

Binocularità e velocità di lettura

Mario Lecce

Dopo la pubblicazione degli articoli di Pavlidis (1981; 1983; 1985), i ricercatori hanno concluso che era possibile escludere un'influenza dell'oculomotricità sulla performance di lettura del soggetto dislessico. Negli anni Ottanta, i suddetti studi sono stati però effettuati utilizzando strumenti che rilevavano i movimenti di un solo occhio. Questo articolo presenta una rassegna critica di studi recenti che fanno uso di tecniche binoculari di rilevazione dei movimenti oculari durante la lettura. L'autore vuole evidenziare l'influenza della binocularità e della Disparità Dinamica delle Vergenze (DDV) come fenomeno della coordinazione binoculare delle saccades sui tempi di lettura e, in particolare, sui tempi di fissazione. Sarà approfondita la scoperta, nel normolettore, della relazione diretta tra i tempi di fissazione e la durata dell'assestamento delle vergenze al termine della saccade. Data la consistente influenza dei tempi di fissazione sulla velocità di lettura, si considera quindi opportuno valutare le componenti binoculari dinamiche nell'ambito della valutazione generale del soggetto dislessico.

Parole chiave: saccade, Disparità Dinamica delle Vergenze, binocularità, Reading Eye Movements, fissazione.

BINOCULAR VISION AND READING SPEED

Summary

After the publication of some articles by Pavlidis (1981; 1983; 1985), researchers concluded that it is possible to rule out an influence of ocular motility on the dyslexic individual's reading performance. This article presents a critical review of recent studies that use binocular recording techniques of reading

eye movements. The author wants to stress the influence of binocularity and Dynamic convergence Disparity (DVD) as a binocular coordination phenomenon of saccades on reading rate and, particularly, on fixation time. The discovery, in normal readers, of the direct relation between fixation durations and convergence settling durations done at the end of a saccade will be discussed in depth. Based on the substantial influence of fixation time on reading rate, it is considered an advisable practice to evaluate binocular dynamic components during the dyslexic individual's general assessment.

Keywords: saccade, Convergence Dynamic Disparity, binocularity, Reading Eye Movements, fixation.

Introduzione

Lo studio dei movimenti oculari di lettura di normolettori e dislessici in passato ha sempre utilizzato metodi di rilevazione monoculare (di un solo occhio). Quando Pavlidis (1981; 1983; 1985) credette di trovare un metodo di misurazione capace di differenziare i dislessici dai normolettori, utilizzò tecniche monoculari e così fecero anche i suoi detrattori (Stanley et al., 1983; Brown et al., 1983; Olson et al., 1983).

La diatriba tra le due fazioni di interpreti dei REMs (Reading Eye Movements – Movimenti oculari di lettura), quella «oculomotoria» (rappresentata dal solo Pavlidis) e quella «linguistica» (costituita da una folta schiera di ricercatori), si concluse quando intervenne una voce autorevole (Rayner, 1985) che pose termine alla disputa.

Di fatto questo contributo costituì, per le ricerche successive, un ostacolo all'interpretazione dei REMs nei loro contenuti puramente oculomotori e invece favorì considerevolmente la loro interpretazione alla luce del «task set» (compito inizialmente stabilito) tipico della lettura, ovvero l'acquisizione e l'elaborazione di informazioni linguistiche (per l'importanza del task set nella determinazione della strategia esplorativa dei movimenti oculari si veda Yarus, 1967). Questa impostazione è rimasta prevalente fino ai nostri giorni, con la costruzione di modelli dei REMs nei quali l'elaborazione delle informazioni linguistiche riveste un ruolo primario soprattutto nel determinare la tempistica della lettura e, in particolare, la durata delle fissazioni¹ (si veda Modello EZ-Reader 7, Reichle et al., 2003). Anche se voci autorevoli hanno obiettato che considerare i REMs a questa stregua comporta il rischio di considerare l'intero processo di lettura come una «forma surrogata dell'ascolto» (Kennedy, 2003), solo di recente si sono sollevati i primi dubbi sulla possibilità che l'oculomotricità influenzi, anche grossolanamente, i tempi di fissazione e, di conseguenza, la velocità di lettura (Lecce, 2008). Ciò è avvenuto grazie soprattutto al perfezionamento di mezzi tecnologici di misurazione che, a differenza di quanto avveniva in passato, ha reso possibile valutare i REMs binoculari.²

¹ La «fissazione» è il processo, la condizione o l'atto di dirigere e mantenere gli occhi verso uno specifico e ben definito punto dello spazio, che nei soggetti normali porta l'immagine del punto esattamente al centro della fovea.

² Per una definizione di binocularità si veda oltre.

Binocularità e Teoria Magnocellulare

Per *binocularità* (sinonimo di visione binoculare) si intende sia la coordinazione motoria degli occhi, sia l'unificazione sensoriale delle due immagini retiniche in un singolo *percepto fuso*, con caratteristiche tridimensionali; la distinzione delle componenti sensoriali da quelle motorie è spesso artificiosa.

Nel settore della ricerca sulla dislessia, i sostenitori della Teoria Magnocellulare (Stein e Fowler, 1981; Lovegrove, 1991) hanno a più riprese sostenuto l'idea che l'effetto «lettere vaganti», spesso riferito da soggetti dislessici, fosse dovuto a una instabilità della coordinazione binoculare (Stein e Fowler, 1993). Altri autori di diverso orientamento hanno in seguito smentito questa interpretazione (Cornelissen et al., 1993; Evans et al., 1994; 1996). Stein e collaboratori (2000) hanno pubblicato uno studio che sembrerebbe dimostrare la presenza di binocularità instabile nei soggetti con DE (dislessia evolutiva): l'occlusione del solo occhio sinistro nel gruppo sperimentale ha mostrato significativi miglioramenti delle abilità di lettura rispetto al gruppo di controllo. Anche se in proposito esistono alcuni dubbi metodologici (scelta del campione e sua ripartizione tra gruppo di controllo e sperimentale) e teorici (difficile connessione con le tesi della teoria Magnocellulare, dubbio costruito della dominanza oculare), il risultato di questo lavoro rimane un interessante punto di riferimento. Dobbiamo sottolineare che, tanto questo studio quanto i precedenti, hanno utilizzato *una concezione statica di binocularità ovvero priva di spostamenti di fissazione* (le saccades di cui parleremo in seguito).

Allineamento statico e dinamico

La *disparità di fissazione* (DF) – nella sua accezione motoria – può essere definita come errore di accuratezza nell'allineamento degli assi visivi:³ le immagini del medesimo oggetto, fissate da entrambi gli occhi, stimolano punti retinici non esattamente corrispondenti ma che ricadono entro l'area di Panum,⁴ cosicché l'oggetto viene percepito come singolo (figura 1). In realtà la DF spesso non è l'errore di allineamento di un solo occhio rispetto alla mira fissata; l'occhio deviante può non essere sempre lo stesso e soprattutto la DF può essere frutto del mancato allineamento di entrambi gli occhi.

L'«area di Panum» è un'area di «tolleranza» presente nella retina di un occhio (ad

³ L'asse visivo è la linea ideale che connette la fovea con il punto di fissazione, passando per i punti nodali dell'occhio.

⁴ Si veda oltre.

⁵ Fissazioni in cui gli assi visivi si incrociano prima del piano di lettura (e più vicino al viso).

⁶ Fissazioni in cui gli assi visivi si incrociano dopo del piano di lettura (e più lontano dal viso).

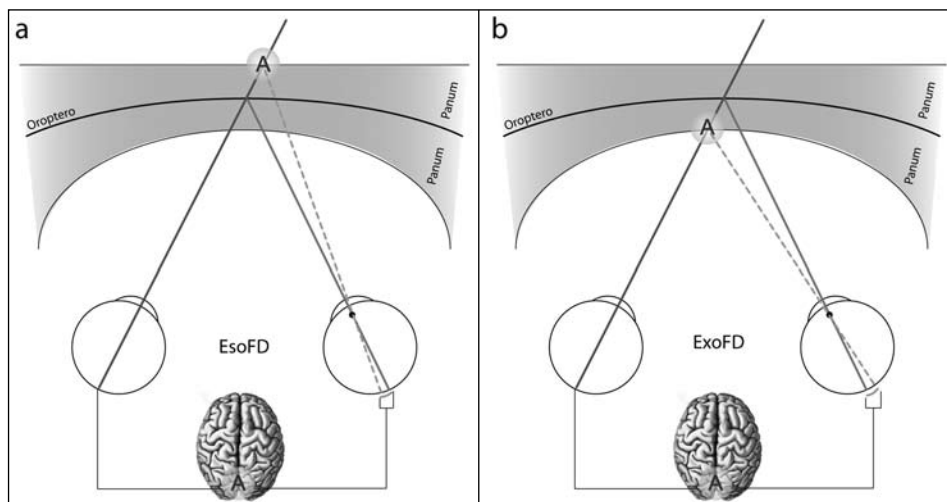


Fig. 1 Rappresentazione della FD come fenomeno prevalentemente motorio (lag di allineamento): a) caso di esodisparità:⁵ la lettera A rappresenta la lettera di testo che il soggetto «vuole» fissare, mentre allinea gli assi visivi in un locus più prossimo al proprio viso e più a sinistra. In questo modo la A si viene a trovare al limite distale estremo dell'area di Panum e viene ancora percepita come singola; b) caso di exodisparità:⁶ questa volta il soggetto allinea gli occhi più lontano e più a destra rispetto alla lettera target, pur mantenendo il percepito fuso.

esempio dell'occhio destro, OD) nella quale qualsiasi punto venga stimolato contemporaneamente a un singolo specifico punto della retina dell'altro occhio (ad esempio dell'occhio sinistro, OS), darà origine a un *percepto singolo fuso*.⁷

La disparità di fissazione è un fenomeno misurato in condizioni statiche;⁸ nella lettura intervengono però notevoli e importanti elementi dinamici. Tra questi, i più consistenti sono:

- le *vergenze fusionali*, ovvero il movimento in senso opposto (disgiunto) degli occhi che viene abitualmente utilizzato per ottenere il miglior allineamento possibile (con errore minimizzato) degli assi visivi, al fine di localizzare correttamente l'oggetto nello spazio, vederlo singolo e nitido (evitando la diplopia⁹ o la confusione)¹⁰ ed estrarne le caratteristiche tridimensionali. Ad esempio, quando lo scolaro sposta lo sguardo dal quaderno alla lavagna, gli occhi divergono (si spostano verso le tempie) perché la lavagna è più lontana; passando invece dalla lavagna al quaderno, gli occhi convergono (si spostano

⁷ Per ulteriori informazioni sull'area di Panum si vedano Ogle, 1964; Mitchell, 1966; Woo, 1974; Schor et al., 1989.

⁸ Clinicamente, il soggetto fissa una mira centrale di fronte a lui a una distanza stabilita e osservata binocularmente, mentre si misura l'errore di allineamento percepito tra 2 mire polarizzate (una vista solo dall'OD e l'altra solo dall'OS), solitamente disposte una sopra e l'altra sotto il punto fissazione.

⁹ La condizione in cui un singolo oggetto viene percepito come doppio (visione doppia).

¹⁰ Fenomeno per cui 2 oggetti, posti in luoghi differenti nello spazio, vengono percepiti completamente o parzialmente sovrapposti (come se avessero la medesima localizzazione spaziale).

verso il naso). Innumerevoli studi sono stati condotti sulla coordinazione binoculare in assenza di spostamenti di sguardo (allineamento statico), valutando parametri quali ampiezza, flessibilità, accuratezza, resistenza nel tempo (stamina) e adattamento delle vergenze fusionali;

- le *saccades*, ovvero rapidi spostamenti della fissazione degli occhi da un punto dello spazio a un'altro, finalizzati a porre una nuova immagine sulla fovea (foveazione); nel corso della lettura vengono usati per spostare la fissazione da una sillaba all'altra, al fine di ottenere le informazioni visive essenziali per la decodifica del testo. Nel contesto della lettura di una singola riga di testo, le saccades hanno un'ampiezza che va da 0,5 a 1,5 gradi circa (Steinman, 2004) e una durata di 20-50 msec.

Nel corso della lettura, saccades e vergenze devono costantemente coordinarsi e ricalibrarsi. Tutte le volte che il lettore (normale e adulto) sposta gli occhi sulla parola successiva, sono infatti necessarie correzioni e aggiustamenti, perché raramente il termine della saccade (detto «atterraggio») corrisponde con un perfetto allineamento di entrambi gli occhi sulla stessa lettera della medesima parola.

Nella lettura è stata verificata la presenza di 2 tipi di movimento disgiunto (in senso opposto) degli occhi che partecipano alla formazione del suddetto errore: una *disgiunzione saccadica*, che si verifica quando, nel corso del movimento saccadico, i due occhi non si spostano alla stessa velocità e gli assi visivi tendono a incrociarsi prima o dopo il piano di lettura, e una *disgiunzione post-saccadica*, che si verifica dopo l'atterraggio della saccade sulla nuova parola; è il movimento in senso opposto (in convergenza o in divergenza) di un solo occhio o di entrambi, fino a raggiungimento della medesima lettera. Mentre la disgiunzione saccadica, verificandosi nel corso del movimento saccadico, non è *time consuming* (non comporta costi in termini di tempistica di esecuzione), la disgiunzione post-saccadica potrebbe esserlo in modo significativo, perché si verifica nel corso del tempo di fissazione della parola. La nostra ipotesi è che quanto maggiore saranno l'errore di allineamento all'atterraggio della saccade e il tempo di assestamento del movimento disgiunto post-saccadico, tanto più consistenti saranno la possibilità di confusione, la difficoltà visuoperceptiva indotta e il conseguente prolungamento dei tempi di fissazione (figura 2).

Disparità Dinamica delle Vergenze in adulti e bambini

Il fenomeno della disgiunzione saccadica e di quella post-saccadica è stato in vario modo denominato, ma l'etichetta prevalentemente utilizzata è Disparità Dinamica delle Vergenze (DDV) (figura 2). I primi studi sulla DDV risalgono al 1986, quando Kapoula et al. (1986) ipotizzarono una sorta di *stereotipia* di questo movimento saccadico asimmetrico, per la quale:

- nel corso della saccade gli occhi divergerebbero (disgiunzione saccadica divergente) (figura 2D);

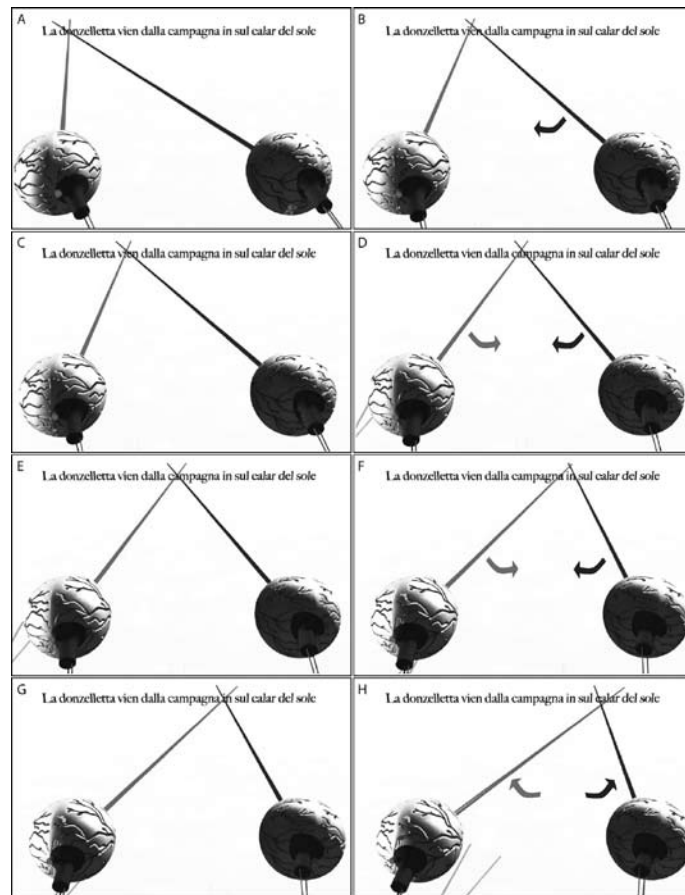


Fig. 2 Esempi di disparità dinamica delle vergenze (o disparità di fissazione dinamica). A. Fissazione di partenza con assi visivi, rappresentati in rosso per l'occhio sinistro (OS) e in blu per l'occhio destro (OD), perfettamente allineati sulla lettera «o» della prima parola. B. 2ª Fissazione: ipotesi di exodisparità dinamica del solo OD. La lettera target¹¹ «i» viene correttamente centrata dall'asse visivo dell'OS, mentre la saccade dell'OD atterra in posizione tempiale (exodisparità) con un errore di circa 1,5 caratteri. La freccia indica il senso del movimento di vergenza (positivo) compensativo della disparità. C. Termine della fissazione sulla parola «vien». Il movimento di vergenza ha ridotto la disparità ma non l'ha annullata completamente (errore ≈ 1,1 caratteri). D. 3ª Fissazione: ipotesi di exodisparità di entrambi gli occhi. La lettera target è la «a». La divergenza verificatasi nel corso della saccade (disgiunzione saccadica divergente) è il fenomeno più frequente nell'adulto normolettore (Kapoula et al., 1980; Colwijn et al., 1988; 1997). E. Termine della fissazione sulla parola «campagna». Errore di allineamento di ≈ 1 carattere (per un'analisi delle componenti del movimento di vergenza compensativo, si veda il testo). F. 4ª Fissazione: altro esempio di exodisparità. G. Caso di compensazione completa della exodisparità, con allineamento esatto sulla «i». H. 5ª Fissazione: ipotesi di esodisparità dinamica (entrambi gli occhi in posizione eccessivamente nasale); le frecce indicano l'innesco delle vergenze fusionali negative.

– all'atterraggio della saccade binoculare, l'occhio sinistro (l'occhio adducente — che cioè si è spostato nella direzione del naso durante la saccade) eseguirebbe un piccolo slittamento (drift) verso il naso per avvicinare il proprio asse visivo a quello dell'occhio destro il quale, a sua volta, eseguirebbe invece una piccola saccade correttiva indietro (verso sinistra) con latenza zero (figura 2E).¹²

Collewijn et al. (1988) hanno confermato l'ipotesi che gli occhi divergono nel corso della saccade, specificando poi (1997) che negli adulti questa «disgiunzione» delle saccadi è nettamente più marcata nell'osservazione ravvicinata.

Riguardo gli aspetti evolutivi della disparità dinamica, Fioravanti et al. (1995) hanno osservato che la coordinazione binoculare delle saccades è particolarmente scarsa nei bambini e raggiunge i livelli degli adulti solo attorno ai 10-12 anni. Al contrario di questi ultimi, che mostrano stereotipatamente una disgiunzione delle saccades di tipo divergente (entrambi gli occhi verso le tempie), compensata dopo l'atterraggio, i bambini evidenziano una certa variabilità di segno (convergente o divergente).

Lo studio che a questo proposito ha più valore per la lettura, avendo analizzato i movimenti oculari alla distanza di 40 cm in bambini dai 4 ai 12 anni e negli adulti, è quello di Yang e Kapoula (2003). I risultati hanno evidenziato che la disgiunzione delle saccadi è più ampia durante la visione a distanza ravvicinata rispetto alla visione a distanza remota. L'ampiezza del drift post-saccadico e della disgiunzione saccadica tende inoltre a essere maggiore nei bambini. I parametri che descrivono la coordinazione binoculare (disgiunzione saccadica e drift post-saccadico) mostrano uno sviluppo sostanziale, con forti miglioramenti dai 4-6 anni ai 7-8 anni, fino ad arrivare alla performance adulta attorno ai 10-12 anni; l'ipotesi degli autori è che il controllo motorio binoculare fine, come quello richiesto dalla lettura, si sviluppi attraverso un apprendimento basato sull'interazione tra sistema saccadico e sistema delle vergenze.

Gli studi sopra citati hanno tutti utilizzato LED¹³ luminosi come target delle saccades. Per verificare eventuali differenze di controllo binoculare tra saccades rivolte verso LED e saccades rivolte verso parole, Bucci e Kapoula (2006) hanno usato il paradigma della lettura della singola parola e della saccade verso target-LED. Confrontando i risultati dei due tipi di misurazione, hanno riscontrato una sostanziale concordanza tra i problemi di controllo motorio binoculare espressi nelle due modalità di esecuzione della saccade, sia per gli adulti che per un gruppo di bambini di 7 anni.

Per ciò che riguarda le saccades eseguite in ambiente-testo, lo studio di Liversedge et al. (2006), prendendo le mosse da un precedente studio di Heller e Radach (1999), si è proposto di valutare il numero di lettere di disparità di fissazione nel lettore adulto normale. Anche se gli elementi ecologici del paradigma utilizzato in questo studio potrebbero essere discutibili (distanza dal monitor di 85 cm, testo bianco su sfondo nero, testa e mandibola

¹² La latenza saccadica (o «tempo di reazione») si riferisce al tempo che intercorre dall'insorgenza di uno spostamento imprevedibile del target fissato all'inizio del movimento oculare saccadico, avviato per riportare la fovea in corrispondenza del target dislocato.

¹³ Light Emitting Diode (mira puntiforme luminosa).

¹¹ Il target, in questo articolo, viene usato prevalentemente nell'accezione di «obiettivo finale della futura fissazione stabile» anche se, in alcuni casi, è inteso semplicemente come «mira di fissazione».

a immobilizzati con mentoniera e poggia-fronte),¹⁴ è importante ciò che gli autori sono giunti a stabilire: «La disparità di fissazione maggiore di un carattere si verifica nel 47% delle fissazioni. La grandezza media della disparità, misurata al termine della fissazione, era di 1,1 caratteri. Per il 47% delle fissazioni non allineate, la grandezza media della disparità era di 1,9 caratteri».

Dominanza oculare e lettura

Nonostante la rilevanza di tale disparità, i soggetti dello studio (Liversedge et al., 2006) non lamentavano diplopia (visione doppia/confusa). Ciò può essere spiegato solo in due modi: 1) soppressione¹⁵ di uno dei due input oculari (figura 3); 2) fusione in un percetto unificato, in uno stadio di elaborazione visiva precoce, grazie alle tolleranze dell'area di Panum (figura 1).

Nel contesto del dubbio dominanza-soppressione/fusione, Liversedge et al. (2006) hanno adottato il paradigma sperimentale della visione dicotica (figura 4). Ai soggetti veniva presentata, a monitor, una frase all'interno della quale si trovava una parola composta («cowboy») che era il target saccadico critico, su cui veniva misurata la metrica saccadica e la durata della fissazione (figura 4). Il tipo di presentazione poteva essere congrua (quasi-ortopica, figura 4C), incongrua (quasi-chiastopica, figura 4D) oppure identica (fusione di 2° grado completa, figura 4B). Nel caso della presentazione congrua, l'OS vedeva solo la parte sinistra della parola («cowb») e l'OD solo la parte destra («wboy»), grazie a un meccanismo di alternanza della presentazione (ogni 8 ms) ottenuto utilizzando occhiali speciali e un software sincronizzato. Nella presentazione incongrua avveniva il contrario (l'OD vedeva la parte sinistra «cowb» e l'OS la parte destra «wboy»). Le lettere centrali della parola («wb») costituivano un indizio fusionale minimo, centrale, utile ad ancorare le due metà-parola sul piano verticale. Infine, nella presentazione identica (di controllo), entrambi gli occhi osservavano l'intera parola («cowboy»).

Se fosse reale l'ipotesi della soppressione, la metrica della saccade sarebbe risultata completamente alterata perché, sulla base delle conoscenze sul punto di atterraggio preferenziale monoculare, l'occhio fissante avrebbe mostrato un atterraggio della saccade poco prima della metà della semiparola (approssimativamente sulla «o» di «cowb» se fosse soppresso l'OD, oppure sulla «b» di «wboy» se fosse soppresso l'OS).

¹⁴ Riguardo ai criteri ecologici utili a progettare un paradigma sperimentale corretto, la distanza di lettura è certamente il meno rispettato in letteratura. Sebbene sia forte la tentazione di indicare una distanza di lettura immutabile e standardizzata (i canonici 40 cm), studi recenti (Rosenfield et al., 2001) hanno dimostrato la necessità di modificare questo standard verso valori di 27-30 cm. Inoltre Yang e Kapoula (2003) hanno evidenziato l'accrescersi delle difficoltà di coordinazione binoculare al ridursi della distanza di osservazione, in particolar modo nei bambini.

¹⁵ È la mancanza o incapacità di percepire oggetti, normalmente visibili, in tutto o in parte del campo visivo di un occhio; è una condizione che si verifica solo durante la stimolazione di entrambi gli occhi ed è attribuita a inibizione corticale.

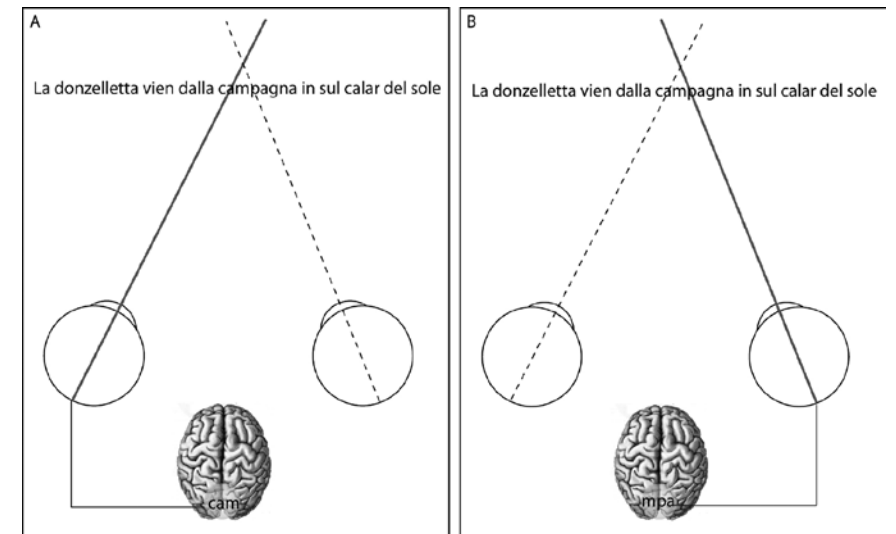


Fig. 3 Ipotesi della soppressione di uno dei due occhi nel corso della disparità. Linea continua = asse visivo dell'occhio non-soppresso; linea tratteggiata = asse visivo dell'occhio soppresso. A: exodisparità con soppressione dell'OD; B: exodisparità con soppressione dell'OS. Sono stati omessi per brevità i casi di esodisparità. Si noti che, in relazione a quale dei due occhi sia il non-soppresso, cambia la porzione di parola acquisita.

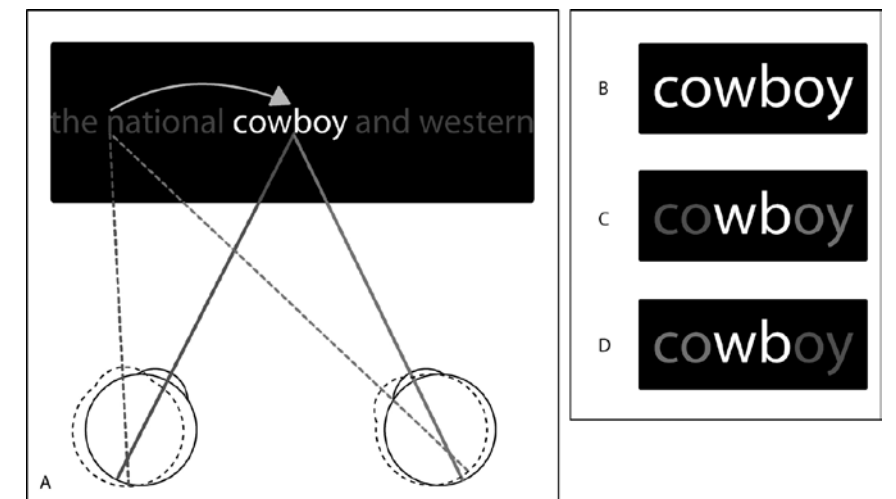


Fig. 4 A: esperimento di Liversedge et al. (2006). La parola «cowboy» è stata evidenziata come locus delle misurazioni dello sbarco della saccade e dei tempi di fissazione, ma nell'esperimento appariva esattamente identica alle altre parole. Essa poteva: essere vista nella sua interezza da entrambi gli occhi (B); essere osservata in presentazione congrua (C) con OS che vede «cowb» e OD che vede «wboy»; essere osservata in presentazione incongrua (D) con OS che vede «wboy» e OD che vede «cowb».

a

I risultati, oltre a riconfermare la prevalenza dell'exodisparità di fissazione (si veda la nota 6) in tutti i tipi di presentazione, hanno evidenziato quanto segue.

1. Non esiste sostanziale alterazione della metrica saccadica (cioè della determinazione del sito di atterraggio della saccade) indotta dalle condizioni congrua e incongrua. Da ciò derivano due conseguenze:
 - a) il meccanismo di fissazione è quello della fusione binoculare e non quello della soppressione;
 - b) gli autori hanno «salvato» decenni di studi monoculari sulla metrica saccadica,¹⁶ escludendo l'influenza della dominanza sul sito di sbarco della saccade (di un'occhio o dell'altro) e rivalutando così l'influenza delle componenti cognitivo/linguistiche sul DOVE (atterrerà la saccade).¹⁷
2. I tempi di fissazione della parola critica aumentano progressivamente dal più breve nella condizione di controllo (entrambi gli occhi vedono «cowboy») al più lungo nella condizione incongrua (OD vede «cow» e OS vede «wboy»).

Questo studio segna un punto di svolta, perché nessuno dei modelli di controllo e studio dei movimenti oculari effettuati nel corso della lettura (esistenti fino al 2006) aveva tenuto conto della binocularità e della sua influenza sulla lettura. Ma è ancor più importante per un'altra ragione, non ancora evidenziata col dovuto peso.

Disparità Dinamica e il problema del QUANDO

Tutti gli studi che hanno analizzato i movimenti oculari durante la lettura *misurando i movimenti di un solo occhio*, non hanno tenuto conto:

- del differente sito di atterraggio dei due occhi;
- del tempo di assestamento delle vergenze, che parte dal termine della saccade e si protrae anche oltre 100 ms in maniera variabile da soggetto a soggetto;
- della conseguente differenza tra i 2 luoghi di fissazione all'atterraggio della saccade e i due luoghi esistenti al termine della fissazione (Heller e Radach, 1999; si vedano i relativi esempi in figura 5).

In particolare, nello studio di Liversedge et al. (2006), che utilizzava caratteri che sottendevano un angolo di 0,29°, la dimensione media del movimento durante una fissazione era di 0,3 caratteri sia per l'OS (SD = 0,3) che per l'OD (SD = 0,4). Lo studio in questione ha accertato anche che *i movimenti di vergenza sistematici, misurati durante le fissazioni, erano indirizzati alla riduzione della disparità (crociata o non)*:¹⁸ nel 52 %

¹⁶ Per una recensione sugli studi monoculari si vedano Reichle et al., 2003; Rayner, 1998.

¹⁷ Nonostante questo aspetto abbia particolare importanza, non verrà ulteriormente approfondito in questo articolo.

¹⁸ Per ciò che riguarda il grado di precisione delle rilevazioni di questo studio, gli autori hanno utilizzato il Dual Purkinje Image Eyetracker, uno strumento a infrarossi con risoluzione temporale di 1 msec e risoluzione spaziale minore di 10 minuti d'arco, con frequenza di campionamento pari a ciascun millisecondo.

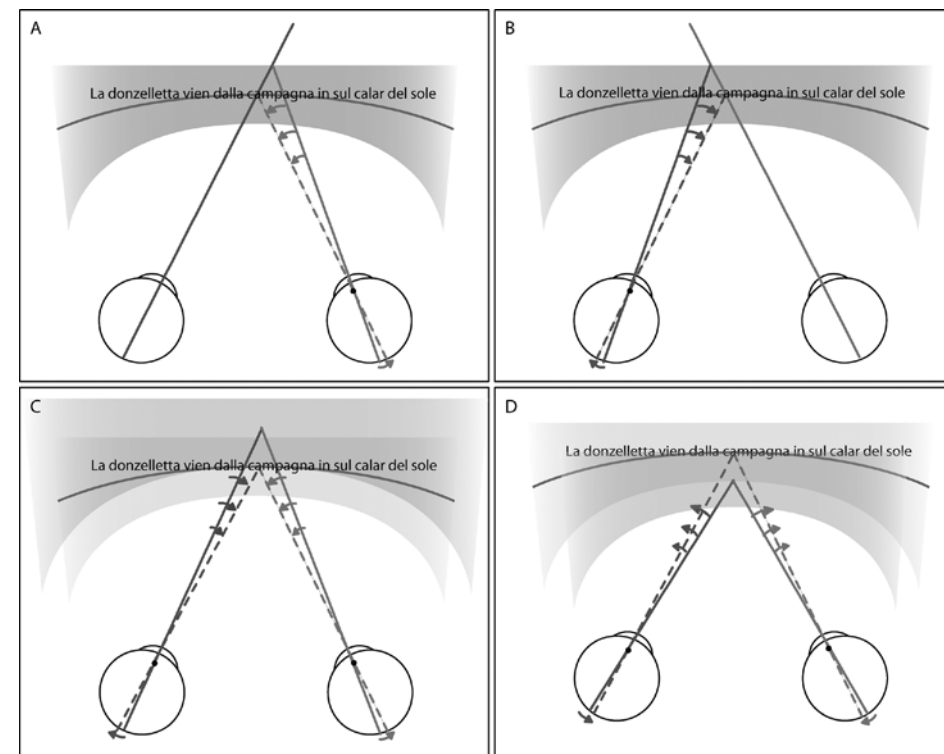


Fig. 5 Esempi di movimenti di vergenza compensativi della FD. Riga sinistra = asse visivo dell'OD; riga destra = asse visivo dell'OS; righe tratteggiate = punto d'arrivo ideale di esatto allineamento sulla lettera target (prima «a» di «campagna»); frecce = senso del movimento compensativo della disparità. A: Exo disparità dell'OD; B: Exodisparità dell'OS; C: Exodisparità bilaterale. In questo grafico e nel successivo è stata rappresentata l'area di Panum di sbarco della saccade in grigio scuro, e l'area di Panum «target» dei movimenti bilaterali di vergenza in grigio chiaro (t = 1, assi visivi tratteggiate). La linea sinistra continua e la linea destra continua sono gli assi visivi al tempo t = 0. La prima lettera «a» di «campagna» (lettera target) è al centro dell'oroptero dell'area di arrivo (grigio chiara) mentre si trova ai limiti inferiori dell'area grigio scura; D: Esodisparità bilaterale. La lettera «a» target di arrivo delle vergenze è al centro dell'oroptero dell'area di arrivo (grigio chiara) mentre si trova ai limiti superiori dell'area grigio scura. Questi esempi sono puramente indicativi, dato che nella realtà le FD non arrivano sempre a questi estremi e ciascun occhio contribuisce, spesso in modo diseguale, sia alla disparità iniziale che al movimento di vergenza compensativo.

delle fissazioni si trattava di movimenti di convergenza, nel 25% di divergenza, nel 13% di drifts monoculari e solo il 10% era costituito da fissazioni stabili (figura 5).¹⁹ Ciò conduce a 2 conseguenze importanti:

¹⁹ A questo proposito è importante sottolineare che la disparità di fissazione (FD) secondo alcuni autori (Schor et al., 1986) rappresenta uno «scarto sistematico» (lag) utile come stimolo per il completamento dell'innervazione in decadimento delle vergenze: semplificando, un errore sistematico capace di stimolare il sistema visivo a rilocalizzare correttamente gli assi visivi.

a

- secondo Liversedge et al. (2006), non considerare gli elementi attribuibili alla coordinazione binoculare può aver introdotto, negli studi monoculari, un bias (errore sistematico) dovuto alla possibile confusione dei movimenti di vergenza post-attezzamento con drift monoculari;
- *la funzione di questi movimenti è quella di ridurre una disparità «inconsapevolmente percepita» come rumore/disturbo dal sistema visivo.* Questa affermazione ha ricevuto ulteriori verifiche in due lavori pubblicati in seguito:
 - a) uno studio progettato per verificare l'esistenza di una relazione tra maggior disparità binoculare e minor frequenza delle parole utilizzate, sia negli adulti che nei bambini (Blythe et al., 2006): il risultato è stato che non esiste alcuna relazione tra le due variabili. Questa evidenza sembra confutare l'ipotesi opposta alla nostra, ossia che la disparità (o il tempo di assestamento delle vergenze) aumenta con l'aumentare delle difficoltà di decodifica. Nello stesso studio è risultato che la coordinazione binoculare è meno efficace e matura nei bambini (che mostrano maggiori fissazioni crociate) e più controllata negli adulti, nei quali è più orientata verso la exodisparità (divergenza eccessiva rispetto al target);
 - b) Juhasz et al. (2006) hanno dimostrato che sia i fattori linguistici (frequenza della parola) sia i fattori visivi (alternanza di MAIUSCOLO-minuscolo, ad esempio AITeR-nAtInG cAsE) non producono alterazioni dell'ampiezza della disparità di fissazione. Quindi solo gli elementi oculomotori di saccades e vergenze determinano l'ampiezza della disparità e, probabilmente, anche i suoi tempi di riduzione tramite movimenti fusionali.

È opportuno anche aggiungere che, sul versante della ricerca in tema di binocularità condotta in «ambiente astratto» (movimenti oculari non finalizzati all'estrazione di informazioni di qualsiasi tipo), sono molteplici i contributi che evidenziano una marcata dipendenza della disparità di fissazione da fattori puramente oculomotori (si veda tra gli altri Jaschinski et al., 2008).

Date queste premesse, pare logico porsi alcune questioni:

- *Vista la presenza della DDV, qual è il target della saccade binoculare?* A questa domanda possiamo rispondere solo in modo estremamente approssimativo; vista la soluzione al problema dominanza-soppressione/fusione cui sono pervenuti gli stessi autori (che esclude la presenza di soppressione e avvalorata quella della fusione delle due immagini), si potrebbe pensare a diversi possibili target: il punto medio della disparità iniziale, il punto medio della disparità finale, il punto medio rilevato in un tempo intermedio oppure una specie di «area binoculare probabile».
- *Qual è l'influenza specifica di questo «disturbo percepito» sull'acquisizione delle informazioni visive necessarie alla lettura?* E, di conseguenza, *l'atto di estrazione delle informazioni visive a scopo di identificazione della parola inizia al termine dell'assestamento delle vergenze, in un momento intermedio tra assestamento e sbarco post-saccadico, oppure al momento dell'attezzamento della saccade?*

a

Quest'ultima domanda ha un'importanza fondamentale per l'attribuzione di significato ai tempi di fissazione sulla parola e, per tentare una risposta, occorre considerare ciò che Liversedge et al. (2006) pongono come questione: «La durata di una fissazione influenza la quantità di vergenze che si verificano durante la fissazione?». Se si ipotizzasse il nesso causale opposto, otterremmo la domanda: «La quantità dei movimenti di vergenza influenza la durata della fissazione?». I dati riportati dagli stessi autori dimostrano che *i movimenti oculari di vergenza in riduzione della disparità di fissazione (che si verificano durante la fissazione) hanno grandezza positivamente correlata con la durata della fissazione stessa.*²⁰ Ciò può significare che *non solo il DOVE (ricadrà la saccade) ma anche il QUANDO (terminerà la fissazione e si sposteranno gli occhi) può essere influenzato da elementi oculomotori.* Visto che alcuni studi (Blythe et al., 2006; Juhasz et al., 2006) hanno dimostrato che ampiezza e durata della DDV non dipenderebbero da fattori visivi o linguistici, la spiegazione della proporzionalità dei tempi di fissazione con la durata della DDV stessa potrebbe essere solo attentiva (visuospaziale, ma in senso tridimensionale; si veda di seguito) e/o oculomotoria. Cadrebbe, pertanto, il baluardo cognitivo del QUANDO, che la stragrande maggioranza dei modelli di REMs indica come fortemente determinato dai processi di identificazione della parola.²¹

L'ipotesi che l'assestamento delle vergenze ritardi l'acquisizione dell'input finché non ha raggiunto una sufficiente stabilità (tale da consentirne l'elaborazione linguistica ai livelli superiori) ci pare ulteriormente confermata dall'esperimento della presentazione dicotica (Liversedge et al., 2006). Sappiamo, dalla pratica terapeutica, che la fusione di 2° grado (sovrapposizione percettiva esatta di target identici senza stereopsi) è molto più stabile motorialmente della fusione di 1° grado (2 target completamente diversi da percepire simultaneamente). Dato che il compito (task set) di entrambi i tipi di fusione consiste nell'ottenere un ordine richiesto/atteso del percolato fuso (nel caso dell'esperimento di Liversedge et al., 2006, le lettere «co» a sinistra e le lettere «oy» a destra delle lettere sovrapposte «wb»), nella fusione di primo grado l'assenza di parti comuni nelle due figure da sovrapporre rende più difficile raggiungere e mantenere l'allineamento richiesto. Questo perché è necessaria una localizzazione spaziale gestita con la partecipazione di elementi di controllo volontario (top-down): è necessario, cioè, «sapere DOVE guardare» (figura 6).

È possibile che il paradigma della presentazione dicotica (come presentato nelle figure 4 A, B, C e D) abbia reso un po' più difficile la fusione binoculare (solo l'area centrale della parola veniva fusa in ogni tipo di presentazione, mentre le estremità erano viste da un'occhio o dall'altro), simulando un lieve disturbo della binocularità (non si tratta di strabismo, ambliopia o soppressione, ma di lieve incertezza rispetto al DOVE spaziale sull'asse anteroposteriore) capace di prolungare la fissazione, cioè di influire

²⁰ «Abbiamo anche correlato la durata della fissazione con l'ammontare di vergenza eseguita durante la fissazione. Questa analisi ha prodotto una correlazione positiva ($r = 0,049$) e un test t del campione mostrava che le correlazioni per ciascuno dei partecipanti erano significativamente diverse da 0, $t(14) = 2,65$, $p < 0,05$. Chiaramente, più lunga è la durata di fissazione, più movimento di vergenza si verificava nel corso della fissazione» (Liversedge et al., 2006).

²¹ Per una recensione dei modelli di interpretazione dei movimenti oculari di lettura si veda Reichle et al., 2003.

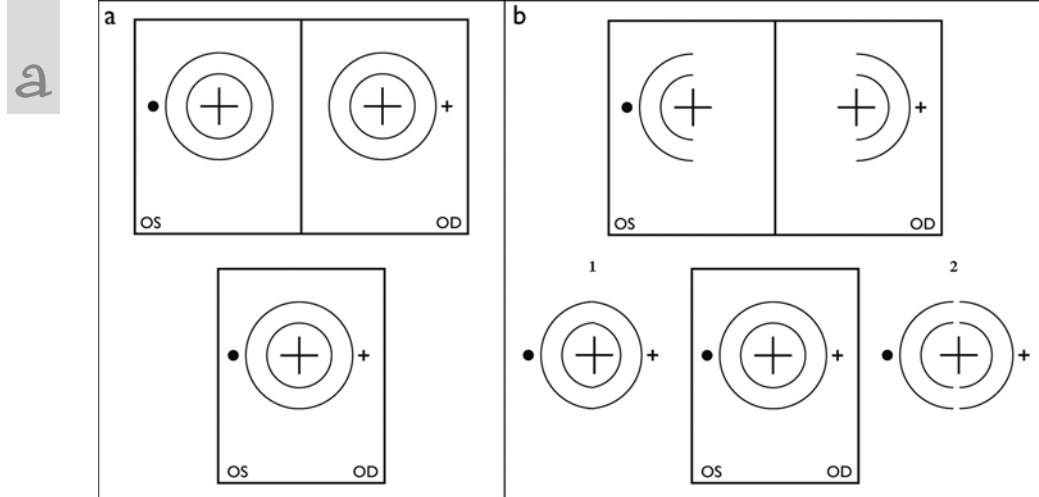


Fig. 6 Esempi di fusione di mire osservate in uno stereoscopio; a) fusione di 1° grado: in alto a sinistra la mira vista solo dall'OS, e a destra la mira osservata solo dall'OD. In basso il percepito fuso derivante dalla sovrapposizione delle due figure. I due cerchi e la croce sono facili da sovrapporre stabilmente dall'osservatore per la esatta corrispondenza delle immagini viste dai due occhi; b) fusione di 2° grado: questa volta, anche se il percepito fuso è identico (in basso al centro), è composto da 4 semicerchi non sovrapposti: nonostante la perfetta sovrapposizione della croce centrale, questa condizione è in grado di determinare una maggior incertezza nel giudizio di localizzazione spaziale sull'asse anteroposteriore della figura osservata e, di conseguenza, può produrre gli effetti di disparità mostrati negli esempi in basso ai lati (1 e 2).

sul QUANDO. È importante notare come l'allineamento perfetto degli assi visivi sulla stessa lettera nella visione dicotica (la «w» o la «b» di «cowboy») produca il tempo di fissazione minore, mentre quello più lungo si verifichi in condizioni di osservazione che favoriscono l'esodisparità («osservazione crociata», ossia convergere prima del piano di sguardo): quest'ultima è il tipo di DDV che alcuni studi già citati (Fioravanti et al., 1995; Blythe et al., 2006) definirebbero come meno evoluta e più diffusa tra i bambini. Liversedge e colleghi (2006) non hanno riportato tempi e metrica dei movimenti di vergenza nelle tre diverse condizioni di osservazione dicotica, che sarebbero stati invece illuminanti riguardo alla presenza di una situazione di maggiore o minor incertezza spaziale segnalata da maggiori o minori movimenti di vergenza compensativi. Questi dati, sebbene in modo indiretto, sembrerebbero avallare l'ipotesi optometrica per cui *un lieve e variabile disturbo della binocularità può interferire, sull'efficienza della lettura, più di una grave anomalia binoculare* (Birnbau, 1993; Evans, 1993; Evans e Drasdo, 1990).²²

²² Si vedano Bowan (2002) e Zeri (2005) per una recensione sull'assenza di relazioni tra strabismo, ambliopia e dislessia.

Conclusioni

Alla luce di quanto riportato in questa rassegna, delle considerazioni teoriche sulle possibili interferenze della DDV sull'intero processo di lettura (Lecce, 2008), e dei primi risultati sperimentali che sembrano confermare la presenza di marcata e irregolare DDV nei soggetti dislessici (Bucci et al., 2007), ci sembra importante sottolineare che, nei problemi di apprendimento, i disturbi «soft» della binocularità (molto più fini di quelli sinora studiati in questo settore) dovranno ricevere maggior attenzione sia in sede diagnostica che terapeutica, data la loro possibile influenza sulla velocità di lettura. Se i tempi d'assemblamento fusionale degli assi visivi influiscono in modo significativo sul tempo di fissazione, allora nelle ortografie trasparenti, dove la bassa velocità di lettura è considerata il sintomo principale della DE (Tressoldi et al., 2001), l'ottimizzazione della disparità dinamica delle vergenze attraverso un adeguato training della localizzazione spaziale dinamica potrebbe svolgere un ruolo significativo nel trattamento dei DSA.

Ringraziamenti

Si ringrazia Daniela Zambarbieri del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Pavia e Presidente del Gruppo Italiano Movimenti Oculari per il paziente lavoro di revisione di questo articolo e per i suggerimenti, sempre estremamente utili e pertinenti.

Si ringrazia inoltre il Prof. Francesco Benso, docente di Psicobiologia e Psicologia dell'Attenzione presso l'Università di Genova, per gli importanti spunti di riflessione sul tema dell'attenzione visiva.

MARIO LECCE, optometrista FCOVD.

Bibliografia

- Birnbau M.H. (1993), *Vision disorders frequently interfere with reading and learning: they should be diagnosed and treated*, «Journal of Behavioral Optometry», vol. 4, n. 3, pp. 66-71.
- Blythe H.I., Liversedge S.P., Joseph H.S.S.L., White S.J., Findlay J.M. e Rayner K. (2006), *The binocular coordination of eye movements during reading in children and adults*, «Vision Research», vol. 46, n. 22, pp. 3898-3908.
- Bowan M.D. (2002), *Learning disabilities, dyslexia, and vision: a subject review--a rebuttal, literature review, and commentary*, «Optometry», vol. 73, pp. 553-75.
- Brown B., Haegerstrom-Portnoy G., Adams A.J., Yingling C.D., Galin D., Herson J. e Marcus M. (1983), *Predictive eye movements do not discriminate between dyslexic and control children*, «Neuropsychologia», vol. 21, pp. 121-128.
- Bucci M.P., Brémond-Gignac D. e Kapoula Z. (2007), *Poor binocular coordination of saccades in*

- dyslexic children*, «Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology», vol. 246, n. 3, pp. 417-428.
- Bucci M.P. e Kapoula Z., (2006) *Binocular coordination of saccades in 7 years old children in single word reading and target fixation*, «Vision Research», vol. 46, n. 4, pp. 457-66.
- Collewijn H., Erkelens C. J. e Steinman R. M. (1988), *Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements*, «Journal of Physiology», n. 404, pp. 157-182.
- Collewijn H., Erkelens C. J. e Steinman R. M. (1997), *Trajectories of the human binocular fixation point during conjugate and non-conjugate gaze-shifts*, «Vision Research», vol. 37, n. 8, pp. 1049-1069.
- Cornelissen P.L., Munro N.A.R., Fowler M.S. e Stein J.F. (1993), *The stability of binocular Fixation during reading in adults and children*, «Developmental Medicine and Child Neurology», vol. 35, pp. 777-787.
- Evans B.J.W. (1993), *Dyslexia – conventional optometric factors*, «Optometry Today», June 14.
- Evans B.J.W. e Drasdo N. (1990), *Review of ophthalmic factors in dyslexia*, «Ophthalmic and Physiological Optics», vol. 10, n. 13.
- Evans B.J.W., Drasdo N. e Richards I.L. (1994), *Investigation of accommodative and binocular function in dyslexia*, «Ophthalmic and Physiological Optics», vol. 14, n. 1, pp. 5-19.
- Evans B.J.W., Drasdo N. e Richards I.L. (1996), *Dyslexia: the link with visual deficits*, «Ophthalmic and Physiological Optics», vol. 16, n. 1, pp. 3-10.
- Fioravanti F., Inchingolo P., Pensiero S. e Spanio M. (1995), *Saccadic eye movement conjugation in children*, «Vision Research», vol. 35, pp. 3217-3228.
- Heller D. e Radach R. (1999), *Eye movements in reading: Are two eyes better than one*. In W. Becker, H. Deubel e T. Mergner (a cura di), *Current oculomotor research Physiological and psychological aspects*, New York, Kluwer Academic, Plenum, pp. 341-348.
- Juhász B.J., Liversedge S.P., White S.J. e Rayner K. (2006), *Binocular coordination of the eyes during reading: word frequency and case alternation affect fixation duration but not fixation disparity*, «Quarterly journal of experimental psychology», vol. 59, pp. 1614-25.
- Kapoula Z.A., Robinson D.A. e Hain T.C. (1986), *Motion of the eye immediately after a saccade*, «Experimental Brain Research», vol. 61, pp. 386-394.
- Kennedy A. (2003), *On keeping word order straight*. In A.A.V.V., *The E-Z Reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models*, «Behavioral and Brain Sciences» vol. 26, n. 4, pp. 446-526.
- Liversedge S.P., Rayner K., White S.J., Findlay J.M. e McSorley E. (2006), *Binocular coordination of the eyes during reading*, «Current Biology», vol. 16, pp. 1726-9.
- Liversedge S.P., White S.J., Findlay J.M. e Rayner K. (2006), *Binocular coordination of eye movements during reading*, «Vision Research», vol. 46, pp. 2363-2374.
- Lecce M. (2008), *Durata eccessiva dei tempi di fissazione nei dislessici: il ruolo della coordinazione binoculare delle saccades*, «Rivista Italiana di Optometria», vol. 31-2, pp.68-84.
- Lovegrove W.J. (1991), *Spatial frequency processing in dyslexic and normal readers*. In J.F. Stein (a cura di), *Vision and Visual Dysfunction: Vision and Visual Dyslexia. Vol. 13*, CRC Press, pp. 148-153.
- Mitchell D.E. (1966), *A review of the concept of Panum's fusional areas*. «Journal of Optometry», vol. 43, pp. 387-401.
- Ogle K.N. (1964), *Researches in Binocular Vision*, New York, Hafner.
- Olson R.K., Conners F.A. e Rack J.P. (1991), *Eye movements in Dyslexic and Normal Readers*, «Vision and Visual Dysfunction», vol. 13, pp. 243-250.
- Pavlidis G.Th. (1981), *Do eye movements hold the key to dyslexia?*, «Neuropsychologia», vol. 19, pp. 57-64.
- Pavlidis G.Th. (1983), *Erratic eye movements in Dyslexics: Comments and reply to Stanley et al.*, «British Journal of Psychology», vol. 74, pp. 189-193.
- Pavlidis G.Th. (1985), *Eye movements in dyslexia: their diagnostic significance*, «Journal of Learning Disabilities», vol. 18, n. 1, pp. 42-50.
- Rayner K. (1985), *Do faulty eye movements cause dyslexia*, «Developmental Neuropsychology», vol. 1, n. 1, pp. 3-15.
- Rayner K. (1998), *Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 years of research*, «Psychological bulletin», vol. 124, n. 3, pp. 372-422.
- Reichle E.D., Rayner K. e Pollatsek A. (2003), *The E-Z Reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models*, «Behavioral and Brain Sciences», vol. 26, n. 4, pp. 446-526.
- Schor C.M., Heckmann T. e Tyler C.W. (1989), *Binocular fusion limits are independent of contrast, luminance gradient and component phases*, «Vision Research», vol. 29, pp. 821-835.
- Schor C.M., Kotulak J.C. e Tsuetaki T. (1986), *Adaptation of tonic accommodation reduces accommodative lag and is masked in darkness*, «Investigative Ophthalmology & Visual Science», vol. 27, pp. 820-7.
- Stein J. (2001), *The Magnocellular Theory of Developmental Dyslexia*, «Dyslexia», vol. 7, pp. 12-36.
- Stein J. (2004), *The Brain Basis of Dyslexia*, Oxford, University Laboratory of Physiology.
- Stein J.F. e Fowler M.S. (1981), *Visual dyslexia*, «Trends in Neuroscience», vol. 4, pp. 77-80.
- Stein J.F. e Fowler M.S. (1993), *Unstable binocular control in dyslexic children*, «Journal of Research in Reading», vol. 16, pp. 30-45.
- Stein J.F., Richardson A.J. e Fowler M.S. (2000), *Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics*, «Brain», vol. 123, pp. 164-170.
- Stanley G., Smith G.A. e Howell E.A. (1983), *Eye movements and sequential tracking in dyslexic and control children*, «British Journal of Psychology», vol. 74, pp. 181-187.
- Stein J., Talcott J. e Walsh V. (2000), *Controversy about the visual magnocellular deficit in developmental dyslexics*, «Trends in Cognitive Sciences», vol. 4, n. 6, pp. 209-211.
- Stein J. e Walsh V. (1997), *To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia*, «Trends in Neurosciences», vol. 20, pp. 147-152.
- Steinman R.M. (2004), *Gaze control under natural conditions*. In M.L. Chalupa e J.S. Werner (a cura di), *The Visual Neuroscience. Vol. 2*, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, pp. 1339-1356.
- Tressoldi P.E., Stella G. e Faggella M. (2001), *The development of Reading Speed in Italians with Dyslexia: a longitudinal study*, «Journal of Learning Disabilities», vol. 34, n. 5, pp. 414-417.
- Woo G.C.S. (1974), *The effect of exposure time on foveal size of Panum's area*, «Vision Research», vol. 14, pp. 473-480.
- Yang Q. e Kapoula Z. (2003), *Binocular coordination of saccades at far and at near in children and in adults*, «Journal of vision», vol. 3, n. 8, pp. 554-61.
- Yarbus A.L. (1967), *Eye Movements and Vision*, New York, Plenum Press.
- Zeri F. (2005), *Visione Binoculare, lettura e dislessia evolutiva*. In S. Maffioletti, R. Pregliasco e L. Ruggeri, *Il bambino e le abilità di lettura: il ruolo della visione*, Roma, Franco Angeli – Fondazione IARD, pp.224-241.

