



di Mario Lecce,  
optometrista  
FCOVD  
e-mail:  
info@mariolecce.org

Parole chiave:  
dislessia, saccades,  
fissazione,  
disparità delle  
vergenze,  
coordinazione  
oculomotoria.

Tutto il materiale  
illustrativo è di  
proprietà dell'autore.  
E' vietata pertanto  
qualsiasi riproduzione  
fotostatica o  
digitale se non  
espressamente  
autorizzata  
dall'Autore stesso.

Riv It Optom  
vol. **31**  
n.2  
APR-GIU 2008  
pagg. 68-84

# DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE

*Questo articolo vuole evidenziare le ragioni per cui nei dislessici un problema della coordinazione binoculare delle saccadi può portare ad un prolungamento dei tempi di fissazione. Dopo una revisione della letteratura, si sofferma sugli studi condotti sui normolettori per evidenziare come la disparità dinamica delle vergenze sia alla base del prolungamento dei tempi di fissazione. Infine espone i risultati delle ricerche sulle abilità di coordinazione oculomotoria binoculare di lettura che confermano la presenza di un trend evolutivo differenziato per i bambini dislessici rispetto ai normolettori.*

## Introduzione

Nel corso della storia degli studi sulla dislessia, è stata avanzata a più riprese l'ipotesi che i movimenti oculari dei soggetti dislessici siano più imprecisi, con più regressioni, rifissazioni, fissazioni dei funtori, ecc. rispetto alle saccadi dei normolettori, e perciò siano in grado di spiegare le loro particolari difficoltà di lettura.

Il primo ad evidenziare questo pattern saccadico<sup>1</sup> alterato nei dislessici fu Pavlidis (1981; 1983; 1985): ma le ripetizioni degli esperimenti da lui condotti (Stanley et al., 1983; Brown et al. 1983; Olson et al., 1983) non confermarono i suoi risultati. Rayner (1985) esprime bene il disaccordo della comunità scientifica con l'ipotesi di Pavlidis quando afferma: «se i movimenti oculari erratici sono così pervasivi nei dislessici come sostiene Pavlidis, allora dovrebbero emergere indipendentemente dalla separazione spaziale tra targets o dalla sequenza temporale dell'accensione dei targets medesimi». In altre parole, se esistesse veramente un problema oculomotorio specifico nei dislessici, questo do-

## ABSTRACT

*This article illustrates the reasons why people with dyslexia have a problem with saccadic binocular coordination which may bring about a prolonged fixation time. After reviewing scientific literature, this article focuses on studies concerning the normal readers so as to underline the fact that the vergence dynamic disparity is fundamental in prolonging the fixation time. It finally illustrates how the results of research concerning binocular oculomotor coordination abilities in reading confirm that dyslexic children show a different evolutionary trend as compared to the normal readers.*

# FISSAZIONE NEI DISLESSICI: BINOCULARE DELLE SACCADES

vrebbe evidenziarsi in modo ripetibile non solo durante la lettura di un testo adeguato all'età anagrafica del soggetto, ma anche nell'esecuzione di saccadi "astratte", ossia eseguite tra target privi di qualsiasi necessità di decodifica o impegno cognitivo (come le saccadi tra LED luminosi).

Tuttavia, questi primi studi, come molti altri successivi, si basavano sulla misurazione di movimenti oculari di un solo occhio (monoculari).

## **Binocularità<sup>2</sup> e teoria magnocellulare**

La teoria magnocellulare (TM) della dislessia trova le sue prime enunciazioni in Stein & Fowler (1981) e Lovegrove (1991); e le sue prime conferme anatomiche nello studio di Livingstone et al. (1991).

La TM individua la causa della dislessia in un deficit dello sviluppo cellulare della via magnocellulare, ed è stata oggetto di molte critiche (Skottun 1997; Skottun & Parke 1999; Skottun, 2000; 2001). Nell'ambito di questa teoria nasce l'ipotesi di un'instabilità della coordinazione binoculare dei bambini dislessici (Stein e Fowler, 1981; Stein e Fowler, 1993), capace di crea-

re l'effetto delle "lettere vaganti" spesso riferito dai soggetti con DE (Dislessia Evolutiva).

Sebbene in precedenza siano state molte le smentite in proposito (Cornelissen et al., 1993; Evans et al., 1994, 1996), Stein et al. (2000) hanno recentemente pubblicato uno studio che sembra dimostrare l'interferenza di una binocularità instabile sull'efficienza della lettura nella DE. Infatti, una terapia d'occlusione del solo occhio sinistro nel gruppo sperimentale ha mostrato miglioramenti significativi delle abilità di lettura rispetto al gruppo di controllo.

## **Disparità dinamica delle vergenze – Il problema del QUANDO**

La coordinazione binoculare nel corso delle saccadi di lettura (diversamente dalla coordinazione binoculare verificata su liste di singole parole presentate una alla volta (McKeben et al., 2004), o da quella "astratta dal compito" misurata in strumento – sinottofori, forotteri, ecc.) richiede un tempo di "assestamento" dell'allineamento oculare sul nuovo punto di fissazione (disparità dinamica delle vergenze<sup>3</sup> a sua volta composta da disgiunzione saccadica<sup>4</sup> e disgiunzione post-

<sup>1</sup> Le saccades sono rapidi spostamenti della fissazione degli occhi da un punto dello spazio ad un'altro, finalizzati a porre una nuova immagine sulla fovea (foveazione): nel corso della lettura vengono usati per spostare la fissazione da una sillaba, parola o gruppo di parole all'altro 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 da 0,5 a 1,5 gradi circa. (Steinman, 2004), una durata di circa 50 msec e una durata delle fissazioni che intercorrono tra una saccade e l'altra che va da 150 a 350 msec.

<sup>2</sup> Binocularità - sinonimo di visione binoculare. Essa riguarda sia la coordinazione motoria degli occhi, sia l'unificazione sensoriale delle due immagini retiniche in un percetto fuso con caratteristiche tridimensionali. Si tratta certamente di un processo unitario che, solo per motivi di analisi, viene spesso suddiviso nelle sue componenti sensoriali e motorie

<sup>3</sup> Vergenze – Movimento disgiunto di rotazione degli occhi (in senso opposto) come avviene, ad esempio, in convergenza (entrambi gli occhi in movimento verso il naso) e in divergenza (entrambi gli occhi verso le tempie)

<sup>4</sup> Disgiunzione saccadica – perdita di allineamento/coordinazione degli assi visivi nel corso della saccade in funzione del nuovo target da fissare binocularmente al termine della saccade stessa. Può essere divergente – gli occhi si disallineano con deriva verso le tempie – o convergente – occhi alla deriva verso il naso.

**DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI:  
IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADDES**

saccadica<sup>5</sup>): maggiore è questo tempo (e maggiore è l'errore di allineamento), maggiore è la confusione (binocularmente intesa) e le diffi-

coltà visuoperceptive indotte (vedi figura 1).

I primi a ipotizzare una sorta di stereotopia del

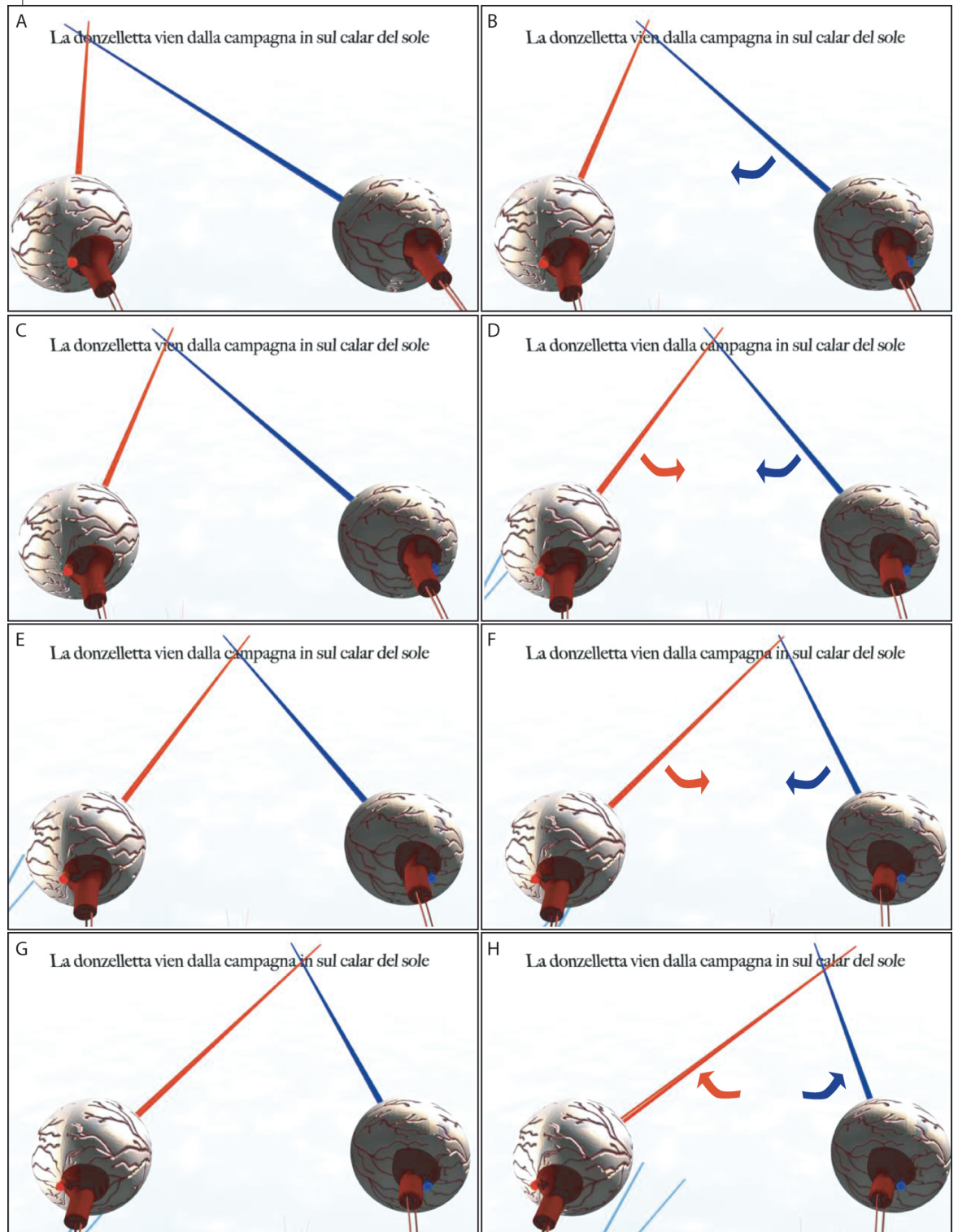


Figura 1

movimento saccadico asimmetrico degli occhi sono stati Kapoula et al. (1986) :

1) durante la saccade binoculare si verifica una disgiunzione divergente (vedi fig. 1D);

2) al termine della saccade binoculare, l'occhio adducente (che si è spostato verso il naso) eseguirebbe un drift <sup>6</sup> (slittamento) nasale, mentre l'occhio abducente (che si è spostato verso la tempia) esegue una piccola saccade indietro con latenza<sup>7</sup> zero (vedi fig. 1E).

Colwjin et al. (1988) hanno confermato l'ipotesi che gli occhi divergono nel corso della saccade,

mentre Colewjin et al. (1997) hanno riportato che negli adulti questa "disgiunzione" delle saccadi è nettamente più marcata nell'osservazione ravvicinata.

Per quel che riguarda gli aspetti evolutivi della disparità dinamica, Fioravanti et al. (1995) hanno riportato che la coordinazione binoculare delle saccadi è particolarmente scarsa nei bambini, e raggiunge i livelli degli adulti solo attorno ai 10-12 anni.

Al contrario degli adulti, che mostrano stereotipatamente una disgiunzione delle saccadi 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, perché ha analizzato i movimenti oculari alla distanza di 40 cm, in bambini dai 4 ai 12 anni e negli adulti, è quello di Yang & Kapoula (2003). I risultati hanno evidenziato che la disgiunzione delle saccadi è più ampia a distanza ravvicinata rispetto all'osservazione remota.

L'ampiezza del drift post-saccadico e della disgiunzione intrasaccadica tendono ad essere maggiori nei bambini. I parametri che descrivono la coordinazione binoculare (disgiunzione intrasaccadica 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 let-

---

**Figura 1** – Esempi di disparità dinamica delle vergenze (o disparità di fissazione dinamica):  
**A** – Supponiamo una 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** – 2° fissazione: ipotesi di exodisparità dinamica del solo OD. La lettera target "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. Le frecce indicano 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  $\approx$  1,1 caratteri);

**D** – 3° fissazione: Ipotesi di exodisparità di entrambi gli occhi. La lettera target è la "a". La divergenza verificatasi nel corso della saccade (disgiunzione saccadica divergente) sarebbe il fenomeno più frequente nell'adulto normolettore (Kapoula et al., 1980; Colwjin et al. 1988; 1997);

**E** – Termine della fissazione sulla parola "campagna". Errore di allineamento di  $\approx$  1 carattere (per un'analisi fine delle componenti del movimento di vergenza compensativo, vedi testo);

**F** - 4° fissazione : altro esempio di exodisparità;

**G** - Caso di compensazione completa della exodisparità. Allineamento esatto sulla "i";

**H** - 5° fissazione: ipotesi di esodisparità dinamica (entrambi gli occhi in posizione eccessivamente nasale). Le frecce indicano l'innesco di vergenze fusionali negative.

<sup>5</sup> Disgiunzione post-saccadica – Movimento disgiunto dei due occhi (entrambi verso il naso o entrambi verso le tempie) che si verifica al termine della saccade, ossia all'inizio della fissazione .

<sup>6</sup> Drift - movimento oculare di bassa velocità, tipicamente di di 1-8 ' d'arco al secondo (in media 5' /sec). E' considerato tradizionalmente come "rumore" del sistema oculomotorio.

<sup>7</sup> Latenza Saccadica – (o tempo di reazione) si riferisce tipicamente al tempo 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.

**DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI:  
IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADES**

tura si sviluppi attraverso un apprendimento che si basa sull'interazione tra sistema saccadico e sistema delle vergenze.

Gli studi sopra citati hanno tutti utilizzato LED luminosi come target delle saccadi. Per verificare eventuali differenze di controllo binoculare tra saccadi rivolte verso LED e saccadi verso parole, Bucci & 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 problemi di controllo motorio binoculari nelle due modalità di esecuzione della saccade, sia per gli adulti sia per un gruppo di bambini di 7 anni.

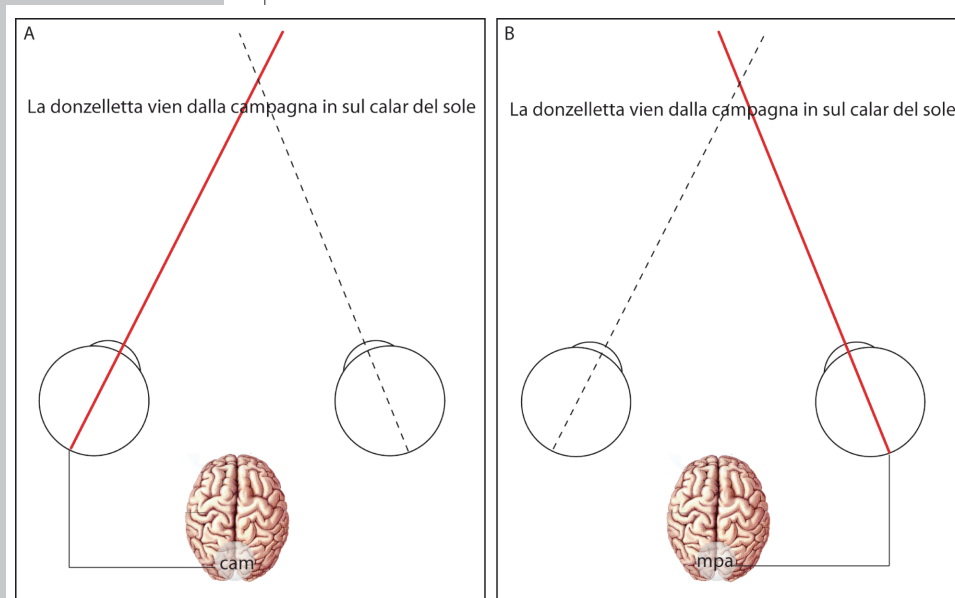
Per ciò che riguarda le saccadi eseguite in ambiente-testo, lo studio di Liversedge et al. (2006), prendendo le mosse da un precedente studio di Heller e Radach (1999), si propone di valutare il numero di lettere di disparità di

fissazione<sup>8</sup> nel lettore adulto normale.

Anche se gli elementi ecologici del paradigma utilizzato in questo studio potrebbero essere discutibili (distanza dal monitor 85 cm; testo bianco su sfondo nero; testa e mandibola immobilizzati con mentoniera e poggia-fronte;), ci sembra importante che gli autori giungano a stabilire quanto segue: «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».

Nonostante la grandezza di tale disparità, i soggetti non lamentano diplopia (visione doppia/confusa). Ciò può essere spiegato solo in due modi:

- 1) soppressione<sup>9</sup> di uno dei due input oculari (vedi figura 2);
- 2) fusione in un percepto unificato, in uno stadio



**Figura 2** – Ipotesi della soppressione di uno dei due occhi nel corso della disparità: linea rossa = asse visivo<sup>10</sup> dell'occhio non-soppresso. Linea tratteggiata = asse visivo dell'occhio soppresso. **A** – Exodisparità con soppressione dell'OD; **B** – Exodisparità con soppressione dell'OS. Abbiamo ommesso per brevità i casi di esodisparità. Notare che secondo quale dei due occhi si consideri il non-soppresso, cambierebbe la porzione di parola acquisita.

<sup>8</sup> Disparità di fissazione – Condizione nella quale le immagini di un oggetto bifissato stimolano punti retinici non esattamente corrispondenti, ma che ricadono entro l'area di Panum, cosicchè l'oggetto viene percepito come singolo.

<sup>9</sup> Soppressione – La mancanza o incapacità di percepire oggetti normalmente visibili in tutto o in parte del campo visivo di un'occhio, che si verifica solo su stimolazione di entrambi gli occhi ed è stata attribuita ad inibizione corticale.

<sup>10</sup> Asse visivo - linea che congiunge punto di fissazione, punti nodali dell'occhio e fovea.

di elaborazione visiva precoce, grazie alle tolleranze dell'area di Panum<sup>11</sup>. (vedi figura 3).

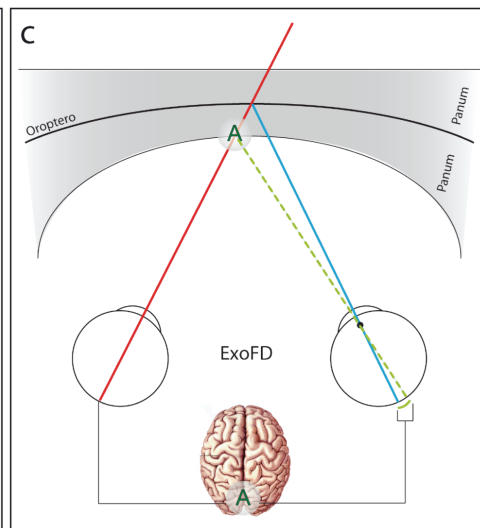
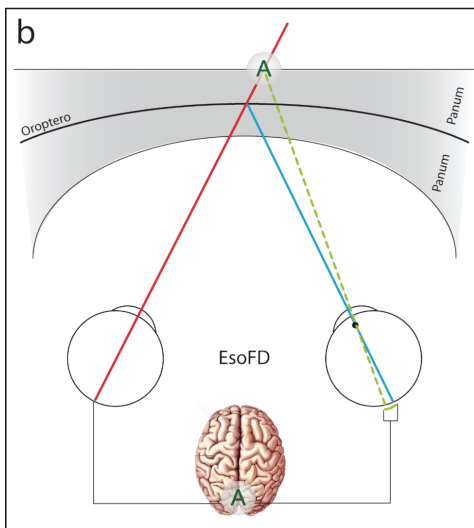
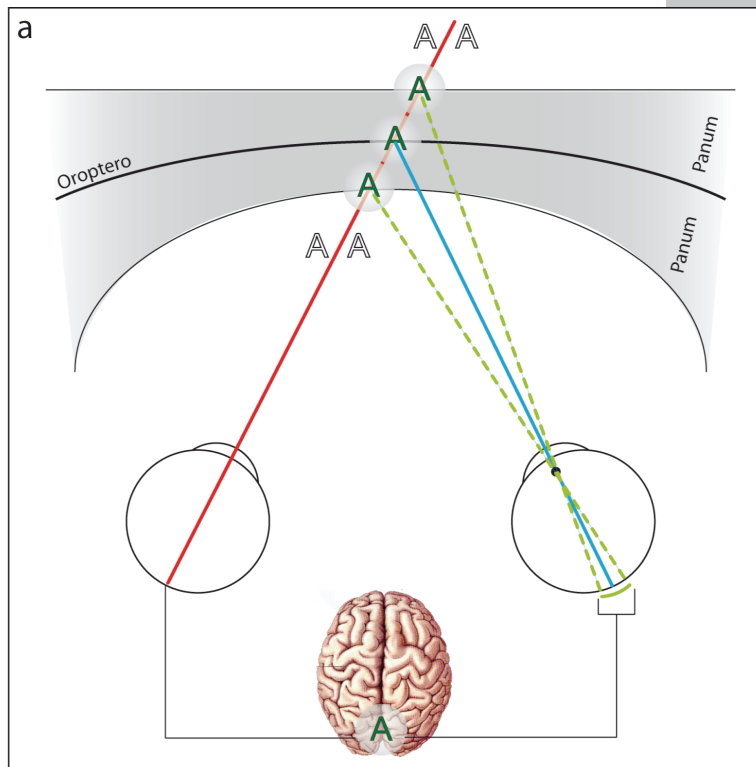
**Figura 3**

**A) Rappresentazione della FD (Disparità di Fissazione) come fenomeno prevalentemente percettivo:**

Riga rossa = asse visivo dell'OD; Riga azzurra = asse visivo dell'OS. Righe verdi = limiti dell'area di Panum per l'OD. La lettera A è il target che viene spostato lungo l'asse dell'OS mentre l'OD continua a fissare il centro dell'oroptero<sup>12</sup>. La lettera viene percepita singola finché si sposta (sull'asse dell'OS) all'interno dell'area di Panum. Se supera i limiti prossimali e distali di tale area, sopravviene la diplopia (visione doppia) rappresentata dalle due A bianche.

**B) Rappresentazione della FD come fenomeno prevalentemente motorio (lag di allineamento) – caso di esodisparità:** La 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.

**C) Caso di exodisparità:** questa volta il soggetto allinea gli occhi più lontano e più a destra rispetto alla lettera target, pur mantenendo il percepito fuso.



<sup>11</sup> Area di Panum – Area nella retina di un occhio, nella quale qualsiasi punto venga stimolato contemporaneamente ad un singolo e specifico punto della retina dell'altro occhio, darà origine ad un percepito singolo e fuso.

<sup>12</sup> Oroptero – La linea composta da tutti i punti di localizzazione spaziale la cui proiezione risiede in punti esattamente corrispondenti delle retine dei due occhi durante una data condizione di fissazione.

## DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI: IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADES

Da tempo si conoscono le caratteristiche dell'area di Panum rilevate in condizioni statiche di fissazione. Qui ne elenchiamo alcune:

**a)** l'estensione di quest'area fusionale a livello foveale varia dai 5' ai 20' d'arco, secondo la tecnica di misurazione adottata. (Mitchell, 1966);

**b)** Più ci si sposta dalla fovea più le dimensioni di questa "area di tolleranza" aumentano (anche per l'ampliamento campi recettivi) (Ogle, 1964);

**c)** i limiti spaziali dell'area di Panum accrescono coll'aumentare del tempo di esposizione ad un target in disparità, ed è stato ipotizzato che tale aumento sia dovuto all'intervento di movimenti oculari di vergenza (Woo, 1974);

**d)** l'accrescimento del contrasto dei targets per un ampio range di frequenze spaziali è quasi privo di effetti sull'estensione di quest'area (Schor et al. 1989).

Nonostante ciò, nella comunità dei ricercatori che misurano i movimenti oculari per indagare sulla lettura, si era da sempre condiviso l'assunto che entrambi gli occhi, dopo la saccade, si allineassero sulla medesima lettera della parola: per questo, tutti gli studi che hanno analizzato i movimenti oculari di lettura, hanno misurato i movi-

menti di un solo occhio. Inoltre, nella scelta dell'occhio da sottoporre ai rilievi, non sempre è stata considerata la dominanza di uno dei due occhi<sup>13</sup>, e soprattutto non si è tenuto conto, né del differente sito di atterraggio dei due occhi, né 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, determinando 2 loci di fissazione all'atterraggio della saccade diversi da quelli esistenti al termine della fissazione (Heller e Radach, 1999. Vedi esempi in fig. 6).

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).<sup>14</sup>

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): nel 52 % 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.<sup>15</sup> (vedi figura 4 e 5).

Uno degli effetti di questo bias, secondo

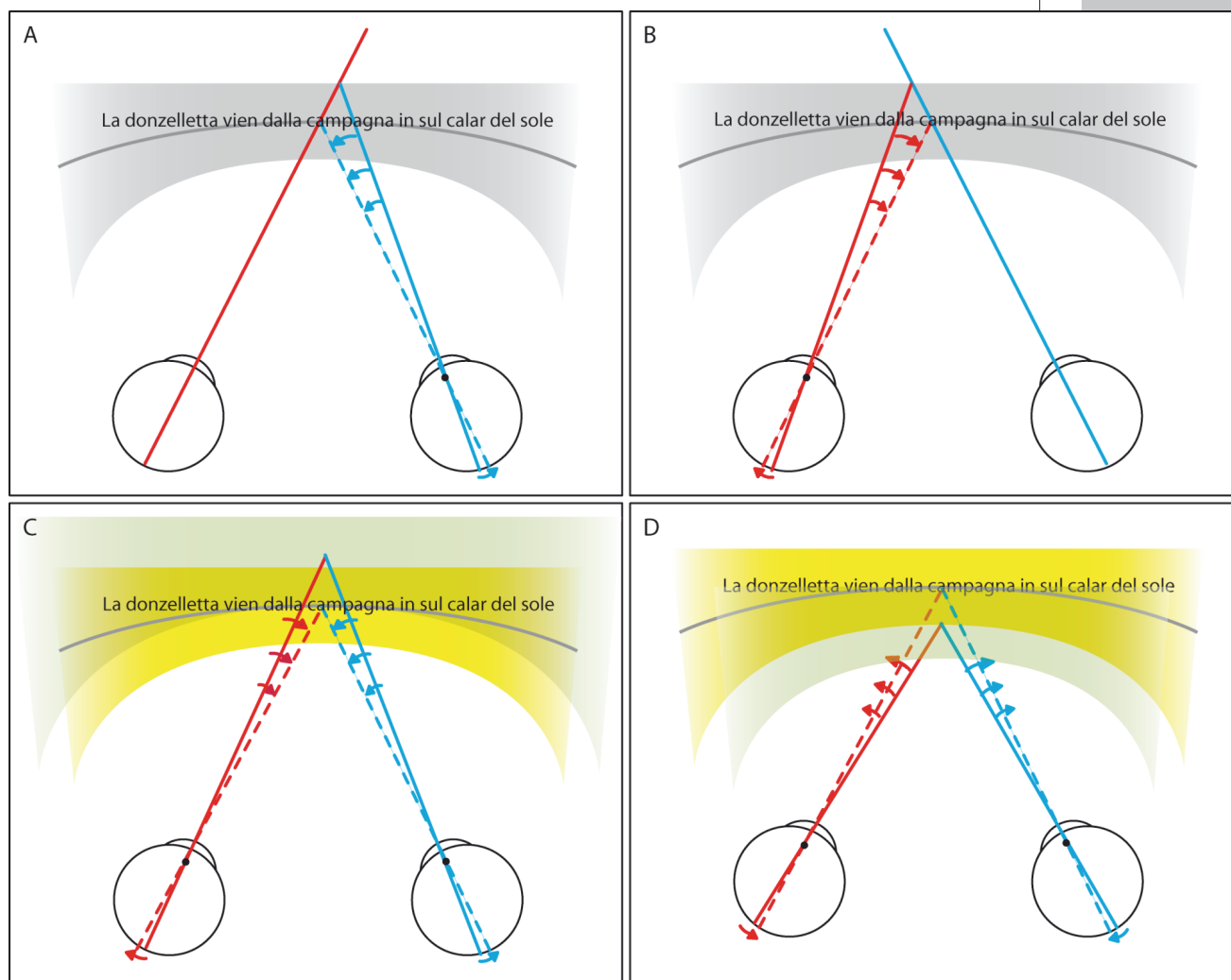
<sup>13</sup> La dominanza oculare rimane, a nostro parere, un concetto abbastanza controverso. Tuttavia, se fosse vera l'ipotesi 1) della soppressione di uno dei due input oculari, e tale soppressione si verificasse sempre ed esclusivamente per lo stesso occhio, esisterebbe una dominanza percettiva (e di conseguenza motoria). Se esistesse una soppressione foveale, bisognerebbe ipotizzare che i movimenti di vergenza fini e ripetibili misurati in questo studio siano il prodotto della sincinesia accomodazione/convergenza innescata dall'occhio non soppresso in un ambiente visivo del tipo MFBB (Campo Monoculare in Campo Binoculare). Ciò farebbe emergere la necessità di valutare le abilità monoculari di accomodazione nel corso della lettura (accuratezza, flessibilità, ripetibilità nel tempo, ecc.).

<sup>14</sup> 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.

<sup>15</sup> A questo proposito è importante sottolineare che la disparità di fissazione (FD) che 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, si tratta di un errore sistematico capace di stimolare il sistema visivo a rilocalizzare correttamente gli assi visivi.

Liversedge et al (2006), può essere la probabile confusione dei movimenti di vergenza post-attezzaggio con drift monoculari.

E' interessante considerare i seguenti problemi:  
1) l'atto di estrazione delle informazioni visive a scopo di identificazione della parola" inizia al



**Figura 4** – Esempi di movimenti di vergenza compensativi della FD - Riga rossa = asse visivo dell'OD; Riga azzurra= 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** - Exodiplopia dell'OD.

**B** - Exodiplopia dell'OS.

**C** - Exodiplopia bilaterale.

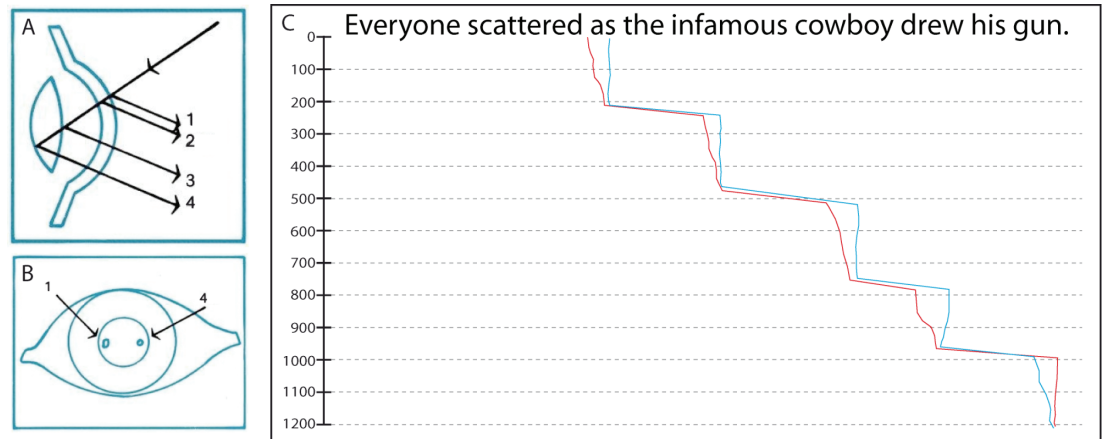
In questo grafico e nel successivo abbiamo rappresentato l'area di Panum di sbarco della saccade in verde, l'area di Panum "target" dei movimenti bilaterali di vergenza in giallo ( $t=1$ , assi visivi tratteggiate). La linea rossa continua e la linea gialla continua sono gli assi visivi al tempo  $t=0$ . La prima lettera "a" di "campagna" (lettera target) è al centro dell'oroptero dell'area di arrivo (gialla) mentre si trova ai limiti inferiori dell'area verde.

**D** - Esodiplopia bilaterale.

La lettera "a" target di arrivo delle vergenze è al centro dell'oroptero dell'area di arrivo (gialla) mentre si trova ai limiti superiori dell'area verde. 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 sia al movimento di vergenza compensativo.



**DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI:  
IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADDES**



**Figura 5**

*A e B – Lo strumento utilizzato da Liversedge et al (2006) ha ottenuto una risoluzione spaziale minore di 10 minuti d'arco grazie all'accurata taratura monoculare effettuata prima delle rilevazioni, e alla rilevazione della posizione relativa del 1° e del 4° riflesso di Purkinje, prodotto da un raggio a infrarossi. Ciò consente di calcolare la posizione degli occhi indipendentemente da errori di traslazione o spostamento assiale della testa e dell'occhio.*

*C – Esempio di tracciato. La scala laterale è in millesimi di secondo. La linea rossa indica i movimenti dell'OS; quella blu è dell'OS.*

termine dell'assestamento delle vergenze, in un momento intermedio tra assestamento e sbarco post-saccadico, o dall'atterraggio della saccade?

2) Qual è il target della saccade di lettura in presenza di disparità?

Se prevalesse l'ipotesi fusionale si potrebbe pensare al punto medio della disparità iniziale, al punto medio della disparità finale, al punto medio rilevato in un tempo intermedio, o ancora ad una specie di "area binoculare probabile". Nel caso prevalesse l'ipotesi della soppressione, sarebbe necessario scegliere a quale istante del movimento di vergenza eseguito dall'occhio con dominanza percettiva (non-soppresso) sarebbe opportuno riferirsi.

Nel contesto della soluzione del dubbio dominanza/soppressione, Liversedge et al. (2006) hanno adottato il paradigma sperimentale della visione dicotica.

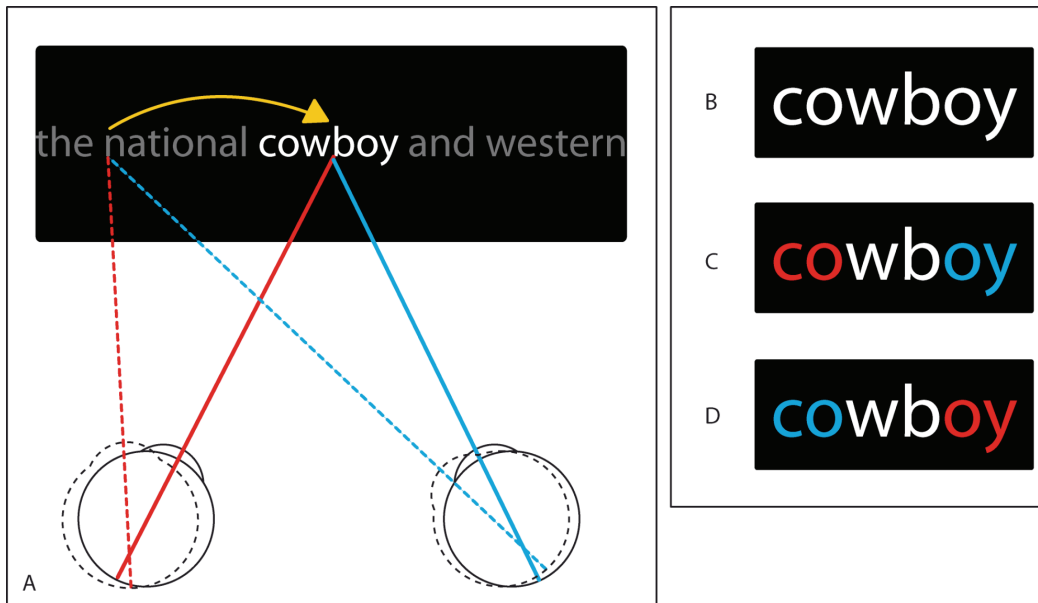
Ai soggetti veniva presentata a monitor una frase all'interno della quale si trovava una

parola composta (cowboy) che era il target saccadico critico su cui veniva misurata la metrica saccadica e la durata della fissazione. Il tipo di presentazione poteva essere congrua (quasi-ortopica), incongrua (quasi-chiastopica) o identica (fusione di 2° grado completa).

Nel caso della presentazione congrua L'OS vedeva solo la parte sinistra della parola (cowb) e l'OD solo la parte destra (wboy), grazie ad un meccanismo di alternanza della presentazione ogni 8 ms ottenuto utilizzando occhiali speciali e 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). (Vedi figura 6).



**Figura 6**

*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;*

*B - la parola cowboy poteva essere vista nella sua interezza da entrambi gli occhi;*

*C - poteva anche essere osservata in presentazione congrua – OS vede “cowb” e OD vede “wboy”;*

*D - oppure incongrua - OS vede “wboy” e OD vede “cowb”.*

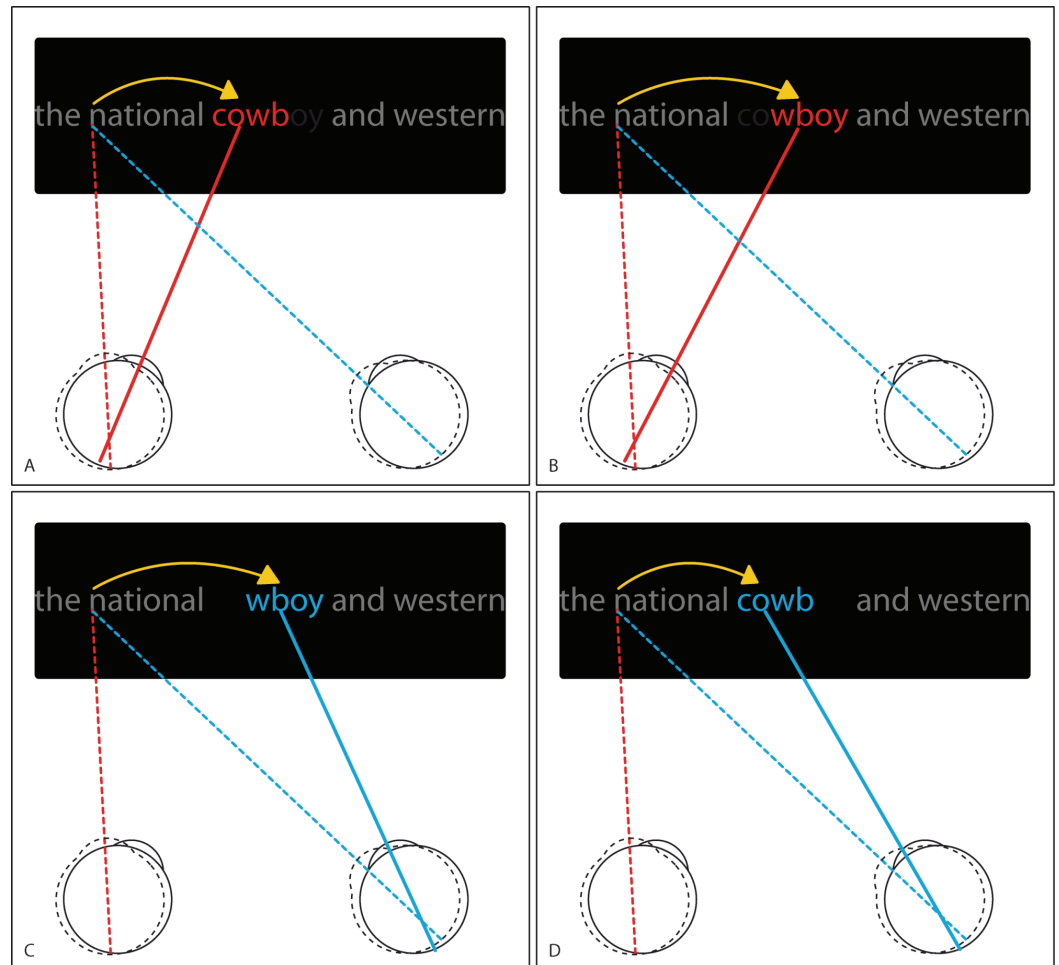
Se fosse reale l’ipotesi della soppressione, la metrica della saccade sarebbe risultata completamente alterata, perché - sulla base delle conoscenze sul punto di atterraggio preferenziale monoculare – l’occhio fissante avrebbe mostrato un atterraggio della saccade poco prima della metà della semiparola (circa sulla “o” di “cowb”; oppure circa sulla “b” per “wboy”). (vedi figura 7 a pagina seguente)

I risultati, oltre a riconfermare la prevalenza dell’exodisparità di fissazione in tutti i tipi di presentazione, hanno dimostrato 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 (per una recensione sugli studi monoculari vedi Reichle et al. 2003; Rayner 1998), 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).
- 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 “cowb”; OS vede “wboy”)

**DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI:  
IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADDES**



**Figura 7** – Previsioni di atterraggio della saccade dell'occhio non soppresso nell'ipotesi di disparità con soppressione

- A** - ipotesi di soppressione dell'OD con presentazione congrua;
- B** - ipotesi di soppressione dell'OD con presentazione incongrua;
- C** - ipotesi di soppressione dell'OS con presentazione congrua;
- D** - ipotesi di soppressione dell'OS con presentazione incongrua.

3) Nell'ambiente testo, è possibile fusione per angoli di disparità (fino a 30 min. d'arco) considerevolmente maggiori di quelli rilevati in codizioni statiche (5-10 min d'arco).

Questi studi segnano un punto di svolta perché nessuno dei modelli di controllo del movimento oculare di lettura esistenti fino al 2006 ha tenuto conto della binocularità e della sua influenza sulla lettura. Ma lo è molto più per

un'altra ragione, non evidenziata col peso dovuto.

Liversedge et al. (2006), pongono un'interessante 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 dimostrano che i movimenti oculari di vergenza in riduzione della disparità di fissazione che si verifica durante la fissazione hanno grandezza positivamente correlata con la durata della fissazione stessa.<sup>8</sup> Ciò può significare che, non solo il DOVE (ricadrà la fissazione), ma anche il QUANDO (terminerà la fissazione e si sposteranno gli occhi), può essere influenzato da elementi oculomotori. Se ciò venisse confermato da altri studi, cadrebbe il baluardo cognitivo del QUANDO, che la stragrande maggioranza dei modelli indica come fortemente determinato dai processi di identificazione della parola. (per una recensione dei modelli di interpretazione dei movimenti oculari di lettura vedi Reichle et al. 2003)

Il fatto che questi risultati fossero particolarmente “disturbanti” per il modello fortemente linguistico/cognitivo degli autori, è confermato dal fatto che essi stessi hanno successivamente condotto uno studio per verificare l’esistenza di una relazione tra maggior disparità binoculare e minor frequenza delle parole, sia negli adulti sia 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) aumenti con l’aumentare delle difficoltà di decodifica. Quindi, nel caso di fissazioni con disparità, sembra ulteriormente confermata la dipendenza del prolungamento del QUANDO da fattori di pura coordinazione binoculare (secondo gli autori meno efficace e matura nei bambini – che mostrano maggiori fissazioni crociate<sup>16</sup> - , e più controllata negli adulti – nei quali è più orientata verso la exodisparità<sup>17</sup>).

L’ipotesi che l’assestamento delle vergenze ritardi l’acquisizione di un input sufficientemente stabile da poter essere elaborato linguisticamente 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 (target identici senza stereopsi) è molto più stabile motorialmente della fusione di 1° (target completamente diversi da allineare in modo da creare un ordine richiesto/atteso, difficili da mantenere allineati per assenza di parti comuni da sovrapporre, richiede una localizzazione spaziale gestita volutamente, il “sapere DOVE guardare”) E’ possibile che il paradigma della presentazione dicotica 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 strabismo, ambliopia, soppressione, eccetera, ma lieve incertezza sul DOVE spaziale sull’asse anteroposteriore) capace di prolungare la fissazione, cioè influire sul QUANDO.

Gli autori non hanno riportato tempi e metrica dei movimenti di vergenza nelle tre diverse condizioni: sarebbero stati illuminanti riguardo alla presenza di una situazione di maggiore o minor incertezza spaziale segnalata da maggiori o minori movimenti di vergenza compensativi.

Questa 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 (Birbaum, 1993; Evans, 1993; Evans e Drasdo, 1990) - vedi Bowan (2002) e Zeri (2005) per una

<sup>8</sup> Cit. «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.»

<sup>16</sup> Fissazioni in cui gli assi visivi si incrociano prima del piano di lettura (e più vicino al viso)

<sup>17</sup> Fissazioni in cui gli assi visivi si incrociano dopo del piano di lettura (e più lontano dal viso)

## **DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI: IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADDES**

recensione sull'assenza di relazioni tra strabismo, ambliopia e dislessia.

Recentemente, è stata condotta una ricerca che sembra avvalorare ulteriormente la nostra ipotesi. E' stato dimostrato che sia fattori linguistici (frequenza della parola) sia fattori visivi (alternanza di MAIUSCOLO-minuscolo. ad es. AlTeRnAtInG cAsE) non producono alterazioni sull'ampiezza della disparità di fissazione. (Juhasz et al., 2006) Quindi, i soli elementi oculomotori di saccadi e vergenze determinano l'ampiezza della disparità e probabilmente anche i suoi tempi di riduzione tramite movimenti fusionali.

### **Coordinazione binoculare delle saccadi nei dislessici: le prime conferme**

Le ricerche sulla disgiunzione saccadica già citate, hanno condotto all'applicazione del paradigma della saccade verso la singola parola e verso il singolo LED anche a soggetti dislessici. Lo studio di Bucci et al. (2007), che ha fatto uso di un apparecchio fotoelettrico (Vöss – Bouiss Oculometer, <http://eyetracker-drvooss.com/>), ha esaminato 18 bambini dislessici (età media 11,4±2 anni, QI medio 105 ±7, età di lettura media 8,9±1 anni) abbinati per età a 13 normolettori (età media 11,2±2 anni; nessuna anomalia neurologica / psichiatrica; nessuna anamnesi di difficoltà di lettura; nessuno stress visivo o difficoltà prossimale; selezionati sulla base di una performance scolastica al di sopra del punteggio medio della classe di appartenenza).

I rilievi principali sono stati:

**a)** Nel compito di lettura della parola, il periodo totale di fissazione significativamente più lungo nei dislessici che nei non-dislessici; durante questo periodo vengono eseguite molteplici saccadi correttive che sono altamente disgiunte.

**b)** Nei bambini dislessici la qualità della coordinazione binoculare durante e dopo la saccade è scarsa rispetto ai bambini non dislessici di età confrontabile, indipendentemente dal compito (leggere singole parole o eseguire saccadi verso i LED)

**c)** Il pattern stereotipato, la disgiunzione divergente durante la saccade e la disgiunzione convergente dopo la saccade, vista per adulti e bambini non-dislessici, è assente nei dislessici.

**d)** Il drift post-saccadico coniugato è più ampio nei dislessici che nei non dislessici ma l'ampiezza non dipende dalla condizione (saccade verso la parola o verso i LED).

**e)** Durante la lettura di parola i dislessici mostrano una significativamente maggior instabilità delle vergenze nel corso della fissazione rispetto ai bambini non-dislessici.

Questi risultati fanno pensare ad una marcata difficoltà, parte dei dislessici, nella localizzazione spaziale binoculare sull'asse anteroposteriore delle parole del testo, che, come dimostrato da Bucci et al. (2007), non ha un'origine muscolare, ma, più facilmente, centrale.

Anche se gli esiti di questo primo esperimento necessitano di ulteriori conferme, è singolare notare l'assonanza perfetta esistente tra tempi fissazione prolungata ( il QUANDO dilatato) tipici dei dislessici, coincidenti con tempi di stabilizzazione binoculare post-saccadica fortemente alterati; ed effetti di prolungamento della fissazione indotti dalla incertezza spaziale provocata artificialmente nell'esperimento di Liversedge et al. (2006).

### **Considerazioni teoriche finali**

Il meccanismo della disparità potrebbe essere più complesso per le fissazioni ad inizio e termine della riga, perché in queste aree più probabilmente si verificano assestamenti asimmetrici delle vergenze, che fino ad oggi sono stati considerati non significativi (ma presubilmente lo diverranno, o per conto proprio o come fattore di innesco dei movimenti della testa, nelle ricerche future). La complessità aumenta ulteriormente se ci ricordiamo della sincinesia accomodazione/convergenza e delle possibili continue piccole fluttuazioni – forse parzialmente asincrone - delle due funzioni durante le fissazioni (ricordiamo la differenza tra la rapidità di risposta dei muscoli extra-oculari – veloce – e quella del muscolo ciliare - lenta; la presenza di meccanismi di adattamento come vergenze toniche e accomodazione tonica, ecc.).

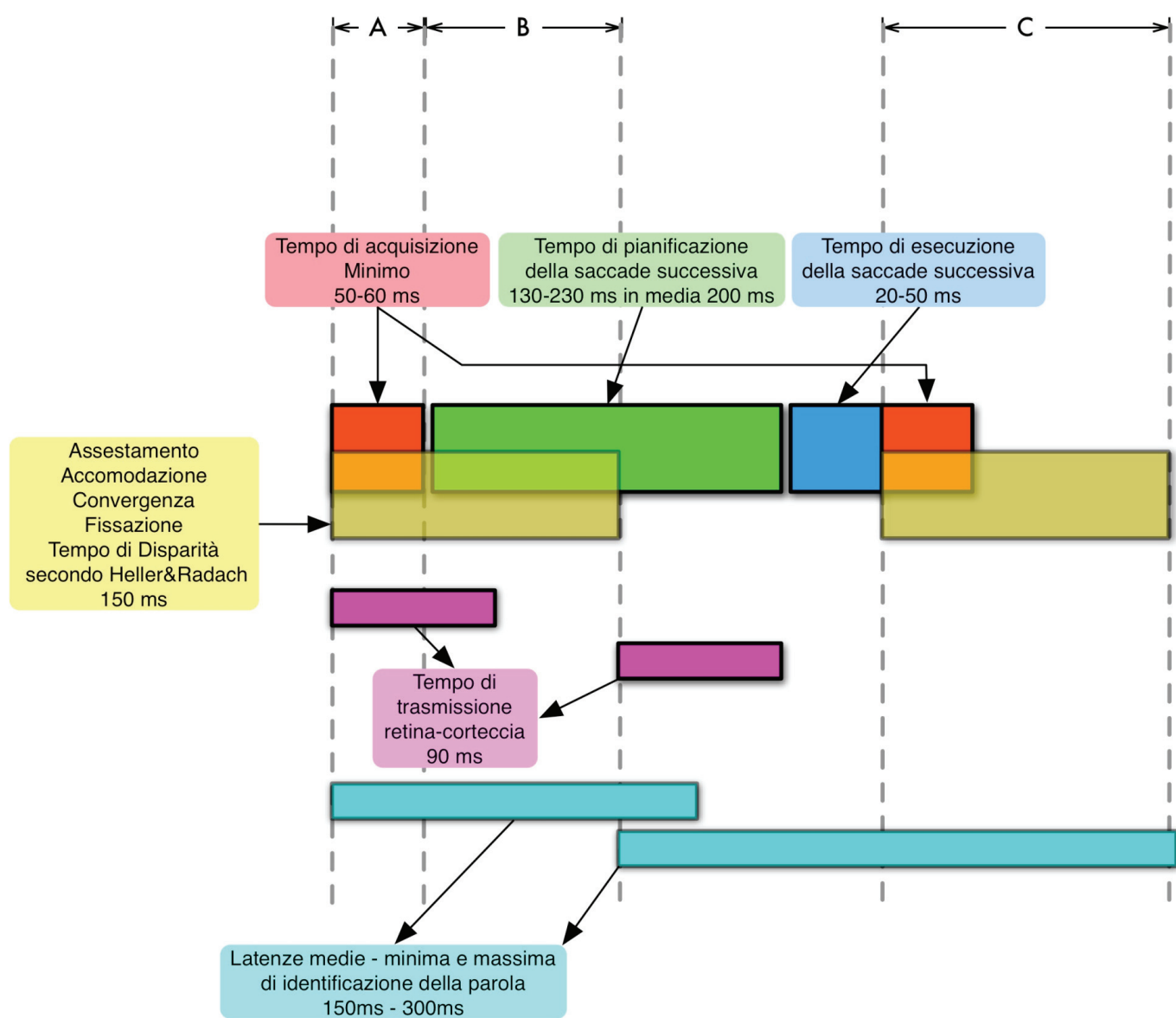
Ulteriore elemento che complica il quadro è la possibile interferenza dei movimenti della testa: da solo, questo fattore meriterebbe una trattazione a sé stante.

Per ciò che riguarda l'interazione saccadi-vergenze vorremmo aggiungere che gli studi sulle proprietà binoculari delle cellule del Collicolo

Superiore (SC) sono ancora in fase iniziale: tuttavia è estremamente probabile un contributo sostanziale della regione rostrale del Collicolo Superiore alle vergenze e alle versioni (Chaturvedi e Gisbergen, 2000; Chaturvedi e Gisbergen, 1999), ed è accertata l'influenza di gruppi cellulari della medesima area sull'accomodazione (Sawa e Ohtsuka, 1994), importante per la sincinesia accomodazione-convergenza. Per illustrare meglio alcune possibili interferenze sull'intero processo della lettura da parte dell'assestamento delle vergenze nel corso della

fissazione, la figura 8 mostra la tempistica di una saccade e le componenti della fissazione in gioco (seppur ridotte ai minimi termini).

Il tempo di assestamento medio delle vergenze è stato tratto dallo Heller & Radach (1999), mentre il tempo minimo per l'acquisizione della parola dallo sbarco della saccade è tratto da Ishida & Ikeda, 1989; Rayner et al., 1981; Slowiczek & Rayner, 1987. Sono state individuate A, B e C come aree di possibile "conflitto" tra le attività in corso.



**Figura 8** - Schema delle possibili interferenze tra assestamento delle vergenze e alcune delle componenti delle saccades di lettura – descrizione nel testo.

## **DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI: IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADES**

- A) Possibile conflitto tra elevata disparità ad inizio fissazione e percezione del testo (conflitto Accomodazione-Convergenza / Percezione Visiva);
- B) Possibile interferenza dell'assestamento delle vergenze sulla pianificazione motoria della saccade (conflitto Vergenze / Saccadi);
- C) possibile interferenza sull'identificazione della parola o gruppo di parole della fissazione precedente con il contemporaneo mismatch visivo e/o oculomotorio della fissazione successiva (conflitto cognitivo / percettivo / motorio).

I conflitti diventano più probabili soprattutto se la disparità iniziale supera o è ai limiti estremi dell'area di Panum (non consentendo la percezione di un'immagine singola, o richiedendo particolari energie attentive per contenere la deriva oculomotoria), o in presenza di una soppressione centrale intermittente (la cui presenza in popolazioni speciali è ancora da accertare). Secondariamente, il conflitto potrebbe dipendere da quanto la durata dei movimenti di vergenza compensativi della disparità rimandino nel tempo la trasmissione retina-corteccia di informazioni "leggibili" ai fini dell'identificazione della parola.

Anche se riteniamo che lo schema sopra esposto sia passibile di molte integrazioni e modifiche, ci sembra evidenziare almeno una parte dell'enorme parallelismo delle funzioni in gioco nella lettura.

### **Conclusioni**

Alla luce di quanto riportato in questa rassegna, ci sembra importante sottolineare che, nei problemi di apprendimento, i disturbi "soft" della binocularità (molto più fini di quelli finora 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'assestamento fusionale degli assi visivi influiscono in modo significativo sul tempo di fissazione, ne deriva che nelle ortografie trasparenti, dove la bassa velocità di lettura è considerata il sintomo principale della DE (Tressoldi e coll. 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, 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 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.

### **Riferimenti Bibliografici**

Birnbaum MH; (1993) **Vision disorders frequently interfere with reading and learning: they should be diagnosed and treated.** J Behav Optom 4:66,

Blythe HI, Liversedge SP, Joseph HSSL, White SJ, Findlay JM, Rayner K; (2006) **The binocular coordination of eye movements during reading in children and adults.** Vision Research 46 3898-3908

Bowan MD; (2002) **Learning disabilities, dyslexia, and vision: a subject review--a rebuttal, literature review, and commentary;** Optometry (St Louis, Mo), vol. 73 pp. 553-75

Brown B, Haegerstrom-Portnoy G; Adams AJ, Yingling CD, Galin D, Herson J, Marcus M; (1983) **Predictive eye movements do not discriminate between dyslexic and control children.** Neuropsychologia, 21. 121-128

Bucci MP, Kapoula Z, (2006) **Binocular coordination of saccades in 7 years old children in single word reading and target fixation,** Vision Research, vol. 46 (4) pp. 457-66

Bucci MP, Brémond-Gignac D, Kapoula Z, Poor binocular coordination of saccades in dyslexic children, Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, DOI 10.1007/s00417-007-0723-1.

Chaturvedi V, Van Gisbergen JAM; (1999) **Perturbation of Combined Saccade-Vergence Movements by Microstimulation in Monkey Superior Colliculus;** J Neurophysiol 81: 2279-2296,

Chaturvedi V, Van Gisbergen JAM; (2000) **Stimulation in the rostral pole of monkey superior colliculus: effects on vergence eye movements,** Experimental Brain Research, Volume 132, Issue 1, Apr, Pages 72 - 78

- Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M. (1988). **Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements**. *Journal of Physiology*, **404**, 157-182.
- Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M. (1997). **Trajectories of the human binocular fixation point during conjugate and non-conjugate gaze-shifts**. *Vision Research*, **37**, 1049-1069
- Cornelissen, P. L., Munro, N. A. R., Fowler, M. S., & Stein, J. F.; (1993) **The stability of binocular Fixation during reading in adults and children**. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **35**, 777-787
- Dunlop P; (1972) **Dyslexia: the orthoptic approach**. *Australian J Orthoptics*; **12**: 16-20
- Evans BJ, Drasdo N, Richards IL.; (1994) **Investigation of accommodative and binocular function in dyslexia**. *Ophthalmic Physiol Opt. Jan*; **14**(1):5-19. Links
- Evans BJ, Drasdo N, Richards IL (1996) ; **Dyslexia: the link with visual deficits**. *Ophthalmic Physiol Opt. Jan*; **16**(1):3-10.
- Fioravanti, F., Inchingolo, P., Pensiero, S., & Spanio, M. (1995) **Saccadic eye movement conjugation in children**. *Vision Research*, **35**, 3217-3228.
- Evans BJW, Drasdo N, (1990) **Review of ophthalmic factors in dyslexia**. *Ophthal Physiol Optics*, **10**:13,
- Evans BJW; (1993) **Dyslexia - conventional optometric factors**. *Optometry Today*. June 14.
- Heller, D., & Radach, R., (1999). **Eye movements in reading: Are two eyes better than one**. In W. Becker, H. Deubel, & T. Mergner (Eds.), **Current oculomotor research Physiological and psychological aspects** (pp. 341- 348). New York: Kluwer Academic, Plenum.
- Ishida, T., & Ikeda, M.; (1989) **Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-replacement technique**. *Journal of the Optical Society A: Optics and Image Science*, **6**, 1624-1632.
- Juhász BJ, Liversedge SP, White SJ, 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
- Liversedge SP, White SJ, Findlay JM and Rayner K; (2006) **Binocular coordination of eye movements during reading**, *Vision Research* **46** (2006) 2363-2374, Ed. Elsevier
- Liversedge SP, Rayner K, White SJ, Findlay JM, McSorley E; (2006) **Binocular coordination of the eyes during reading**. *Curr Biol*, vol. 16 pp. 1726-9
- Kapoula, Z. A., Robinson, D. A., Hain, T. C. (1986). **Motion of the eye immediately after a saccade**. *Experimental Brain Research*, **61**, 386-394.[
- Livingstone MS, Rosen GD, Drislane FW, and Galaburda AM; (1991) **Physiological and Anatomical Evidence for a Magnocellular Defect in Developmental Dyslexia**, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 88, pp. 7943-7947, September, *Neurobiology*
- Lovegrove, W.J.; (1991) **Spatial frequency processing in dyslexic and normal readers**. In Stein J.F., ed., **Vision and Visual Dysfunction: Vision and Visual Dyslexia**, Vol. 13pp. 148-153, CRC Press
- MacKeben M, Trauzettel-Klosinski S, Reinhard J, Dürrwächter U, Adler M, Klosinsky G; (2004) **Eye movement control during single-word reading in dyslexics**, *Journal of Vision* **4**, 388-402,.
- Mitchell DE, (1966) **A review of their concept of "Panum's fusional areas"**. *Am. J Optom* **43**:387-401.
- Ogle KN, (1964). **Researches in Binocular Vision**. Hafner. New York.
- Olson RK, Connors FA, Rack JP, (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* (19):57-64
- Pavlidis G Th, (1985) **Eye movements in dyslexia: their diagnostic significance**, *J Learning Disabilities* **18**(1):42-50,.
- Pavlidis GTH; (1983) **Erratic eye movements in Dyslexics:Comments and reply to Stanley et al**. *British Journal of Psychology*, **74**, 189-193.



**DURATA ECCESSIVA DEI TEMPI DI FISSAZIONE NEI DISLESSICI:  
IL RUOLO DELLA COORDINAZIONE BINOCULARE DELLE SACCADDES**

- Rayner Keith, (1985) **Do faulty eye movements cause dyslexia**, *Developmental Neuropsychology*, 1 (1) 3-15.
- Rayner Keith (1998) **Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 years of research**, *Psychological bulletin* vol. 124 (3) pp. 372-422
- Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R., Slowiaczek, M. L., & Bertera, J. H.; (1981) **Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading**. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, , 7, 167-179.
- Reichle ED, Rayner K, Pollatsek A, (2003) **The E-Z Reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models**, *Behavioral and Brain Sciences* 26:4; pp.446-526, 2003.
- Sawa M, Ohtsuka K; (1994) **Lens accommodation evoked by microstimulation of the superior colliculus in the cat**; *Vision Res.* Apr;34(8):975-81
- Schor CM, Heckmann T e Tyler CW (1989). **Binocular fusion limits are independent of contrast, luminance gradient and component phases**. *Vis. Res.* 29:821-835.
- Skottun BC, (2000), **On the conflicting support for the magnocellular-deficit theory of dyslexia - Response to Stein, Talcott and Walsh**; *Trends in Cognitive Sciences - Vol.4, No.6, June* , 2000.
- Skottun BC, (2001) **On the use of metacontrast to assess magnocellular function in dyslexic readers**, *Perception & Psychophysics*, 63 (7), 1271-1274
- Skottun BC, Parke LA; (1999) **The possible relationship between visual deficits and dyslexia: examination of a critical assumption**. *J Learn Disabil.* Jan-Feb;32(1):2-5.
- Skottun BC, (1997) **The magnocellular deficit theory of dyslexia**. *Trends in Neurosciences*, 20(9), 397-398.
- Slowiaczek, M. L., & Rayner, K.; (1987) **Sequential masking during eye fixations in reading**. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 25, 175-178.
- Stanley G. Smith GA, Howell EA; (1983) **Eye movements and sequential tracking in dyslexic and control children**. *British Journal of Psychology*, 74, 181-187
- Stein J, Talcott J, Walsh V, (2000) **Controversy about the visual magnocellular deficit in developmental dyslexics**, *Trends in Cognitive Sciences - Vol.4, No.6, June*
- Stein J, (2004) **The Brain Basis of Dyslexia**, *Presentazione*, University Laboratory of Physiology, Oxford, UK
- Stein J, (2001) **The Magnocellular Theory of Developmental Dyslexia**, *DYSLEXIA* 7: 12-36
- Stein J, Walsh V, (1997) **To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia**, *Trends Neurosci* 20, 147-152
- Stein, J. F., & Fowler, M. S.; (1993). **Unstable binocular control in dyslexic children**. *Journal of Research in Reading*, 16, 30-45
- Stein, J. F., & Fowler, M. S.; (1981). **Visual dyslexia**. *Trends in Neuroscience*, 4, 77-80
- Stein, J. F., Richardson, A. J., & Fowler, M. S.; (2000). **Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics**. *Brain*, 123, 164-170
- Steinman RM; (2004) **Gaze control under natural conditions**, in ed. by Chalupa ML, Werner JS, *The Visual Neuroscience*, Vol.2, pp.1339-1356, Massachusetts Institute of Technology.
- Tressoldi PE, Stella G, Faggella M, (2001) **The development of Reading Speed in Italians with Dyslexia: a longitudinal study**, *J Learning Disabilities* vol. 34 n.5, 414-417
- Woo GCS (1974), **The effect of exposure time on foveal size of Panum's area**. *Vis. Res.* 14:473-480.
- Yang Q, Kapoula Z, (2003) **Binocular coordination of saccades at far and at near in children and in adults**, *Journal of vision*, vol. 3 (8) pp. 554-61
- Zeri F, (2005) **Visione Binoculare, lettura e dislessia evolutiva**; in Maffioletti S, Pregliasco R, Ruggeri L, **Il bambino e le abilità di lettura: il ruolo della visione**; Ed. Franco Angeli - Fondazione IARD, , pp.224-241