimana o nel weekend).....

- Lamenta mai bruciore, lacrimazione, prurito agli occhi?
.....
 - Ammicca molto quando è concentrato?
 - Capita mai che inclini la testa o si tappi un occhio per svolgere alcune attività?.....
 - Quando legge tiene il testo molto vicino (<30 cm)?
 - Ha difficoltà a mantenere l'attenzione nello svolgere incarichi, compiti o durante la lettura?
 - Ha difficoltà a completare i compiti nel tempo prestabilito?.....
-

SPAZIO NOTE

.....
.....

- **Questionario anamnesi**

Università degli studi di Padova
Corso di studi in Ottica e Optometria

Linee guida per anamnesi condotta con il bambino a inizio visita

Il colloquio è orale e le seguenti domande fungono da spunto per gli operatori senza essere necessariamente lette ai bambini.

Parte difetti visivi-optometrici

Ti sembra di vedere bene?

Sia da vicino (es.: quando leggi o fai i compiti), sia da lontano (es.: quando devi copiare la lavagna o riconoscere i tuoi amici per strada)?

Ti sembra di vedere bene a fine giornata quando gli occhi sono un pò più stanchi?

Ti gira mai la testa o ti viene la nausea mentre studi?

Ti piace fare sport? Sei bravo?

Parte “percezione visiva”

Vedi mai doppio (2 oggetti invece che uno)?

Se si, ti capita quando guardi da lontano o da vicino?

Le colonne di numeri ti appaiono sempre allineate?

Ti capita mai che le cose, mentre le guardi, ti scappino via?

Ti capita mai che una cosa piccola, mentre le guardi, diventi doppia?

Alla prima lettura capisci subito quello che leggi o hai bisogno di rileggere, anche quando è scritto molto piccolo?

Salti o rileggi le righe durante la lettura?

Quando cerchi qualcosa sullo schermo del computer sei bravo a trovarlo in fretta o devi sempre cercarlo per un po'?

Ti stanchi (presto) quando fai lavori in cui guardi da vicino?

Considerazioni: il testo è tratto da questionari specifici per l'infanzia e per l'età adulta: questionario COVD-QOL (The College of Optometrists in Vision Development - QOL Questionnaire in a socially at-risk population of youth) e Questionario di anamnesi di problemi correlati alla visione di Rossetti e Gheller (2003). Le domande sono state modificate per rendere il loro contenuto il più possibile indipendente dalla capacità di lettura: ad esempio sono state riformulate domande come: “Quando leggi ti si sdoppiano mai le parole?” in “Ti capita mai che una cosa piccola, mentre le guardi, diventi doppia?”.

Appendice 2

Tabelle

- Tabelle raccolta dati optometrici (III-XXII)

Tabella III

GRUPPO CONTROLLO	DATA NASCITA	ESAME CON CORREZ	OCCHIO DOM L	OCCHIO DOM V	MANO DOM	D.I. (mm)
SD	25/07/2003	no	sx	sx	dx	57
GC	17/08/2003	OD: 0; OS: -0,50 180	dx	dx	dx	59
AA	12/12/2003	no	sx	sx	dx	62
GN	09/09/2003	no	dx	dx	dx	52
LB	16/09/2003	no	dx	dx	dx	52
GV	13/05/2003	no	dx	dx	dx	58
LV	22/07/2003	no	sx	sx	dx	59
MD	21/12/2003	no	dx	dx	dx	56
LM	18/11/2003	no	dx	dx	ambidx	53
AL	29/12/2002	no	sx	sx	dx	67
NS	20/07/2002	no	sx	sx	dx	66
MEDIA						58,27272727
DS						5,139862043
ERRORE ST						1,625367091

Tabella IV

GRUPPO CONTROLLO	AV OO L	AV OD L	AV OS L	AV OO V	AV OD V	AV OS V
SD	1	1	1	1	1	1
GC	1	1	0,9	1	1	0,9
AA	1	1	1	1,14	1,14	1,41
GN	1	1	1	1,14	1,14	1,14
LB	1	1	1	1,14	1,14	1,14
GV	1	1	1	1,14	1,14	1,14
LV	1	1	1	1,14	1,14	1,14
MD	1	1	1	1,14	1,14	1,14
LM	1	1	1	1,14	1,14	1,14
AL	1	1	1	1,14	1	1
NS	1	1	1	1,14	1,14	1,14
MEDIA	1	1	0,990909091	1,114545455	1,101818182	1,117272727
DS	0	0	0,030151134	0,056632788	0,065393911	0,128069583
ERRORE ST	0	0	0,009534626	0,01790886	0,02067937	0,040499158

Tabella V

GRUPPO CONTROLLO	COVER L	COVER V	FORIA OR L	FORIA OR V (EXO=+ ESO=-)	FORIA VERT(ORTO=0)
SD	orto	exo leggero	0		3
GC	exo leggero	exo leggero	0		4
AA	orto	orto	0		-2
GN	orto	exo leggero	0		-3
LB	orto	exo marcato	1		7
GV	orto	exo leggero	0		0
LV	orto	exo leggero	1		7
MD	orto	exo	0		3
LM	exo leggero	exo	1		5
AL	orto	exo leggero	0		3
NS	orto	exo	1		7
MEDIA			0,3636363636	3,0909090909	0
DS			0,5045249791	3,5058392848	0
ERRORE ST			0,159544807	1,108643725	0

Tabella VI

GRUPPO CONTROLLO	PPC ROTTURA (CM)	PPC RECUPERO (CM)	PPC OCCHIO DEVIANTE	PPA OD (ANN cm)	PPA OS (ANN cm)
SD	0		10NON DE VIA	7,5	8,5
GC	3		4NON DE VIA	7	6,5
AA	3		6NON DE VIA	7	7
GN	0		7NON DE VIA	9,5	9
LB	20		22SX	11,5	11,5
GV	9		14DX	7,5	7
LV	7		11DX	13	13
MD	6		8NON DE VIA	8	8,5
LM	4		7SX	7	7
AL	0		3NON DE VIA	7	7
NS	2		5NON DE VIA	6	7
			NON DE VIA		
MEDIA	4,9090909091	8,8181818182		8,2727272727	8,3636363636
DS	5,8215899109	5,4188224148		2,1721376149	2,110579412
ERRORE ST	1,8409483722	1,7135821067		0,6868902254	0,6674238125

Tabella VII

GRUPPO CONTROLLO	MOT. ABILITA' INSEGUIM.	MOT. ABILITA' SBALZI	MOT. PRECISIONE INSEGUIM.	MOT. PRECIS. SBALZI	MOT. MOV TESTA
SD	5	5	4	4	5
GC	5	5	5	4	5
AA	5	5	4	4	5
GN	5	5	5	4	4
LB	5	5	5	3	4
GV	5	5	4	5	5
LV	5	5	5	5	5
MD	5	5	5	5	5
LM	5	5	5	5	5
AL	5	5	5	5	5
NS	5	5	4	4	5
MEDIA	5	5	4,6363636364	4,3636363636	4,8181818182
DS	0	0	0,5045249791	0,6741998625	0,4045199175
ERRORE ST	0	0	0,159544807	0,2132007164	0,1279204288

Tabella VIII

GRUPPO CONTROLLO	VP L ANNEBBIAM (0=NON C'è STATO)	VP L ROTTURA	VP L RECUP.	VN L ROTTURA	VN L RECUP.
SD		20	14	6	6
GC		25	20	18	25
AA		14	20	16	16
GN		18	29	18	4
LB			12	10	4
GV			20	14	8
LV		18	20	18	4
MD		14	25	20	6
LM			12	6	14
AL			18	10	6
NS			20	18	8
MEDIA		16,4	20,0909090909	14,909090909	8,7272727273
DS		2,19089023	5,1274661472	4,5924839783	4,3148791198
ERRORE ST		0,692820323	1,6214471651	1,4522709489	1,3644845847

Tabella IX

GRUPPO CONTROLLO	VP V ANNEBB.	VP V ROTTURA	VP V RECUPERO	VN V ANNEBB	VN V ROTTURA	VN V RECUP
SD		25	16		12	10
GC		25	20		16	16
AA		8	8		8	6
GN	10	12	8	10	12	8
LB		4	4		12	10
GV		24	16		8	10
LV		12	12		8	8
MD		25	25		14	12
LM	10	25	12		18	16
AL		14	12		18	8
NS		14	12		14	10
MEDIA	10	17,0909090909	13,1818181818	10	12,7272727273	10,363636364
DS		7,8924590015	6,8790846536		3,7172815091	3,2022719208
ERRORE ST		2,4958146784	1,8591298062	0	1,1755076273	1,0126472957

Tabella X

GRUPPO CONTROLLO	STEREOPSI ("ARCO)	AC/A (NUM A 1)
SD	50	5
GC	50	4
AA	40	4
GN	40	4
LB	40	3
GV	40	4
LV	50	5
MD	40	4
LM	40	4
AL	40	5
NS	80	3
MEDIA	46,3636363636	4,0909090909
DS	12,0604537831	0,7006490497
ERRORE ST	3,813850357	0,2215646838

Tabella XI

GRUPPO CONTROLLO	FAC ACC OO (c/min)	FAC ACC OD	FAC ACC OS	LENTO	FAC VERG
SD	5	6	7	POSITIVO	8
GC	7	9	9		10
AA	8	8	9	NEGATIVO	8
GN	6	4	8	POSITIVO MOLTA FATICA	8
LB	2	2	1	NEGATIVO	8
GV	4	7	6	POSITIVO	9
LV	6	6	8	POSITIVO	10
MD	5	7	8		9
LM	7	8	8		15
AL	5	5	5	POSITIVO	5
NS	10	11	12	POSITIVO	11
MEDIA	5,9090909091	6,6363636364	7,3636363636		9,181818182
DS	2,1191765124	2,4605985968	2,7666849214		2,482667187
ERRORE ST	0,6701424543	0,7781095973	0,874902592		0,785088298

Tabella XII

GRUPPO CONTROLLO	NOTE IMPORTANTI ANAMNESI
SD	
GC	la sorella ha la dignosi: lieve forma dislessia
AA	soffre di mal di testa dopo prolungati sforzi da vicino; soggettivo: accetta +0,50D in entrambi gli occhi
GN	
LB	riferisce di vedere male se guarda troppo da vicino
GV	
LV	
MD	
LM	
AL	
NS	
MEDIA	
DS	
ERRORE ST	

Tabella XIII

GRUPPO DISLESSIA	DATA NASCITA	ESAME CON CORREZ	OCCHIO DOM L	OCCHIO DOM V	MANO DOM	D.I. (mm)
AM	22/08/2003	OD: +1,50; OS: +1,50	dx	dx	dx	64
CD	12/05/2001	OD: -0,50 OS: -0,50	dx	dx	dx	61
FC	27/12/2002	no	sx	sx	sx	59
GC	15/11/2003	OD: +0,50 OS: +0,50	dx	dx	dx	55
DS	17/09/2003	OD: 0 -0,50 ax 10; OS: -0,50 ax 175	dx	dx	dx	56
CP	24/06/2002	no	dx	dx	dx	60
AB	07/10/2004	no	dx	dx	dx	59
PG	28/12/2002	OD: +0,25; OS: +0,25	sx	sx	dx	60
MEDIA						59,25
DS						2,8157719
ERRORE STANDARD						1,0642617

Tabella XIV

GRUPPO DISLESSIA	AV OO L	AV OD L	AV OS L	AV OO V	AV OD V	AV OS V
AM	1	1	1	1,14	1,14	1,14
CD	1	1	1	1,14	1,14	1,14
FC	1	1	1	1,14	1,14	1,14
GC	1	1	1	1,14	1,14	1,14
DS	9	8	1	1,14	1,14	1,14
CP	1	1	1	1,14	1,14	1,14
AB	1	1	1	1,14	1,14	1,14
PG	1	1	1	1,14	1,14	1,14
MEDIA	2	1,875	1	1,14	1,14	1,14
DS	2,828427	2,474874	0	0	0	0
ERRORE STANDARD	1,069045	0,935414	0	0	0	0

Tabella XV

GRUPPO DISLESSIA	COVER L	COVER V	FORIA OR L	FORIA OR V (EXO+= ESO=-)	FORIA VERT(ORTO=0)
AM	orto	exo	0	2	0
CD	orto	exo	2,5	1	0
FC	orto	orto	-1	-3	0
GC	orto	orto	0	-1	0
DS	orto	orto	3	4	0
CP	orto	exo	0,5	2	0
AB	orto	exo	-3	-2	0
PG	orto	exo	-1	1	0
MEDIA			0,125	0,5	0
DS			1,941096892	2,32992949	0
ERRORE STANDARD			0,733665664	0,8806305719	0

Tabella XVI

GRUPPO DISLESSIA	PPC ROTTURA (CM)	PPC RECUPERO (CM)	PPC OCCHIO DEVIANTE	PPA OD (ANN cm)	PPA OS (ANN cm)
AM	4	11	NON DEVIA	9	8
CD		7	NON DEVIA	7	6
FC	3	6	NON DEVIA	10	11
GC	4	7	NON DEVIA	8	8
v	0	0	NON DEVIA	6	6
CP	5	8	NON DEVIA	7	8
AB	3	7	NON DEVIA	7	7
PG	3	6	NON DEVIA	7	6
MEDIA	3,1428571429	6,5		7,625	7,5
DS	1,5735915849	3,0705978943		1,3024701806	1,6903085095
ERRORE STANDARD	0,5947617141	1,1605769149		0,4922874554	0,638876565

Tabella XVII

GRUPPO DISLESSIA	MOT. ABILITA' INSEGUIM.	MOT. ABILITA' SBALZI	MOT. PRECISIONE INSEGUIM.	MOT. PRECIS. SBALZI	MOT. MOV TESTA
AM	5	5	3	5	5
CD	5	5	4	5	5
FC	5	5	4	5	4
GC	5	5	4	4	4
DS	5	5	3	3	3
CP	5	5	4	5	5
AB	5	5	5	5	4
PG	5	5	5	4	4
MEDIA	5	5	4	4,5	4,25
DS	0	0	0,755928946	0,755928946	0,7071067812
ERRORE STANDARD	0	0	0,2857142857	0,2857142857	0,2672612419

Tabella XVIII

GRUPPO DISLESSIA	VP L ANNEBBIAM (0=NON C'è STATO)	VP L ROTTURA	VP L RECUP.	VN L ROTTURA	VN L RECUP.
AM		25	12	10	8
CD	10	18	14	6	4
FC	25	30	14	6	4
GC		25	18	10	8
DS		20	16	8	6
CP		6	4	4	4
AB		16	12	8	4
PG		30	25	16	14
MEDIA	17,5	21,25	14,375	8,5	6,5
DS	10,6066017178	8,0489573415	5,9506902361	3,6645015253	3,5050983275
ERRORE STANDARD	4,0089186287	3,0422199199	2,2491494991	1,3850513878	1,3248026422

Tabella IXX

GRUPPO DISLESSIA	VP V ANNEBB.	VP V ROTTURA	VP V RECUPERO	VN V ANNEBB	VN V ROTTURA	VN V RECUP
AM		18	14		10	8
CD	6	12	6		10	6
FC		35	30		16	8
GC		10	6		8	6
DS		25	20		8	6
CP		8	4		20	20
AB		35	25		16	10
PG		24	18		16	8
MEDIA	6	20,875	15,375		13	9
DS		10,6695494616	9,5758252162		4,5355736761	4,6598589801
ERRORE STANDARD		4,0327106395	3,6193217315		1,7142857143	1,7612611437

Tabella XX

GRUPPO DISLESSIA	STEREOPSI ("ARCO)	AC/A (NUM A 1)
AM	40	3
CD	50	3
FC	40	4
GC	80	3
DS	40	5
CP	40	4
AB	40	5
PG	50	4
MEDIA	47,5	3,875
DS	13,8873014966	0,8345229604
ERRORE STANDARD	5,2489065917	0,3154200309

Tabella XXI

GRUPPO DISLESSIA	FAC ACC OO (c/min)	FAC ACC OD	FAC ACC OS	LENTO	FAC VERG
AM	6	7	7	POSITIVO	8
CD	6	7	7	POSITIVO	4
FC	8	7	7		7
GC	6	8	8	POSITIVO	7
DS	5	6	6	POSITIVO	9
CP	6	7	8	POSITIVO	5
AB	5	5	6	POSITIVO	7
PG	8	11	10		10
MEDIA	6,25	7,25	7,375		7,125
DS	1,164964745	1,7525491638	1,3024701806		1,95940953
ERRORE STANDARD	0,4403152859	0,6624013211	0,4922874554		0,74058719

Tabella XXII

GRUPPO DISLESSIA	NOTE IMPORTANTI DA ANAMNESI
AM	soggettivo: accetta +0,50D in entrambi gli occhi. Asintomatico Difficoltà nell'eseguire la facilità di vergenza, riferisce di vedere doppio a volte quando è molto stanca soggettivo: accetta +0,75D in entrambi gli occhi
CD	
FC	
GC	
DS	
CP	
AB	
PG	
MEDIA	
DS	
ERRORE STANDARD	

- Tabelle raccolta dati neurovisivi (XXIII-XXX)

Tabella XXIII

GRUPPO CONTROLLO	AV OO	AV OO (log)	AV OD	AV OD (log)	AV OS	AV OS (log)
SD	1,34	-0,13	1,09	-0,04	1,28	-0,11
GC	1,45	-0,16	1,2	-0,08	1,14	-0,06
AA	1,47	-0,17	1,12	-0,05	1,34	-0,13
GN	1,74	-0,24	1,16	-0,07	1,01	0
LB	1,82	-0,26	1,61	-0,21	1,45	-0,16
GV	1,76	-0,25	1,09	-0,04	1,52	-0,18
LV	1,64	-0,22	1,61	-0,21	1,45	-0,16
MD	1,6	-0,2	1,56	-0,19	1,56	-0,19
LM	1,71	-0,23	1,63	-0,21	1,62	-0,21
AL	1,2	-0,08	1,19	-0,08	1,33	-0,13
ST	1,61	-0,21	1,65	-0,22	1,54	-0,19
NS	2	-0,3	1,71	-0,23	1,95	-0,29
MEDIA	1,611666667	-0,204166667	1,385	-0,1358333333	1,4325	-0,1508333333
DEVIAZIONE STANDARD	0,2200757445	0,0608213977	0,258474546	0,0807305657	0,2422292303	0,0741568771
ERRORE STANDARD	0,0663553336	0,0183383414	0,0779330079	0,0243411814	0,0730348609	0,0223591397

Tabella XXIV

GRUPPO CONTROLLO	Gratings 1	Gratings 3	Gratings 5	Gratings 7	Gratings 11	Gratings 15
SD	1,66	0,55	0,57	0,71	0,53	2,8
GC	0,99	0,51	0,61	0,73	2,93	2,93
AA	2,52	0,9	0,77	0,7	2,39	3,18
GN	0,84	0,15	0,37	0,8	1,09	1,23
LB	0,93	0,41	0,51	0,54	1,37	1,03
GV	0,4	0,34	0,42	0,98	1,18	1,42
LV	2,09	0,9	0,51	0,8	1,06	2,8
MD	1,15	0,55	0,6	0,79	0,86	2,42
LM	2,78	1,27	0,72	0,79	0,93	1,42
AL	0,67	0,51	0,51	0,97	1,89	2,8
ST	1,82	0,51	0,51	1,08	2,38	3,66
NS	1,440909091	1,38	0,84	0,79	1,13	1,42
MEDIA	1,440909091	0,665	0,5783333333	0,806666667	1,4783333333	2,259166667
DEVIAZIONE STANDARD	0,748239808	0,371984848	0,139468689	0,144620716	0,741691351	0,896776635
ERRORE STANDARD	0,225602791	0,112157652	0,042051392	0,043604787	0,223628357	0,270388329

Tabella XXV

GRUPPO CONTROLLO	G.STATICO FOVEA 0.5cpg	G.STATICO FOVEA 4cpg	Aff. Acuità
SD	0,0333	0,005	3,2
GC	0,0191	0,005	4,2
AA	0,0333	0,012	2,8
GN	0,0333	0,005	3,8
LB	0,005	0,005	3
GV	0,0478	0,005	3
LV	0,0262	0,005	3,4
MD	0,005	0,005	3,2
LM	0,005	0,005	3
AL	0,012	0,005	3
ST	0,0262	0,012	3
NS	0,012	0,01201	2,6
MEDIA	0,0215166667	0,0067508333	3,183333333
DEVIAZIONE STANDARD	0,0140019371	0,0031673776	0,43866188
ERRORE STANDARD	0,0042217429	0,0009550003	0,13226153

Tabella XXVI

GRUPPO CONTROLLO	Flick 0.5cpg10Hz	Flick 4cpg10Hz	Flick 0.5cpg20Hz	Flick 4cpg20Hz	Flick 0,5cpg30Hz	Flick 4cpg30Hz
SD	0,012	0,005	0,012	0,0333	0,0333	0,012
GC	0,0191	0,012	0,0262	0,012	0,0262	0,0191
AA	0,0191	0,012	0,0405	0,012	0,0405	0,0262
GN	0,0333	0,0262	0,0848	0,0191	0,0848	0,0405
LB	0,012	0,005	0,0333	0,0191	0,0405	0,005
GV	0,005	0,012	0,005	0,0191	0,005	0,0333
LV	0,0262	0,005	0,012	0,005	0,0405	0,005
MD	0,012	0,005	0,012	0,005	0,0405	0,012
LM	0,0333	0,012	0,0405	0,0333	0,0698	0,0262
AL	0,005	0,005	0,0405	0,012	0,0405	0,0262
ST	0,005	0,0333	0,0478	0,0333	0,0478	0,0405
NS	0,0333	0,012	0,0699	0,019069	0,0699	0,0262
MEDIA	0,0179416667	0,0120416667	0,035375	0,0185224167	0,0449416667	0,0226833333
DEVIAZIONE STANDARD	0,0112285722	0,0090468938	0,0243427841	0,0102237145	0,0213594117	0,0122976593
ERRORE STANDARD	0,0033855419	0,0027277411	0,0073396256	0,0030825659	0,006440105	0,0037078838

Tabella XXVII

GRUPPO DISLESSIA	AV OO	AV OO (log)	AV OD	AV OD (log)	AV OS	AV OS (log)
AM	1,74	-0,24	1,68	-0,22	1,52	-0,18
DS	1,38	-0,14	1,28	-0,11	1,04	-0,02
GC	1,64	-0,21	1,32	-0,12	1,35	-0,13
CD	1,62	-0,21	1,43	-0,16	1,62	-0,21
FC	1,58	-0,2	1,2	-0,08	1,29	-0,11
PG	2	-0,3	1,53	-0,19	1,81	-0,26
AB	1,44	-0,16	1,35	-0,13	1,25	-0,1
CP	1,59	-0,2	1,32	-0,12	1,4	-0,15
MEDIA	1,62375	-0,2075	1,38875	-0,14125	1,41	-0,145
DEVIAZIONE STANDARD	0,1895813056	0,0486239212	0,1534775461	0,0458062691	0,2380876189	0,0734846923
ERRORE STANDARD	0,0716549983	0,0183781148	0,0580090598	0,0173131423	0,0899886614	0,027774603

Tabella IXXXX

GRUPPO DISLESSIA	Gratings 1	Gratings 3	Gratings 5	Gratings 7	Gratings 11	Gratings 15
AM	1,24	0,51	0,9	0,51	1,09	1,24
DS	3,59	1,6	0,73	1,02	1,01	1,76
GC	2,09	1,03	1,22	1,23	0,9	3,35
CD	1,44	0,95	0,73	1,73	1,78	2,16
FC	1,82	1,13	0,72	0,6	3,18	2,8
PG	2,89	1,19	1,3	1,02	0,93	1,76
AB	3,5	1,3	1,11	1,02	1,89	2,93
CP	1,83	1	1,19	1,04	0,93	1,86
MEDIA	2,3	1,08875	0,9875	1,02125	1,46375	2,2325
DEVIAZIONE STANDARD	0,911106078	0,312475713	0,244817716	0,37513569	0,798246963	0,720411589
ERRORE STANDARD	0,344365729	0,118104718	0,092532399	0,141787963	0,301708993	0,272289986

Tabella XXIX

GRUPPO DISLESSIA	G.STATICO FOVEA 0.5cpg	G.STATICO FOVEA 4cpg	Aff. Acuità
AM	0,05511	0,026178	5,4
DS	0,012	0,005	3,4
GC	0,0191	0,012	2,8
CD	0,0191	0,012	4,2
FC	0,012	0,005	4,2
PG	0,0262	0,012	4,2
AB	0,0405	0,012	3,4
CP	0,0333	0,012	3
MEDIA	0,02716375	0,01202225	3,825
DEVIAZIONE STANDARD	0,0150587307	0,0065357448	0,8447315719
ERRORE STANDARD	0,0056916652	0,0024702794	0,3192785234

Tabella XXX

GRUPPO DISLESSIA	Flick 0.5cpg10Hz	Flick 4cpg10Hz	Flick 0.5cpg20Hz	Flick 4cpg20Hz	Flick 0,5cpg30Hz	Flick 4cpg30Hz
AM	0,0333	0,005	0,0405	0,012	0,0625	0,0405
DS	0,0262	0,0262	0,0262	0,012	0,0699	0,0405
GC	0,0262	0,012	0,3334	0,012	0,0625	0,0478
CD	0,0262	0,012	0,0191	0,0262	0,0405	0,0699
FC	0,005	0,005	0,005	0,0333	0,0333	0,0333
PG	0,0262	0,0262	0,0333	0,0191	0,0625	0,0478
AB	0,0333	0,0551	0,0405	0,0333	0,0551	0,0478
CP	0,012	0,0262	0,0333	0,012	0,0333	0,0309
MEDIA	0,02355	0,0209625	0,0664125	0,0199875	0,05245	0,0448125
DEVIAZIONE STANDARD	0,0099693817	0,0165525947	0,108525921	0,009629039	0,0145934428	0,0120679549
ERRORE STANDARD	0,0037680721	0,0062562928	0,0410189426	0,0036394347	0,0055158029	0,0045612582

Ringraziamenti

Con questa tesi si conclude ufficialmente il mio percorso universitario e mi sembra doveroso ringraziare le persone care per la soddisfazione di aver raggiunto questo traguardo.

Colgo l'occasione, in poche righe, per ringraziare tutte le persone che mi sono sempre state vicine e quelle che, purtroppo, non lo sono più. I nonni in particolare, che sarebbero orgogliosi di me, e tra loro la nonna Lilli, con la quale avrei tanto voluto condividere questo momento e trovarmi a ciacolare di bei progetti futuri.

Ringrazio la mia famiglia per avermi spinto, accompagnato, rincorso fino a qui, e per tutte le volte che ancora mi accompagnerà (chissà dove) da qui in poi; la mamma Marcella, così contenta che, se avesse potuto, mi avrebbe accompagnato "a scuola" anche il primo giorno di università, il papà Marcello, che, con poche parole, ha sempre dimostrato di essere orgoglioso di me e i miei fratelli, Leonardo e Margherita, senza i quali la mia vita sarebbe terribilmente più noiosa!

Rigrazio Stefano, per questo lungo viaggio cominciato insieme, per l'enorme sostegno e l'infinita voglia di starmi vicino ogni giorno.

Ringrazio la mia compagna di avventure, Francesca, per avermi fatto capire quanto sono vicine Mestre e Rovigo, e per tutte le dosi di dolci e crocchette con cui abbiamo scandito i tempi delle nostre tesi.

Non ultimi, ringrazio tutti gli amici che dall'asilo, i banchi di scuola, i sabati pomeriggio, la casa del gato polvo, continuano ad esserci, e a regalarmi i migliori momenti di spensieratezza e follia.

Infine, Mi auguro che questo sia solo uno di tanti traguardi negli studi e che, come si dice, chiusa na porta..se vèrza un portòn, pronta a cogliere fatiche e progetti futuri.

Martina