

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



**Dipartimento di Fisica e Astronomia**

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea triennale in OTTICA e OPTOMETRIA

Tesi di Laurea

Dislessia Evolutiva e performance di lettura: una proposta di  
allenamento neurovisivo in condizioni di co-attivazione dei  
sistemi magno e parvo

Relatore: Prof.ssa Clara Casco

Laureanda: Lucia Aimone Prina

Matricola: 1142473

Anno Accademico 2018/2019



*“Non basta guardare,  
occorre guardare con occhi che vogliono vedere,  
che credono in quello che vedono”*

Galileo Galilei



# Indice

Introduzione.....	pag. 1
1. La dislessia evolutiva .....	pag. 3
2. Ipotesi neurovisive alla base del deficit di lettura .....	pag. 5
2.1. Ipotesi magnocellulare.....	pag. 8
2.2. Ipotesi coattivazione magno-parvocellulare.....	pag. 12
3. Effetti dell'apprendimento percettivo sulle abilità di lettura.....	pag. 15
4. Lo studio.....	pag. 19
4.1 Ipotesi sperimentali.....	pag. 19
4.2 Metodo.....	pag. 21
4.2.1. Disegno sperimentale.....	pag. 21
4.2.2. Partecipanti.....	pag. 22
4.2.3. Stimoli e test.....	pag. 23
4.2.4. Apparato sperimentale.....	pag. 25
4.2.5. Valutazione delle competenze di lettura.....	pag. 26
4.2.6. Misurazione dell'acuità visiva.....	pag. 26
4.3 Procedura.....	pag. 27
5. Analisi dei dati e risultati.....	pag. 29
5.1. Prove psicofisiche.....	pag. 29
5.2. Prove di lettura.....	pag. 33
5.3. Acuità visiva.....	pag. 35
6. Discussione.....	pag. 37
7. Conclusioni.....	pag. 40
Bibliografia.....	pag. 41
Appendice A: Moduli di consenso.....	pag. 52
Appendice B: Prove di lettura.....	pag. 55



## Introduzione

La visione è un processo psicofisico complesso che permette di identificare, interpretare e comprendere ciò che si vede, inoltre è intimamente legato con altre abilità tra cui quella linguistica, uditiva, di coordinazione motoria e di equilibrio. Alla luce di questo è di fondamentale importanza realizzare una valutazione completa delle aree visive, senza dimenticarci della prestazione all'apprendimento. La visione è un insieme di abilità che permettono al bambino di interpretare e comprendere le informazioni che riceve attraverso gli occhi, escludere un problema visivo o visuo-motorio non consente di stabilire che il resto del processo dell'informazione visiva sia funzionale, concetto che dobbiamo tenere bene a mente ogni volta che sulla poltrona del riunito siede un piccolo paziente in fase di prima scolarizzazione. Ad oggi la capacità diagnostica per difetti visivi e disturbi di apprendimento è altissima, l'impegno della ricerca e del lavoro quotidiano non è dunque solo quello della individuazione dei suddetti ma dello sviluppo di dispositivi e tecniche riabilitative sempre più specifiche ed efficaci, soluzioni dunque che il professionista possa fornire al soggetto per il recupero della difficoltà presentata.

Dal giorno in cui un bimbo mi disse "non importa se non finisco i compiti, tanto la maestra lo sa che sono dislessico", il desiderio è stato quello di poter conoscere e studiare una validissima ragione per cui nessuno, mai, dovesse più ricorrere a tale scusante in quello che era adempire ai suoi doveri prima, e porre l'asticella dei suoi traguardi di studio poi.

È proprio sulla dislessia evolutiva (DE) che questo studio si concentra e impegna, realizzando un'analisi psicofisica approfondita alla base di una proposta riabilitativa: si ipotizza che proponendo a soggetti con DE un allenamento di un compito di visione della direzione di movimento di uno stimolo mascherato da altri elementi, si possa arrivare ad un miglioramento sia nella prestazione al compito specifico di discriminazione della direzione di movimento (Casco, Battaglini, Bossi,

Porracin & Pavan, 2015) sia nella performance di lettura, abilità che la letteratura ci suggerisce essere intrinsecamente legata alla stessa via neurale coinvolta nell'elaborazione del movimento.

# 1. La dislessia evolutiva

Con il termine Dislessia Evolutiva (DE) si fa riferimento al disturbo neuroevolutivo che si contraddistingue per una difficoltà specifica nell'acquisizione e nell'automatizzazione delle abilità di lettura in condizioni di livello intellettivo nella norma, scolarità tipica, opportunità socio-relazionali adeguate e assenza di deficit neurosensoriali che potrebbero costituire una causa più diretta dell'alterazione presente nel processo di decodifica ("World Federation of Neurology, 1968"). Rientra nella categoria dei Disturbi Specifici dell'Apprendimento e si distingue dalla Dislessia Acquisita che è invece insorge una volta che il processo di apprendimento della letto-scrittura è stato completato (Consensus Conference, 2007).

Il deficit principale riguarda la fluenza di lettura che risulta significativamente ridotta rispetto a quanto ci si aspetta per anno di scolarizzazione di riferimento (secondo la Consensus Conferenze del 2007, le prestazioni di letto-scrittura devono discostarsi per accuratezza e velocità di almeno 2 deviazioni standard sotto la media della popolazione di riferimento).

La fluenza è definita come l'abilità di leggere un testo in modo accurato, rapido, automatico; queste caratteristiche sono considerate necessarie per minimizzare l'attenzione consapevole necessaria per la lettura (Meyer & Felton, 1999).

LaBerge e Samuels (1974) per primi teorizzarono l'assenza di automatismo nel riconoscimento delle singole parole con il persistere dell'incapacità di fluenza nonostante venisse acquisita la capacità di leggere (LaBerge & Samuels, 1974). Quando non c'è il riconoscimento automatico, nuovi lettori e lettori deficitari impegnano maggiori risorse nella decodifica, rallentando il processo di lettura: la dislessia infatti compromette il processo di *decodifica* che si distingue dalla *codifica*, ovvero l'elaborazione dell'informazione sensoriale che è intatta e preservata (Chard, Vaughn, Tyler, 2002; Shaywitz et al, 1999; Wolf, Bowers & Biddle, 2000). Risulta quindi una minor risorsa corticale da impiegare nel mantenimento dell'informazione nella "working memory" dove il testo viene

*decodificato* ed elaborato comportando difficoltà più o meno consistenti a livello di comprensione del contenuto (Shinn, Good, Knutson, Tilly & Collins, 1992).

La DE è un disturbo a cui concorrono spesso deficit simultanei ed associati che possono riguardare l'acquisizione del linguaggio, abilità di scrittura e calcolo, abilità visuo-spaziali e attenzionali, la coordinazione motoria ed aspetti posturali (Habib, 2000; Laycock, Crewther S.G. & Crewther D.P., 2008). La ricerca scientifica si impegna nell'analizzare più fattori emersi come potenziali determinanti di uno o più aspetti del disturbo, questo studio invece si pone nell'analisi solo dell'aspetto neurovisivo del deficit.

## 2. Ipotesi neurovisive del deficit di lettura

La lettura rimane in prima istanza un'abilità visiva, sostenuta tra le altre, dalle due vie neuronali: dorsale e ventrale.

La via dorsale ci fornisce informazioni sulla localizzazione degli oggetti nello spazio, dalla corteccia visiva primaria l'input raggiunge le aree dorsali (area medio-temporale, MT) e la corteccia parietale posteriore in circa 40 ms, permettendo così la continua rilevazione del movimento se la localizzazione cambia nel tempo con il re-indirizzamento dello sguardo (Ungerleider & Haxby, 1994). La via dorsale arricchisce le funzioni svolte dal sistema magnocellulare (M) fornendo al processo di elaborazione visiva una maggior complessità (Mishkin & Ungerleider, 1982). L'informazione di localizzazione viene poi usata dal circuito fronto-parietale per selezionare l'oggetto da elaborare nel dettaglio utilizzando la via di elaborazione più lenta, la via ventrale, che riconosce ed elabora in dettaglio la forma degli oggetti, i loro margini e il loro orientamento (Mishkin et al, 1982; Gazzaniga, Ivry & Mangun, 2006; Vidyasagar & Pammer, 2010).

Nella lettura questo si traduce nel riconoscere la localizzazione degli oggetti nello spazio per poter fare saccadi (movimenti balistici oculari) accurate, spostarci su parole nuove da poter fissare ed analizzare nel dettaglio; come nella ricerca visiva poi, l'attenzione scansiona in modo sequenziale le lettere del testo durante intermittenti periodi di fissazione (MacKeben, Trauzettel-Klosinski, Reinhard, Dürrwächter, Adler & Klosinski, 2004). Durante la lettura, le saccadi durano circa 25 ms mentre le fissazioni durano circa 250 ms: un ritmo temporale ben definito.

Quello che si osserva nei casi di dislessia è che questa accurata localizzazione viene a mancare, molte più risorse cognitive sono necessarie in mancanza di saccadi veloci e precise ed il processo di lettura ne risulta così maggiormente difficoltoso e lento.

In letteratura sono presenti molti studi di osservazione delle prestazioni spaziotemporalmente di soggetti dislessici:

- Stanley e Hall (1973) registrano tempi molto maggiori per distinguere uno stimolo ed il successivo come stimoli visivi diversi, suggerendo che il problema potesse essere attribuibile al processamento temporale delle informazioni visive per i lettori deficitari rispetto ai normolettori.
- May, Williams e Dunlap (1988) analizzarono un gruppo di bambini dislessici registrando per un compito visivo SOA alti (a favore della stessa tesi sostenuta da Lovegrove, Bowling, Badcock & Blackwood, 1980): se ci sono ritardi/mis-sincronizzazioni nel sistema che codifica la forma globale, il movimento e la risoluzione temporale, emergeranno performance distorte in compiti di definizione di ordine temporale.
- Eden, Stein, Wood H.M. e Wood F.B. (1995) studiarono le differenze tra i processi visivi spaziali e temporali, entrambi requisiti ad una lettura fluente, attribuendo il ruolo causale ancora al processamento temporale: se un ritardo temporale genera un disappaiamento tra processamento temporale e processamento spaziale non possiamo che mostrare una difficoltà e lentezza anche di lettura.

L'evidenza anatomica di questo presunto ritardo di segnale e di processamento dell'informazione arrivò dallo studio che Galaburda e colleghi (1994) effettuarono su cervelli di soggetti dislessici post-mortem (appartenenti alla Orton Dyslexic Brain Collection): ebbero modo di osservare, rispetto ai controlli, neuroni molto più piccoli e meno ampi sia nella parte sinistra del Nucleo Genicolato Laterale, sia lungo tutto il cammino ottico dove le cellule M mostravano questa anomalia di forma (Galaburda, Menard & Rosen, 1994).

Queste furono le principali indicazioni per re-indirizzare la ricerca del "colpevole" allo specifico dei canali neuronali contribuenti a questa lettura deficitaria: con il sostegno di queste evidenze neurobiologiche (Galaburda et al 1994, Habib, 2000) e dal momento che il sistema magnocellulare (M) maturerebbe più lentamente rispetto a quello parvocellulare (P), caratteristica che lo renderebbe più vulnerabile a cambiamenti nel corso dello sviluppo (Coch, Grossi, Skendzel & Neville, 2005), ha preso forma la teoria che pone all'origine di queste cadute di

performance per DE un deficit M, definita come teoria magno cellulare (Lovegrove et al., 1980, 1986, 1990; Stein & Walsh, 1997; Stein, 2001).

Su questa corrente, gli autori hanno intrapreso la ricerca e lo studio del network neurale del sistema visivo in modo sempre più approfondito e dettagliato, per ragionare oggi su basi teoriche più precise sul ruolo del processamento visivo e dell'attenzione visiva nella dislessia.

## 2.1. L'ipotesi magnocellulare

La prima importante ipotesi neurovisiva causale della dislessia riguarda l'esistenza di un deficit a carico delle strutture magnocellulari, in particolare un'alterazione della percezione sensoriale visiva a medio-alto livello.

Già nel 1991 Livingstone, Rosen, Drislane e Galaburda si accorsero che un lag (ritardo) nel processamento a carico di M potesse spiegare perché per i potenziali evocati (VEP, potenziali visivi evocati con stimoli a basso contrasto) si registrava un ritardo di risposta di 20-40 ms se il cervello in studio era di un soggetto dislessico: un sistema M più lento porta ad una mancata sincronia di velocità nel processamento visivo (Livingstone, Rosen, Drislane & Galaburda, 1991). A sostegno di quest'ipotesi numerosi studi hanno evidenziato in soggetti con dislessia evolutiva difficoltà nell'elaborazione e nell'integrazione di stimoli di varia natura ma temporalmente relativi (Chase & Jenner, 1993; Eden et al, 1995; Stein & Walsh, 1997; Tallal, Miller, Jenkins & Merzenich, 1996; Habib, 2000; Keen & Lovegrove, 2000; Walker, Hall, Klein & Phillips, 2006). Eden e colleghi in particolare proposero che era più l'aspetto temporale che quello spaziale della lettura ad essere responsabile del problema visivo nella dislessia, in ogni caso la scoordinazione tra processamento-tempo e processamento-spazio porta ad un processamento globale più lungo durante la lettura di un testo (Eden et al, 1995).

A livello funzionale invece, è stato dimostrato che nei bambini con dislessia evolutiva vi è una piccola riduzione della sensibilità al contrasto alle basse frequenze spaziali e, in particolare, durante il test flicker<sup>1</sup> una ridotta sensibilità al contrasto per stimoli con basse frequenze spaziali (Lovegrove et al., 1986) e ridotta sensibilità al movimento (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler & Stein, 1995); per le alte frequenze spaziali, dominate dal sistema P, non vengono invece riscontrate soglie superiori al normale (Evans, Drasdo, & Richards, 1996). La

<sup>1</sup> Per flicker test si intende una procedura di test visivo che valuta l'abilità dell'osservatore di percepire l'alternanza (flicker) di luce-buio di uno stimolo.

maggior parte dei soggetti con dislessia mostra soglie più alte se confrontate con il controllo normo-lettore in compiti di detezione di stimoli con caratteristiche ottimali per la stimolazione del solo sistema M (frequenza spaziale  $<1$  c/deg e frequenza temporale compresa tra 15 e 30 Hz) ma anche per un intervallo di frequenze spazio-temporali più ampio che non consente di affermare la presenza di un deficit selettivamente M che escluda il coinvolgimento anche del sistema P (Buchholz & McKone, 2004; Demb, Boynton, Best & Heeger, 1998; Ben Yehudah, Sackett, Malchi-Ginzberg & Ahissar, 2001). Questo suggerisce che il disturbo non riguardi l'analisi dei dettagli ma, precisamente, la risposta alle frequenze spaziali e temporali che permettono lo svolgimento di compiti di integrazione visiva a livello corticale (Mather, Pavan, Bellacosa, & Casco, 2012). Si ipotizza quindi che il deficit possa riguardare più in generale la via dorsale a livelli di elaborazione precoci oppure più elevati.

Un aspetto secondario ma non meno importante è il ruolo di M nell'acquisizione e la guida dell'attenzione nei sistemi sia visivo che auditorio (Steinman B.A., Steinman S.B. & Lehmkuhle, 1997; Yantis & Jonides, 1984; 1996). Un sistema M deficitario potrebbe spiegare le performance ridotte in compiti di lettura e fonologici che stanno alla base dell'apprendimento stesso della lettura (Heim et al, 2008; Boets, Wouters, van Wieringen, De Smedt & Ghesquiere, 2008), ovvero una riduzione generale di efficacia-quantità di processamento. Questa riduzione si potrebbe evidenziare con l'impossibilità di attivare l'attenzione transiente con una sequenza di stimoli: se la performance in un compito a rapida frequenza richiede l'attivazione e l'acquisizione di attenzione, e il tempo che si impiega ad attivare questa attenzione è mediato proprio dalla via magnocellulare del sistema visivo e dell'analoga via del sistema uditivo, allora presumibilmente la generale lentezza di risposta M disappaia temporalmente i processi e le performance che stanno alla base della fluenza di lettura. In quest'ottica l'attenzione diventa il mezzo per legare tutti i dati assieme. L'attivazione concomitante dei siti parietali (controllo attentivo) potrebbe spiegare tale legame (Hari & Kiesila, 1996; Kujala et al, 2000; Renvall & Hari, 2002; Schulte-Korne, Deimel, Bartling & Remschmidt, 1998; Tallal et al, 1997). Nello specifico della lettura di un testo, è richiesta una

serie di veloci spostamenti dell'attenzione attraverso le saccadi, aspetto che sarà a maggior ragione di difficile realizzazione se è deficitario il sistema attentivo visivo. Nella scansione di una sequenza (come una sequenza di lettere) i soggetti dislessici dimostrano poco controllo, mancata direzione e organizzazione, tutti requisiti necessari per il movimento saccadico (Steinman S.B., Steinman B.A. & Garzia, 1998).

Un'ultima analisi di questa ipotesi avviene ad un livello più approfondito del sistema visivo e può spiegare come un ritardo di sincronizzazione a carico del sistema magnocellulare possa giocare un ruolo fondamentale nel deficit di lettura, e nello specifico un ruolo deficitario nell'invio del segnale veloce di feedback nel processo ben definito da Bullier (Bullier, 2001) e poi rinominato come "vantaggio magnocellulare" da Laylock e colleghi (Laycock, Crewther, S.G., Kiely & Crewther D.P., 2006). Si pensi alle caratteristiche del sistema M, come via di processamento visivo più veloce verso V1 (Shapley & Perry, 1986) e come rete feedforward – feedback<sup>2</sup> a partire dalle aree extra-striate (Bullier, 2001): il sistema M, addetto al processamento di basse frequenze spaziali e alte frequenze temporali, restituisce un'anteprima dell'immagine che sarà successivamente elaborata nel dettaglio (alte frequenze spaziali e basse frequenze temporali). Questo modello di vantaggio magnocellulare ipotizza che il feedback attentivo lungo la via dorsale precede quello lungo la via ventrale, la modulazione attentiva di V1 è regolata da un feedback delle aree visive non primarie, i segnali visivi provenienti dalla via dorsale aumentano la modulazione, la via dorsale viene attivata rapidamente da un compito che, in precedenza, si riteneva attivasse solo la via ventrale. Vi sono dei modelli sull'elaborazione visiva più recenti che sembrano in grado di spiegare il ruolo della via M nella dislessia come una ridotta attivazione e rallentamento del

<sup>2</sup> Nel linguaggio tecnico e scientifico, con *feedforward* si intende un processo predittivo relativo al modo di ottenere i risultati desiderati, alle azioni da programmare per il futuro, con *feedback* ci si riferisce ad un processo per cui il risultato dall'azione di un sistema (apparecchio, dispositivo, o meccanismo) si riflette sul sistema stesso per correggerne o modificarne il comportamento.

circuito feedforward/feedback (studi di neurointerferenza con TMS su V1 e V5/MT) per la compromessa capacità di riconoscere stimoli visivi a basso contrasto, basse frequenze spaziali e alte frequenze temporali (Laylock, Crewther D.P., Fitzgerald & Crewther S., 2007a; Bullier, 2001). Se l'elaborazione precoce dell'informazione nella via dorsale è rallentata, allora si può ipotizzare lo sia l'intero network aree visive-aree parietali-aree frontali (Corbetta & Shulman, 2002) e i meccanismi attentivi top-down<sup>3</sup>, di selezione degli stimoli e di risposta ad essi, da qui l'ipotesi della dislessia vista come "svantaggio" del sistema magnocellulare (Walsh & Cowey 1995, Schulte-körne & Bruder 2010, Vidyasagar & Pammer 2010).

<sup>3</sup> Top down (dall'alto verso il basso) e bottom up (dal basso verso l'alto) sono due diversi modi di elaborare i dati sensoriali con cui entriamo in contatto. L'elaborazione dall'alto verso il basso, cioè **top down**, si basa su processi cognitivi che coinvolgono attenzione e memoria, l'elaborazione sarebbe «guidata dai concetti», cioè basata sulle rappresentazioni contenute in memoria. L'elaborazione **bottom up** invece si basa principalmente sullo stimolo esterno e sulle sue caratteristiche percettive, si fa riferimento quindi a una modalità di elaborazione «guidata dai dati», che parte dai dati sensoriali (le singole parti dello stimolo).

## 2.2. L'ipotesi di coattivazione magno-parvocellulare

I deficit caratteristici della dislessia non sono stati studiati solo lungo la via magnocellulare ma anche nelle aree in cui essa si suddivide e a cui proietta.

A livello funzionale e comportamentale Vidyasagar e Pammer (1999) ipotizzarono che la via dorsale dominata da M potrebbe essere essenziale per regioni della corteccia primaria che regolano processi nella via ventrale, inferenza che si traduce nel dire che se è deficitario M allora saranno deficitari anche compiti attribuibili alla via parvocellulare a patto che il compito richieda l'impiego di attenzione. Questa ipotesi è stata confermata da studi condotti da Vidyasagar e Pammer stessi, da Laylock et al (2006) ed ancora da Omtzigt, Hendriks & Kolk (2002), nei quali è stata evidenziata la difficoltà per soggetti DE a svolgere compiti in cui era P ad essere attivato ma per cui M era interpellato per provvedere alla richiesta di risorse attentive extra.

Questo concetto nello specifico è stato suggerito essere un processamento visivo a doppia via feedback e feedforward (Bullier, 2001; Lamme & Roelfsema, 2000; Laylock et al, 2007b; Tong, 2003): la velocità di conduzione dei segnali feedback alla corteccia visiva primaria è sufficientemente alta da influenzare il processo in aree a minor livello di elaborazione. Evidenze scientifiche in letteratura hanno riscontrato questo vantaggio di M su P nella corteccia visiva primaria, quantificabile tra i 10 e i 20 ms (Bullier, Hupe, James & Girard, 1996; Maunsell et al, 1999; Nowak, Munk, Girard & Bullier, 1995). Fu proprio Bullier a proporre che le proiezioni M dessero un'immagine d'insieme attraverso la via dorsale e che poi fossero nuovamente inviate a V1, dove avviene l'integrazione di informazioni M e P da trasmettere alla corteccia temporale (Bullier et al, 1999).

La conferma psicofisica di questo suggerimento deriva dal lavoro di Kulikowski e Tolhurst (1973) che mostrarono come l'osservatore percepisse il movimento flicker ma non la struttura spaziale dello stimolo che era selettivo per la risposta M (0,5 c/deg, 20 Hz) e si assunse che per permettere il riconoscimento della forma spaziale dello stimolo le frequenze temporali dovevano essere ridotte,

permettendo anche a P di attivarsi e rispondere. Altri studi che impiegarono la detezione del contrasto in movimento (flicker) risultano compatibili con l'ipotesi di coattivazione dei due sistemi provata anatomicamente (Breitmeyer & Ganz, 1976, Tolhurst, 1975)

Sulla base del modello di Lamme e Roelfsema (2000), Contemori e colleghi (2019) hanno osservato soggetti DE con l'intento di distinguere l'attivazione prevalentemente magnocellulare dalla coattivazione M-P (Contemori, Battaglini, Barollo, Ciavarelli & Casco 2019). Questo è stato realizzato attraverso il confronto di soglie di contrasto in compiti di detezione di uno stimolo ad una bassa frequenza spaziale e altissima frequenza temporale (attivazione della sola M) e con la registrazione poi delle soglie di contrasto ottenute in compiti in cui venivano usati stimoli di aumentata frequenza spaziale e ridotta frequenza temporale. Negli esercizi successivi al primo, il processamento richiesto ci si aspettava promuovere la coattivazione tra i due sistemi stimolando poi un miglioramento nella performance rispetto alla condizione in cui gli stimoli attivano solo M; se però è presente un deficit, questo tipo di procedimento non produce facilitazione quindi le soglie di contrasto non saranno migliori di quelle ottenute solo stimolando M. I dati supportano la nuova ipotesi secondo cui il deficit risiede nella coattivazione M-P tanto che questo deficit non incide nelle performance di attivazione solo M né riduce la sensibilità per stimoli solo P. Lo schema dell'ipotesi sostenuta è riducibile ad un segmento, ai cui estremi c'è attivazione solo M o solo P, per quanto ci sposteremo lungo il segmento (variando frequenze sia spaziali che temporali) verso un estremo o verso l'altro saremo sempre nella condizione di coattivazione. Eccezione fatta per compiti che sono collocabili agli estremi del segmento, che stimolano quindi o solo M o solo P, i dislessici presenteranno scarse performance per tutti gli altri compiti a causa della cattiva collaborazione tra i due sistemi.

Nella visione normale la risposta M e P coesiste, risposta che contribuisce al processamento feedforward visivo. Nei DE questo non avviene, con il risultato di un processo feedforward inefficiente che non darà un'anteprima spaziale a livello corticale e bisognerà fare affidamento solo sul processamento ventrale di basso

livello per riconoscere lettera per lettera e reindirizzare l'attenzione dettaglio per dettaglio (Contemori et al, 2019).

A livello anatomico sono molti gli studi che hanno provato l'intrecciarsi delle vie M e P nelle connessioni orizzontali in V1 (Sincich & Horton, 2005; Nassi & Callaway, 2009): dagli input dei sistemi P ed M che originano nella retina e proiettano al LGN, c'è ricombinazione in V1 in molteplici canali connessi orizzontalmente tra loro, che mescolano le informazioni M-P-Konio da proiettare alle aree striate e a V2. Questi studi evidenziano come la coattivazione M-P avvenga già in V1 e regoli sia il feedforward al processamento centrale, che la modulazione feedback dall'area dorsale a quella ventrale.

### 3. Effetti dell'apprendimento percettivo sulle abilità di lettura

L'anatomia corticale ci rivela che interazioni ad ampio raggio orizzontali esistono in tutte le regioni cerebrali, corteccia visiva inclusa (Gilbert & Wiesel, 1983, Rockland & Lund, 1983), interazioni che si prestano ad essere modulate dall'apprendimento percettivo (Gilbert, Li, & Piech, 2009). Studi hanno suggerito che la modulazione apprendimento-dipendente delle connessioni eccitatorie o inibitorie tra neuroni migliorano la risposta dei canali visivi selettivi per le frequenze spaziali (Adini, Sagi & Tsodyks, 2002) aumentando la detezione del segnale nel "rumore" dell'attività neuronale (Geisler & Albrecht, 1997).

Le due ipotesi M e M-P hanno condotto a studi che valutano gli effetti dell'apprendimento percettivo proprio sulle abilità di lettura: il quesito posto è se un allenamento percettivo nei suoi presupposti sia capace di trasferire al compito della lettura, migliorandola in alcuni dei suoi aspetti.

Il lavoro che si basa sulla prima delle ipotesi analizzate è stato condotto da Chouake e colleghi nel 2012 (Chouake, Levy, Javitt & Lavidor, 2012). Questo studio si propone di mettere in relazione l'attività magnocellulare e le abilità di lettura, nell'ipotesi che una attività ripetuta della via dorsale possa migliorare la lettura intensificando e rafforzando reti neurali cruciali.

Sono stati allenati due gruppi di normolettori (età media 24 anni), il primo gruppo con un compito di rilevazione del movimento, volto a stimolare ed allenare principalmente il canale magnocellulare; il secondo, e diverso gruppo, con un compito di detezione di un reticolo, specialità della via parvocellulare. Un compito di decisione lessicale è stato effettuato prima e dopo al fine di valutare la performance dei soggetti in un compito di riconoscimento di parole.

Dall'analisi finale è emerso che entrambi gli allenamenti avevano prodotto risultati ad evidenza della significatività dell'apprendimento percettivo, ma solo il primo gruppo allenato per M aveva migliorato l'accuratezza di riconoscimento lessicale,

fattore cruciale quando si tratta della lettura, fattore che può contraddistinguere un allenamento specifico per M da altri allenamenti visivi più generali.

Studi clinici precedenti hanno indicato che allenare la percezione visiva può essere un campo promettente per ridurre le difficoltà di lettura e alla luce delle stesse motivazioni, il presente studio utilizza un compito di allenamento che è fortemente volto a stimolare M: la rilevazione del movimento. Il deficit presente per soggetti dislessici, supportato a livello comportamentale e da evidenze di imaging<sup>4</sup> (Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard & Frakowiak, 1991; Watson, Myers, Frackowiak, Hajnal, Woods, Mazziotta, Shipp & Zeki, 1993; Tootell, Reppas, Kwong, Malach, Born, Brady, Rosen & Belliveau, 1995; Silvanto, Lavie & Walsh, 2005), risiede proprio nelle aree V5/MT che questo tipo di compito va a coinvolgere: un training basato sulla rilevazione del movimento dunque può essere davvero uno strumento utilissimo non solo per consolidare una rete neurale fondamentale, ma anche per trasferire ad abilità di lettura come l'accuratezza.

Lo studio conferma l'ipotesi di coattivazione magno-parvocellulare è invece quello condotto da Lawton e colleghi nel 2017 (Lawton & Shelley-Tremblay, 2017), nel quale si afferma come l'ipotesi di ritardi nella sincronizzazione dell'attività M con quella P nella via dorsale sia associata alla dislessia e dimostrerebbe ancora come il compito di rilevazione del moto non sia solo uno strumento per la precoce individuazione di difficoltà di lettura ma anche un ottimo espediente risolutivo a tali difficoltà.

Allo studio hanno preso parte sia soggetti dislessici che normolettori, di età media 8,5 anni. L'idea di base era di potenziare neuroni inerti con stimolazione ripetuta

<sup>4</sup> Con i termini di imaging o imaging biomedico o diagnostica per immagini ci si riferisce al generico processo attraverso il quale è possibile osservare un'area di un organismo non visibile dall'esterno. La radiologia è la branca della medicina che principalmente si occupa di tutto ciò. L'imaging strutturale rivela l'anatomia del cervello, mentre l'imaging funzionale introducendo la dimensione tempo consente di osservare l'attività cerebrale di una persona mentre svolge un compito cognitivo.

di tutta la rete neurale (Buzsaki, 2006), annullando la mala sincronizzazione che va a rallentare il processamento e la comunicazione anche alla base dell'apprendimento stesso delle capacità di lettura. L'allenamento sfrutta la stimolazione visiva del sistema dorsale, ad alto e a basso livello, richiedendo il riconoscimento della direzione di movimento di un reticolo presentato su uno sfondo reticolato statico.

Il gruppo di Lawton aveva individuato precedentemente pattern ottimali per l'attivazione di M relativa a neuroni P (Lawton, 2000; 2011): attivare neuroni sensibili al movimento (M) nella rete V1/MT (Allman, Miezin & McGuiness, 1985; Felleman & Van Essen, 1991; De Valois, Cottaris, Mahon, Elfar & Wilson, 2000) relativamente a neuroni sensibili al reticolo di sfondo (P), costituisce uno stimolo di allenamento per i deficit di integrazione M e P sia a bassi che ad alti livelli del processamento del movimento. Grazie alla brevettazione di un programma di rilevazione del moto (Lawton, 2000; 2015), è stato dimostrata sia per normolettori che per soggetti dislessici l'efficacia dell'apprendimento percettivo nel produrre neuroplasticità con effetti positivi sul processamento, definendo inoltre una relazione proporzionale tra il numero di riproduzioni del compito e il migliorare la performance per il compito stesso: tante più volte viene praticato il compito, tanto più aumenta la sensibilità al contrasto per reticoli in movimento, tanto più aumentano la velocità di processamento e la fluenza di lettura.

L'intervento basato sulla rilevazione della direzione del moto si crede possa cambiare il tempo di risposta neuronale aumentandone quindi la velocità (Lawton, 2000; 2011; 2015; 2016) attraverso un training intensivo della via dorsale, migliorando l'attività M relativa a quella P nei suoi circuiti inibitori, basandosi sui dati della plasticità neuronale. La significatività del training sulla velocità di lettura risulta  $F(1,38) = 8,363$   $p=0,001$ , con un miglioramento significativo anche della comprensione del testo.

Si segnala che la maggior parte della letteratura scientifica prodotta è riferita a soggetti e prove di lingua inglese, per cui si fonda su una ortografia "opaca" e non "trasparente" come quella dell'italiano e fa riferimento a un diverso sistema scolastico. Questi due elementi (non trasparenza linguistica e differenze di sistema

scolastico) riducono la trasferibilità dei dati al contesto italiano, ma nello stesso tempo prospettano delle possibili evoluzioni o proposte già sperimentate in altre condizioni ambientali (Consensus Conference, 2007).

## 4. Lo studio

### 4.1. Ipotesi sperimentali

Nel presente studio ci domandiamo se l'effetto ottenuto da Lawton può essere replicato per un gruppo di soggetti DE di età maggiore (e nazionalità diversa) nei quali si suppone che il processo di lettura si sia già stabilizzato. Ci si domanda se

1. Sia possibile allenare un gruppo di DE con stimoli in movimento che coattivano il sistema magno e parvo al fine di migliorare la loro performance nel compito.
2. Sia possibile che il miglioramento ottenuto con questo paradigma di apprendimento percettivo generalizzi a funzioni visive di livello via via crescente fino ad influenzare in maniera positiva l'abilità di lettura.
3. Sia possibile con questo paradigma di apprendimento percettivo basato su stimoli dinamici ottenere lo stesso trasferimento all'acuità visiva previsto dal metodo a stimoli statici per modulare le interazioni laterali nelle aree visive primarie (Casco, Guzzon, Moise, Vecchies, Testa & Pavan, 2014).

Per rispondere a queste domande abbiamo costruito un disegno sperimentale che prevede una fase di pre-test seguita da un training ed una fase di post-test.

Il pre-test consiste nella somministrazione di un compito psicofisico e di prove di lettura. Viene proposto ai partecipanti un compito di discriminazione della direzione di movimento di uno stimolo a basso contrasto; in due condizioni il target viene presentato isolato, in tre condizioni il target viene invece affiancato da due stimoli ad alto contrasto con frequenza spaziale pari a 0.125, 0.5 e 2 cpd. Si procede poi ad una valutazione delle competenze di lettura attraverso la batteria DDE-2 (Sartori, 200/) ed infine alla misurazione dell'acuità visiva binoculare (FrACT versione 3.9.9°, Michael Bach, Freiburg Visual Acuity and Contrast Test).

Il training prevede l'esecuzione del compito di discriminazione di direzione del movimento nelle condizioni con target e flankers<sup>5</sup> (0.125, 0.5 e 2 cpd). La durata è di otto settimane consecutive, due sessioni a settimana della durata di circa 15-20 minuti. Le fasi di post-test prevedono le medesime valutazioni del pre-test.

Sulla base della letteratura descritta in precedenza, relativamente al gruppo esaminato ci si aspetta che:

- i partecipanti esperiscano nella fase di training un effetto di soppressione visiva nelle condizioni con fianchi di uguale (0.5 °/deg), inferiore (0.125 °/deg) frequenza spaziale rispetto a quella del target (Casco, Battaglini, Bossi, Porracin & Pavan, 2015); un tale risultato potrebbe costituire una conferma dell'ipotesi di un deficit di coattivazione magno-parvo nei soggetti con dislessia evolutiva responsabile di difficoltà specifiche nel processamento temporale e spaziale degli stimoli e nell'elaborazione del movimento. In particolare potrebbero confermare la presenza di un deficit di interazione precoce tra i due diversi sistemi visivi M-P, nel caso di mancata riduzione di soppressione nel gruppo DE rispetto ai normolettori nella condizione di stimolazione prevalente del sistema P ovvero quando i fianchi presentano una frequenza spaziale maggiore rispetto al target in movimento (Casco et al., 2015; Contemori et al, 2019).
- un trasferimento del miglioramento nelle prove di lettura somministrate al post-test in accordo con i risultati emersi dagli studi di Lawton (Lawton et al, 2004; 2007) e con quanto emerso dagli studi sulla plasticità cognitiva relativamente alla fascia d'età esaminata.
- la modulazione delle interazioni laterali tramite apprendimento percettivo migliori la sensibilità al contrasto e l'acuità visiva in soggetti emmetropi o emmetropizzati e DE come si è verificato per soggetti ametropi (basse miopie e presbiopie, Casco et al, 2014) o ambliopici (Barollo, Contemori, Battaglini, Pavan & Casco, 2017).

<sup>5</sup> Si parla di flankers (fianchi) quando ad uno stimolo Gabor tipico vengono affiancati appunto, due reticoli uguali, ma con diverso contrasto o frequenza spaziale o orientamento rispetto al reticolo centrale (detto target).

## 4.2. Metodo

### 4.2.1. Disegno sperimentale

Lo studio è un disegno a misure ripetute: per ogni soggetto del gruppo è stata fatta una valutazione iniziale, un periodo di allenamento ed infine una valutazione ultima, identica alla valutazione iniziale. Questo studio prevede, per ogni soggetto, una presentazione degli stimoli in zona foveale. La presentazione in fovea (eccentricità: 0°) riguarda due condizioni con target isolato in movimento e tre condizioni con target in movimento e fianchi statici. La durata degli stimoli è stata mantenuta costante per ogni soggetto in tutte le condizioni sperimentali.

A tutti i soggetti è stato somministrato un training neurovisivo della durata di 15-20 minuti circa, per 8 settimane consecutive, 2 sessioni a settimana. Questo allenamento comprendeva tre delle prove effettuate nella fase di pretest, nello specifico: Neurovision Training (NVT) movimento con flankers di frequenze spaziali rispettivamente 0.125, 0.5 e 2 c/deg (l'ordine della tre diverse frequenze spaziali è stato ripetuto uguale nelle prime sessioni e poi randomizzato nelle successive).

Durante l'allenamento, alcuni soggetti hanno svolto gli esercizi presso la propria abitazione, altri presso l'istituto di scuola secondaria di primo grado di appartenenza, in entrambi i casi sotto la supervisione di chi ha somministrato il training. Il numero di due sessioni settimanali è rimasto fisso per ogni soggetto, così come i giorni stabiliti eccetto qualche eccezione. Il tipo di compito e le condizioni di setting sono state mantenute inalterate a quelle di pre-test e post-test.

In fase di pre- e post-test sono state rilevate le soglie di contrasto relative alle cinque prove NVT riportate in Tabella 1, durante il training invece sono state allenate solo le tre condizioni con flankers. Per quanto riguarda le prove di lettura state effettuate in entrambe le fasi le prove 1-5 della batteria DDE-2. Le procedure di misurazione utilizzate sono state selezionate ai fini di ricerca dal Laboratorio

Neuro.Vis.U.S., Laboratori Interdipartimentali per la ricerca Psicologica Applicata e Clinica (L.I.R.I.P.A.C.), Università degli Studi di Padova, responsabile e referente prof.ssa Clara Casco.

Tutte le prove previste per la fase di pre-test e relativo post-test sono state somministrate a ciascun soggetto in un'unica sessione presso la medesima sede di laboratorio, salvo qualche piccola eccezione.

*Tabella 1. Parametri relativi alle condizioni di NVT con Flankers e senza Flankers.*

<u>Soglia</u>	<u>Frequenza</u>	<u>Eccentricità</u>	<u>Velocità</u>	<u>Durata</u>	<u>FS dei</u>
NVT	<u>Spaziale</u>				<u>Flankers</u>
movimento	(cpd)	(°)	(°/s)	(ms)	(cpd)
1.	0,5	0	6	50	-
2.	0,5	0	6	75	-
3.	0,5	0	6	50 o 75	0,125
4.	0,5	0	6	50 o 75	0,5

#### 4.2.2. Partecipanti

Hanno aderito all'esperimento e formato il gruppo sperimentale 10 ragazzi in possesso di diagnosi di Disturbo dell'Apprendimento Specifico della Lettura, di età media  $11,8 \pm 1,23$  anni, 2 femmine e 8 maschi.

Ogni partecipante aveva acuità visiva nei valori considerati di norma. Condizione necessaria per i partecipanti era il possesso di diagnosi del disturbo rilasciata dagli specialisti delle U.L.S.S. delle relative città di residenza e formulata sulla base dei seguenti criteri diagnostici:

- livello intellettivo nella norma (Q.I.  $\geq 85$ );
- prestazione nella lettura inferiore alla II deviazione standard prevista per l'età o la classe frequentata;

- assenza di disturbi neurologici o sensoriali;
- il disturbo di lettura deve essere persistente, nonostante una scolarizzazione adeguata e interventi didattici specifici;
- il disturbo deve avere conseguenze negative sulla scolarizzazione o nelle attività in cui si richiedano competenze di letto-scrittura (Andreoli, Cassano & Rossi, 2007; Cornoldi, Tressoldi & Perini, 2010).

I soggetti partecipanti sono stati reclutati presso le città di Venezia (VE) e di Montegrotto Terme (PD).

Prima di avviare la fase di pre-test, ai genitori dei soggetti è stato chiesto di sottoscrivere un apposito consenso informato (si veda Appendice). Lo studio è stato svolto nel rispetto delle normative etiche dell'Università di Padova e delle indicazioni della Dichiarazione di Helsinki.

#### 4.2.3. Stimoli e test

Questo studio prevede un compito di rilevazione della direzione del moto di un target Gabor in movimento presentato in posizione centrale con orientamento verticale, isolato prima (due condizioni con durata interstimolo differente) e poi affiancato sopra e sotto da Gabor statici ad alto contrasto (0.6 unità di Contrasto di Michelson, vedi eq. 1) in tre condizioni differenti per frequenza spaziale dei flankers. Nelle condizioni con flankers i tre elementi Gabor generano una configurazione collineare. Una Gabor dal punto di vista strutturale è il risultato della convoluzione di una senoide con una Gaussiana.

Lo stimolo Gabor risulta molto utile nello studio dell'attività visiva perché i profili che si ottengono dai campi recettivi della corteccia visiva primaria sono ben approssimabili dalle funzioni elementari che descrivono gli stimoli Gabor. Le Gabor che fenomenicamente si vedono come un reticolo di barre nere e bianche, hanno delle caratteristiche che possono essere facilmente modificate (es. direzione, spessore, dimensione, presentazione centrale o periferica, posizione fissa o in movimento). Gli stimoli Gabor avevano  $\sigma = 1^\circ$ . Il target aveva frequenza spaziale pari a  $0.5^\circ/\text{deg}$  e frequenza temporale pari a 21 Hz (velocità:  $42^\circ/\text{s}$ ) in tutte e tre

le condizioni sperimentali; questi parametri sono appropriati per stimolare massimamente il sistema magnocellulare (Derrington & Lennie, 1984; Casco et al., 2005). I flankers venivano presentati a una distanza fissa dal target centrale pari a  $3^\circ$  (distanza centro-centro). La frequenza spaziale dei flankers variava nelle tre condizioni e poteva essere inferiore ( $0.125^\circ/\text{deg}$ ), uguale ( $0.5^\circ/\text{deg}$ ) oppure superiore ( $2^\circ/\text{deg}$ ) a quella del target.

Per la raccolta delle misure psicofisiche e la presentazione degli stimoli nelle fasi di pre- e post-test e nella fase di training, sono stati utilizzati i seguenti programmi:

- FrACT versione 3.9.9a (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'. La variabile che è stata misurata è l'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); distanza del soggetto dallo schermo 2 m; visione binoculare; illuminazione ambientale soffusa. Misure espresse in unità logMAR.
- Compito di mascheramento laterale di movimento (Laboratorio Neuro.Vis.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 del campo visivo su Gabor in movimento ottenuta tramite lo scorrimento del reticolo sinusoidale verticale all'interno della finestra gaussiana statica. La Gabor target aveva, in tutte le condizioni sperimentali, frequenza spaziale di  $0.5\text{ c}/\text{deg}$  e frequenza temporale di 21 Hz (velocità pari a  $42^\circ/\text{s}$ ); è stata presentata sia isolata (condizione di controllo) sia in posizione mediana tra due Gabor distrattori collineari verticali ad alto livello di contrasto (0.6 contrasto di Michelson). Questi stimoli affiancatori (flankers) erano posti a distanza fissa dal target (distanza centro-centro:  $3\text{ deg}$ ); la loro frequenza spaziale invece è stata modificata da una condizione all'altra del target in un range che va da 0 a  $\pm 2$  ottave rispetto a quella del target

(rispettivamente 0.125, 0.5 e 2 °/deg). Le caratteristiche delle Gabor utilizzate vengono riportate in Tabella 1 (sopra).

Tutte le soglie misurate sono espresse in unità di Contrasto di Michelson (Eq. 1).

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

#### 4.2.4. Apparato sperimentale

La valutazione neurovisiva è stata svolta utilizzando dei personal computer portatili con sistema operativo Microsoft Windows 10: HP Pavilion Laptop 15-ck032nl, dotato di schermo LED IPS Full HD con risoluzione nativa 1920x1080 pixel e dimensioni 34,5x19,5 cm e un TOSHIBA L50-B, dotato di schermo LED con risoluzione nativa di 1366x768 e dimensioni 34,5x 19,5 cm.

Lo schermo dei personal computer è stato calibrato in modo tale che la luminanza cambiasse secondo una funzione lineare. Questa calibrazione è stata ottenuta presso il Laboratorio Neuro.Vis.U.S., utilizzando un colorimetro Spyder4Elite (Datacolor, 5 Princess Rd, Lawrenceville, NJ, USA) e il software dedicato Spyder4Elite v4.5.4 (calibrazione iterativa del bilanciamento del grigio, punto di bianco 6500K, gamma 1.0, luminanza del nero 0.1 cd/m<sup>2</sup>, luminanza del bianco 110 cd/m<sup>2</sup>).

Per poter aumentare i valori di contrasto (rapporto di luminanza) presentabili con uno schermo ad 8 bit (256 valori, Grafica VGA) è stato utilizzato un algoritmo chiamato Bit Stealing (Tyler, 1992) che permette di presentare circa 1786 valori di contrasto.

#### 4.2.5. Valutazione delle competenze di lettura

A tutti i soggetti partecipanti sono state somministrate alcune prove della batteria DDE-2 (Sartori, 2007), nello specifico le prove dalla 1 alla 5 (riportate in Appendice).

È stata scelta questa batteria di test in quanto offre una suddivisione delle prove standardizzate per fasce di età; per questo studio è stata utilizzata quella adeguata per la valutazione della fascia d'età evolutiva 8-13 anni. Queste prove non sono state utilizzate per scopi diagnostici ma sono state utilizzate unicamente per poter stabilire attraverso un criterio comune un livello di base per ciascun soggetto in modo da poter effettuare un confronto pre- e post-training.

Sono servite inoltre come ulteriore conferma delle effettive difficoltà di lettura già documentate mediante diagnosi.

#### 4.2.6. Misurazione dell'acuità visiva

Per sei soggetti su dieci del gruppo in studio si è infine misurata l'acuità visiva con le modalità descritte precedentemente, ai fini di determinare se ad allenamento concluso anche il training neurovisivo delle interazioni laterali con stimoli dinamici trasferisse all'acuità visiva e quest'ultima ne risultasse aumentata. I soggetti emmetropi o emmetropizzati (correzione in uso) sono stati testati pre e post allenamento nelle medesime condizioni, eccezion fatta per un soggetto che nel corso delle 8 settimane aveva modificato il potere delle lenti oftalmiche in uso.

### 4.3. Procedura

Le prove psicofisiche utilizzate in questo studio sono a scelta binaria del tipo “2 alternative forced choice” (Method of Single Stimuli, MSS; Morgan, Dillenburger, Raphael, & Solomon, 2012) basate su contrasto adattivo secondo una staircase (scala), ovvero una procedura adattiva che modula la difficoltà del trial (stimolo) da presentare sulla base delle risposte del partecipante al fine di misurare un valore di soglia della detezione dello stimolo Gabor. Le soglie di contrasto sono state stimate utilizzando due staircase 1-up/3-down<sup>6</sup> (interleaved) (Levitt, 1971) con contrasto di partenza di 0.85 (contrasto di Michelson) e secondo contrasto a 0.2 che variava secondo step di 0.1 unità logaritmiche. I partecipanti sono stati istruiti a fissare sempre il punto di fissazione che compare al centro dello schermo e ad utilizzare per la risposta due tasti prestabiliti della tastiera standard per pc (“M” per il movimento verso destra e “Z” per il movimento verso sinistra). Le prove sono state svolte ad una distanza dallo schermo di 57 cm posto in posizione centrale; con visione binoculare e illuminazione ambientale di semioscurità.

La durata di presentazione dello stimolo è variabile (50 oppure 75 msec) a seconda delle soglie ottenute dal soggetto nella prova di target isolato: se la soglia risultava  $\leq 0.2$  contrasto di Michelson la durata utilizzata per le altre prove con flankers era di 0.50 sec, altrimenti di 0.75 sec. Per tutti i soggetti è stata utilizzata una durata di 0.50 sec, eccetto uno.

<sup>6</sup> I metodi adattivi selezionano gli stimoli proposti in funzione alle risposte ottenute agli stimoli presentati precedentemente. Il metodo della scala che procede selezionando lo stimolo da proporre a partire direttamente dalla precedente (o precedenti) risposte date dai soggetti sperimentali per arrivare alla determinazione del valore di soglia calcolando, per la maggior parte dei casi, la media tra gli stimoli contigui in cui si registra una inversione della risposta, da positiva a negativa (es.: da “si” percepisco lo stimolo a “no” non lo percepisco). Partendo da un livello decisamente soprasoglia, ad ogni risposta positiva “si” segue un decremento continuo del livello dello stimolo fino a quando si ottiene una risposta negativa “no”. A questo punto si cambia direzione e si torna ad aumentare l’entità dello stimolo fino a quando la risposta da negativa torna ad essere positiva. La procedura poi riprende fino a quando la probabilità di ottenere una risposta positiva risulta essere uguale alla probabilità di ottenere una risposta negativa.

L'intervallo inter-trial era di 1 s e la durata dello stimolo 50 o 75 ms. Ogni soglia è stata determinata con metodo adattivo (Green, 1990; Grassi, 2009) ed è definita come il valore di contrasto al quale il soggetto risponde correttamente nel 79% dei casi ed è stata calcolata mediando i valori di contrasto in corrispondenza delle ultime 16 inversioni. La sessione terminava dopo 200 trials oppure dopo 10 inversioni di risposta, calcolate sulla media dei valori di contrasto corrispondenti alle ultime otto inversioni e calcolando una nuova media con le due soglie di contrasto che costituiscono le due staircases. I soggetti non ricevevano nessun feedback in merito alla correttezza delle risposte date.

## 5. Analisi dei dati e risultati

### 5.1. Prove psicofisiche

E' stata eseguita un'ANOVA a misure ripetute con due fattori "within subject": il fattore frequenza spaziale (0.125; 0.5; 2) e il fattore training (pre-post training). Il fattore training non risulta significativo, il fattore frequenza spaziale non risulta significativo e la relazione training×test non risulta significativa.

Nonostante le statistiche non mostrino differenze significative, probabilmente a causa della scarsa potenza del test dovuta alla dimensione troppo piccola del campione la Figura 1 mostra una riduzione della soglia per le condizioni a bassa frequenza spaziale: 0.125 e 0.5 cpd.

Nella Figura 1 le barre azzurre indicano le soglie medie registrate in sede di pre-training, le barre arancioni quelle in sede di post-training. È visibile a livello qualitativo un miglioramento per le frequenze spaziali basse (0.125 e 0.5 cpd) che attivano maggiormente il sistema magnocellulare.

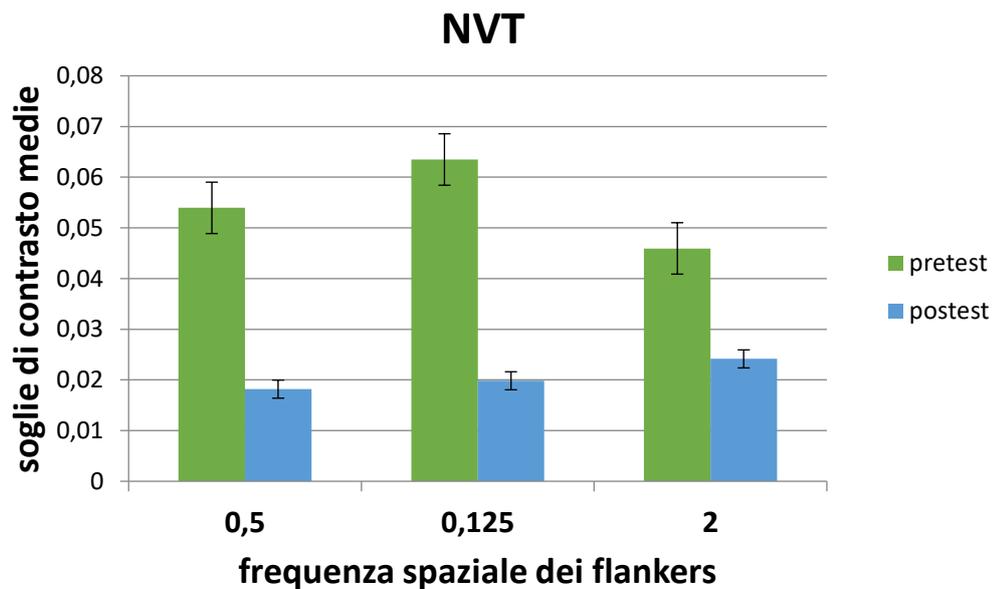


Figura 1. Soglie di contrasto medie registrate pre e post allenamento relative a ciascuna frequenza spaziale dei flankers presentati

Dall'esame al T-test questo miglioramento non risulta significativo per il training. Normalizzando per la baseline forse otteniamo l'effetto del training su ciascun compito. Si calcola l'effetto del training sulle soglie con la seguente formula:

$$\text{Effetto del training, } TE = \log_{10} \frac{\text{post training}}{\text{pre training}}$$

Per quantificare l'aumento ( $TE > 0$ ), la diminuzione ( $TE < 0$ ) o il registrarsi di soglie uguali ( $TE = 0$ ) tra le sessioni pre e post allenamento. Solo nel caso di un TE maggiore di zero possiamo inferire un effetto del training

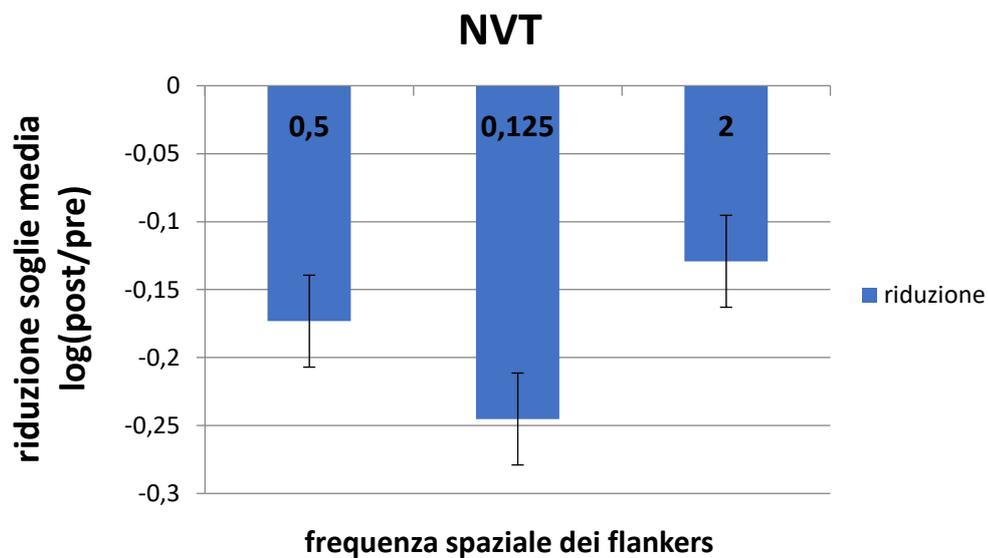


Figura 2. Riduzione delle soglie di contrasto calcolata sulla baseline di ciascun soggetto, relativa alla frequenza spaziale dei flankers presentati nei tre esercizi del training

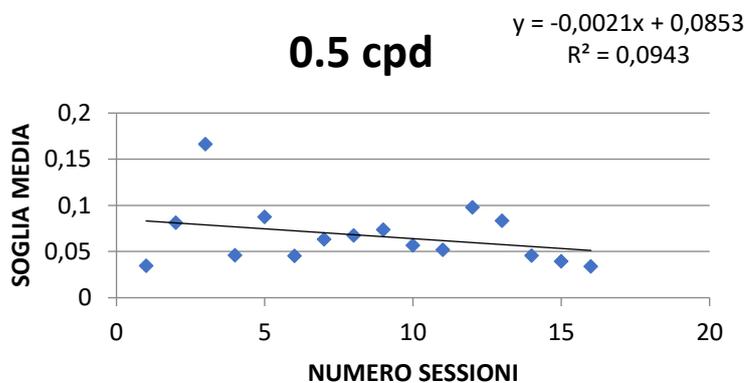
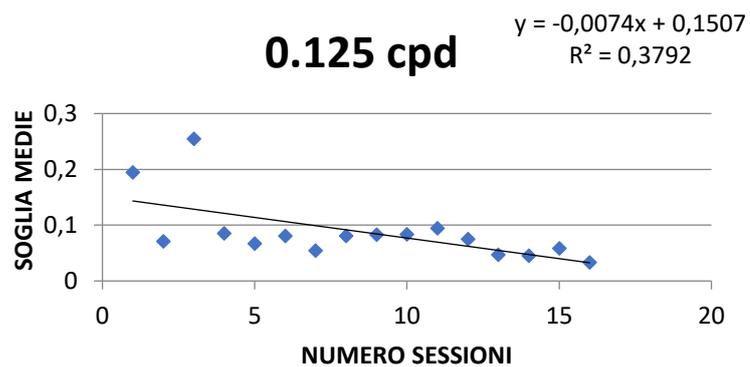
Normalizzando per la baseline di partenza (soglie ai pre-test) secondo la formula precedente, osserviamo che il training ha ridotto le soglie per tutte le condizioni che coattivano M-P, in modo particolare nei compiti in cui si attivava maggiormente M.

Nel parallelo allo studio condotto da Lawton et al (2017), ci si propone di studiare ed interpretare inoltre l'efficacia dell'allenamento nel tempo, nell'aspettativa che

anche nel nostro caso si possa inferire come l'efficacia dell'allenamento aumenti all'aumentare del numero di sessioni di training stesso.

Scegliendo un modello di regressione è stato studiato l'andamento delle soglie medie per tipo di compito (frequenza spaziale dei flankers a 0,125 °/deg, 0,5 °/deg e 2 °/deg rispettivamente). Dalle figure 3.1, 3.2 e 3.3 si evince che l'indice di determinazione è molto basso e la regressione non descrive il fenomeno di miglioramento.

I punti che in ciascuno dei tre grafici di dispersione in Figura 3 si discostano molto dalla media, sono stati calcolati per sessioni in cui presumibilmente la supervisione attenta di chi somministrava il training non ha potuto contrastare stanchezza o distrazioni generali che i soggetti hanno mostrato nonostante l'impegno nel compito.



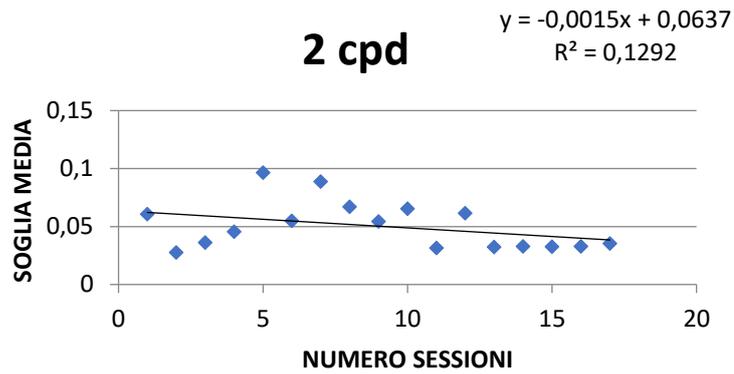


Figura 3. Grafici di dispersione e rette di regressione rappresentanti le soglie medie ottenute nelle 16 sessioni di allenamento

Se però calcoliamo la regressione per la media di tutti gli esercizi per ciascuna sessione, riusciamo ad apprezzare ed ad approssimare l'efficacia del training (indice di determinazione,  $R^2 = 0,5334$ ). La Figura 4 mostra soglie via via migliori all'aumentare delle sessioni svolte.

L'effetto del training c'è ed è significativo (T-test  $p = 0,028$ ): ha ridotto le soglie globali non per singolo caso di frequenza spaziale ma per ognuno dei 3 compiti svolti sul totale delle 16 sessioni svolte dai soggetti.

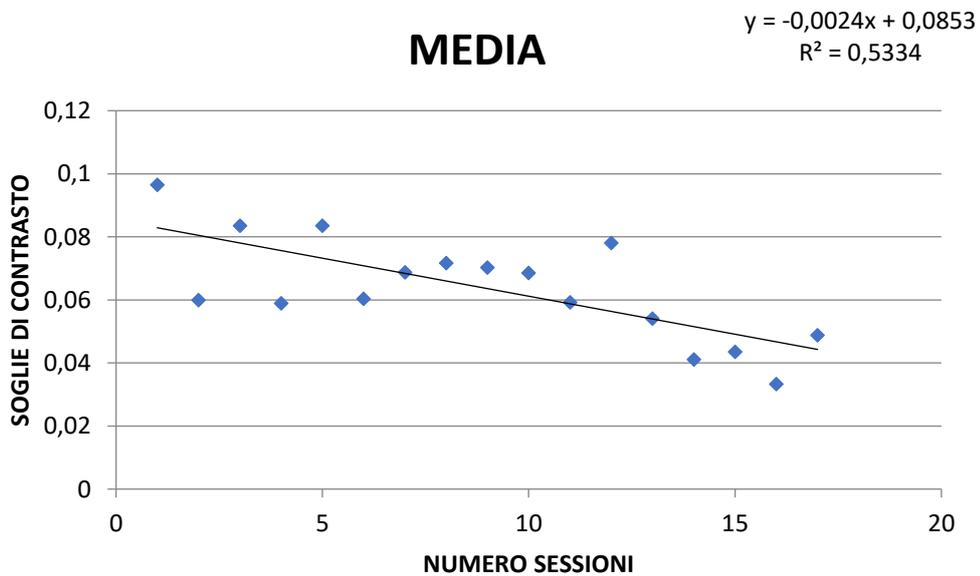


Figura 4. Grafico di dispersione e retta di regressione rappresentative dell'effetto del training sulla totalità delle soglie ottenute in tutte le 16 sessioni di allenamento

## 5.2. Prove di lettura

Per valutare un possibile effetto del training sulle abilità di lettura esaminate nel Gruppo Dislessia viene eseguita un'ANOVA a misure ripetute sul tempo totale impiegato nelle prove 1-3 della batteria DDE-2 (Lettura di grafemi, Parole e Non Parole), con due fattori "within subject": il fattore test (Lettura di grafemi, Parole e Non Parole) e il fattore training (pre- e post-training).

Da quanto emerge dalla relazione tra training e tempo totale impiegato nello svolgimento delle prove 1-3 (Lettura di grafemi, Parole e Non Parole): il fattore training risulta significativo [ $F(1, 9) = 8.64, p = 0.016$ ], il fattore test risulta significativo [ $F(2, 18) = 6.8, p = 0.006$ ] e la relazione training $\times$ test non risulta significativa [ $F(2, 18) = 4.11, p = 0.06$ ].

Dai Post Hoc (T-test con correzione di Bonferroni) emergono differenze significative tra i test. Si rileva un effetto del training sui tempi medi impiegati dai soggetti nelle prove di lettura. Tuttavia, l'assenza di una interazione tra training e test indica che la differenza pre-post non dipende dal tipo di test e che le differenze tra test non variano con il training.

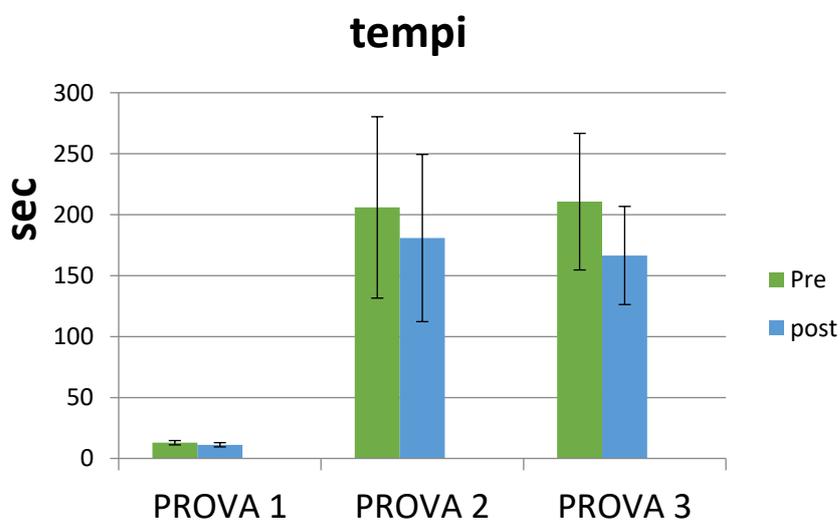


Figura 5. Istogramma della media dei tempi totalizzati in ciascuna delle prove DDE-2 prima e dopo l'allenamento

Viene altresì eseguita un'ANOVA a misure ripetute sul numero di errori relativi alle prove 2-5 della batteria DDE-2 (Parole, Non Parole, Comprensione di parole omofone e Correzione di parole omofone), con due fattori "within subject": il fattore test (Parole, Non Parole, Comprensione di parole omofone, Correzione di parole omofone) e il fattore training (pre- e post-training).

Dalla relazione tra training ed errori totali commessi nelle prove 2-5 (Parole, Non Parole, Comprensione di parole omofone e Correzione di parole omofone) risulta che: il fattore training risulta significativo [ $F(1, 9) = 20.72, p = 0.001$ ], il fattore test risulta significativo [ $F(3, 27) = 9.9, p = 0.0001$ ] e la relazione training×test risulta significativa [ $F(3, 27) = 1.03, p = 0.4$ ].

Dai Post Hoc (T-test con correzione di Bonferroni) non emergono differenze significative tra i test. Si rileva quindi un effetto del training sul numero di errori commessi dai soggetti nelle prove di lettura, e anche differenze significative tra le quattro tipologie di test. Tuttavia, l'assenza di una interazione tra training e test indica che la differenza pre-post non dipende dal tipo di test e che le differenze tra test non variano con il training.

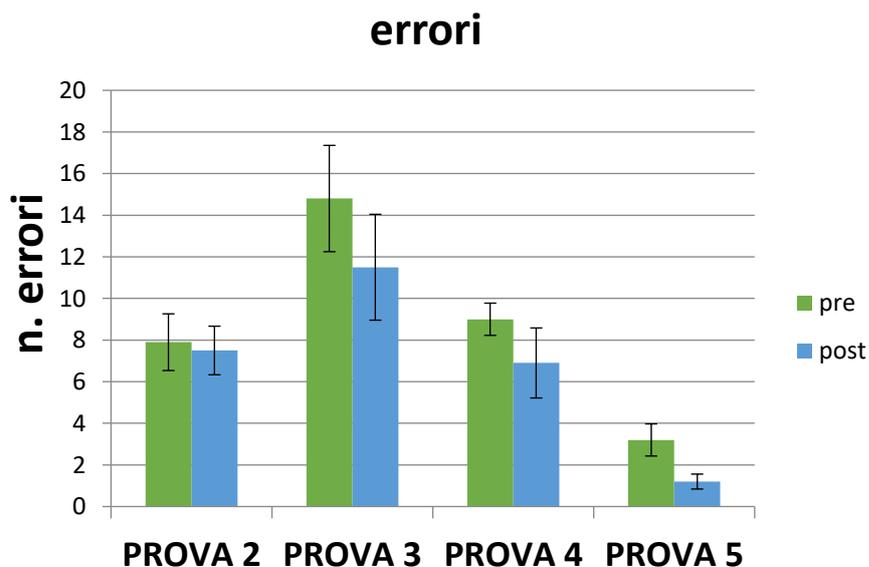


Figura 6. Istogramma della media degli errori totalizzati in ciascuna delle prove DDE-2 prima e dopo l'allenamento.

In ultima analisi, sono state testate le medie dell'effetto del training sulle prove in correlazione all'età del gruppo analizzato ( $11,8 \pm 1,2$  anni): il T-test non ha restituito una significatività (vedere Tabella 2a e 2b). Non c'è correlazione tra età diverse e indice di miglioramento, e si può affermare che l'effetto del training c'è anche per soggetti più grandi per cui il processo di lettura si è stabilizzato.

*Tabella 2a e 2b. Risultato al T-test della correlazione dell'effetto training di ciascuna prova con l'età dei soggetti allenati*

P tempi-prova 1	P tempi-prova 2	P tempi-prova 3	
0,019197	0,008332	0,044475	
P errori- prova 2	P errori-prova 3	P errori-prova 4	P errori-prova 5
0,786591	0,086538	0,232094	0,007115

### 5.3. Acuità Visiva

Dall'analisi al T-test per confrontare acuità visiva pre e post allenamento nei sei soggetti del gruppo in esame non risulta esserci una correlazione significativa ( $p=0,27$ ).

*Tabella 3. La tabella elenca in LogMAR le misure dell'acuità visiva rilevate per ciascun soggetto prima e dopo l'allenamento*

AV Pre	AV Post
-0.24	-0.28
-0.3	-0.38
-0.07	0.09
0.47	-0.18
-0.22	-0.36
-0.1	-0.16

Dalla Figura 7 si può comunque apprezzare una riduzione della soglia espressa in logMAR, il campione rimane però troppo piccolo e la probabilità che questo miglioramento sia dovuto ad uno o più casi anomali dei sei soggetti esaminati rimane alta (errori standard altissimi).

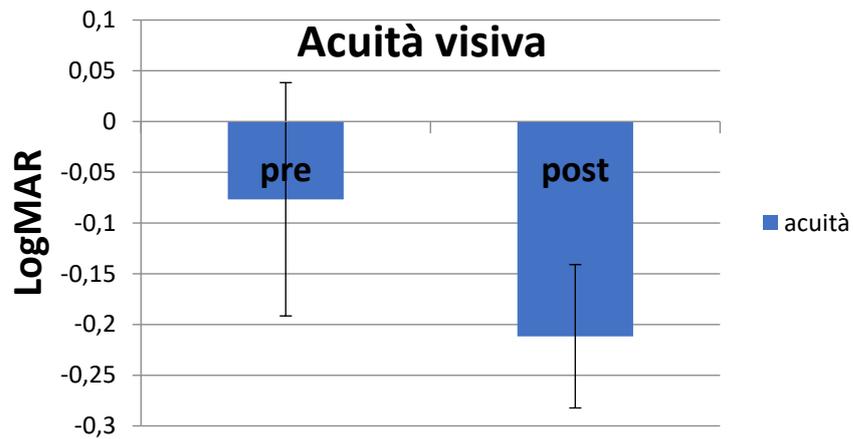


Figura 7. Grafico raffigurante la media in LogMAR delle acuità visiva dei soggetti pre e post training con relative barre di errore.

## 6. Discussione

I dati raccolti permettono di fare alcune inferenze per rispondere ai quesiti iniziali: sul nostro piccolo campione, il training sembra avere un effetto significativo sulla detezione dello stimolo. Per quanto riguarda le singole condizioni con flankers allenate non emerge una relazione significativa tra il training e una riduzione della soppressione del target. Per quanto riguarda le condizioni con flankers con frequenza spaziale pari a 0.125 e 0.5 cpd si può osservare un miglioramento, miglioramento più lieve invece nella condizione a 2 cpd.

In accordo con quanto supportato da Contemori e colleghi (2019) nei soggetti DE non ci aspettiamo una facilitazione delle interazioni laterali nei compiti che coattivano i sistemi M-P (flankers 2 cpd) e l'efficacia del movimento del target nella riduzione della soppressione spaziale indotta dai flankers non dipende più dalla frequenza spaziale.

Confrontando però l'effetto dell'apprendimento percettivo ottenuto nel nostro caso per un gruppo DE con il gruppo di normolettori esaminati da Casco e colleghi nel 2015, sottoposti allo stesso allenamento neurovisivo, ritroviamo anche in soggetti carenti di una ottimale coattivazione M-P una scarsa efficacia di apprendimento proprio per il compito con flankers a 2 cpd: l'effetto mascherante alto prodotto dalle condizioni con frequenza spaziale minore o uguale risulta ben ridotto dopo la sessione di allenamento, l'effetto mascherante alto che comunque ci aspetteremmo per il gruppo DE non beneficia del training, almeno per il numero ridotto di casi analizzati, e per una probabile insufficienza di sessioni di allenamento. In linea con quanto osservato da Lawton (2017) osserviamo l'efficacia del paradigma utilizzato per allenare questo tipo specifico di difficoltà anche in soggetti normolettori.

Confermiamo l'ipotesi secondo cui questo training neurovisivo migliora la lettura anche in soggetti più anziani rispetto al campione analizzato da Lawton (2017), e non potendo definire una correlazione con l'età, la sua efficacia si estende a

qualsivoglia soggetto, che sia esso in fase di apprendimento della lettura o a processo di lettura già stabilizzatosi. Il miglioramento della lettura è relativo nello specifico alla riduzione di tempi ed errori, nello specifico abbiamo una riduzione del 16,5% sulla media dei tempi totali impiegati nello svolgimento di ciascuna prova (che si traduce su un aumento delle sillabe lette per ciascun secondo), e una riduzione sulla media degli errori totali di ciascuna prova del 19,2%.

Come ultima osservazione ci ponevamo di confrontare l'effetto sull'acuità visiva ottenuto con un paradigma di NVT dinamico invece che statico.

Il miglioramento della sensibilità al contrasto e dell'acuità visiva dopo apprendimento percettivo con flankers collineari ma statici è stato dimostrato sia in soggetti con bassa miopia che con presbiopia (Durrie & McMinn, 2007; Tan & Fong, 2008; Polat, 2009; Polat & Schor, 2012; Durrie & McMinn, 2007; Casco et al, 2014). Allo stesso modo l'allenamento specifico delle interazioni laterali ha prodotto un miglioramento sull'acuità visiva in casi ambliopici per i quali l'AV registrata risulta bassa per anomalie di interazioni spaziali nella zona foveale. Ci siamo chiesti dunque se anche per soggetti che non presentano ametropie, che sono stati già emmetropizzati e che comunque non presentano visione sfuocata, il training neurovisivo potesse trasferire all'acuità visiva. A differenza di quanto ci si aspetterebbe l'NVT dinamico, sembra aver trasferito e sembra comunque aver prodotto un aumento dell'AV misurata, anche se non in modo significativo.

Sarebbe interessante ampliare il campione di studio e capire come questo compito di discriminazione, diverso e più semplice rispetto ad un compito di lettura, ma che comunque si appella a processi cognitivi di alto livello, possa giovare della modulazione dell'apprendimento percettivo in tutte le regioni cerebrali e sulle interazioni che ci sono a partire dalla corteccia visiva primaria. C'è da dire inoltre che nel nostro caso l'acuità visiva è stata misurata presentando lettere isolate e solo a 2 m di distanza, potrebbe invece essere interessante nello specifico dei casi di DE valutare la performance pre e post NVT nello svolgimento di compiti di acuità visiva eccentrica, misurando se questo particolare paradigma di apprendimento

percettivo agisce anche sul fenomeno del crowding<sup>7</sup>.

I soggetti aventi disabilità specifiche dell'apprendimento, presentano infatti un effetto crowding<sup>7</sup> più evidente ovvero un affollamento visivo superiore alla norma.

<sup>7</sup> Le numerose parole di un brano, pensiamo al caso limite della pagina di un vocabolario, possono creare interferenze e confusione nella lettura. Quest'ultima può essere caratterizzata, ad esempio, da errori di sostituzione di lettere da una parola all'altra (fuoco dell'attenzione allargato), oppure le parole che seguono (sulla destra) interferiscono con la parola che dovrebbe essere letta sulla sinistra (fuoco dell'attenzione spostato lateralmente).

Da questo disagio nasce "l'antipatia" per le pagine fitte di testo, con poco bianco e con parole e caratteri poco spaziati, il tutto peggiorato da "corpi" (dimensione del carattere) molto piccoli, fino ad arrivare al rifiuto completo di un testo da leggere.

Le cause dell'effetto affollamento possono essere legate a disturbi al sistema magnocellulare, alla rigidità del fuoco attentivo, o di conseguenza a movimenti oculari (saccadi) disordinate.

## 7. Conclusioni

I limiti di questo studio sono senza dubbio la numerosità e l'omogeneità del campione, i cui risultati modesti acquisirebbero il legittimo peso se lo stesso studio fosse possibilmente svolto con disegno incrociato e numerosità campionaria più alta.

In ogni caso il prodotto del lavoro e dell'analisi è interessante e rafforza i dati già presenti in letteratura sull'efficacia dell'NVT.

Nell'ambito neurovisivo l'allenamento è il metodo più semplice, meno costoso, e privo di rischi che ci sia, le sue potenzialità possono solo che aumentare nel tempo, si pensi all'applicabilità di una così breve ma efficace soluzione quotidiana, in ambito professionale prima ma anche in ambito pubblico, come all'impiego di parte delle ore di educazione fisica all'allenamento di questo compito specifico, per accompagnare i ragazzi dall'inizio alla fine dell'anno scolastico con l'aiuto più valido allo studio che ci sia: una lettura sempre più rapida ed efficace che lasci spazio alla comprensione ed alla memoria. Inoltre un sistema visivo allenato anche ai suoi livelli più alti, potrebbe avere conseguenze positive anche in quella che è la progressione di vizi refrattivi dovuti ad attività prossimali prolungate e svolte in ambienti illuminati artificialmente che possono influire negativamente sull'AV.

## BIBLIOGRAFIA

- Adini, Y., Sagi, D., & Tsodyks, M. (2002). Context-enabled learning in the human visual system. *Nature*, 415(6873), 790.
- Allman, J., Miezin, F., and McGuiness, E. (1985). Stimulus specific responses from beyond the classical receptive field: neurophysiological mechanisms for local global comparisons in visual neurons. *Annu. Rev. Neurosci.* 8, 407–430.
- Barollo, M., Contemori, G., Battaglini, L., Pavan, A., & Casco, C. (2017). Perceptual learning improves contrast sensitivity, visual acuity, and foveal crowding in amblyopia. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 35(5), 483–496.
- Ben-Yehudah, G., Sackett, E., Malchi-Ginzberg, L., & Ahissar, M. (2001). Impaired temporal contrast sensitivity in dyslexics is specific to retain-and-compare paradigms. *Brain*, 124(7), 1381-1395.
- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., De Smedt, B., Ghesquiere, P., 2008. Modelling relations between sensory processing, speech perception, orthographic and phonological ability, and literacy achievement. *Brain and Language*, 106 (1), 29–40.
- Breitmeyer, B.G., Ganz, L., 1976. Implications of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing. *Psychological Review* 83, 1–36.
- Buchholz, J., & McKone, E. (2004). Adults with dyslexia show deficits on spatial frequency doubling and visual attention tasks. *Dyslexia*, 10(1), 24-43.
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain research reviews*, 36(2-3), 96-107.
- Bullier, J., Hupe, J.M., James, A., Girard, P., 1996. Functional interactions between areas V1 and V2 in the monkey. *Journal of Physiology-Paris* 90, 217–220.

- Buzsáki, G. (2006). *The Rhythms of The Brain*. New York, NY: Oxford University Press.
- Casco, C., Battaglini, L., Bossi, M., Porracin, E., & Pavan, A. (2015). *Suppressive effects on motion discrimination induced by transient flankers are reduced by perceptual learning*. *Journal of Vision*, 15(8), 1–12.
- Casco, C., Battaglini, L., Bossi, M., Porracin, E., & Pavan, A. (2015). *Suppressive effects on motion discrimination induced by transient flankers are reduced by perceptual learning*. *Journal of vision*, 15(8), 25-25.
- Casco, C., Guzzon, D., Moise, M., Vecchies, A., Testa, T., & Pavan, A. (2014). *Specificity and generalization of perceptual learning in low myopia*. *Restorative neurology and neuroscience*, 32(5), 639-653.
- Chard, D.J., Vaughn, S., Tyler, B.J., 2002. *A synthesis of research on effective interventions for building reading fluency with elementary students with learning disabilities*. *Journal of Learning Disabilities* 35, 386–406.
- Chase, C., Jenner, A.R., 1993. *Magnocellular visual deficits affect temporal processing of dyslexics*. *Annals of the New York Academy of Sciences* 682, 326-329.
- Chouake, T., Levy, T., Javitt, D. C., & Lavidor, M. (2012). *Magnocellular training improves visual word recognition*. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6 (JANUARY 2012),1-6.
- Coch, D., Grossi, G., Skendzel, W., Neville, H., 2005. *ERP nonword rhyming effects in children and adults*. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17 (1), 168–182.
- Consensus Conference (2007). *I disturbi evolutivi specifici dell'apprendimento: raccomandazioni per la pratica clinica definite con il metodo della Consensus Conference*. Circolo della Stampa, Milano 26 Gennaio, pubblicato integralmente sul sito [www.aiditalia.it](http://www.aiditalia.it)
- Contemori, G., Battaglini, L., Barollo, M., Ciavarelli, A., & Casco, C. (2019). *Developmental dyslexia: A deficit in magnocellular-parvocellular co-activation, not simply in pure magnocellular activation*. *Vision research*, 159, 61-67.

- Corbetta, M., Shulman, G.L., 2002. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience* 3, 201–215.
- Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision research*, 35(10), 1483-1494.
- De Valois, R. L., Cottaris, N. P., Mahon, L. E., Elfar, S. D., & Wilson, J. A. (2000). Spatial and temporal receptive fields of geniculate and cortical cells and directional selectivity. *Vision research*, 40(27), 3685-3702.
- Demb, J. B., Boynton, G. M., Best, M., & Heeger, D. J. (1998). Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia. *Vision research*, 38(11), 1555-1559.
- Durrie, D., & McMinn, P. S. (2007). Computer-based primary visual cortex training for treatment of low myopia and early presbyopia. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 105, 132.
- Durrie, D., & McMinn, P.S. (2007). Computer-based primary visual cortex training for treatment of low myopia and early presbyopia. *T Am Ophthal Soc*, 105, 132-138.
- Eden, G.F., Stein, J.F., Wood, H.M., Wood, F.B., 1995. Temporal and spatial processing in reading disabled and normal children. *Cortex* 31, 451–468.
- Evans, B. J., Drasdo, N., & Richards, I. L. (1996). Dyslexia: the link with visual deficits. *Ophthalmic and physiological optics*, 16(1), 3-10.
- Felleman, D. J., and Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cereb. Cortex* 1, 1–47.
- Galaburda, A.M., Menard, M.T., Rosen, G.D., 1994. Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91, 8010–8013.

- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2006). *Cognitive Neuroscience. The biology of the mind*, (2014). Norton: New York.
- Geisler, W. S., & Albrecht, D. G. (1997). Visual cortex neurons in monkeys and cats: detection, discrimination, and identification. *Visual neuroscience*, 14(5), 897-919.
- Gilbert, C. D., & Wiesel, T. N. (1983). Clustered intrinsic connections in cat visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 3(5), 1116-1133.
- Gilbert, C. D., & Wiesel, T. N. (1983). Functional organization of the visual cortex. In *Progress in brain research* (Vol. 58, pp. 209-218). Elsevier.
- Gilbert, C. D., Li, W., & Piech, V. (2009). Perceptual learning and adult cortical plasticity. *The Journal of Physiology*, 587(12), 2743-2751.
- Habib, M., 2000. The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and measurement of oral reading fluency: a confirmatory analysis of its relation to reading. *School Psychology Review* 21, 459–479.
- Hari, R., & Kiesilä, P. (1996). Deficit of temporal auditory processing in dyslexic adults. *Neuroscience letters*, 205(2), 138-140.
- Heim, S., Tscherse, J., Amunts, K., Wilms, M., Vossel, S., Willmes, K., Grabowska, A., & Huber, W., (2008). Cognitive subtypes of dyslexia. *Acta Neurobiological Experimental*. 68, 73-82.
- J. Anthony Movshon, Lynne Kiorpes, Michael J. Hawken and James R. Cavanaugh, Functional Maturation of the Macaque's Lateral Geniculate Nucleus, *Journal of Neuroscience* 9 March 2005, 25 (10) 2712-2722;
- 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.

- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J., Naatanen, R., 2000. *Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. Psychophysiology* 37, 262–266.
- Kulikowski, J.J., Tolhurst, D.J., 1973. *Psychophysical evidence for sustained and transient detectors in human vision. The Journal of Physiology* 232 (1), 149–162.
- LaBerge, D., & Samuels, S. J. (1974). *Toward a theory of automatic information processing in reading. Cognitive psychology*, 6(2), 293-323.
- Lamme, V.A., Roelfsema, P.R., 2000. *The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. Trends in Neurosciences* 23, 571–579.
- Lawton, T. (1984). *The effect of phase structures on spatial phase discrimination. Vision Res.* 24, 139–148.
- Lawton, T. (1985). *Spatial frequency spectrum of patterns changes the visibility of spatial phase differences. J. Opt. Soc. Am. A* 2, 1140–1152.
- Lawton, T. (1989). *Outputs of paired Gabor filters summed across background-frame of reference predicts direction of movement. IEEE Trans. Biomed. Eng.* 36, 130–139.
- Lawton, T. (2000). *Methods and Apparatus For Diagnosing and Remediating Reading Disorders. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.*
- Lawton, T. (2007). *Training direction-discrimination sensitivity remediates a wide spectrum of reading skills. Optom. Vis. Dev.* 38, 37–51.
- Lawton, T. (2008). *Filtered text and direction discrimination training improved reading fluency for both dyslexic and normal readers. Optom. Vis. Dev.* 39, 114–126.
- Lawton, T. (2011). *Improving magnocellular function in the dorsal stream remediates reading deficits. Optom. Vis. Dev.* 42, 142–154.

- Lawton, T. (2015). *Diagnosing and Remediating Cognitive Deficits Involving Attention, Sequential Processing, Reading, Speed of Processing, and Navigation*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Lawton, T. (2016). *Improving dorsal stream function in dyslexics by training figure/ground motion discrimination improves attention, reading fluency, and working memory*. *Front. Hum. Neurosci.* 10:397.
- Lawton, T., & Shelley-Tremblay, J. (2017). *Training on movement figure-ground discrimination remediates low-level visual timing deficits in the dorsal stream, improving high-level cognitive functioning, including attention, reading fluency, and working memory*. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11(May).
- Lawton, T., and Huang, M. X. (2015). "Improving visual timing enhances cognitive functioning by altering dorsal stream and attention networks," in *12th Annual World Congress of the Society for Brain Mapping and Therapeutics* (Los Angeles, CA).
- Lawton, T., and Stephey, D. (2009). *Training direction discrimination improves usable field of view, short term memory, and navigation in older adults*. *Optom. Vis. Dev.* 40, 82–93.
- Laycock, R., Crewther, D.P., Fitzgerald, P.B., Crewther, S., 2007a. *Evidence for fast signals and later processing in human V1/V2 and V5/MT+: a TMS study of motion perception*. *Journal of Neurophysiology* 98, 1253–1262.
- Laycock, R., Crewther, S.G., Crewther, D.P., 2007b. *A role for the 'magnocellular advantage' in visual impairments in neurodevelopmental and psychiatric disorders*. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 31, 363–376.
- Laycock, R., Crewther, S.G., Crewther, D.P., 2008. *The advantage in being magnocellular: a few more remarks on attention and the magnocellular system*. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.

- Laycock, R., Crewther, S.G., Kiely, P.M., Crewther, D.P., 2006. Parietal function in good and poor readers. *Behavioral and Brain Functions* 2, 26.
- Livingstone, M.S., Rosen, G.D., Drislane, F.W., Galaburda, A.M., 1991. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 88, 7943–7947.
- Lovegrove, W., Bowling, A., Badcock, B., Blackwood, M., 1980. Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science* 210, 439–440.
- Lovegrove, W., Martin, F., Slaghuys, W., 1986. A theoretical and experimental case for a visual deficit in specific reading disability. *Cognitive Neuropsychology* 3, 225-267.
- Lovegrove, W.J., Garzia, R.P., Nicholson, S.B., 1990. Experimental evidence for a transient system deficit in specific reading disability. *Journal of the American Optometric Association* 61, 137–146.
- Mackeben, M., Trauzettel-Klosinski, S., Reinhard, J., Dürrwächter, U., Adler, M., & Klosinski, G. (2004). Eye movement control during single-word reading in dyslexics. *Journal of Vision*, 4(5), 4-4.
- Mather, G., Pavan, A., Bellacosa, R. M., & Casco, C. (2012). Psychophysical evidence for interactions between visual motion and form processing at the level of motion integrating receptive fields. *Neuropsychologia*, 50(1), 153-159.
- Maunsell, J.H., Ghose, G.M., Assad, J.A., McAdams, C.J., Boudreau, C.E., Noerager, B.D., 1999. Visual response latencies of magnocellular and parvocellular LGN neurons in macaque monkeys. *Visual Neuroscience* 16, 1–14.
- May, J.G., Williams, M.C., Dunlap, W.P., 1988. Temporal order judgements in good and poor readers. *Neuropsychologia* 26, 917–924.

- Meyer, M. S., & Felton, R. H. (1999). *Repeated reading to enhance fluency: Old approaches and new directions. Annals of dyslexia, 49(1), 283-306.*
- Mishkin, M., & Ungerleider, L. G. *Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. Behavioural Brain Research, 6(1), (1982): 57–77.*
- Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2009). *Parallel processing strategies of the primate visual system. Nature reviews neuroscience, 10(5), 360.*
- Nowak, L.G., Munk, M.H., Girard, P., Bullier, J., 1995. *Visual latencies in areas V1 and V2 of the macaque monkey. Visual Neuroscience 12, 371–384.*
- Omtzigt, D., Hendriks, A. W., & Kolk, H. H. (2002). *Evidence for magnocellular involvement in the identification of flanked letters. Neuropsychologia, 40(12), 1881-1890.*
- Polat, U. (2009). *Making perceptual learning practical to improve visual functions. Vis Res, 49, 2566-2573.*
- Polat, U., Schor, C., Tong, J.L., Zomet, A., Lev, M., Yehezkel, O., Sterkin, A., & Levi, D.L. (2012). *Training the brain to overcome the effect of aging on the human eye. Scientific Reports, 2, 278*
- Renvall, H., Hari, R., 2002. *Auditory cortical responses to speech-like stimuli in dyslexic adults. Journal of Cognitive Neuroscience 14, 757–768.*
- Rockland, K. S., & Lund, J. S. (1983). *Intrinsic laminar lattice connections in primate visual cortex. Journal of Comparative Neurology, 216(3), 303-318.*
- Schulte-Körne, G., & Bruder, J. (2010). *Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: a review. Clinical neurophysiology, 121(11), 1794-1809.*
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., Remschmidt, H., 1998. *Role of auditory temporal processing for reading and spelling disability. Perceptual and Motor Skills 86, 1043–1047.*

- Shapley, R., & Perry, V. H. (1986). Cat and monkey retinal ganglion cells and their visual functional roles. *Trends in Neurosciences*, 9, 229-235.
- Shaywitz, S.E., Fletcher, J.M., Holahan, J.M., Shneider, A.E., Marchione, K.E., Stuebing, K.K., et al., 1999. Persistence of dyslexia: the Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics* 104, 1351–1359.
- Shinn, M.R., Good, R.H., Knutson, N., Tilly, W.D., Collins, V.L., 1992. Curriculum based working hypothesis. *Brain* 123, 2373–2399.
- Silvanto, J., Lavie, N., and Walsh, V. (2005). Double dissociation of V1 and V5/MT activity in visual awareness. *Cereb.Cortex* 15, 1736–1741.
- Sincich, L. C., & Horton, J. C. (2005). Input to V2 thin stripes arises from V1 cytochrome oxidase patches. *Journal of Neuroscience*, 25(44), 10087-10093.
- Sincich, L. C., & Horton, J. C. (2005). The circuitry of V1 and V2: integration of color, form, and motion. *Annu. Rev. Neurosci.*, 28, 303-326.
- Stanley, G., & Hall, R. (1973). A comparison of dyslexics and normals in recalling letter arrays after brief presentation. *British Journal of Educational Psychology*, 43(3), 301-304.
- Stein, J., Walsh, V., 1997. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences* 20, 147–152.
- Stein, J., 2001. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 7, 12-36.
- Steinman, B.A., Steinman, S.B., Lehmkuhle, S., 1997. Transient visual attention is dominated by the magnocellular stream. *Vision Research* 37, 17–23.
- Steinman, S.B., Steinman, B.A., Garzia, R.P., 1998. Vision and attention. II. Is visual attention a mechanism through which a deficient magnocellular pathway might cause reading disability? *Optometry and Vision Science* 75, 674–681.

- Tallal, P., Miller, S.L., Jenkins, W.M., Merzenich, M.M., 1997. *The role of temporal processing in developmental language-based learning disorders: Research and clinical implications*. In: Blachman, B.A. (Ed.), *Foundations of Reading Acquisition and Dyslexia: Implications for Early Intervention*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, NJ, USA, pp. 49–66.
- Tan, D.T., & Fong, A. (2008). *Efficacy of neural vision therapy to 964 enhance contrast sensitivity function and visual acuity in low 965 myopia*. *J Cataract Refr Surg*, 34, 570-577.
- Tolhurst, D. J. (1975). *Sustained and transient channels in human vision*. *Vision Research*, 15(10), 1151-1155.
- Tong, F., 2003. *Primary visual cortex and visual awareness*. *Nature Reviews Neuroscience* 4, 219–229.
- Tootell, R.B.H., Reppas, J.B., Kwong, K.K., Malach, R., Born, R.T., Brady, T.J., Rosen, B.R., and Belliveau, J.R.(1995). *Functional analysis of human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging*. *J. Neurosci.* 15, 3215-3230.
- Ungerleider, Leslie G. and James V. Haxby. “‘What’ and ‘where’ in the human brain.” *Current Opinion in Neurobiology* 4 (1994): 157-165.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). *Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing*. *Trends in cognitive sciences*, 14(2), 57-63.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). *Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing*. *Trends in cognitive sciences*, 14(2), 57-63.
- Vidyasagar, T.R., Pammer, K., 1999. *Impaired visual search in dyslexia relates to the role of the magnocellular pathway in attention*. *Neuroreport* 10, 1283-1287.

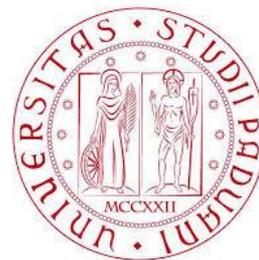
- Walker, K.M., Hall, S.E., Klein, R.M., Phillips, D.P., 2006. Development of perceptual correlates of reading performance. *Brain Research* 1124, 126–141.
- Walsh, V., Cowey, A., 2000. Transcranial magnetic stimulation and cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience* 1, 73–79.
- Watson, J.D.G., Myers, R., Frackowiak, R. S.G., Hajnal, J.V., Woods, R.P., Mazziotta, J.C., Shipp, S., and Zeki, S. (1993). Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cereb. Cortex* 3, 79–94.
- Wolf, M., Bowers, P.G., Biddle, K., 2000. Naming-speed processes, timing and reading: a conceptual view. *Journal of Learning Disabilities* 33, 387–407.
- Yantis, S., Jonides, J., 1984. Abrupt visual onsets and selective attention: evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance* 10, 601–621.
- Yantis, S., Jonides, J., 1996. Attentional capture by abrupt onsets: new perceptual objects or visual masking? *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance* 22, 1505–1513.
- Zeki, S., Watson, J.D.G., Lueck, C.J., Friston, K.J., Kennard, C., and Frackowiak, R.S.J. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *J. Neurosci.* 11, 641–649.

# Appendice A: Moduli di consenso

Dipartimento di Psicologia Generale  
Via Venezia, 8  
35131 Padova

L.I.R.I.P.A.C. (Laboratori Interdipartimentali per la  
Ricerca Psicologica Applicata e Clinica)

Laboratorio di ricerca ed intervento NeuroVisUS  
Via Belzoni 80  
35131 Padova



## MODULO DI CONSENSO PREVIA INFORMAZIONE

Il sottoscritto / la sottoscritta.....  
e il sottoscritto / la sottoscritta.....  
In qualità di genitori (o tutori legali) di.....  
Nato/a .....  
il.....  
Residente a.....  
Codice Fiscale.....  
telefono..... acconsente alla partecipazione del figlio al progetto  
di ricerca: NVT per dislessia evolutiva.

### DESCRIZIONE DELLO STUDIO:

Il disegno sperimentale è composto dalle seguenti fasi:

- somministrazione al soggetto di alcune prove della batteria DDE-2 (Sartori, 2007) e di prove a computer per effettuare misure psicofisiche del funzionamento visivo individuale (durata totale circa 1 ora e 30).  
(Queste prove non hanno scopo diagnostico ma vengono somministrate esclusivamente per poter stabilire un punto di partenza pre-training).
- somministrazione di un training neurovisivo computerizzato della durata di 20-25 minuti, 2 volte alla settimana, per 8 settimane consecutive.
- per il re-test (dopo le 8 settimane) verranno somministrate delle prove equivalenti a quelle iniziali per valutare cambiamenti post-training (durata 1 ora e 30).

La procedura complessiva, verrà effettuata sotto la supervisione del centro NeuroVis.U.S.  
Le informazioni saranno raccolte in maniera riservata

I sottoscritti dichiarano:

- di essere pienamente cosciente;
- di essere stato informato/a riguardo alla procedura;
- di aver letto attentamente il presente documento;
- di non essere stato in alcun modo forzato/a alla partecipazione;

- di essere stato/a informato/a sulla possibilità di abbandonare in qualsiasi momento la procedura stessa senza penalizzazione alcuna.
- di essere stato informato che data la natura sperimentale del protocollo non può essere assicurato e quantificato in modo assoluto il miglioramento.

Il/La sottoscritto/a dichiara inoltre:  
 di essere stato/informato/a sui diritti e sui limiti di cui al D.Lgs196/2003<sup>1</sup>, denominato “Codice in materia di protezione dei dati personali”, ed esprime il proprio consenso e autorizzazione al trattamento dei propri dati personali a fini dell’attività sopra indicata.

Il/La sottoscritto/a dichiara inoltre:  
 di essere stato/informato/a sui diritti e sui limiti del trattamento dei dati personali (Dlgs. N. 196/2003<sup>2</sup>) ed esprime il proprio consenso e autorizzazione al trattamento /comunicazione, in forma anonima, dei propri dati personali anche ai fini di attività didattica e di ricerca.  
 Autorizzo l'utilizzare i miei dati.

Padova, lì \_\_\_\_\_

Firma dei genitori (o tutori legale)

.....  
 .....

L’Operatore .....

<sup>1</sup> Si informa che tutti i dati personali a Lei relativi verranno trattati in conformità del Decreto Legislativo 30 Giugno 2003 n. 196 “Codice in materia di protezione dei dati personali”. Si informa inoltre che tutti i risultati ottenuti dalle analisi connesse alle attività di ricerca o sperimentazione, così come ogni atto medico, sono da considerarsi strettamente confidenziali e sottoposti al vincolo del segreto professionale e della legislazione vigente in materia.

<sup>2</sup> Si informa che tutti i dati personali a Lei relativi verranno trattati in conformità del Decreto Legislativo 30 Giugno 2003 n. 196 “Codice in materia di protezione dei dati personali”. Si informa inoltre che tutti i risultati ottenuti dalle analisi connesse alle attività di ricerca o sperimentazione, così come ogni atto medico, sono da considerarsi strettamente confidenziali e sottoposti al vincolo del segreto professionale e della legislazione vigente in materia.

## MODULO DI CONSENSO ALLA REGISTRAZIONE

Il sottoscritto / la sottoscritta.....  
e il sottoscritto / la sottoscritta.....  
In qualità di genitori (o tutori legali) di.....

Acconsentono alla registrazione audio di alcune prove.

I sottoscritti dichiarano:

- di essere pienamente cosciente;
- di essere stato informato/a riguardo alla procedura;
- di aver letto attentamente il presente documento;
- di non essere stato in alcun modo forzato/a alla partecipazione;
- di essere stato/a informato/a sulla possibilità di abbandonare in qualsiasi momento la procedura stessa senza penalizzazione alcuna.
- di essere stato informato che data la natura sperimentale del protocollo non può essere assicurato e quantificato in modo assoluto il miglioramento.

dichiarano inoltre:

di essere stato/informato/a sui diritti e sui limiti di cui al D.Lgs196/2003<sup>3</sup>, denominato “Codice in materia di protezione dei dati personali”, ed esprime il proprio consenso e autorizzazione al trattamento dei propri dati personali a fini dell’attività sopra indicata.

dichiarano inoltre:

di essere stato/informato/a sui diritti e sui limiti del trattamento dei dati personali (Dlgs. N. 196/2003<sup>4</sup>) ed esprime il proprio consenso e autorizzazione al trattamento/comunicazione, in forma anonima, dei propri dati personali anche ai fini di attività didattica e di ricerca.

Autorizzo l'utilizzare i miei dati.

Padova, lì \_\_\_\_\_

Firma dei genitori (o tutori legale)

.....  
.....

L’Operatore .....

<sup>3</sup> Si informa che tutti i dati personali a Lei relativi verranno trattati in conformità del Decreto Legislativo 30 Giugno 2003 n. 196 “Codice in materia di protezione dei dati personali”. Si informa inoltre che tutti i risultati ottenuti dalle analisi connesse alle attività di ricerca o sperimentazione, così come ogni atto medico, sono da considerarsi strettamente confidenziali e sottoposti al vincolo del segreto professionale e della legislazione vigente in materia.

<sup>4</sup> Si informa che tutti i dati personali a Lei relativi verranno trattati in conformità del Decreto Legislativo 30 Giugno 2003 n. 196 “Codice in materia di protezione dei dati personali”. Si informa inoltre che tutti i risultati ottenuti dalle analisi connesse alle attività di ricerca o sperimentazione, così come ogni atto medico, sono da considerarsi strettamente confidenziali e sottoposti al vincolo del segreto professionale e della legislazione vigente in materia.

## Appendice B: Prove di lettura

*Prove 1-5 della batteria DDE-2 (Sartori, 2004)*

### PROVA 1

*Istruzioni.* Leggi a voce alta le lettere.

*Avvertenza.* Viene considerata corretta anche l'identificazione del nome del grafema oltre che l'identificazione del fonema corrispondente, ad esempio "elle" per il grafema "L".

Q  
E  
R  
T  
U  
I  
O  
P  
A  
S  
D  
F  
H  
L  
Z  
C  
V  
B  
N  
M  
G

## PROVA 2

**Istruzioni.** Leggi a voce alta le seguenti liste di parole il più velocemente possibile senza fare errori.

**Avvertenza.** Le sigle corrispondono a: **a.a.**: alto valore d'immagine, alta frequenza; **a.b.**: alto valore d'immagine, bassa frequenza; **b.a.**: basso valore d'immagine, alta frequenza; **b.b.**: basso valore d'immagine, bassa frequenza.

<i>a.a.</i>	<i>a.b.</i>	<i>b.a.</i>	<i>b.b.</i>
uomo	lama	pena	fama
vino	sale	modo	ente
mano	nido	pace	fase
casa	lino	tipo	resa
pane	cero	arte	mito
palazzo	marginè	fortuna	dominio
ragazzo	formica	domanda	invidia
bambina	insetto	accordo	simbolo
mattina	verdure	ragione	azzardo
dottore	zingaro	esempio	manovra
acqua	uscio	sogno	scalo
occhio	chiodo	scelta	taglia
signora	scimmia	bisogno	globulo
campagna	chirurgo	consigli	sciagura
padre	corvo	volta	motto
testa	torta	amore	sfogo
mamma	lampo	forza	sfida
mondo	piume	pezzo	bando
leffo	cesto	posto	tizio
finestra	castello	bellezza	amarezza
fratello	ostacolo	successo	denuncia
domenica	frattura	sorpresa	conforto
giornata	alimento	pensiero	prodezze
giornale	cassetto	autorità	distacco
bagno	vasca	segno	svago
foglia	giglio	voglia	veglia
scherzo	pugnale	rischio	schiera
famiglia	maglione	qualcosa	sciopasso

### PROVA 3

**Istruzioni.** Leggi a voce alta le seguenti nonparole (parole che non esistono nella lingua italiana).

**Avvertenza.** Informare il lettore che le parole non sono familiari e quindi non deve cercare il significato.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
fosto	gnoba	docaro
prisi	cogiu	tapaci
tonca	gnaro	cinama
pusto	gnufo	reduve
stoso	sceto	vranoma
vorca	eglia	rodazza
serdo	chida	binamba
lanfo	rigli	diminio
dorta	rascenvo	arezzama
bepre	tagnidro	forconto
tazio	bachimio	canimedo
buolo	vugherzo	locostato
staro	vaglioma	tacipaca
trisi	caglisto	verdusape
pando	scimiaro	tambilina
tente	regnosto	sirbolone

## PROVA 4

*Istruzioni.* Rispondi alle domande, scegliendo tra le quattro opzioni.

L'AGO	è fatto di	acqua	legno	terra	ferro
LASCIA	vuol dire	chiodo	vince	scure	abbandona
L'ETTO	è	un mobile	una misura	un edificio	un vento
D'ORSO	vuol dire	animale	rima	schiena	lana
L'UNA	è	sul divano	in cielo	sulla mano	sull'orologio
S'OFFRE	vuol dire	si sente	sta male	si regala	sta sopra
VERA	vuol dire	reale	lenta	contava	esisteva
LIRA	è	rabbia	puzza	aereo	soldi
L'AMA	vuol dire	coltello	nuvola	vuol bene	fischia
LACCA	è	sui capelli	nell'alfabeto	nella cesta	sui monti
L'AVO	vuol dire	metto	poliziotto	nonno	pulisco
LESSE	vuol dire	stessa	bollite	lettera	belle
LAGO	è fatto di	acqua	legno	terra	ferro
LUNA	è	sul divano	in cielo	sulla mano	sull'orologio
V'ERA	vuol dire	reale	lenta	cantava	esisteva
LAMA	vuol dire	coltello	nuvola	vuol bene	esisteva
L'ACCA	è	sui capelli	nell'alfabeto	nella cesta	sui monti
L'ESSE	vuol dire	stella	bollite	lettera	bella
LAVO	vuol dire	metto	poliziotto	pulisco	nonno
L'IRA	è	rabbia	puzzo	misura	soldi
SOFFRE	vuol dire	si serve	sta male	si regala	sta sopra
DORSO	vuol dire	animale	rima	schiena	lana
LETTO	è	un mobile	una misura	un edificio	un vento
L'ASCIA	vuol dire	chiodo	vince	scure	abbandona

## PROVA 5

*Istruzioni.* Indica quali parole sono scritte in modo giusto e quali invece in modo sbagliato.

l'ombra

luce

c'ielo

cuore

r'osa

d'uro

di lato

l'osso

d'oro

lampo

l'arnetta

lerba

quoco

d'isco

di verso

d'uva

scuola

qucina

di vano

cesto