



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

**Accelerazione della lettura sub-lessicale mediante gli occhiali Lexilens® in
bambini con dislessia**

**Acceleration of sub-lexical reading by Lexilens® glasses in children with
dyslexia**

Relatore:

Prof. Andrea Facoetti

Correlatori:

Dott.ssa Sara Bertoni

Dott. Sandro Franceschini

Dott.ssa Giovanna Puccio

Laureanda: Valentina Marturano

Matricola: 2055515

Anno Accademico: 2022-2023

INDICE

INTRODUZIONE	1
I. DISLESSIA EVOLUTIVA	3
1.1 Definizione della Dislessia Evolutiva (DE).....	3
1.1.1 Aspetti epidemiologici	4
1.1.2 Eziologia	4
1.1.3 Manifestazioni cliniche del DE.....	6
1.2 La lettura	7
1.2.1 Identificazione di parole e teorie sul riconoscimento di parole: via lessicale e sub-lessicale.	8
II. IPOTESI VISIVE LEGATE ALLA DISLESSIA EVOLUTIVA.....	11
2.1 Teoria magno-cellulare	11
2.2 Teoria dell'attenzione visiva.....	13
2.3 Asimmetria sinistra-destra dei centroidi dei punti di Maxwell in adulti senza e con dislessia.	15
III. LA RICERCA	19
3.1 Metodo	19
3.1.1 Partecipanti.....	20
3.1.2 Procedura	21
3.2 Risultati.....	27
3.2.1 Regolazione dei parametri (Velocità e Balance) e correlazione con la lettura	27
3.2.2 Lettura di parole e non parole.....	28
3.2.3 Lettura del brano	30
3.2.4 Compito computerizzato.....	32
3.2.5 Questionario di autovalutazione	33
3.3 Discussione e Conclusioni	34
BIBLIOGRAFIA	40

INTRODUZIONE

I disturbi specifici dell'apprendimento (DSA) costituiscono un'area di interesse clinico che ha realizzato un importante avanzamento delle conoscenze, grazie a continue ricerche scientifiche e a nuove tecniche di indagine diagnostica (Istituto Superiore di Sanità, 2010).

I DSA emergono in età evolutiva e riguardano gli apprendimenti di base della lettura, della scrittura e del calcolo (dislessia, disortografia, disgrafia e discalculia) (ICD-10; World Health Organization, 2007).

Durante la consensus conference del 2010 è stato riscontrato che una percentuale compresa tra il 2,5 e il 3,5% dei ragazzi in età scolare presenta un disturbo specifico nel processo di lettura, o dislessia (Istituto superiore di sanità, 2010).

Le ricerche effettuate nel campo mostrano come alla base della dislessia evolutiva (DE) vi siano diversi deficit.

Molte di queste sostengono che la causa principale è rintracciabile in un deficit dell'elaborazione uditiva e fonologica (Bradley & Bryant, 1983; Gabrieli, 2009; Peterson & Pennington, 2015), altre che possa dipendere anche da accentuate difficoltà visuo-percettive. Tali ipotesi visive, negli anni, sono state prese sempre più in considerazione (e.g., Facoetti et al., 2000, 2003, 2010, 2012; Stein, 2000b, 2001, 2014).

Recentemente tra le ipotesi visive è stata avanzata la teoria del "centroide" secondo cui, mentre le persone presentano normalmente una distribuzione asimmetrica dei coni nel punto di Maxwell (il centroide all'interno della fovea), la stessa pare essere assente in soggetti con DE.

Ciò potrebbe essere alla base delle difficoltà riscontrate nelle persone con DE di discriminare immagini speculari (come, per esempio, la "b" e la "d").

Questa caratteristica retinica sembrerebbe contraddistinguere circa il 90% delle persone affette da DE (Le Floch & Ropars, 2017; Le Floch, et al., 2020).

Tale possibilità ha portato allo sviluppo in ambito biomedico degli occhiali Lexilens®, brevettati da una società francese.

Questo elaborato si propone di indagare il reale effetto degli occhiali Lexilens® sulle abilità di lettura e percettive, in un campione di 49 ragazzi con DE, frequentanti dal secondo anno della scuola primaria di primo grado al primo anno della scuola secondaria di primo grado.

La prima parte dell'elaborato illustra: i criteri diagnostici della DE, gli aspetti epidemiologici, le ipotesi eziologiche e le manifestazioni cliniche del disturbo. Inoltre, vengono approfonditi i processi tipici di identificazione e riconoscimento delle parole per mezzo dell'attivazione in parallelo di due vie di lettura ("Modello a due vie"): la via lessicale e la via sub-lessicale (Capitolo I).

Successivamente sono definite le teorie basate su ipotesi visive come fonti del disturbo di lettura; queste sono la teoria magno-cellulare, la teoria del deficit dell'attenzione spaziale e la teoria del centroide (Capitolo II).

L'obiettivo della ricerca riportata è verificare l'efficacia degli occhiali Lexilens® sul miglioramento della lettura, sviluppati proprio sulla base delle evidenze di difficoltà visuo-percettive connesse all'asimmetria dei centroidi, basandosi sull'idea dell'accensione alternata (i.e., "flickering") delle lenti degli occhiali, per permettere una visione separata da parte dei due occhi (Capitolo III).

I. DISLESSIA EVOLUTIVA

1.1 Definizione della Dislessia Evolutiva (DE)

La DE è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da un'alterata acquisizione della lettura, con difficoltà nel riconoscimento delle parole e nell'ortografia. Le persone con DE presentano una lettura lenta, scorretta e faticosa, caratterizzata da distorsioni, sostituzioni ed omissioni.

La definizione di DE è data dai due principali manuali diagnostici. Da questa si ricavano i criteri di inclusione ed esclusione necessari per la diagnosi.

L'ICD-11 (WHO, 2022) assegna il codice 6A03.0, definendolo "*Dislessia Evolutiva*", caratterizzato da difficoltà accademiche per quando riguarda la capacità di lettura, comportando compromissione dell'accuratezza (errori), della fluenza e della comprensione durante l'attività di lettura.

Nel DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) la DE è codificata come "*Disturbo specifico dell'apprendimento con compromissione della lettura*", codice 315.00, ed include, oltre all'accuratezza, anche la velocità, la comprensione del significato di ciò che viene letto e la difficoltà nello spelling (criterio A). Inoltre, viene indicato come queste difficoltà debbano influenzare notevolmente le abilità di lettura rispetto a quanto atteso per l'età cronologica, causando interferenza con il rendimento scolastico e lavorativo (criterio B).

I criteri di esclusione indicati per la diagnosi di DE sono: non aver goduto di un'istruzione adeguata ed avere intelligenza e capacità sensoriali disfunzionali (American Psychiatric Association, 2013; Lyon et al., 2003).

Un parametro condiviso al fine diagnostico, fissa il cutoff per la lettura a meno 2 deviazioni standard (DS) per almeno due delle quattro misure di lettura standardizzate (lettura di parole e non parole, punteggio sulla velocità e accuratezza) al di sotto della media per età e classe frequentata (Istituto superiore di sanità, 2010).

Il disturbo persiste per tutta l'esistenza, non si guarisce dalla DE, ma la gravità, la diagnosi tardiva e la mancanza di opportuni trattamenti riabilitativi costituiscono fattori prognostici negativi (Brizzolara et al., 2007).

1.1.1 Aspetti epidemiologici

L'esordio, il riconoscimento e la diagnosi di questo disturbo solitamente si verificano durante gli anni della scuola primaria, in prevalenza tra gli 8 e i 10 anni, fase in cui si richiede ai bambini di imparare a leggere (American Psychiatric Association, 2013).

La DE è un disturbo diffuso, con una prevalenza tra il 5 e il 17% a livello mondiale, mentre in Italia la prevalenza si aggira tra il 2,5 e il 3,5% della popolazione (Istituto superiore di sanità, 2010).

Tale variabilità, visibile tra l'incidenza italiana e quella mondiale, è frutto di diversi criteri diagnostici e di notevoli differenze nei sistemi ortografici. L'ortografia regolare o irregolare indica il grado di trasparenza o opacità, ossia il grado di corrispondenza tra fonemi e grafemi: nelle lingue ad ortografia irregolare (come l'inglese) l'incidenza è maggiore rispetto alle lingue con ortografia regolare (come l'italiano; Frost et al., 1987).

Inoltre, si riscontra una predominanza maschile 2,5 volte maggiore a quella femminile (Sauver et al., 2001). Tuttavia, questo dato potrebbe essere frutto di una maggiore attenzione clinica verso il genere maschile piuttosto che per quello femminile, questo perché pare che nei maschi si presentino tassi più elevati di disturbi esternalizzanti in comorbilità, tra cui il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD).

1.1.2 Eziologia

Non vi è una risposta univoca rispetto a quale siano le cause dei DSA secondo un modello lineare causa-effetto.

A livello nazionale (Istituto superiore di sanità, 2010) e a livello internazionale (American Psychiatric Association, 2013) si è d'accordo, però, su un'origine neurobiologica del disturbo.

Vi è infatti una forte componente genetica nella DE, che emerge sia da fattori di familiarità che di ereditarietà (Peterson & Pennington, 2012). I figli di genitori con DE hanno una probabilità che si aggira tra il 20 e il 65% di sviluppare questo disturbo (Pennington & Gilder, 1996).

Anche il "*Colorado Family Reading Study*" ha dimostrato la familiarità del disturbo, osservando come i parenti di ragazzi con DE avessero prestazioni significativamente ridotte rispetto al gruppo di controllo. Inoltre, hanno osservato una concordanza del

disturbo più elevata nei fratelli monozigoti rispetto che dizigoti (DeFries & Baker, 1983).

Vi è quindi un forte consenso sulla base neurobiologica di origine genetica del disturbo, ma i teorici sono ancora in disaccordo per quanto riguarda le basi neurologiche e cognitive.

Una delle ipotesi che ha riscontrato maggiore successo negli ultimi 20 anni è la teoria fonologica. Questa ipotizza uno specifico deficit fonologico connesso al funzionamento dell'area peri-silviana sinistra, causa di rappresentazioni fonologiche carenti e di un'alterazione della mappatura grafema-fonema, comportando scarse competenze fonologiche e una lettura difficoltosa (Ramus, 2004).

Oltre alla consapevolezza dei fonemi troviamo un altro deficit fonologico, ovvero la capacità di denominazione rapida automatizzata ("rapid automatized naming" RAN) (Snowling, 2001), processo utile nell'identificare e manipolare i suoni del linguaggio. La teoria che integra quest'ultima alterazione alla precedente viene chiamata "Teoria del doppio deficit".

Successivi studi hanno permesso di osservare che i deficit di consapevolezza fonologica e di RAN possono essere tra loro sia indipendenti che integrati (Compton et al., 2001; Wolf et al., 2002).

Un'altra probabile causa della difficoltà delle persone con DE nell'elaborazione fonologica è stata individuata nell'elaborazione temporale uditiva (Tallal, 1980). Tallal (1980) ha ipotizzato una compromissione nell'elaborazione uditiva di informazioni acustiche presentate in rapida successione, che influenzerebbe negativamente la discriminazione fonetica portando alla creazione di rappresentazioni fonologiche inesatte.

Diversamente, Nicolson et al. (1999) hanno proposto un'ipotesi di deficit cerebellare. Il cervelletto ha un ruolo importante nell'acquisizione e nell'automatizzazione di tutti i processi di apprendimento sensori-motorio come la lettura. L'ipotesi è frutto dell'osservazione di disturbi comportamentali nella funzione sensori-motoria, fonte di un rallentamento nell'elaborazione delle informazioni nelle persone con DE: questo porterebbe all'impovertimento delle rappresentazioni fonologiche e inficerebbe il processo di conversione grafema-fonema (Nicolson et al., 1999; Nicolson & Fawcett, 1990).

Queste non sono le uniche teorie che si sono occupate di indagare l'eziologia della DE; fra le molteplici cause che portano alla manifestazione della DE, le abilità visuo-

percettive sembrano giocare un ruolo importante. Queste teorie saranno esposte in seguito (Capitolo II).

1.1.3 Manifestazioni cliniche del DE

Le manifestazioni cliniche della DE sono eterogenee, variano per gravità e qualità dei deficit di decodifica e per la presenza o meno di comorbidità con altri disturbi dell'apprendimento (come disturbi della scrittura, del calcolo o della comprensione del testo) o altri disturbi neuro evolutivi (come l'ADHD, il disturbo evolutivo di coordinazione motoria o DCD e i disturbi del linguaggio).

Sono stati identificati tre sottotipi di DE, che si rifanno al “Modello a due vie” della lettura di Coltheart et al. (2001; vedi pag. 9): DE superficiale, fonologica o mista.

La dislessia superficiale si basa su un deficit nella procedura di lettura lessicale, che permetterebbe una lettura diretta di parole conosciute grazie al recupero della pronuncia dal lessico mentale (Sprenger-Charolles et al., 2003). Coloro che hanno un deficit in questa via presentano difficoltà nel leggere parole irregolari, nel disambiguare omofoni non omografi e nell'usare in modo corretto l'accento.

La dislessia fonologica, invece, è caratterizzata dal deficit nella procedura di lettura di tipo sub-lessicale, ossia nell'assemblaggio di singole subunità fonologiche che compongono la parola secondo regole di corrispondenza grafema-fonema, comportando difficoltà nel leggere le parole sconosciute e le non-parole. Nella dislessia di tipo misto, invece, risultano deficitarie entrambe le procedure di lettura (Brizzolara et al., 2007).

Raramente la persona con DE presenta difficoltà solo in un'area dell'apprendimento, ma queste possono tra loro sommarsi. Sono stati definiti degli specificatori in modo tale da indicare, in termini di gravità, il tipo di DSA:

- DSA lieve: difficoltà di apprendimento in uno o due ambiti scolastici sufficientemente lievi da permettere all'individuo di compensare o di funzionare bene attraverso facilitazioni e sostegni adeguati.
- DSA moderato: difficoltà di apprendimento in uno o due ambiti scolastici, tali da rendere difficile sviluppare competenze senza momenti di insegnamento intensivo e specializzato.

- DSA grave: possibilità di apprendimento solo per mezzo di un insegnamento intensivo, continuato, personalizzato e specializzato per la maggior parte degli anni scolastici, con l'aggiunta di una gamma di facilitazioni e servizi a casa, a scuola e sul posto di lavoro (DSM-5, 2013).

Oltre a ciò, la DE si presenta in maniera diversa in base alle diverse fasce evolutive nelle quali la si osserva: in età prescolare si possono osservare difficoltà nel pronunciare le parole e a riconoscere le singole lettere che compongono il loro nome. Alla scuola elementare i bambini con DE possono mostrare difficoltà nell'apprendimento della corrispondenza lettera-suono, nella decodifica fluente delle parole e nello spelling; quindi, presentano una lettura ad alta voce lenta e imprecisa. In adolescenza possono aver imparato a decodificare in modo corretto le parole, ma mantenendo una lettura lenta e faticosa, causando problemi nella comprensione del testo e nell'espressione scritta. In età adulta possono continuare a fare errori di ortografia ed avere una lettura lenta e faticosa, che li porta a dover leggere più volte un testo prima di comprenderne il significato (APA, 2013).

Il *Connecticut Longitudinal Study* (Shaywitz et al., 1999) ha studiato l'evoluzione di un campione di bambini con DE, selezionati da una popolazione di 445 bambini dal loro ingresso nella scuola dell'infanzia pubblica del Connecticut nel 1983, e seguiti longitudinalmente fino agli inizi dell'età adulta.

I risultati dello studio mostrano come i deficit nella codifica fonologica continuino a caratterizzare i lettori dislessici anche in adolescenza e in età adulta. Nell'adolescenza il sintomo più evidente è la lentezza nella lettura, mentre l'accuratezza migliora con la scolarità, presentando così una lettura meno automatica, lenta e poco fluente, per la quale risulta necessario concedere maggior tempo per la sua elaborazione.

1.2 La lettura

Saper leggere è una competenza fondamentale e imprescindibile, necessaria in qualsiasi ambito della nostra vita, così come a scuola anche a lavoro e nella vita quotidiana.

La maggior parte degli esseri umani che vengono istruiti impara in poco tempo a leggere, riuscendo a rendere automatico il processo di decodifica. Infatti, nessun essere umano è in grado di comprendere ed esprimere come avvenga il suo processo di

lettura, questo perché le modalità con cui l'uomo è in grado di leggere sono per lui del tutto inconsapevoli (De Beni et al., 2001).

Imparare a leggere è, infatti, un processo cognitivo complesso che richiede la capacità di convertire segni grafici in suoni linguistici (Perfetti, 2003).

Di seguito verrà indicata la modalità attraverso cui avviene il processo di lettura, i movimenti oculari che vengono messi in atto, il ruolo dell'attenzione e le modalità con cui vengono identificate e riconosciute le parole. Queste informazioni sono utili come termine di confronto alle anomalie che invece si presentano nei soggetti con DE.

1.2.1 Identificazione di parole e teorie sul riconoscimento di parole: via lessicale e sub-lessicale.

La capacità di lettura è un compito complesso che viene portato a termine per mezzo dell'integrazione di molteplici sistemi cognitivi e percettivi, visivi e ortografici, di memoria di lavoro, attenzione, movimenti motori e comprensione. Queste abilità sono eseguite da un esteso circuito cerebrale, detto "circuito della lettura", che permette di convertire stringhe di simboli visivi in suoni significativi (Peterson & Pennington, 2012, 2015; Vellutino et al., 2004).

La lettura richiede quindi diversi tipi di elaborazione. A livello percettivo-motorio, il riconoscimento di un testo scritto dipende dal movimento degli occhi e dall'attenzione collocata nelle diverse aree del campo visivo mentre, a livello linguistico, i lettori devono riconoscere la parola, associarla al significato corrispondente e integrarla con i significati delle altre parole, per mezzo di regole sintattiche, semantiche e pragmatiche (Ashby et al., 2005; Perfetti, 1985, 2007).

A livello oculare la lettura consiste in fissazioni intervallate da spostamenti rapidi, attraverso movimenti saccadici (eseguiti per far coincidere la zona di interesse con la fovea), seguiti ancora da fissazioni nelle quali già si programma la saccade successiva. La misurazione dei movimenti oculari ha permesso di ottenere prove su come avvenga il processo di lettura momento per momento (Rayner, 1998).

L'attenzione consente anche una segmentazione percettiva (parsing grafemico) in grado di filtrare le lettere laterali irrilevanti, così da focalizzare l'attenzione solo su quella che dobbiamo convertire. Ciò è realizzato mediante uno spostamento veloce e

accurato dell'attenzione visiva spaziale e temporale su ciascuna lettera che compone la parola (Gori & Facchetti, 2014).

Dopo un'iniziale analisi visiva delle lettere che compongono la parola, si attivano due vie: una via lessicale e una via non lessicale.

Queste sono state concettualizzate nel modello a due vie di Coltheart et al. (2001), il quale si propone di studiare il riconoscimento delle parole.

La via lessicale ("diretta") permette un riconoscimento diretto della parola per mezzo dell'attivazione delle competenze linguistico ortografiche e delle conoscenze semantiche. Elabora l'intera parola senza bisogno di convertire ogni grafema in fonema, permettendo una lettura più veloce. Viene utilizzata dai lettori esperti e per leggere le parole irregolari, che necessitano dell'attivazione delle rappresentazioni fonologiche dal lessico, per le quali una semplice conversione segno-suono porterebbe ad una lettura scorretta.

La via sub-lessicale ("indiretta"), invece, elabora lo stimolo convertendo i singoli grafemi nel fonema corrispondente (procedura di conversione grafema-fonema). In questa via le parole vengono scomposte nei grafemi che le compongono e convertiti nei fonemi corrispondenti, che infine vengono riassemblati per produrre la parola. Questa via viene utilizzata per la lettura di parole nuove e di non-parole (Coltheart et al., 1980,2001; Morton & Patterson, 1980).

Entrambe le vie arrivano allo stesso stadio finale, ossia il "buffer" fonemico (magazzino di memoria temporaneo) che consente la pronuncia corretta della parola. Studi hanno osservato i tempi di lettura e gli errori commessi dai soggetti tipici nella lettura di parole e di non parole. Questi studi hanno permesso di concludere che la lettura di non parole richiede tempi maggiori e che si commettono maggiori errori rispetto che nella lettura di parole, evidenziando il ruolo della via lessicale nella lettura (Barca et al., 2002; Burani et al., 2002; Stella et al., 2001; Tressoldi et al., 2001).

Per quanto riguarda le prestazioni di soggetti con DE, invece, è stato possibile osservare come la prestazione fosse diversa tra i soggetti affetti dallo stesso disturbo: alcuni avevano difficoltà a nominare parole irregolari ma non le non parole, questa difficoltà viene definita dislessia superficiale (Beauvois & Déruesné, 1979; Funnell, 1983) altri avevano difficoltà nel leggere le non parole, ma non le parole irregolari, questa viene chiamata dislessia fonologica (Coltheart et al., 1980; Marshall & Newcombe, 1973).

Questo ha portato vari studiosi ad indagare la presenza di percorsi neurali e aree corticali diverse associate ai processi lessicali e sub-lessicali (Démonet et al, 1992; Graves et al., 2008; Paulesu et al., 1993).

L'elaborazione lessico-semantic (via ventrale) è stata correlata all'attività nel giro temporali medio e inferiore di sinistra, nella regione parietale inferiore di sinistra e nella regione prefrontale superiore di sinistra, oltre che nelle regioni temporali superiori. L'elaborazione fonologica (via dorsale), invece, è stata associata all'attivazione nel giro temporale superiore sinistro (principalmente nell'area di Wernicke) e, in misura minore, nell'area di Broca (Démonet et al, 1992).

II. IPOTESI VISIVE LEGATE ALLA DISLESSIA EVOLUTIVA

Come precedentemente riportato, molteplici fattori possono trovarsi alla base della manifestazione di DE. Per questo motivo, sono state formulate nel tempo numerose teorie. La più popolare è la teoria fonologica, il cui deficit centrale è attribuito ad una compromissione dell'elaborazione uditiva e fonologica (Hornickel & Kraus, 2013; Peterson & Pennington, 2015).

Negli ultimi anni diversi studi hanno dato sostegno all'ipotesi di Pennington (2006) secondo cui la DE sarebbe caratterizzata da molteplici deficit di base, da tenere in considerazione durante la strutturazione di un intervento riabilitativo.

Questo considerando le diverse competenze cognitive alla base dell'acquisizione della lettura che, se deficitarie, possono contribuire all'eziologia della DE (Carroll et al., 2016; Franceschini et al., 2012; Menghini et al., 2010). Viene quindi studiata la DE considerando deficit visivi-attentivi, oltre a quelli uditivi-fonologici, come possibili cause.

2.1 Teoria magno-cellulare

Secondo l'ipotesi magno-cellulare il deficit sottostante le difficoltà di lettura potrebbe essere a livello dell'input magno-cellulare, quindi del sistema visivo dorsale (Livingstone et al., 1991; Stein & Walsh, 1997).

Le cellule gangliari della retina sono neuroni che captano le informazioni dall'occhio e le trasmettono al resto del cervello. Il 10% delle cellule gangliari sono definite magno-cellulari, in base a dimensioni (50 volte più grandi di quelle parvo-cellulari) e proprietà fisiologiche (maggiore velocità di trasmissione del segnale nervoso), il restante 90% sono parvo-cellulari (Kolb et al., 1992).

Le cellule magno-cellulari sovrintendono l'elaborazione visiva corticale dorsale occipito-parietale, fondamentale nella rilevazione del movimento ("dove"), mediando l'attenzione visiva e il movimento oculare. Viene spesso chiamato circuito di attenzione magno-cellulare dorsale (MD) (Ungerleider & Mishkin, 1982).

I neuroni parvo-cellulari, invece, rispondono più lentamente e sono importanti nel definire le caratteristiche fisiche dello stimolo ("cosa") (Cheng et al., 2004). Sono la principale fonte di informazione per la "visual word form area" (VWFA), un'area

specializzata nell'analisi e nel recupero delle informazioni ortografiche delle parole (Dehaene, 2009).

Nella VWFA troviamo però anche un forte input magno-cellulare che ha lo scopo di dirigere l'attenzione sulla parola da analizzare (Pammer et al., 2006; Vidyasagar, 2013) e contribuisce anche all'input visivo del percorso ventrale del "cosa".

Le cellule gangliari, poste sulla retina, proseguono verso gli strati 1 e 2 del nucleo genicolato laterale, fino ad arrivare alla corteccia visiva primaria e l'area medio-temporale, quest'ultima è impiegata nell'analisi del movimento degli stimoli. Inoltre, il sistema di cellule raggiunge altre aree corticali predisposte all'elaborazione uditiva e alla coordinazione motoria, che si riflettono sulla lettura per: il controllo del movimento oculare, la visione periferica e la posizione degli stimoli. Quindi un mancato funzionamento del sistema magno-cellulare sarebbe la causa di difficoltà di elaborazione percettiva e di minore sensibilità alla luminanza e al contrasto (Eden et al., 1996).

Con l'utilizzo della registrazione dell'attività corticale tramite elettroencefalogramma (EEG) è stata registrata l'attività della corteccia visiva primaria durante la stimolazione con un pattern in movimento, il segnale evocato dallo stimolo pare essere ritardato e ridotto di dimensioni nei soggetti con DE (Bonfiglio et al., 2017; Crewther et al., 1999; Kuba et al., 2001; Kubova et al., 1996; Livingstone et al., 1991; Romani et al., 2001; Scheuerpflug et al., 2004; Schulte-Korne et al., 2004;).

Con il compito del "coherent dot motion" viene studiata la sensibilità al movimento osservando la numerosità di punti che devono essere mossi all'unisono affinché il soggetto riesca a vedere il movimento come coerente. I soggetti con DE hanno bisogno di una maggiore percentuale di punti che si muovono contemporaneamente nella stessa direzione spaziale per poter rilevare il movimento come coerente (Cornelissen et al., 1995; Gori et al., 2016; Hill & Raymond, 2002; Samar & Parasnis, 2007).

Questa scarsa sensibilità dei soggetti con DE al movimento visivo ha un impatto significativo sul movimento oculare (Eden et al., 1994; Kirkby et al., 2008). Queste difficoltà potrebbero essere connesse ad un controllo instabile della convergenza dei due occhi (Mowforth et al., 1981).

Stein (2001) indica la scarsa sensibilità al movimento, correlata con l'instabilità binoculare, come causa della localizzazione spaziale deficitaria e, quindi, di errori nella percezione dell'ordine delle lettere.

L'osservazione stabile delle lettere è fondamentale per la lettura: questa stabilità sarebbe in parte affidata al sistema magno-cellulare, che rilevarebbe e impedirebbe movimenti oculari indesiderati.

Questo processo risulta deficitario nel soggetto con DE che presenta difficoltà nel compiere micro-saccadi (Murakami & Cavanagh, 2001).

Infatti, un sintomo riportato spesso dai soggetti con DE è che le lettere e le parole sembrano muoversi, ciò dipende da un sistema magno-cellulare debole con una conseguente fissazione visiva meno stabile (Harries et al., 2015; Singleton & Henderson, 2007; Singleton & Trotter, 2005).

L'invalidata sensibilità alla luminanza e al contrasto è stata studiata da Stanley e Hall nel 1973, i quali hanno documentato la necessità di un intervallo maggiore di tempo per riconoscere due stimoli come diversi, quando tra loro vi è una bassa differenza di variazione di intensità luminosa (luminanza) (Pammer & Wheatley, 2001). Numerosi studi hanno infatti dimostrato una minore sensibilità al contrasto, a basse frequenze spaziali e ad alte frequenze temporali, rispetto al gruppo di controllo (Cornelissen et al., 1995; Lovegrove et al., 1982; Martin & Lovegrove, 1987; Mason et al., 1993; Peli & Garcia-Perez, 1997; Slaghuis & Ryan, 1999; Williams et al., 2003)

Stein (2001) spiega che, secondo questa teoria, la risposta delle aree visive a brevi stimoli luminosi, presentati in rapida sequenza e a basso contrasto, è ridotta, mentre la risposta a stimoli in lenta sequenza e forte contrasto è nella norma.

2.2 Teoria dell'attenzione visiva

In stretto contatto con il funzionamento delle abilità visuo-percettive, le abilità cognitive di dominio generale, come l'attenzione visuo-spaziale, sono anch'esse coinvolte nei processi di lettura (Facoetti et al., 2000; Franceschini et al., 2020).

L'attenzione spaziale consente di focalizzare l'attenzione selettiva su un oggetto bersaglio, che consente una serie di movimenti oculari chiamati "saccadi", permettendo una migliore elaborazione specifica e riducendo l'impatto delle informazioni irrilevanti (Eimer, 2014).

Pertanto, una compromissione all'attenzione spaziale selettiva potrebbe causare: (i) una disfunzione del sistema oculomotorio e; (ii) un mantenimento dell'attenzione focalizzata sull'oggetto bersaglio per minore tempo e quindi una minore capacità di

filtrare le informazioni irrilevanti o distrattori che provengono dalla periferia del campo visivo, interferendo così con il processo di lettura foveale e para-foveale (Bertoni et al., 2019; Facoetti et al., 2000; Franceschini et al. 2012; Stein, 2014). Inoltre, questo deficit mina la percezione dell'intera stringa di simboli (Bosse et al., 2007; Franceschini et al., 2017a) e, di conseguenza, la capacità di suddividere i grafemi seriali (Facoetti et al., 2010).

Molti autori propongono come base neurale del deficit di attenzione spaziale il sistema magno-cellulare dorsale, il quale sembra essere cruciale per le relazioni spaziali dei singoli elementi (Stein, 2014; Vidyasagar & Pammer, 2010) e per il flusso regolare del fuoco dell'attenzione, che aiuta a identificare le singole lettere o parole (Vidyasagar, 1999). Questo è dovuto al fatto che l'informazione del sistema magno-cellulare dorsale termina nella corteccia parietale posteriore, sede dell'attenzione multisensoriale, sia spaziale che temporale (Downar et al., 2000).

Ans e colleghi (1998) indicano come l'identificazione delle singole lettere o parole avvenga per mezzo di due tipi di procedure di lettura, globale e analitica, che differiscono in base alla dimensione della finestra dell'intervallo di attenzione visiva (ossia quantità di elementi distinti che possono essere elaborate in parallelo).

Nella modalità di lettura globale la finestra visuo-attentiva (o span attentivo) si estende su tutta la sequenza della stringa di lettere, mentre si restringe durante la lettura in modalità analitica, per focalizzare l'attenzione su diverse parti dell'input.

Queste diverse modalità di lettura indicano il coinvolgimento dell'attenzione visiva nello sviluppo della procedura lessicale e sub-lessicale: le parole note sono elaborate per mezzo di una procedura parallela (globale) mentre quelle non conosciute vengono elaborate identificando i grafemi in modo seriale (analitico), da sinistra verso destra.

Per mezzo degli studi di Ans et al. (1998) e di Bosse et al. (2007) è stato possibile dimostrare che una riduzione delle dimensioni della finestra visuo-attentiva, che limita il numero di elementi che possono essere elaborati in parallelo da una breve visualizzazione visiva, contribuisce a prestazioni di lettura compromesse in bambini con DE.

La teoria basata su una compromissione nel meccanismo di attenzione spaziale supporta l'ipotesi che un programma di riabilitazione possa produrre effetti positivi sulle capacità di lettura (Facoetti et al., 2003).

La letteratura ha dimostrato che tra questi programmi di riabilitazione i video-giochi d'azione (AVG) potrebbero migliorare la velocità di lettura, l'elaborazione fonologica,

i meccanismi attentivi e percettivi in bambini con DD (Bertoni et al., 2019; Franceschini et al., 2013, 2017ab; Gori et al., 2016; Peters et al., 2019).

Gli AVG sarebbero così in grado di migliorare il funzionamento di specifiche reti neurali implicate nell'attenzione spaziale selettiva e nella lettura (Bavelier & Green, 2019; Gori et al., 2016).

Questo avviene grazie alle caratteristiche intrinseche degli AVG: velocità degli eventi intervenienti e degli oggetti in movimento, l'alto carico percettivo e motorio e l'elaborazione periferica; tutte caratteristiche in grado di stimolare e quindi migliorare il funzionamento della via magno-cellulare dorsale (Gori et al., 2016; Lawton, 2016). I miglioramenti della lettura indotti dalla riabilitazione con gli AVG potrebbero essere dati da un miglioramento dell'efficienza delle reti attenzionali fronto-parietali e del percorso magno-cellulare, attraverso il controllo dell'interazione tra aree cerebrali legate all'attenzione di tipo top-down e aree percettive legate all'elaborazione spaziale di tipo bottom-up, entrambi necessari nell'acquisizione e nel consolidamento della lettura (Bertoni et al., 2021; Focker et al., 2018).

Inoltre, Franceschini e colleghi (2022) hanno mostrato, in bambini con DE, gli effetti benefici del divertimento del videogioco in grado di indurre stati emotivi positivi sull'abilità di lettura, incrementandone velocità e accuratezza. Ciò sembrerebbe avvenire perché il gioco divertente sembra attivare una rete orbito-frontale e limbica che favorisce un'ampia integrazione di informazioni top-down (attenzione volontaria) e bottom-up (attenzione automatica) disfunzionalmente interconnesse (Hipp et al., 2011).

2.3 Asimmetria sinistra-destra dei centroidi dei punti di Maxwell in adulti senza e con DE

I coni blu si trovano solo all'esterno della fovea centralis (Rodleck 1998; Curcio et al., 1991), la zona interna della fovea, priva di coni blu, viene chiamato baricentro dello spot di Maxwell. All'interno della fovea si trovano i coni verde e rosso, che hanno un percorso anatomicamente distinto di trasmissione dell'informazione al cervello e presentano picchi di sensibilità diversi rispetto ai coni blu.

Nei soggetti senza difficoltà di lettura è stato possibile osservare che le due aree prive di coni blu al centro delle fovee, ovvero le aree del centroide di Maxwell, sono

asimmetriche nei due occhi e possono assumere una forma ellittica quasi circolare nell'occhio dominante e più schiacciata nell'occhio non dominante (Le Floch & Ropars, 2017).

L'asimmetria binoculare ha un ruolo cruciale nella connettività nervosa, sia nei processi visivi che fonologici; perciò, si è deciso di studiare il suo contributo nello sviluppo della DE.

Le Floch e Ropars (2017) hanno scoperto un'asimmetria assente o compromessa in soggetti con DE, aventi uno stato oculare normale, confrontando le immagini entoptiche attraverso la tecnica dell'ellisse oscurante, la quale permette di quantificare l'asimmetria esistente fra i due occhi definendo l'ellitticità dell'occhio destro e di quello sinistro.

Per gli osservatori sani l'occhio dominante corrisponde all'area priva di coni blu di forma pressoché circolare, mentre l'occhio non dominante ha una forma ellittica con un asse maggiormente ristretto e con un contorno diffuso e irregolare (vedi Figura 1). I due occhi mostrano quindi due topografie dei coni fortemente asimmetriche e con contorni diversi (Le Floch & Ropars, 2017).



Figura 1: Centroide di Maxwell del gruppo di controllo. Immagine da Le Floch e Ropars, 2017.

Normalmente le connessioni neurali di una retina al cervello sono più forti di quelle dell'altra (Minucci & Connors, 1964). Questo dato è confermato dalla risonanza magnetica funzionale, la quale ha mostrato come l'occhio dominante attivi un'area più ampia e induca un segnale più elevato nella corteccia visiva primaria, rispetto all'occhio non dominante (Rombouts et al., 1996).

L'asimmetria dei due centroidi induce necessariamente piccole differenze tra la qualità delle due immagini retiniche e delle corrispondenti mappe retino-topiche nella corteccia visiva. Le immagini secondarie, maggiormente degradate rispetto a quelle primarie, vengono cancellate durante l'elaborazione dei segnali visivi dei due occhi, mantenendo così l'informazione visiva solo dell'occhio dominante.

Invece, nei soggetti con DE si evidenzerebbe, secondo gli autori, un'identica attivazione di immagini residue dei due occhi, le quali presentano una stessa luminanza, mostrando una dominanza dell'immagine residua indeterminata.

Esaminando i contorni del centroide nei soggetti con DE è stato possibile evidenziare una mancanza di asimmetria, risultando entrambi quasi circolari (vedi Figura 2).

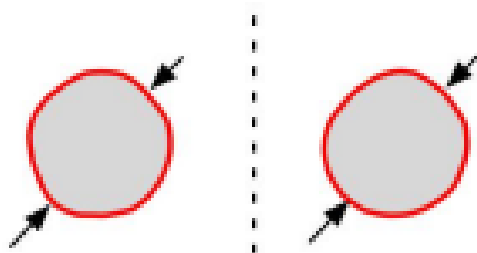


Figura 2: Centroidi di Maxwell dei soggetti con DE. Immagine da Le Floch e Ropars, 2017.

Questa mancanza di asimmetria fa sì che il soggetto con DE presenti topografie simili e regolari. Questa somiglianza, a livello topografico, sarebbe fonte di una stessa qualità e luminanza tra l'immagine primaria e speculare; non essendocene una che domina sull'altra queste immagini sono destinate a coesistere portando confusione e difficoltà nella lettura (Le Floch & Ropars, 2017).

Questo fenomeno, che porta il cervello a confrontarsi e ad affidarsi a due versioni leggermente diverse di una stessa scena visiva, viene chiamato immagine residua indefinita (Jainta & Kapoula, 2011).

La mancanza di asimmetria comprometterebbe la connettività tra il percorso visivo e le regioni visive e prefrontali. Inoltre, minerebbe la lateralizzazione delle diverse funzioni coinvolte in diversi compiti, compreso quello di lettura (Finn et al., 2014).

La mancanza di asimmetria potrebbe essere il fondamento biologico e anatomico della difficoltà nella lettura e nell'ortografia, in persone affette da DE: la presenza di forme circolari nei centroidi dello spot di Maxwell produrrebbe un effetto a cascata nella percezione dell'immagine e delle lettere, non permettendo di analizzare correttamente l'orientamento (sinistra-destra), commettendo così errori speculari e ostacolando l'acquisizione della fluidità della lettura (Le Floch & Ropars, 2017).

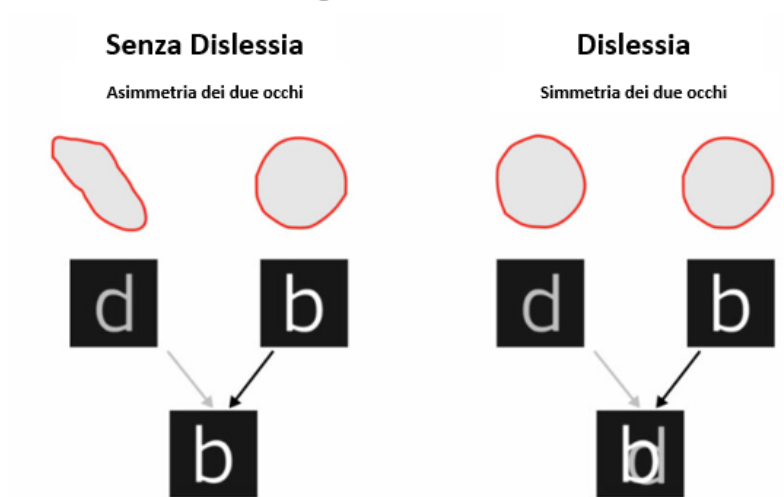


Figura 3: Percezione delle lettere in persone senza e con DE. Immagine da <https://www.lexilens.com/sciences/>.

Un'ulteriore prova a favore della mancanza di asimmetria del centroide come causa della DE viene indicata nello studio condotto da Le Floch e Ropars (2017), dove vi era la presenza di questa malformazione in un'intera famiglia in cui un membro presentava un disturbo specifico della lettura. Questa, insieme ad altri disturbi, permetterebbe di comprovare l'ereditarietà della DE e la connessa mancanza di differenza di forma fra i due centroidi.

Se effettivamente la simmetria riscontrata nei contorni del centroide del punto di Maxwell fosse predittiva dello sviluppo della DE, questo permetterebbe una diagnosi anatomica precoce e una possibile compensazione durante il periodo critico per ripristinare la capacità di lettura.

III. LA RICERCA

In risposta alla teoria del centroide di Le Floch e Ropars (2017) è stato creato un occhiale che, per mezzo di caratteristiche specifiche, dovrebbe permettere di aiutare le persone con DE a leggere meglio. Attraverso un'accensione alternata delle due lenti polarizzate che compongono l'occhiale, alla persona con DE è permesso di vedere (per un tempo da lui stesso determinato attraverso una specifica calibrazione) gli stimoli con uno o con l'altro occhio. Questo permetterebbe di evitare una sovrapposizione delle due immagini speculari, favorendo quindi la lettura. Si agirebbe così sulla mancanza di asimmetria, fonte di confusione e difficoltà nella lettura.

La seguente ricerca è stata realizzata per due scopi principali: analizzare il ruolo delle aspettative positive nelle prestazioni di lettura (dati esposti in un'altra tesi Magistrale Eleonora Dordoni) e verificare l'efficacia degli occhiali a lenti polarizzate che si accendono in modalità alternata (ovvero, "flickerano") per migliorare la capacità di lettura. In questo elaborato verrà preso in considerazione unicamente il secondo obiettivo.

Per verificare questa ipotesi sono state proposte prove di lettura di parole, non parole, brani e una prova computerizzata per valutare il possibile effetto sulla percezione di lettere speculari e non speculari. Infine, per verificare se, indipendentemente dalla performance di lettura oggettivamente misurate, ci fossero effetti psicologici soggettivi, è stato proposto ai partecipanti un questionario di autovalutazione in cui veniva chiesto se gli occhiali, sia da accesi che da spenti, avessero provocato effetti percettivi positivi o negativi sulla lettura.

3.1 Metodo

La ricerca è stata approvata dal Comitato Etico del Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova.

La ricerca è stata condotta seguendo i principi della Dichiarazione di Helsinki.

Si sono raccolte adesioni mediante consensi informati e si è svolta la ricerca in centri pubblici e privati per la valutazione e intervento di bambini con disturbi dell'apprendimento, già frequentati dai partecipanti.

I responsabili dei centri hanno illustrato gli obiettivi di ricerca chiedendone la partecipazione, in caso affermativo lo sperimentatore procedeva con il contatto e con la consegna del foglio informativo e la raccolta delle firme sul consenso informato

I bambini sono stati valutati da personale (laureandi e dottorandi) esperto, specificatamente formato nella raccolta di dati sperimentali.

Le analisi sono state condotte da un ricercatore cieco alle caratteristiche delle tre condizioni testate. La correzione di Bonferroni è stata utilizzata nei confronti pianificati delle statistiche dell'analisi della varianza (ANOVA).

3.1.1 Partecipanti

Hanno partecipato alla ricerca 49 bambini, di cui 34 maschi e 15 femmine. Un importante criterio di inclusione era avere una diagnosi di DE ricevuta dal Servizio Sanitario Nazionale Italiano, sulla base dei criteri di inclusione ed esclusione sanciti dall'APA o/e ICD11.

Ricordiamo che in Italia un bambino riceve diagnosi di DE se almeno due delle quattro misure di lettura standardizzate (lettura di parole e non parole, punteggio sulla velocità e accuratezza) sono inferiori a 2 deviazioni standard (DS) rispetto alla norma per età e se presenta il QI nella norma (Istituto superiore di sanità, 2010).

Sono stati fissati come criteri di esclusione: disturbi neurologici diagnosticati ed episodi di epilessia (sia del partecipante che dei suoi familiari di primo grado).

Gli occhiali si basano sull'effetto stroboscopico (luce alternata) di circa 40 Hz, quindi fuori dall'intervallo di pericolosità nel caso di una epilessia fotosensibile, ma è stato comunque deciso di escludere i soggetti epilettici o con familiarità in favore di una maggiore tutela del partecipante (seguendo le indicazioni dei produttori dell'occhiale).

Il range di età dei partecipanti va dai 7.8 anni ai 14.8 anni, con una media di età uguale a 11.4 anni e una deviazione standard di 1.86. Quindi, i soggetti che hanno partecipato alla ricerca frequentano dal secondo anno della scuola primaria di primo grado al primo anno della scuola secondaria di primo grado.

Il campione è stato analizzato dividendolo: bambini della scuola primaria (2°-5° elementare), con una numerosità campionaria pari a 20 partecipanti, e bambini della scuola secondaria (1°-3° media – 1° superiore), con una numerosità campionaria pari a 29 partecipanti (vedi Tabella 1).

	Scuola Primaria (2°-5° elementare)	Scuola secondaria (1°-3° media 1° superiori)	Totale
Maschi	14	20	34
Femmine	6	9	15
Totale	20	29	49

Tabella 1: Numero di maschi e di femmine raggruppati per classe frequentata.

La numerosità del campione è stata stabilita attraverso un'analisi di potenza, (utilizzando il programma Gpower) che, per mezzo dell'ANOVA mista a misura ripetuta per tre condizioni e per una dimensione dell'effetto pari o superiore a .25 (in grado di rifiutare l'ipotesi nulla $\alpha=.05$ e $\beta=.05$), ha indicato essere $n=44$ il numero di partecipanti necessari per la ricerca.

3.1.2 Procedura

Il disegno di ricerca prevede di valutare l'effetto degli occhiali sulle abilità di lettura dei bambini con DE in un unico incontro, per una durata di circa 60 minuti.

La ricerca è avvenuta in doppio cieco: la somministratrice che si occupava di prendere i tempi e gli errori nelle diverse prove non conosceva la condizione somministrata al partecipante, informazione riservata al somministratore che svolgeva il compito di calibrazione e somministrazione di prove al partecipante (l'unica a conoscere il significato sottostante dei codici dei colori verde e blu, che spiegherò in seguito).

Inoltre, il disegno di ricerca è "within subjects", ossia ogni partecipante viene sottoposto alle tre diverse condizioni sperimentali.

Per la condizione placebo è stato utilizzato un paio di occhiali disponibili in commercio, mentre nelle condizioni sperimentali e di controllo è stato utilizzato un paio simile a quello precedente ma collegato tramite un filo ad una scatola che permette, tramite due manopole, di calibrare la Velocità ("flickeraggio" in Hertz, HZ) e il Bilanciamento (luminosità in candele al metro quadrato) degli occhiali.

Durante la condizione sperimentale gli occhiali sono stati accesi e calibrati in base alle indicazioni dei partecipanti, mentre nella condizione di controllo e placebo gli occhiali erano semplicemente spenti.

La condizione sperimentale veniva chiamata "condizione verde", mentre quella di controllo veniva chiamata "condizione blu", questo per mantenere all'oscuro della

reale impostazione l'altro sperimentatore (essendo il disegno in doppio cieco), il partecipante e lo sperimentatore che ha realizzato le analisi statistiche.

Per garantire un'illuminazione ottimale del laboratorio, tale da non interferire con il "flickeraggio" delle lenti degli occhiali, è stata utilizzata una lampada sul tavolo con una lampadina a 100 watt e un computer senza schermo polarizzato.

Nella prima fase dell'incontro viene spiegato al partecipante lo scopo della ricerca, ossia valutare se un particolare paio di occhiali possa avere degli effetti positivi sulle sue abilità di lettura.

All'inizio della sessione sperimentale il bambino è stato informato. Nello specifico gli è stato detto: "Testeremo tre condizioni, una dovrebbe funzionare sicuramente, mentre delle altre due dovrai dirmi se una funziona meglio delle altre. Mescolerò le condizioni, ti dirò solo quando testeremo la condizione che dovrebbe sicuramente funzionare (condizione placebo). Le altre due condizioni saranno chiamate condizione blu e condizione verde, che sono semplicemente nomi di fantasia. Alla fine dell'esperimento ti chiederò poi di valutare quale di queste due condizioni è stata la migliore secondo te. Va bene? Ricordati che non c'è nessun giudizio sui tuoi test, al momento è importante solo valutare se questi occhiali possono aiutare i bambini a leggere e come, per questo registrerò tempi ed errori della tua prestazione"

Dopo questa prima parte di presentazione dello studio è seguita la fase di calibrazione degli occhiali (vedi paragrafo Calibrazione occhiali).

Dopo la calibrazione è iniziata la somministrazione (in ordine controbilanciato tra i partecipanti) delle tre condizioni, nei compiti di lettura di parole, non parole, testo (quest'ultimo non nella condizione placebo) e prova al computer (vedi Figura 4).



Figura 4: Rappresentazione schematica delle tre condizioni e dei compiti che, per ognuna, venivano somministrati.

Il questionario di autovalutazione veniva somministrato al termine dell'esecuzione di tutte le condizioni.

Calibrazione occhiali

Questa fase era volta ad individuare la migliore calibrazione della frequenza di sfarfallio (i.e., flickeraggio) o "Vitesse" (range 60-120Hz, indicati come valori -20+40 sullo schermo del box) e della luminosità o "Balance" (range -5 e +5) delle lenti, mediante due pomelli posti esternamente sulla scatola a cui gli occhiali erano collegati.

Venivano fatti indossare gli occhiali al bambino e gli veniva chiesto di guardare una parola di un testo, posto sul tavolo di fronte a lui.

Velocità di regolazione dello sfarfallio

Il flickeraggio è stato regolato mediante una staircase composta da sedici punti (+/- 20; 15; 10; 8; 6; 4; 2; 1). In questo caso lo sperimentatore, dopo la spiegazione del funzionamento degli occhiali come indicato nel manuale degli occhiali, ha fatto scegliere ai bambini il valore di sfarfallio iniziale e, partendo da questo punto, ha applicato la scala. Ad ogni punto temporale della scala i bambini dovevano scegliere tra il vecchio valore che avevano scelto e il nuovo valore di calibrazione. Quello prescelto è stato utilizzato come nuovo punto di partenza per il gradino successivo della scala.

Le istruzioni specifiche per la regolazione della Velocità di flickering, dopo aver fatto indossare gli occhiali al bambino già accesi e azzerati su entrambi i valori, sono: "Questi occhiali cambiano il modo in cui percepisci le parole. Ti faccio vedere due modi estremi, ti concentri su una parola sul foglio e vedi se noti qualche differenza". Quindi il ricercatore schiacciando il pulsante rosso posto sulla scatola elimina l'attivazione "flickerante" per un secondo "Hai notato qualcosa?". "Ora varierò l'attivazione degli occhiali da un estremo all'altro, ora lo farò velocemente (il ricercatore ha girato l'intera ruota da - a + in circa 1 secondo). Non so se hai notato la differenza, lo farò al contrario (il ricercatore ha girato l'intera ruota da + a - in circa 3 secondi). Ora continua a concentrarti su una parola che sembra difficile da leggere, varierò più lentamente l'attivazione degli occhiali, fermami quando ritieni di leggere meglio, poi procederemo a calibrare - per renderlo più preciso - il punto di attivazione degli occhiali migliori per te".

Lo sperimentatore fa girare l'intera ruota in circa 5 secondi, prima in un senso e poi nell'altro, invitando il partecipante a chiedere di fermarsi quando gli sembra di leggere meglio. Se il bambino comunicava di non riuscire ad indicare una condizione migliore lo sperimentatore partiva dal "valore 0".

Per ogni punto della scala, il ricercatore ha chiesto al bambino "Ti sembra meglio adesso (ultimo punto selezionato) o adesso (spostandosi sulla scala verso i punti indicati).

Luminosità

Nella condizione Balance si iniziava chiedendo al bambino di scegliere tra i valori 0 o -3. Successivamente si applicava la scala a quattro gradini (+/ 2; -1) che, grazie alle indicazioni del soggetto, permetteva di raggiungere un valore specifico (si veda la Figura 5 per la distribuzione delle risposte).

Questa fase di calibrazione è indispensabile per avere gli occhiali settati nella modalità migliore per il singolo partecipante durante la condizione sperimentale.

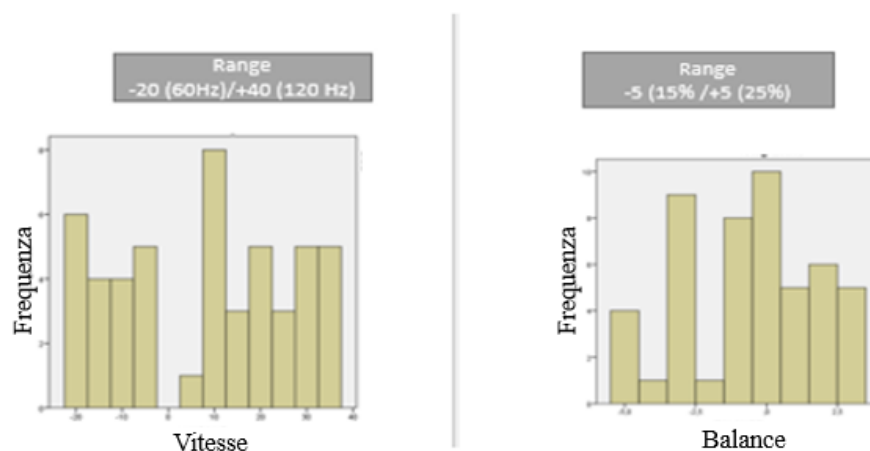


Figura 5: Valori scelti dai partecipanti, sia per la frequenza di flickering (Vitesse) che per la luminosità (Balance).

Capacità di lettura

Le liste di parole e non parole sono state somministrate in tutte le tre sessioni, mentre i due testi sono stati somministrati solo nella condizione sperimentale e di controllo. Tutte le tre prove di lettura venivano somministrate in ordine controbilanciato.

Capacità di lettura delle parole

Le liste di parole somministrate erano composte da tre elenchi di 53 parole (119 sillabe), equivalenti per lunghezza e per frequenza d'uso. Le parole lette erroneamente venivano conteggiate come un errore, indipendentemente dalla quantità di lettere o sillabe sbagliate che venivano pronunciate. L'autocorrezione non è stata classificata come errore.

Oltre a segnare gli errori la sperimentatrice, ignara della condizione proposta, prendeva anche il tempo (sillabe al secondo) impiegato per leggere la lista.

Capacità di lettura di non parole

Sono state utilizzate tre liste di 34 non parole (102 sillabe), equivalenti per numero di lettere. La velocità (sillabe al secondo) e gli errori sono stati valutati come nel compito di lettura delle parole.

Lettura di testo

La capacità di lettura del testo è stata valutata utilizzando due testi (composti da 218 sillabe) accoppiati per difficoltà di lettura (Judica e De Luca, 1993). I testi erano somministrati nelle condizioni verde e blu, non nella condizione placebo.

Come per le liste di parole e non parole, sono stati misurati il numero di errori, dove una parola letta erroneamente veniva conteggiata come un errore indipendentemente dalla quantità di lettere o sillabe sbagliate pronunciate, e la velocità (sillabe al secondo) di lettura. L'autocorrezione non veniva considerata errore.

Compito computerizzato

La prova al computer inizia con un punto di fissazione nero su uno schermo grigio (300 msec), poi appaiono due lettere (carattere: Calibri, dimensione: $.5^\circ \times .5^\circ$, posizionate sull'asse orizzontale dello schermo in posizione foveale o para-foveale, rispettivamente a $.5^\circ$ e 5° di angolo visivo): “b” e/o “d” nella condizione speculare e “i” e/o “o” nella condizione non speculare. I partecipanti dovevano indicare

velocemente se le lettere comparse fossero uguali o diverse, utilizzando due tasti della tastiera (“N” e “P” rispettivamente); dopo la risposta appariva un punto di fissazione (durata 1000msec) verde, se la risposta era corretta, o rosso, se la risposta era errata (si veda la Figura 6). Si valutavano tempi (in msec) ed accuratezza (in frequenza).

All’inizio della sessione il partecipante svolgeva una prova al computer per familiarizzare con il compito.

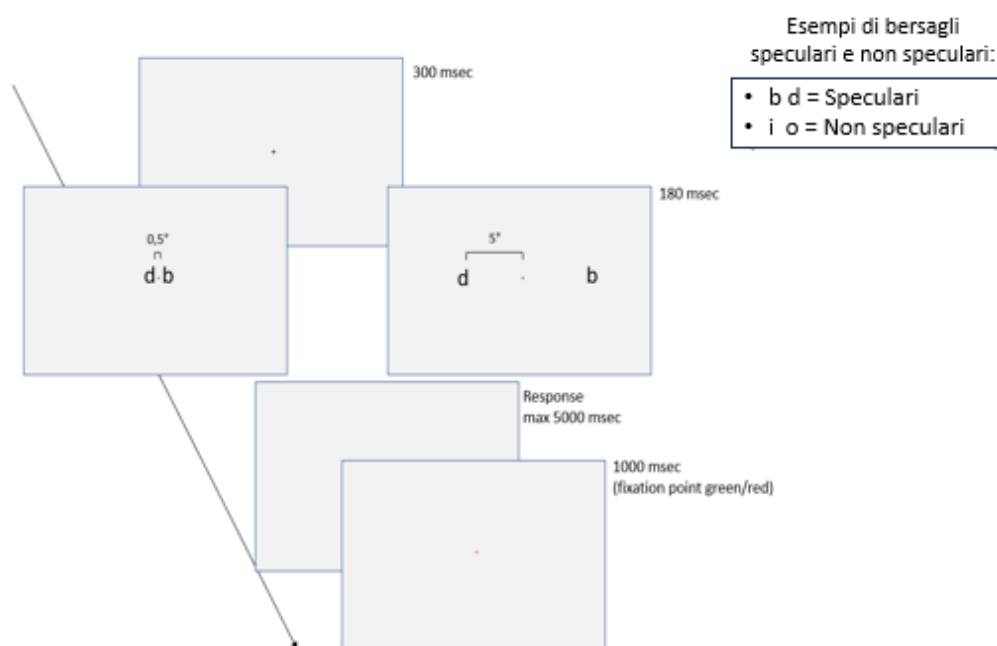


Figura 6: Compito computerizzato di discriminazione di lettere speculari e non speculari.

Questionario di autovalutazione

Al termine dell’esperimento i partecipanti venivano sottoposti ad un questionario di autovalutazione, nel quale veniva chiesto di rispondere alle domande indicando la condizione sperimentale (“Verde”) o di controllo (“Blu”):

- 1) In quale dei due momenti di lettura con gli occhiali sperimentali ti è sembrato di leggere meglio?
- 2) In quale dei due momenti di lettura con gli occhiali sperimentali ti è sembrato di comprendere meglio il testo del brano?
- 3) In quale dei due momenti di lettura ti è sembrata più facile la prova al computer?

- 4) In quale dei due momenti, secondo te, gli occhiali erano impostati nel modo più adatto per te?

Non era chiesto di valutare la condizione placebo.

Le tre condizioni sono pianificate per valutare il possibile effetto immediato (non a lungo termine) dell'uso degli occhiali Lexilens® sulla velocità di lettura e sulla discriminazione delle lettere speculari, perfezionando gli stimoli presentati nella fovea.

I dati sono stati analizzati mediante: analisi della varianza (ANOVA), t-test e test non parametrici (per il questionario finale di autovalutazione). Solo una parte delle analisi, quelle riguardanti gli effetti degli occhiali, sono state riportate in questa tesi. I dati relativi all'effetto placebo sono invece riportati nell'altro elaborato (tesi Magistrale di Eleonora Dordoni).

3.2 Risultati

3.2.1 Regolazione dei parametri (velocità e luminosità) e correlazione con la lettura

Prima di verificare l'efficacia delle lenti, si è deciso di analizzare la relazione tra la regolazione degli occhiali, fatta durante la fase di calibrazione, e l'abilità di lettura dei bambini con DE.

Sono state eseguite correlazioni parziali correggendo per l'età dei bambini, tra i parametri velocità di flickeraggio e luminosità e le prestazioni di lettura (parole, non parole e testo), in termini di tempo (secondi) ed errori.

La regolazione della velocità di flickeraggio era correlata alla velocità di lettura delle non parole dei bambini nel gruppo Placebo ($r=-.32$, $p=.028$), Sperimentale ($r=-.30$, $p=.036$) e di Controllo ($r=-.31$, $p=.034$; si veda la Figura 7). Nessun'altra correlazione era significativa (tutti $p>.094$)

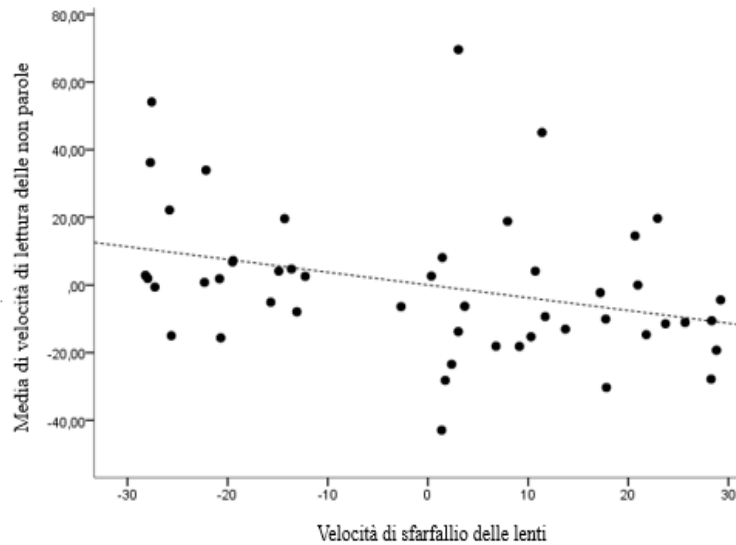


Figura 7: Correlazione parziale: grafico a dispersione di residui – dopo il controllo per età- della velocità di lettura delle non parole (media tra condizioni placebo, sperimentale e di controllo) e la velocità di sfarfallio delle lenti, selezionate dai partecipanti in fase di calibrazione degli occhiali.

3.2.2 Lettura di parole e non parole

E' stata eseguita un'analisi mista della varianza (ANOVA) con un disegno 2 x 3 x 2 (Compito x Condizione x Età), utilizzando il tempo (in secondi) di lettura di parole e non parole come variabile dipendente. I fattori entro i soggetti erano il Compito (parole e non parole) e la Condizione (placebo, sperimentale e di controllo); mentre il fattore fra i soggetti era l'Età, ossia suddivisa per bambini della scuola primaria e secondaria.

Gli effetti principali di Compito ($F_{(1,47)}=21.313, p<.001, \eta^2_p=.312$) e di Età ($F_{(1,47)}=26.335, p<.001, \eta^2_p=.359$) e la loro interazione tra Compito e Età è risultata significativa ($F_{(1,47)}=23.718, p<.001, \eta^2_p=.335$).

Nei confronti a coppie non è stata osservata una differenza significativa tra i tempi di lettura di parole (media=102.3 sec, ES=5.28) e di non parole (media=101.87 sec, ES=4.85; $p=0.870$) nei bambini della scuola primaria, mentre questa differenza risulta significativa nei bambini delle scuole secondarie, i quali impiegano meno tempo a leggere le parole (media=58.78 sec, ES=4.39) rispetto alle non parole (media=83.56 sec, SE=4.02; $p<.001$).

Inoltre, anche l'interazione Compito x Condizione era significativa ($F_{(2,94)}= 3.751, p=0.027, \eta^2_p= 0.074$).

I confronti a coppie hanno dimostrato che, indipendentemente dall'età, confrontando il tempo nei compiti di lettura di parole vs. quello di non parole nelle tre diverse condizioni Placebo ($p < .001$), Sperimentale ($p = .013$) e di Controllo ($p < .001$), i tempi di lettura erano sempre diversi (si veda la Figura 8).

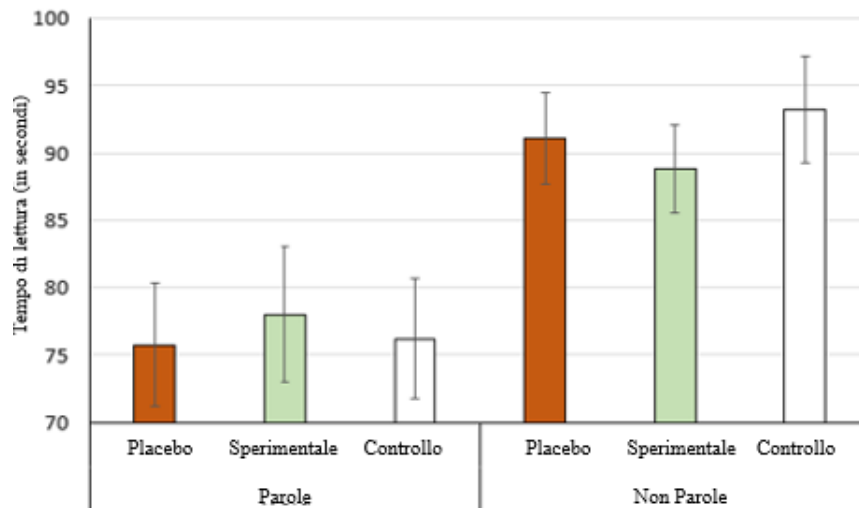


Figura 8: Grafico a barre del tempo di lettura di parole e non parole (in secondi) nelle tre diverse condizioni sperimentali. Le barre indicano l'errore standard della media.

Per comprendere meglio questa interazione è stata quindi calcolata la differenza (delta score) tra il tempo di lettura di non parole vs. parole, nelle tre le condizioni (Sperimentale, Controllo e Placebo), come indice dell'effetto di lessicalità, ovvero maggiore velocità per la lettura di parole vs. non parole. Un confronto tramite t-test tra i tre punteggi delta ha mostrato una differenza significativa ($t_{(48)} = 2.102$, $p = .041$, Cohen's $d = .300$, 95% IC = $-.012 / .585$) tra la condizione Sperimentale (occhiali accesi, media = 10.74 secondi, ES = 4.14 con DS = 28.99) e di Controllo (occhiali spenti, media = 17.05, ES = 3.22, DS = 22.57), mentre il punteggio delta calcolato per la condizione Placebo (media = 15.39 secondi, ES = 3.021, DS = 21.15) non differisce rispetto alle due condizioni alternative (entrambi i $p > .076$; si veda la Figura 9).

Non è stato riscontrato nessun altro effetto principale o interazione significativa (tutti $p > .086$).

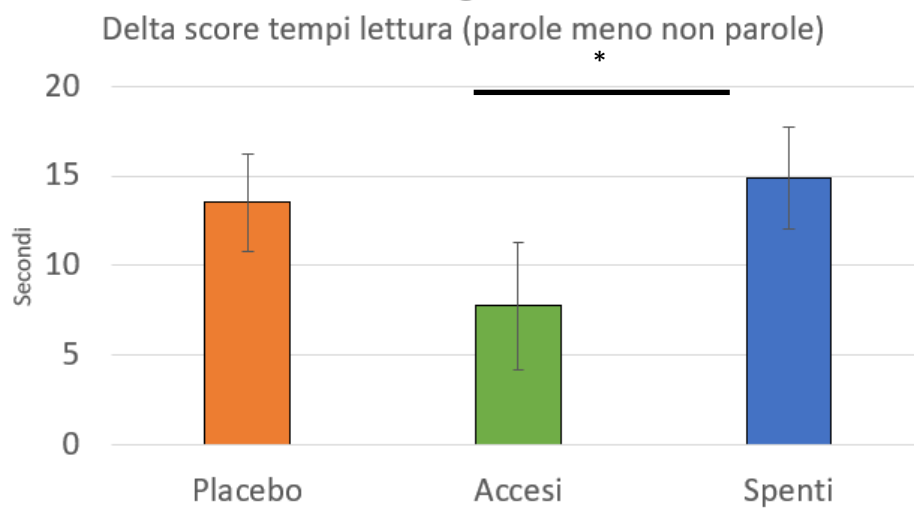


Figura 9: Differenza dell'effetto di lessicalità, ovvero maggiore velocità per leggere le parole (misurata come differenza tra tempi di lettura di non parole meno tempi di lettura di parole) nelle tre condizioni sperimentali. La barra degli errori indicano l'errore standard della media, mentre l'asterisco indica la differenza significativa ($p > .05$).

La parte dei dati relativa agli errori commessi nella lettura è parte di un'altra tesi.

Sono tuttavia riportate in Tabella 2 le informazioni descrittive, che mostrano

l'assenza di effetti di trade-off nelle diverse condizioni testate.

	Scuola primaria (n=20)			Scuola secondaria (n=29)		
	Placebo	Occhiali su	Via gli occhiali	Placebo	Occhiali su	Via gli occhiali
tempo di lettura delle parole (secondi)	100,33 (29,10)	105,25 (36,04)	102,03 (25,37)	58,75 (21,35)	59,26 (19,54)	58,38 (20,70)
tempo di lettura delle pseudoparole (secondi)	103,68 (17,32)	96,86 (22,55)	105,08 (26,13)	82,44 (23,97)	83,19 (21,93)	85,84 (26,18)
errori di lettura delle parole (numero)	4 (3,55)	5,56 (3,94)	5,50 (4,27)	2,41 (2,47)	1,45 (1,40)	2,07 (1,81)
errori di lettura delle pseudoparole (numero)	11,20 (3,94)	11,00 (4,91)	9,85 (4,57)	6,79 (3,94)	6,52 (3,75)	7,31 (4,58)

Tabella 2. Tempo di lettura e numero di errori nelle liste di lettura di parole e non parole, suddivise per età (scuola primaria e scuola secondaria) e condizione.

3.2.3 Lettura del brano

E' stata eseguita un'ANOVA mista con un disegno 2 x 2, utilizzando il tempo di lettura in secondi come variabile dipendente.

Il fattore entro i soggetti era la Condizione (Sperimentale o di Controllo), mentre il fattore fra i soggetti era l'Età (bambini della scuola primaria o della scuola secondaria).

Solo l'effetto Età era significativo ($F_{(1,47)}=41.917$, $p<.001$, $\eta^2_p=.471$), indicando che i bambini della scuola primaria impiegano più tempo (media=181.64, ES=9.12) nella lettura del brano rispetto ai bambini della scuola secondaria (media=104.89, ES=7.57). Non vi era nessun altro effetto o interazione che risultasse significativa (tutti $p>.477$).

È stata eseguita un'ulteriore ANOVA mista 2 x 2 con il numero di errori come variabile dipendente. Anche in questo caso un effetto principale era legato all'Età ($F_{(1,47)}=20.799$, $p<.001$, $\eta^2_p=.307$), indicando un numero maggiore di errori nei bambini della scuola primaria (media=11.40, ES=.920), rispetto ai bambini della scuola secondaria (media=5.95, ES=.764).

E' importante sottolineare anche l'effetto principale legato alla Condizione ($F_{(1,47)}=4.803$, $p=.033$, $\eta^2_p=.093$). Infatti, nella condizione Sperimentale i bambini hanno compiuto più errori (media=9.25, ES=.615) durante la lettura delle parole che componevano il testo, rispetto alla condizione di Controllo (media=8.1, ES=.689; si veda la Figura 10 e Tabella 3). L'interazione Età x Condizione non era significativa ($p=.116$).

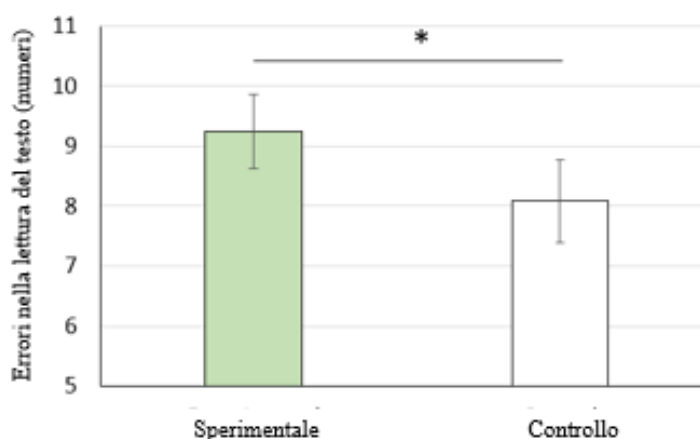


Figura 10: Grafico a barre del numero degli errori di lettura del testo di parole quando gli occhiali sono stati accesi (sperimentale) o spenti (controllo). Le barre indicano l'errore standard della media, l'asterisco indica la differenza significativa ($p>.05$).

	Scuola primaria (n=20)		Scuola secondaria (n=29)	
	Sperimentale	Controllo	Sperimentale	Controllo
Tempo di lettura del testo (secondi)	182,74 (57,57)	180,53 (45,23)	104,02 (29,57)	105,76 (37,04)
Errori di lettura del testo (numero)	12,40 (4,99)	10,40 (6,45)	6,10 (3,61)	5,79 (3,08)

Tavola 3: Tempo di lettura e numero di errori, nella lettura del testo di parole, suddivisi per bambini della scuola primaria e secondarie.

3.2.4 Compito computerizzato

Sono state eseguite due ANOVA miste con un disegno 2 x 2 x 2 x 3, utilizzando l'accuratezza (in frequenza) e il tempo di risposta (msec) come variabili dipendenti. I fattori entro-soggetto erano: la Specularità delle lettere (lettere speculari e non), la Posizione dei bersagli (vicini e lontani dalla fovea) e la Condizione (Placebo, Sperimentale e di Controllo), mentre il fattore tra-soggetto era l'Età (bambini della scuola primaria e secondaria).

Accuratezza

Tre effetti principali sono risultati significativi: Specularità delle lettere ($F_{(1,47)} = 78.823$, $p < .001$, $\eta^2_p = .626$), Posizione del bersaglio ($F_{(1,47)} = 8.041$, $p = .007$, $\eta^2_p = .164$) e l'Età ($F_{(1,47)} = 12.584$, $p = 0.001$, $\eta^2_p = 0.211$).

Inoltre, è stato osservato come l'interazione Posizione x Età fosse significativa ($F_{(1,47)} = 5.712$, $p = .021$, $\eta^2_p = .108$). I confronti pianificati hanno mostrato che la differenza tra l'accuratezza nella posizione dei bersagli foveale (media=.72, ES=.030) e para-foveale (media=.71, ES=.029) non era significativa per i bambini della scuola primaria ($p = .773$), mentre la differenza era significativa per i bambini della scuola secondaria (media=.87, ES=.025 per la posizione foveale e media=.83, ES=.024 per posizione para-foveale; $p < .001$).

Inoltre, anche l'interazione Posizione x Specularità è risultata statisticamente significativa ($F_{(1,47)} = 15.776$, $p < .001$, $\eta^2_p = .251$). I confronti pianificati hanno mostrato che per i bersagli non speculari l'accuratezza era simile nella posizione

foveale (media=.83, ES=.018) e para-foveale (media=.83, ES=.018, $p=.484$), mentre una differenza significativa era presente per i bersagli speculari quando erano presentati in posizione foveale (media=.75, ES=.022) e posizione parafoveale (media=.71, ES=.022; $p<.001$), dimostrando che per i bersagli speculari i partecipanti con DE commettevano più errori di discriminazione quando venivano presentati in posizione foveale, rispetto che in posizione parafoveale. Nessun altro effetto principale o interazione è risultato statisticamente significativo (tutti $p>.111$; si veda il pannello A della Figura 11).

Tempo di reazione

Eseguito una ANOVA con la stessa struttura della precedente con variabile dipendente i tempi di reazione (in msec), l'effetto principale della Specularità delle lettere ($F_{(1,47)}=41.531$, $p<.001$, $\eta^2_p=.469$) è risultato significativo: i tempi di risposta per i bersagli non speculari (media=596 msec, ES=22.823) erano più rapidi rispetto ai bersagli speculari (media=729 msec, ES=35.299).

Inoltre, l'effetto principale della Posizione dei bersagli era significativo ($F_{(1,47)}=26.484$, $p<.001$, $\eta^2_p=.360$), indicando che il tempo di reazione per i bersagli foveali era più veloce (media=629 msec, ES=27.588) rispetto a quelli in posizione parafoveale (media=696 msec, ES=30.769). Nessun altro effetto principale o interazione è risultato statisticamente significativo (tutti $p>.248$; si veda il pannello B della Figura 11).

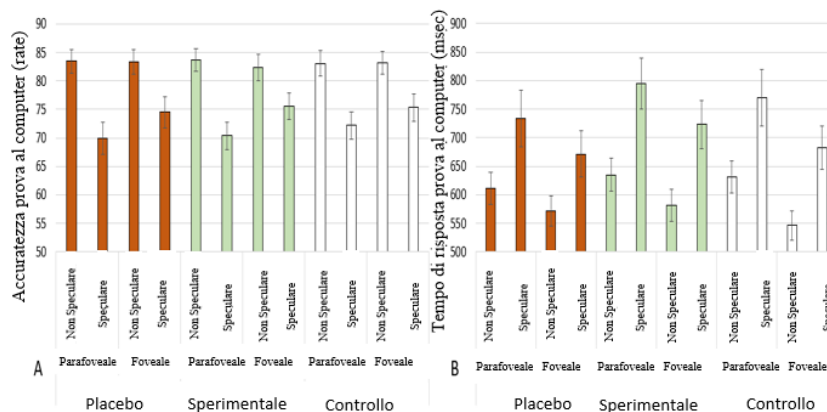


Figura 11: Compito computerizzato: l'accuratezza della risposta (pannello A) e il tempo di reazione (pannello B) nelle tre condizioni (Placebo, Sperimentale e di Controllo) agli stimoli foveali e non foveali. Con stimoli che possono essere lettere non speculari (es. "i"-“o”) o speculari (es. “b”-“p”). Le barre degli errori rappresentano gli errori standard della media.

3.2.5 Questionario di autovalutazione

Separatamente per i bambini della scuola primaria e secondaria, per ciascuna delle quattro domande componenti il questionario abbiamo eseguito una serie di analisi binomiali. I risultati attesi della distribuzione della risposta tra preferenza per gli occhiali accesi e spenti sono stati posti a 0,50 (livello di preferenza uguale al caso). Le analisi binomiali hanno mostrato che né per i bambini della scuola primaria né per quelli della scuola secondaria è stata osservata una preferenza significativa per la condizione verde (accesi) o blu (spenti) (si veda la Tabella 14).

	Bambini della scuola primaria (n=20)		Binomial e valore p	Bambini della scuola secondaria (n=29)		Binomial e valore p
	Condizione Verde	Condizione Blu		Condizione Verde	Condizione Blu	
Domanda 1: Leggi meglio	8	12	.503	15	14	1.000
Domanda 2: Passaggio migliore	13	7	.263	16	13	.711
Domanda 3: Computer più facile	9	11	.824	14	15	1.000
Domanda 4: Più adatto	7	13	.263	15	14	1.000

Tabella 14. Suddividendo i bambini per scuola, viene indicato il numero di partecipanti che hanno indicato una preferenza per la condizione verde (occhiali accesi) o per la condizione blu (occhiali spenti) per mezzo di quattro domande contenute nel questionario di autovalutazione. Viene mostrato anche il risultato (valore p dell'analisi binomiale).

3.3 Discussione e Conclusioni

In questo elaborato ci si è posto l'obiettivo di verificare l'efficacia delle lenti tremolanti Lexilens® per migliorare le capacità di lettura nei bambini con DE.

I risultati ottenuti hanno dimostrato un piccolo effetto degli occhiali Lexilens® per migliorare, la velocità di lettura di non parole mediante la via sub-lessicale, a discapito della lettura di parole (via lessicale), ovvero una significativa riduzione dell'effetto di lessicalità.

Inoltre, i risultati sembrerebbero supportare la presenza di una fissazione binoculare instabile nei bambini con DE (Stein et al., 2000b), forse collegata ad una disfunzione del circuito magno-cellulare, come uno dei possibili fattori di rischio, per una

prestazione deficitaria nella lettura sub-lessicale nei bambini con DE. Questa fissazione binoculare instabile (Mowforth et al., 1981) sarebbe data da una scarsa sensibilità dei bambini con DE al movimento visivo (Eden et al., 1994; Kirkby et al., 2008; si veda Gori et al., 2016 per una possibile evidenza causale), che potrebbe causare un controllo instabile della convergenza dei due occhi (Mowforth et al., 1981), facendo sì che gli occhi dei soggetti con DE si muovano molto di più quando cercano di fissare obiettivi vicini (Eden et al., 1994).

L'instabile controllo oculare spiega le percezioni visive instabili riferite dai soggetti con DE, dove le lettere sembrano muoversi, fondersi, capovolgersi e sovrapporsi (Orton, 1925; Garzia & Sesma, 1993; Cornelissen et al., 1998).

Questa disfunzione potrebbe essere parzialmente compensata dallo sfarfallio degli occhiali che, durante la condizione sperimentale con occhiali accesi, hanno permesso una maggiore velocità di lettura di non parole. Ciò avviene grazie all'occlusione alternata degli occhi, la quale permette di ricevere la rappresentazione di un occhio per volta, così da alleviare le difficoltà legate ad una fissazione binoculare potenzialmente instabile e le conseguenti sovrapposizioni delle due immagini retiniche. Questo ha permesso un effetto di accelerazione della via sub-lessicale, utilizzata nella lettura di non parole o parole sconosciute.

Un dato a supporto della relazione tra la frequenza di sfarfallio e il rispettivo tempo di lettura di non parole è la scelta compiuta dal partecipante, durante la fase di calibrazione, relativa al parametro di velocità (frequenza di flickering o "Vitesse"). Infatti, è stato osservato che chi ha maggiore difficoltà di lettura di non parole preferisce leggere ad un flickeraggio più basso (60 Hz), questa situazione permette di ricevere le informazioni un occhio per volta per una quantità di tempo maggiore. Il lieve miglioramento osservato nella decodifica fonologica è, però, accompagnato da un potenziale peggioramento nella velocità di lettura di parole. Ciò potrebbe essere causato dallo sfarfallio che porta ad avere una rappresentazione separata e parziale dei due occhi, non permettendo di riconoscere velocemente la parola osservandone l'intera forma. Questi risultati sembrano suggerire che una visione monoculare lentamente alternata possa parzialmente facilitare il circuito dorsale della lettura, alla base della via sub-lessicale, sebbene parzialmente ostacolando il riconoscimento lessicale alla base del circuito ventrale della lettura, principalmente controllato dall'area della forma visiva della parola. Si potrebbe speculare che una riduzione dell'interferenza visiva durante l'estrazione delle due immagini retiniche

non allineate dalla instabilità binoculare, possa essere ridotta bloccando temporaneamente una delle due immagini proveniente dall'altro occhio. Questa spiegazione sembra tuttavia non completamente compatibile con una riduzione della velocità di riconoscimento lessicale, a meno che si ipotizzi che la funzionalità della forma visiva delle parole possa sopportare una maggiore interferenza purché ridondante tra le due immagini fornite separatamente dai due occhi. Sebbene queste rimangono pure speculazioni che richiedono ulteriori sperimentazioni e ricerche, Ans et al. (1998) hanno dimostrato la necessità di una lettura globale durante la procedura lessicale, elaborando diversi elementi in parallelo per mezzo della finestra visuo-attentiva, in grado di estendersi su tutta la sequenza di lettere che formano la parola. Per contro, la decodifica fonologica sub-lessicale, sembra richiedere una finestra attenzionale più stretta e focalizzata (si vedano le dimostrazioni di Bosse et al., 2007).

Quindi, uno strumento che limita il numero di elementi che possono essere elaborati in parallelo potrebbe effettivamente complicare il riconoscimento lessicale, contemporaneamente migliorando la velocità di decodifica fonologica seriale delle non parole nel bambino con DE. Questi due contrastanti effetti potrebbero potenzialmente spiegare la riduzione dell'effetto di lessicalità rilevato dalle nostre analisi.

Questa interpretazione della riduzione dell'effetto di lessicalità è parzialmente confermata dall'analisi degli errori commessi nella lettura del testo che, essendo formato da parole, utilizza anch'esso principalmente la via lessicale. Infatti, dai risultati della prova appare evidente un peggioramento significativo dell'accuratezza durante la condizione sperimentale (occhiali accesi) rispetto alla condizione di controllo (occhiali spenti).

Inoltre, è da notare che dal nostro compito computerizzato non sono stati riscontrati risultati di efficacia degli occhialini per la correzione specifica di immagini speculari. In particolare, ciò si è reso evidente nel compito visivo computerizzato dove la condizione sperimentale occhiali accesi non ha influenzato l'estrazione delle informazioni speculari rispetto alla condizione di controllo o placebo.

Infine, i dati ottenuti dai questionari di autovalutazione hanno permesso di affermare che i bambini non sono stati in grado di distinguere le condizioni nel quale è stata manipolata la variabile sperimentale, informazione che avrebbe potuto influenzare la loro prestazione in funzione di un potenziale effetto positivo di aspettativa (placebo).

In conclusione, lo studio ha permesso di sostenere parzialmente il possibile ruolo di difficoltà percettive, forse magno-cellulari, nei soggetti affetti da DE. Questo risultato permetterebbe una diagnosi precoce e una possibile compensazione durante il periodo critico (fase in cui il miglioramento dell'abilità di lettura risulterebbe maggiore).

Seppur non si sia osservata un'efficacia immediata degli occhiali Lexilens® nella lettura di parole e nella correzione di immagini speculari durante il nostro studio, non si può escludere un possibile effetto a lungo termine dato da un utilizzo continuativo e prolungato degli stessi, come indicato dai costruttori degli occhiali. Non possiamo infatti escludere che il nostro piccolo effetto nel facilitare il circuito sub-lessicale (vs. quello lessicale) possa, nel corso del tempo, indurre effetti stabili sulle future abilità di lettura nei bambini con DE, il cui sviluppo, soprattutto nelle ortografie trasparenti come l'italiano, dipendono almeno inizialmente da un efficiente assemblaggio grafema-fonema (Frost et al., 1987). In effetti, è stato rilevato un effetto migliorativo nella lettura di non parole. In questo senso, si potrebbe ipotizzare che gli occhiali potrebbero essere utilizzati come strumento di allenamento per produrre effetti benefici, migliorando la decodifica fonologica per mezzo di un'elaborazione oculare alternata, così da incrementare l'abilità di lettura di non parole e parole nuove nelle prime fasi di acquisizione della lettura. Questo miglioramento potrebbe essere la base per poi implementare la fase successiva di lettura lessicale, in cui una elaborazione parallela e distribuita è maggiormente richiesta.

Lo studio di Stein e colleghi (2000a) è parzialmente in linea con la nostra ipotesi di utilizzo degli occhiali Lexilens® come strumento di allenamento. Stein e colleghi (2000a) hanno ipotizzato una lettura monoculare per stabilire una fissazione binoculare stabile nei soggetti con DE che presentavano un'instabilità nel controllo binoculare.

Il trattamento funzionava bendando l'occhio sinistro e lasciando che il soggetto leggesse con l'occhio destro. I bambini sono stati testati per nove mesi, ma nei primi tre mesi già si osservava un miglioramento nella fissazione binoculare, per mezzo dell'occlusione monoculare, del 59%. Ottenere un controllo binoculare stabile ha migliorato significativamente la lettura, a nove mesi i bambini che avevano ottenuto nei mesi precedenti una fissazione binoculare stabile, presentavano un tasso di progresso nella lettura quasi raddoppiato. Pertanto, un breve periodo di occlusione monoculare ha aiutato i bambini con DE con controllo binoculare instabile a ottenere una buona fissazione binoculare, utile nell'ottenere progressi più rapidi nella lettura.

I nostri risultati sono parzialmente compatibili con le recenti ipotesi causali della DE che sostengono che alla base delle difficoltà di lettura vi sia un eccesso di rumore neurale (Hancock et al., 2017), forse dovuto ad un generale disturbo nei meccanismi attentivi di esclusione del rumore percettivo (Franceschini et al., 2012, 2013), sia nella modalità uditiva-fonologica che in quella visiva-ortografica, tale da non permettere l'efficiente sviluppo della decodifica fonologica (Hari & Renvall, 2001).

BIBLIOGRAFIA

- American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5° ed. (DSM-5). American Psychiatric Publication.
- Ans, B., Carbonnel, S. & Valdois, S. (1998). A Connectionist Multiple-Trace Memory Model for Polysyllabic Word Reading. *Psychological Review*, 105 (4), 678-723.
- Ashby, J., Rayner, K. & Clifton, C., (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 1065–1086
- Barca, L., Burani, C. & Arduino, L.S., (2002). Word naming times and psycholinguistic norms for Italian nouns, *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 34, 424-434.
- Bavelier, D. & Green, C. S., (2019). Enhancing attentional control: Lessons from action video games. *Neuron*, 104(1), 147–163.
- Beauvois, M.F. & Dérouesné J., (1979). Phonological alexia: three dissociations. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 42(12):1115-24. doi: 10.1136/jnnp.42.12.1115. PMID: 533850; PMCID: PMC490427.
- Bertoni, S., Franceschini, S., Ronconi, L., Gori, S. & Facoetti, A., (2019). Is excessive visual crowding causally linked to developmental dyslexia? *Neuropsychologia*.;130:107-117. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.018. PMID: 31077708.
- Bertoni, S.; Franceschini, S.; Puccio, G.; Mancarella, M.; Gori, S. & Facoetti, A., (2021). Action Video Games Enhance Attentional Control and Phonological Decoding in Children with Developmental Dyslexia. *Brain Sci.*, 11, 171. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020171>
- Bonfiglio, L., Bocci, T., Minichilli, F., Crecchi, A., Barloscio, D., Spina, D.M. & Sartucci, F., (2017). Chromatic and achromatic defective visual pathways in developmental dyslexia: clues for an integrated intervention program. *Restauro. Neurolo. Neurosci.* 35 (1), 11–24. <http://dx.doi.org/10.3233/RNN-160636>
- Bosse, M.L., Tainturier, M.J. & Valdois, S., (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104, 198–230.
- Bradley, L. & Bryant, P. E., (1983). Categorising sounds and learning to read. A causal connection, *«Nature»*, vol. 310, pp. 419-421.
- Brizzolara, D., Gasperini, F. & Mazzotti, S., (2007). Neuropsychological models in developmental dyslexia. *Gior Neuropsich Età Evol*; 27: 229-242
- Burani, C., Marcolini, S. & Stella, G., (2002). How early does morpholexical reading develop in readers of a shallow orthography? *Brain and Language* 81, 568-586.
- Carroll, J.M., Solity, J. & Shapiro, L.R., (2016). Predicting dyslexia using prereading skills: the role of sensorimotor and cognitive abilities. *J. Child Psychol. Psychiatry* 57 (6), 750-758.
- Cheng, A., Eysel, U. & Vidyasagar, T. (2004). The role of the magnocellular pathway in serial deployment of visual attention. *Eur Journal of Neuroscience*, 20: 2188-2192.

- Coltheart, M., Patterson, K. & Marshall, J. C. (Eds.), (1980). *Deep dyslexia*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001) DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud.;108(1):204-56. doi: 10.1037/0033-295x.108.1.204. PMID: 11212628.
- Compton, D.L., DeFries, J.C. & Olson, R.K., (2001). Are RAN and phonological awareness deficits additive in children with reading difficulties? *Dyslexia*, 7:125-149.
- Cornelissen, P., Hansen, P.C., Hutton, J.L., Evangelinou, V., Stein, J.F. (1998). Magnocellular visual function and children's single word reading. *Vision Res*; 38: 471-82.
- 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. Res* 35 (10), 1483–1494. [http://dx.doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)98728-R](http://dx.doi.org/10.1016/0042-6989(95)98728-R).
- Crewther, S.G., Crewther, D.P., Klistorner, A. & Kiely, P.M., (1999). Development of the magnocellular VEP in children: implications for reading disability. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl.*; 49:123-8. PMID: 10533097.
- Curcio, C.A., Allen, K.A., Sloan, K.R., Lerea, C.L., Hurley, J.B., Klock, I.B. & Milam, A.H., (1991). Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin. *J. Comp. Neurol.* 312, 610– 624. doi:10.1002/cne.903120411.
- De Beni R., Cisotto, L. & Carretti, B., (2001) *Psicologia della lettura e della scrittura. L'insegnamento e la riabilitazione*. Edizioni Erickson.
- DeFries, J.C. & Baker, L.A., (1983). Parental contributions to longitudinal stability of cognitive measures in the Colorado Family Reading Study. *Child Dev.* 54(2):388-95. PMID: 6872630.
- Dehaene, S., (2009). *Reading in the brain: The science and evolution of a human invention* (pp. 176-93). New York: Viking.
- Démonet, J. F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J. L., Wise, R. & Frackowiak, R., (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115(6), 1753-1768.
- Downar, J., Crawley, A. P., Mikulis, D. J. & Davis, K. D., (2000). A multimodal cortical network for the detection of changes in the sensory environment. *Nature neuroscience*, 3(3), 277-283.
- Eden, G. F., Stein, J. F., Wood, H. M. & Wood, F. B., (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision research*, 34(10), 1345-1358.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P. & Zeffiro, T. A., (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382: 66-69.
- Eimer, M., (2014). The neural basis of attentional control in visual search. *Trends in cognitive sciences*, 18(10), 526-535.

- Facoetti, A., (2012). Spatial attention disorders in developmental dyslexia: towards the prevention of reading acquisition deficits. In: Stein, J., Kapoula, Z. (Eds.), *Visual Aspects of Dyslexia*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 123–136.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199589814.003.000>.
- Facoetti, A., Corradi, N., Ruffino, M., Gori, S. & Zorzi, M., (2010). Visual spatial attention and speech segmentation are both impaired in preschoolers at familial risk for developmental dyslexia. *Dyslexia*, 16(3), 226-239.
- Facoetti, A., Lorusso, M.L., Paganoni, P., Umilta, C. & Mascetti, G. G., (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Cognitive brain research*, 15(2), 154-164.
- Facoetti, A., Paganoni, P., Turatto, M., Marzola, V. & Mascetti, G.G., (2000). Visual-Spatial Attention in Developmental Dyslexia. *Cortex*, 36, 109–123.
- Finn, E.S., Shen, X., Holahan, J.M., Scheinost, D., Lacadie, C., Papademetris, X., Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A. & Constable, R.T., (2014). Disruption of functional networks in dyslexia: a whole-brain, data-driven analysis of connectivity. *Biol. Psychiat.* 76, 397 – 404. (doi:10.1016/j.biopsych.2013.08.031)
- Focker, J., Cole, D., Birra, A.L. & Bavelier, D., (2018). Neural bases of enhanced attention control: lessons from action video game players. *Brain behavior*, 8, e01019.
- Franceschini, S., Bertoni, S., Giancesini, T., Gori, S. & Facoetti, A., (2017a). A different vision of dyslexia: Local precedence on global perception. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10.
- Franceschini, S., Bertoni, S., Lulli, M., Pievani, T. & Facoetti, A., (2022). Short-term effects of video-games on cognitive enhancement. The role of positive emotions. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1-18.
- Franceschini, S., Bertoni, S., Puccio, G., Mancarella, M., Gori, S. & Facoetti, A., (2020). Local perception impairs the lexical reading route. *Psychol. Res.*, 1–9.
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K. & Facoetti, A., (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current biology*, 22(9), 814-819.
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M. & Facoetti, A., (2013). Action Video Games Make Dyslexic Children Read Better. *Corr. Biol.*, 23, 462-466.
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K. & Gori, S. (2017b). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific reports*, 7(1), 5863.
- Frost, R., Katz, L. & Bentin S. (1987). Strategies for visual word recognition and orthographical depth: A multilingual comparison, «*Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*», vol. 13, pp. 104-115.
- Funnell, E., (1983). Phonological processes in reading: New evidence from acquired dyslexia. *British Journal of psychology*, 74(2), 159-180.
- Gabrieli, J. D., (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325(5938), 280-283.
- Garzia, R.P. & Sesma M. (1993). Vision and reading. *J Optom Vis Dev*; 24: 4-51.

- Gori, S. & Facoetti, A., (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Res.* 99, 78–87.
- Gori, S., Seitz, A.R., Ronconi, L., Franceschini, S. & Facoetti, A., (2016). Multiple Causal Links Between Magnocellular–Dorsal Pathway Deficit and Developmental Dyslexia. *Cerebral Cortex*, Volume 26, Issue 11, 17 October 2016, Pages 4356–4369, <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv206>
- Graves, W.W., Grabowski, T.J., Mehta, S. & Gupta, P., (2008). The left posterior superior temporal gyrus specifically participates in accessing lexical phonology. *J Cogn Neurosci*: 1698-1710.
- Hancock, R., Pugh, K. R., & Hoeft, F. (2017). Neural noise hypothesis of developmental dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 21(6), 434-448.
- Hari, R., & Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 5(12), 525-532.
- Harries, P., Hall, R., Ray, N., Stein, J., Griffiths, P.G., Harries, P. & Stein, J., (2015). Using coloured filters to reduce the symptoms of visual stress in children with reading delay. *Scand. J. Occup. Ther.* 22 (2), 1–8. <http://dx.doi.org/10.3109/11038128.2014.989903>.
- Hill, G.T. & Raymond, J.E., (2002). Deficits of motion transparency perception in adult developmental dyslexics with normal unidirectional motion sensitivity. *Vision. Res.* 42 (9), 1195–1203.
- Hipp, J. F., Engel, A. K. & Siegel, M., (2011). Oscillatory synchronization in large-scale cortical networks predicts perception. *Neuron*, 69(2), 387-396.
- Hornickel, J. & Kraus, N., (2013). Unstable representation of sound: a biological marker of dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 33(8), 3500-3504.
- Jainta, S. & Kapoula, Z., (2011). Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *PloS one*, 6(4), e18694.
- Judica, A., & De Luca, M., (1993). Prova di velocità di lettura brani per la scuola media superiore. Palomar Srl e Arnoldo Mondadori Editore SpA: Milano, Italy.
- Kirkby, J.A., Webster, L.A.D., Blythe, H.I. & Liversedge, S.P., (2008). Binocular coordination during reading and non-reading tasks. *Psychol. Bull.* 134 (5), 742–763. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WY5-4TCTFJT-6/2/6e241d25276fa638618a55c0bc25d716>).
- Kolb, H., Linberg, K.A. & Fisher, S.K., (1992). Neurons of the human retina: a golgi study. *J. Comp. Neurol.* 318 (2), 147–187. <http://dx.doi.org/10.1002/cne.903180204>.
- Kuba, M., Szanyi, J., Gayer, D., Kremlacek, J. & Kubova, Z., (2001). Electrophysiological testing of dyslexia. *Acta Med. (Hrad-. Kral.)* 44 (4), 131–134.
- Kubova, Z., Kuba, M., Peregrin, J. & Novakova, V., (1996). Visual evoked potential evidence for magnocellular system deficit in dyslexia. *Physiol. Res.* 45 (1), 87–89.
- 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. <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2016.00397>.

- Le Floch, A., Henriat, S., Fourage, R. & Ropars, G., (2020): Postural instability in a young dyslexic adult improved. Hebbian pulse-width modulated lighting.
- Le Floch, A. & Ropars, G., (2017). Left- right asymmetry of the Maxwell spot centroids in adults without and with dyslexia. *Proc. R. Soc. B* 284: 20171380.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.1380>
- Livingstone, M.S., Rosen, G.D., Drislane, F.W. & Galaburda, A.M., (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 88, 7943–7947.
- Lovegrove, W., Martin, F., Bowling, A., Blackwood, M., Badcock, D. & Paxton, S., (1982). Contrast sensitivity functions and specific reading disability. *Neuropsychologia* 20 (3), 309–315.
- Lyon G.R., Shaywitz S.E. & Shaywitz B.A., (2003). Defining Dyslexia, Comorbidity. *Teacher's Knowledge of Language and Reading*, «Annals of Dyslexia», vol. 53, pp. 1-14.
- Marshall, J. C. & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of psycholinguistic research*, 2, 175-199.
- Martin, F. & Lovegrove, W., (1987). Flicker contrast sensitivity in normal and specifically disabled readers. *Perception* 16 (2), 215–221.
- Mason, A., Cornelissen, P., Fowler, S. & Stein, J., (1993). Contrast sensitivity, ocular dominance, and specific reading disability. *Clin. Vision* 8 (4), 345–353. <http://nbr.physiol.ox.ac.uk/papers/cvs93.pdf>.
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S. & Vicari, S., (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia* 48 (4), 863–872.
- Ministero della Salute, (2010). *Disturbi specifici dell'apprendimento, Consensus Conference*. Roma: Istituto Superiore di Sanità, Sistema Nazionale per le Linee Guida (SNLG).
- Minucci, P.K. & Connors, M.M., (1964). Reaction time under three viewing conditions: binocular, dominant eye, and nondominant eye. *J. Exp. Psychol. Gen.* 67, 268 – 275.
[doi:10.1037/h0039953](https://doi.org/10.1037/h0039953).
- Morton, J. & Patterson, K.E. (1980). A new attempt at interpretation or an attempt at a new interpretation. In: Coltheart M, Patterson KE, Marshall JC, eds. *Deep Dyslexia*. Londra: Routledge e Keagan Paul.
- Mowforth, P., Mayhew, J.E. & Frisby, J.P., (1981). Convergence eye movements made in response to stereograms of random points filtered by spatial frequency. *Percezione* 10 (3), 299–304.
- Murakami, I. & Cavanagh, P., (2001). Visual jitter: evidence for visual-motion-based compensation of retinal slip due to small eye movements. *Vision. Res.* 41, 173-186.
- Nicolson, R.I. & Fawcett, A.J., (1990). Automaticity: a new framework for dyslexia research? *Cognition* 35, 159-182.

- Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., Berry E.L., Jenkins L.H., Dean P. & Brooks D.J., (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexia adults. *Lancet* 353, 1662-1667.
- Orton, S.T. (1925). World-blindness in school children. *Arch Neurol Psychiatry*; 15: 581-615.
- Pammer, K., Hansen, P., Holliday, I. & Cornelissen, P., (2006). Attentional shifting and the role of the dorsal pathway in visual word recognition. *Neuropsychologia*. 2006;44(14):2926-36. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.028. Epub Sep 1. PMID: 16950456.
- Pammer, K. & Wheatley, C., (2001). Isolating the M(y)-cell response in dyslexia using the spatial frequency doubling illusion. *Vision Res.* ;41(16):2139-47. doi: 10.1016/s0042-6989(01)00092-x. PMID: 11403797.
- Paulesu, E., Frith, C.D. & Frackowiak, R.S., (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*.362(6418):342-5. doi: 10.1038/362342a0. PMID: 8455719.
- Peli, E. & García-Pérez, M.A., (1997). Contrast sensitivity in dyslexia: deficit or artifact? *Optom Vis Sci*;74(12):986-90. doi: 10.1097/00006324-199712000-00017. PMID: 9423988.
- Pennington, B.F. & Gilder, J., (1996). *How is dyslexia transmitted?* MD, York Press, Baltimore.
- Pennington, B.F., (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*. 2006 Sep;101(2):385-413. doi: 10.1016/j.cognition.2006.04.008. Epub. PMID: 16844106.
- Perfetti, C. A. (1985). *Reading ability*. New York, NY: Oxford University Press.
- Perfetti, C. A. (2003). The universal grammar of reading. *Scientific studies of reading*, 7 (1): 3-24.
- Perfetti, C. A. (2007). Reading ability: Lexical quality to comprehension. *Scientific Studies of Reading*, 11, 357–383
- Peters, J.L., De Losa, L., Bavin, E.L. & Crewther, S.G., (2019). Effectiveness of dynamic visual-attentional interventions for reading in dyslexic and neurotypical children: a systematic review. *Neurosci. Bibehav. Rev.* 2019, 100, 58-76.
- Peterson, R.L. & Pennington, B.F., (2012). Developmental dyslexia. *Lancet* 379 (9830), 1997–2007.
- Peterson, R.L. & Pennington, B.F., (2015). Developmental dyslexia, *Pepperendo Clin. Psicol*, 11, 283-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112842>.
- Ramus, F., (2004). Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, 27 (12): 720-726.
- Rayner, K., (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Rodleck, R.W., (1998). *The first steps in seeing*. Sunderland, Massachusetts. Sanauer Associates.

- Romani, A., Conte, S., Callieco, R., Bergamaschi, R., Versino, M., Lanzi, G. & Cosi, V., (2001). Anomalie dei potenziali evocati visivi nei bambini dislessici. *Funz. Neurolo.* 16 (3), 219-229.
- Rombouts, S, Barkhof, F, Sprenger, M, Valk, J. & Scheltens, P., (1996). The functional basis of ocular dominance: functional MRI (fMRI) findings. *Neurosci. Lett.* 221, 1– 4. doi:10.1016/S0304- 3940(96)13260-2.
- Samar, V.J. & Parasnis, I., (2007). Locus corticale dei deficit di movimento coerente nei lettori poveri sordi. *Cervello Cogn.* 63 (3), 226-239.
- Sauver, J.L.S, Katusic, S.K., Barbaresi, W.J., Colligan, R.C. & Jacobsen, S.J., (2001). Boy/girl differences in risk for reading disability: potential clues?. *American Journal of Epidemiology*, 154, 9: 787-794.
- Scheuerpflug, P., Plume, E., Vetter, V., Schulte-Koerne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Warnke, A., (2004). Visual information processing in dyslexia children. *Clinico neurofisio.* 115 (1), 90-96.
- Schulte-Korne, G., Bartling, J., Deimel, W. & Remschmidt, H., (2004). Motion-onset VEPs in dyslexia. Evidence for visual perceptual deficit. *Neuroreport* 15 (6), 1075-1078.
- Shaywitz, S.E., Fletcher, J M., Holahan, J.M., Shneider, A.E., Marchione, K.E., Stuebing, K.K. & Shaywitz, B.A., (1999). Persistence of dyslexia: The Connecticut longitudinal study at adolescence. *Pediatrics*, 104(6), 1351-1359.
- Singleton, C. & Henderson, L.M.M, (2007). Screening computerizzato per lo stress visivo nei bambini con dislessia. *Dislessia* 13 (2), 130-151. <http://dx.doi.org/10.1002/dys.329>.
- Singleton, C. & Trotter, S., (2005). Visual stress in adults with and without dyslexia. *J. Ris. Leggere.* 28 (3), 365-378. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00275>.
- Slaghuis, W.L. & Ryan, J.F., (1999). Spatio-temporal contrast sensitivity, coherent motion, and visible persistence in developmental dyslexia. *Visione. Ris.* 39 (3), 651-668.
- Snowling, M. J., (2001). From language to reading to dyslexia. *Dyslexia*, 7: 37-46.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Béchennec, D. & Serniclaes, W., (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *Journal of experimental child psychology*, 84(3), 194-217.
- Stanley, G. & Hall, R., (1973). Short-term visual information processing in dyslexics. *Child Development*, 44(4), 841-844.
- Stein, J., (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36.
- Stein, J., (2014) Dyslexia: the role of vision and visual attention. *Corr. Dev. Disordine. Rep.*, 1, 267–280.
- Stein, J., Richardson, A.J., & Fowler, M.S., (2000a). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain*, 123, 164-170.
- Stein, J., Talcott, J. & Walsh, V., (2000b). Controversy about the visual magnocellular deficit in development dyslexics. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4 n°6, 209-211.

- Stein, J. & Walsh, V., (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*; 20(4):147-52. Doi: 10.1016/s0166-2236(96)01005-3. PMID: 9106353.
- Stella, G., Faggella M. & Tressoldi P., (2001), La dislessia evolutiva lungo l'arco della scolarità obbligatoria. *Psichiatria dell'Infanzia e dell'Adolescenza*, 68, pp. 27-42.
- Tallal, P., (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and language*, 9(2), 182-198.
- Tressoldi, P.E., Stella, G. & Faggella, M., (2001). The development of reading speed in Italians with dyslexia: A longitudinal study, "Journal of Learning Disabilities", vol. 34, n.5, pp. 67-78.
- Ungerleider, L. G. & Mishkin F.S., (1982). Two cortical visual systems. Analysis of visual behavior, 549, chapter-18.
- Vellutino, F.R., Fletcher, J.M., Snowling, M.J. & Scanlon, D.M., (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *J. Child Psychol. Psychiatry* 45 (1), 2–40.
- Vidyasagar, T. R., (2013). Reading into neuronal oscillations in the visual system: implications for developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 811.
- Vidyasagar, T.R., (1999). A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Res. Rev.* 30, 66–76. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(99\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(99)00005-3).
- Vidyasagar, T.R. & Pammer, K., (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends Cogn. Sci. (Regul. Ed.)* 14 (2), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>.
- Williams, M.J., Stuart, G.W., Castles, A. & McAnally, K.I., (2003). Contrast sensitivity in subgroups of developmental dyslexia. *Vision. Res* 43 (4), 467–477.
- Wolf, M., Goldberg, O'Rourke, A., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P. & Morris, R., (2002). The second deficit: an investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in development dyslexia. *Reading and Writing*, 15:43-72.
- World Health Organization. (2007). ICD-10. International statistical classification of disease and health related problems (10th revision). <http://www.who.int/classifications/icd/en/>.
- World Health Organization. (2022). ICD-11: International classification of diseases (11th revision). <https://icd.who.int/>.