

L'ANALISI DEI MOVIMENTI OCULARI: DALLA  
LETTURA DI PAROLE A QUELLA DEI DOCUMENTI  
IPERTESTUALI

EYE MOVEMENTS ANALYSIS: FROM READING WORDS TO  
READING HYPERTEXTS

Thierry Baccino e Teresa Colombi<sup>1</sup>

Laboratoire de Psychologie Expérimentale et Quantitative, Pôle Univ. Saint Jean  
d'Angély, Nice - France

**Introduzione**

L'analisi dei movimenti oculari in psicologia ha più di trent'anni di ricerca scientifica alle spalle. I primi lavori risalgono addirittura alla fine del diciannovesimo secolo e si sono concentrati tanto sulla lettura quanto sulla percezione di scene visive. L'esempio più noto in questo secondo campo è quello di Yarbus (1967), che pubblicò i tracciati relativi all'esplorazione oculare del quadro « il visitatore inatteso » di Rapin. La considerazione più importante che si può trarre circa questo lavoro è che l'esplorazione che viene fatta dell'immagine non è casuale, ma segue una precisa strategia di ricerca visiva, dettata dallo scopo dell'osservatore. Chiedere all'osservatore di dedurre quale sia l'età dei personaggi rappresentati nel quadro, in effetti, indurrà l'osservatore a seguire un percorso di esplorazione dell'immagine molto diverso da quello registrato in seguito alla richiesta di dedurre il livello socio-economico degli stessi personaggi. Nell'esplorazione di scene visive, ma, come vedremo, anche nel caso della lettura, i movimenti che gli occhi fanno per spostarsi da un punto all'altro e per analizzare le informazioni sono tutt'altro che casuali e riflettono i processi cognitivi soggiacenti. Restringendo il discorso all'ambito della lettura, si può dire che i lavori in questo campo hanno acquisito più ampio respiro a partire dalla metà degli anni settanta del secolo scorso.

<sup>1</sup> Indirizzare le richieste di estratti a T. Colombi, presso: Laboratoire de Psychologie Expérimentale et Quantitative, Pôle Univ. Saint Jean d'Angély, 24, avenue des Diables Bleus, 06 357 NICE Cedex 4 - France. E-mail: Teresa.Colombi@unice.fr.

Tab. 1: parametri dei movimenti oculari (Fonte: Rayner, 1984)

Compito	Durata media di una fissazione (msec.)	Ampiezza media di una saccade (gradi)
Letture silenziosa	250	2 (circa 8 car.)
Letture orale	275	1.5 (circa 6 car.)
Ricerca visiva	275	3
Ispezione di scene visive	330	4
Letture di spartiti musicali	375	1
Dattilografia	400	1 (circa 4 car.)

Nella lettura le fissazioni durano in media duecentocinquanta millisecondi e le saccadi hanno una lunghezza compresa all'incirca tra sette e nove caratteri. L'unità di misura corretta per l'ampiezza delle saccadi è proprio il numero di caratteri (e non l'angolo visivo da essi sotteso), poiché il numero di caratteri "saltati" varia molto poco in funzione della distanza di lettura (che modifica l'angolo sotteso) (Rayner, 1998).

E' noto che le saccadi servono a condurre una nuova zona di testo in posizione foveale (la zona della retina in cui si concentrano la maggior parte dei coni e che è quindi quella con la maggior acuità visiva), poiché nella maggior parte dei casi la visione parafoveale non è sufficiente per l'identificazione delle parole. Tuttavia, lo sguardo non si posa su tutte le parole. Le chance che una parola ha di essere fissata dipendono sia dalla sua lunghezza, che dalla sua funzione. Per esempio, le parole dotate di contenuto (nomi comuni, verbi, eccetera) sono fissate all'incirca per l'85% del tempo totale di lettura mentre le parole funzionali (come preposizioni e congiunzioni) lo sono solo per circa il 35% (Rayner, 1988). Queste ultime parole sono anche più corte ed esiste una relazione fra la lunghezza delle parole e la probabilità che esse siano fissate: più le parole sono corte più è facile che siano saltate. Un terzo parametro (oltre la lunghezza e la funzione della parola) che influenza la probabilità di una parola di essere fissata è la sua predicibilità in base al contesto, ovvero in base alle parole che la precedono nella frase. Hyönä (1993) distingue due tipi di predicibilità: un primo tipo è la predicibilità lessicale, legata alla frequenza della parola in questione nella lingua di appartenenza. In effetti, più una parola è frequente nella lingua più sarà facile che essa sia saltata durante la lettura. Il secondo tipo è la predicibilità frasica o testuale, ovvero la predicibilità della parola in questione grazie alla presenza di altre parole che la precedono nel testo e che permettono al lettore di costruire un appropriato conte-

grazie all'introduzione della sperimentazione pilotata via computer, che ha permesso di utilizzare congiuntamente i sistemi oculometrici ed i calcolatori, di presentare i testi su schermo e di ottenere misure più precise ed affidabili (Rayner, 1998; Baccino, 2002, 2004; Baccino & Colombi, 2001). A partire dalla metà degli anni settanta del secolo scorso i computer hanno cominciato ad essere utilizzati su larga scala e da un numero sempre più elevato di persone. I terminali degli anni settanta del secolo scorso hanno rapidamente lasciato il posto al Personal Computer, attualmente usati per gli scopi più disparati, dal lavoro, al gioco, alla lettura del giornale su Internet. Ed è proprio l'uso stesso del calcolatore ed in particolare la lettura su schermo (comparata a quella su carta) l'ambito in cui si è concentrata la maggior parte della ricerca sulla lettura in questi ultimi anni (Baccino, 2004). In questo articolo presentiamo una panoramica di questi lavori, con speciale interesse per la lettura dei documenti elettronici e degli ipertesti.

### I parametri dei movimenti oculari

Prima di passare alla descrizione dei modelli relativi ai movimenti oculari e alla descrizione della lettura sui documenti elettronici e ipertestuali, è necessario fare un breve richiamo dei principali parametri relativi ai movimenti oculari. In linea di massima (tralasciando movimenti particolari come l'inseguimento lento o il nistagmo) gli occhi fanno due cose: si spostano da un punto all'altro (movimenti chiamati saccadi) e si fermano (facendo delle fissazioni). Durante le saccadi si verifica il fenomeno detto "soppressione saccadica", il che significa che durante gli spostamenti da un punto all'altro (di un testo come di un'immagine o una scena) l'occhio è relativamente cieco. L'informazione è presa, quindi, soltanto durante le soste che l'occhio fa, dette fissazioni, sebbene l'analisi dell'informazione osservata possa continuare durante le saccadi (e, come vedremo in seguito, anche durante le fissazioni successive). Negli studi relativi alla lettura, le fissazioni vengono distinte in progressive e regressive: le fissazioni progressive seguono una saccade da sinistra a destra, quelle regressive procedono da destra a sinistra (riportando gli occhi su una parte di testo già osservata in precedenza). Queste ultime rappresentano dai dieci al quindici per cento del tempo di lettura.

La tabella 1 presenta una sintesi dei parametri in questione.

sto in cui la parola in questione appare come un elemento congruente. Ehrlich e Rayner (1981) hanno mostrato che la durata delle fissazioni su una parola è più corta se la parola stessa è predittibile sulla base di un contesto chiaro e univoco.

Quanto detto mostra come il procedere degli occhi su di un testo non sia un processo "meccanico" e fisso, ma rifletta il processo di comprensione del contenuto che il lettore sta effettuando: se, grazie alla visione parafoveale, il lettore della frase « Giovanni sta mangiando una mela » si rende conto che la prossima parola a destra di quella che sta fissando è un articolo (« una », parola identificabile senza fissazioni poiché corta e molto frequente) ed è in grado di indovinare di cosa si tratti grazie alle inferenze che può fare basandosi sulla porzione di frase già letta, ci sono ottime probabilità che l'articolo in questione sia saltato e che gli occhi si posino direttamente sulla parola successiva, probabilmente molto più interessante ai fini della comprensione.

Nessuno dei parametri sopra citati può essere considerato singolarmente come un buon predittore del comportamento oculare (e quindi un buon indicatore dei processi cognitivi soggiacenti). Tutti questi parametri vanno presi in considerazione contemporaneamente e anche questo non è abbastanza, dato che altri fenomeni vengono a "perturbare" il trattamento delle informazioni fissate. In effetti, la durata di una fissazione non riflette completamente il trattamento della parola fissata: una parte del trattamento di ogni parola fissata ha potuto essere realizzato in visione parafoveale, mentre l'occhio fissava la parola precedente, cosa che pone il problema della separazione tra attenzione e sguardo (questo fenomeno è noto col nome di *preview benefit*) (Inhoff, Starr, & Shindler, 2000; Schroyens, Vitu, Brysbaert, & d'Ydewalle, 1999). Inoltre, la durata della fissazione della parola può riflettere una parte del trattamento della parola precedente (cioè il trattamento della parola precedente deborda su quella corrente, fenomeno chiamato *Spill-over effect*) (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2002). Infine, durante la fissazione di ogni parola, può essere già in atto il pretrattamento della parola successiva (effetto *parafoveal on foveal*) (Kennedy, 2000; Kennedy, Pynte, & Ducrot, 2002).

Da tutte queste considerazioni emerge chiaramente l'esistenza di una grande variabilità inter-individuale ed intraindividuale (ad esempio il medesimo soggetto nel leggere un paragrafo di testo può realizzare delle fissazioni da cento a cinquecento millisecondi e delle saccadi da uno a quindici caratteri). Bisogna quindi gestire questa variabilità per mezzo di situazioni sperimentali sufficientemente controllate (zone di testo predefinite, importante numero di soggetti, disegno sperimentale che preveda la presenza di più item per misura) al fine di mostrare che i

movimenti degli occhi possono essere dei buoni indicatori dei trattamenti cognitivi in tempo reale e che il "segnale cognitivo" resta presente nonostante il "rumore" motore.

### I modelli del comportamento oculare

Sebbene nelle pagine precedenti si sia fatto diverse volte riferimento al fatto che i movimenti oculari riflettono le strategie cognitive del lettore, l'importanza della componente "meccanica" del sistema visivo (per esempio il tempo necessario a programmare una saccade) non è stata ancora chiaramente misurata. Gli specialisti nel campo dell'analisi dei movimenti oculari si dividono in due grandi scuole, all'origine di due famiglie di modelli del comportamento oculare: i modelli cognitivi (che prendono in considerazione la relazione tra l'attenzione visiva e lo spostamento dello sguardo) e i modelli puramente oculomotori (che si concentrano sui parametri fisici e "meccanici" dell'occhio umano).

Per quanto riguarda i modelli cognitivi, vanno a loro volta divisi in due sottogruppi, quelli che considerano attenzione e sguardo accoppiati e non separabili e quelli che, al contrario, postulano che l'attenzione e lo sguardo non debbano per forza andare di pari passo.

Il modello cognitivo più noto che considera sguardo e attenzione come un tutt'uno è quello di Just e Carpenter (1980), chiamato *Eye-Mind Hypothesis*. Per Just e Carpenter il meccanismo che guida il movimento degli occhi dipende unicamente dal sistema cognitivo ed è strettamente sequenziale. Il lettore sposterebbe i suoi occhi verso la parola successiva una volta che tutti i trattamenti su quella fissata sono conclusi. L'attenzione visiva è quindi strettamente correlata allo spostamento dello sguardo. In questo modo, il tempo di fissazione di una parola (*Gaze Duration*) riflette completamente il tempo impiegato per la codifica della parola, la sua identificazione ed i trattamenti grammaticali e semantici associati. I limiti di questo modello sono chiaramente visibili: esso non rende conto dell'influenza della parola parafoveale su quella foveale e non predice le parole saltate, le saccadi regressive inter-parole, gli *spill-over*, il *preview benefit*. E' quindi necessario, per poter rendere conto di questi fenomeni, dissociare sguardo e attenzione, come nel modello di Morrison (1984). Secondo questo modello il meccanismo che guida il movimento degli occhi è basato sulla posizione spaziale dell'attenzione visiva e sulla posizione dell'occhio sulla parola: il modello è sequenziale per l'attenzione visiva e parallelo per la programmazione saccadica. All'inizio di ogni fissazione, la posizione dell'occhio e l'attenzione visiva sono orientate verso la stessa posizione, ov-

vero la parola foveale. Dopo che il trattamento della parola foveale ha raggiunto un certo criterio (ovvero dopo che l'accesso lessicale è terminato) l'attenzione si sposterebbe verso la parola parafoveale. Questo spostamento dell'attenzione permetterebbe:

- 1) di iniziare il trattamento della parola parafoveale ( $n+1$ )
- 2) sarebbe il segnale di programmazione della saccade verso questa parola.

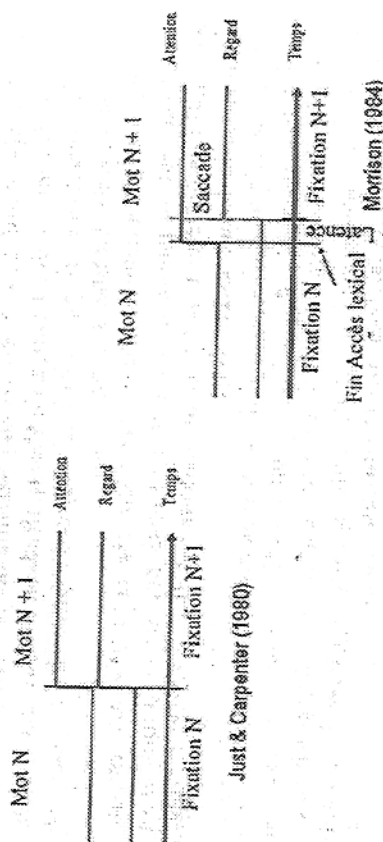
Così facendo, per un certo lasso di tempo il soggetto fissa la parola  $n$  mentre sta già analizzando la parola  $n+1$  (questo lasso sarebbe uguale alla preparazione saccadica meno il tempo di latenza). Il tempo di latenza necessario alla programmazione saccadica sarebbe utilizzato dal sistema per effettuare un pre-trattamento della parola parafoveale. Se la parola parafoveale è identificata rapidamente, l'attenzione si sposterebbe allora verso la parola  $n+2$  prima che la saccade sia completamente programmata. Infatti, se il trattamento parafoveale è particolarmente efficace, c'è abbastanza tempo perché due (o più) spostamenti attenzionali abbiano luogo, con la conseguenza che alcune parole vengano saltate.

Come si può notare, questo modello rende conto delle eventuali fissazioni molto corte in un testo, delle posizioni di arrivo non usuali dello sguardo (ad esempio gli spazi tra parole), del pretrattamento parafoveale (ma spiega solo il "parafoveal preview benefit", non l'effetto del trattamento parafoveale sulla parola foveale). Nonostante questi vantaggi, il modello di Morrison non è in grado di prevedere e spiegare alcuni altri fenomeni, come le rifissazioni intra-parola (se l'accesso lessicale è il criterio per avviare uno spostamento dell'attenzione e quindi una saccade successiva le parole non dovrebbero mai essere in seguito ri-fissate), le saccadi regressive e l'effetto del trattamento parafoveale sulla parola foveale.

La figura 1 illustra come il decorso temporale delle operazioni cognitive varia tra il modello di Just & Carpenter (1980) e quello di Morrison (1984).

Per quanto riguarda i modelli che si concentrano sugli aspetti fisiologici e "meccanici" dei movimenti oculari, il modello che è diventato un riferimento è quello di O'Regan (1990), chiamato "strategy and tactics". Questo modello spiega il meccanismo che guida il movimento degli occhi come ampiamente determinato dalla posizione di arrivo delle saccadi nelle parole. Il modello suggerisce che i lettori adottino una strategia globale determinata dalle caratteristiche oculomotorie, la quale guida gli occhi lungo la linea del testo e che questa strategia possa essere a volte modificata da tattiche locali (aggiustamento intra-parole) nel caso l'occhio arrivi in un punto non buono della parola.

Fig 1: Schema del decorso temporale dell'attenzione e dello sguardo secondo i modelli di Just & Carpenter (1980) e Morrison (1984). Lo schema si legge da sinistra a destra (dalla parola  $N$  verso la  $N+1$ ), i segmenti orizzontali simbolizzano le fissazioni oculari e quelli verticali le saccadi.



Ma cosa si può definire "punto non buono"? Numerosi lavori hanno dimostrato che l'occhio ha tendenza ad arrivare sistematicamente vicino al centro della parola (Posizione Ottimale di Fissazione - Optimal Viewing Position, OVP) seguendo un programma di movimento predefinito (Vitu, O'Regan & Miittau, 1990). Quando lo sguardo cade troppo lontano da questa OVP (mira non precisa, effetti visivi del contesto, ecc.) la parola è più frequentemente ri-fissata. Questo OVP determinerebbe così in parte la durata della fissazione sulla parola e la probabilità di ri-fissare la stessa più volte. Quando l'occhio arriva vicino al centro della parola la fissazione dura più a lungo e la probabilità di ri-fissazione è minore. Al contrario, quando l'occhio cade verso l'inizio o la fine della parola la prima fissazione è più corta e il numero di ri-fissazioni più elevato. La probabilità che una parola sia fissata più volte dipende quindi dai meccanismi oculomotori (cattivo posizionamento nella parola) e non dai trattamenti lessicali. Inoltre, diversi lavori hanno messo in luce che questa OVP è modulata in funzione della qualità visiva dell'informazione in visione parafoveale. Degli esperimenti hanno dimostrato che questo punto di fissazione ottimale (centro di gravità) era sistematicamente deviato nel caso si manipolassero:

- le caratteristiche visive della parola da fissare (luminosità, tipografia, densità dei caratteri, sfarfallio dello schermo, ecc.) (Beauvillain & Doré, 1996; Appelman & Mayzner, 1982; Lewis & Walker, 1989; Baccino, Jaschinski & Bussolon, 2001)
- l'utilità delle prime lettere della parola da fissare (Beauvillain,

Doré & Baudouin, 1996; Balota, Pollatsek & Rayner, 1985). In francese, delle sequenze ortograficamente irregolari come *zigane* (gitano) deviano sistematicamente la posizione dell'occhio verso l'inizio della parola, mentre altre parole (con un inizio molto più comune) come *bateau* (battello) non provocano nessuna deviazione.

- la lunghezza della parola da fissare (Radach & McConkie, 1998)
- la posizione di partenza della saccade (*launching position*) (McConkie, Kerr, Reddix & Zola, 1988)

Il limite principale di questo modello è che la OVP è stata ottenuta esclusivamente su parole isolate e non su testi, non si può quindi essere certi dell'impatto che i meccanismi oculomotori hanno rispetto a quelli cognitivi nella lettura di una frase.

Come si può notare, tra l'altro, nessun modello è "completo" e abbastanza preciso da render conto dell'insieme dei risultati sperimentali. La tendenza attuale è di esplicitare maggiormente i modelli dei meccanismi di guida dello sguardo costruendo modelli matematici o computazionali dei movimenti oculari.

### La lettura su schermo

Le due famiglie di modelli appena descritte si interessano al comportamento oculare studiandolo grazie ad apparecchiature che registrano la lettura su schermo. Il supporto visivo (lo schermo del computer) influenza però il processo di lettura, che può quindi risultare diverso da quello che sarebbe se il testo fosse presentato su carta. Lo schermo (specialmente il Tubo a Raggi Catodici, CRT) ha delle caratteristiche fisiche particolari ed è stato messo in luce da vari studi che può avere una certa influenza sul comportamento oculare. In particolare, lo "sfarfallio" dello schermo (*flicker*), dato dalla frequenza d'aggiornamento dell'immagine ha un impatto sia sui meccanismi oculomotori (Baccino, Jaschinski & Bussolon, 2001) sia sul comportamento di lettura (sebbene su questo soggetto i risultati sperimentali siano contraddittori, vedi Muter & Marutto, 1991). Un altro parametro in grado di influenzare la lettura su schermo è la polarità dell'immagine: anche in questo caso i risultati sperimentali sono spesso contraddittori (probabilmente a causa degli innumerevoli parametri che interagiscono contemporaneamente e che variano da uno studio all'altro) ma pare che in generale la lettura di caratteri bianchi su sfondo nero sia agevolata rispetto alla lettura di caratteri neri su sfondo bianco (Gould *et al.*, 1987). Molti altri parametri si aggiungono a questa lista, sia legati alle caratteristiche del supporto fisico e alla sua interazione col lettore (come la risoluzione dello schermo, la distanza

tra esso ed il lettore, il contrasto tra i caratteri e lo sfondo, ecc.) sia legati al contenuto mostrato (interlinea del testo, giustificazione dei margini, tipo di carattere utilizzato, ecc.). Per una panoramica più approfondita su questi aspetti vedasi Muter & Marutto (1991).

Per quanto riguarda i documenti ipertestuali, ai parametri citati vanno aggiunte alcune peculiarità di questo tipo di materiale: la presenza di *scrolling* delle pagine e la cosiddetta visione "per il buco della serratura". Lo *scrolling* è la necessità di scorrere le pagine-schermo per poter visualizzare interamente il contenuto di una pagina, dato che lo spazio disponibile non è sufficiente perché essa sia integralmente visibile. L'ormai classico "ascensore" sul lato destro della pagina indica che il contenuto è più "lungo" dello schermo e che è quindi necessario cliccare sulla freccia verso il basso per far scorrere la pagina e leggere il suo seguito. Diversi lavori si sono interessati all'impatto che lo *scrolling* ha sulle performance di lettura, comprensione e apprendimento sui documenti elettronici. In effetti, un importante aspetto teorico è legato alla presenza dello *scrolling*: la frammentazione dei contenuti, fattore che può avere un impatto notevole sulla comprensione e l'apprendimento del testo. Si può essere portati a pensare, in effetti, che sia meglio organizzare ogni unità concettuale di contenuto in una sola pagina (il che provocherà probabilmente la presenza di *scrolling*, data la sua lunghezza), oppure si può difendere la posizione opposta ed eliminare lo *scrolling* creando una nuova pagina (seguito della precedente) ogni volta che la lunghezza raggiunge il massimo permesso dallo schermo (creando quindi varie sotto-unità per ogni contenuto). Il vantaggio del primo approccio è permettere una miglior comprensibilità del contenuto (ma non la sua lettura), il vantaggio del secondo è agevolare la lettura (ma non per forza la sua integrazione in un modello mentale coerente, dato il numero elevato di pagine da gestire). In effetti, la presenza dello *scrolling*, sebbene non disintegri l'unità concettuale, distrugge l'integrità "fisica" della pagina, obbligando il lettore a crearsi una nuova immagine mentale ad ogni *scrolling* (dato che la posizione degli elementi cambia) e questo può ostacolare l'integrazione delle informazioni in memoria (Baccino & Pynte, 1998). In modo speculare, il *paging* (ovvero il procedere «pagina per pagina» esattamente come in un libro) permette di creare un'unica immagine mentale per pagina (e quindi di poter memorizzare la posizione delle parole chiave, per poterle ritrovare rapidamente in un secondo momento), ma ha lo svantaggio di aumentare di molto il loro numero. Schwarz, Beldie e Pastoor (1983) formulano l'ipotesi che lo *scrolling* sia più adatto in caso di informazioni molto interconnesse e legate tra loro (quindi di

difficile "scissione"), mentre il paging sarebbe da preferire nel caso in cui la suddivisione in sotto-unità si possa fare senza troppi problemi. I risultati ottenuti da van Nimwegen, Pouw e van Oostendorp (1999) vanno in questa direzione.

La seconda caratteristica peculiare degli ipertesti è anch'essa legata a quanto detto circa la difficoltà a crearsi un'immagine mentale integrata del contenuto proposto: se questa difficoltà è in parte legata allo scrolling, essa è legata anche al fatto che la visione che il lettore ha dell'ipertesto che sta esplorando è parziale e frammentata. La presenza di scrolling crea una frattura intra-pagina ma non bisogna dimenticare che il senso di un ipertesto va al di là di una singola pagina ed è legato alla struttura nel suo complesso. Struttura della quale il lettore ha una visione "attraverso il buco della serratura" (come l'ha chiamata Woods, 1984), ovvero "pezzo per pezzo" (normalmente non è possibile vedere più di una pagina alla volta). Sta al lettore ricreare la totalità della rete, fare inferenze circa il suo contenuto e la sua organizzazione (gerarchia dei contenuti, legami concettuali fra le varie unità di ogni livello gerarchico, passaggi logici, ecc.). Questo lavoro di integrazione non è affatto semplice, soprattutto nel caso in cui il lettore non abbia già delle nozioni circa il contenuto esposto, o nel caso in cui il contenuto sia particolarmente complesso e articolato.

#### *La natura dei documenti ipertestuali*

In realtà, le differenze tra la lettura di un testo "classico" su schermo e quella di un ipertesto non si limitano ai problemi di scrolling e di visione attraverso il buco della serratura. Essi sono legati al supporto che permette di visualizzare l'ipertesto (lo schermo) ma sono anche il "sintomo" della presenza di un problema di ordine più generale, legato alla struttura ipertestuale stessa, alla natura degli ipertesti, ovvero alla possibilità di spostarsi da una pagina ad un'altra secondo un ordine che è scelto dal navigatore e non imposto dall'autore del contenuto. Il lettore di un ipertesto ne è in qualche modo anche in parte l'autore, dato che ne personalizza la struttura, accedendo alle varie unità secondo una sequenza scelta in base ai propri interessi, necessità, competenze nel dominio trattato, etc. Se i padri degli ipertesti (come Bush o Nelson) pensavano che questa peculiarità costituisse il punto di forza principale di questo nuovo modo di organizzare le informazioni (sopposto riflettere l'organizzazione ed il funzionamento della mente umana), il futuro degli ipertesti si è rivelato molto meno roseo del previsto. Navigare in un ipertesto può rivelarsi un compito difficile, trovare un'informazione precisa può richiedere molto

più tempo che sull'equivalente cartaceo (o "lineare") del documento, per non parlare delle difficoltà dovute all'uso degli ipertesti come supporto per l'apprendimento. L'esplorazione delle pagine, l'accesso al contenuto e i processi di comprensione e apprendimento non si svolgono della stessa maniera che sul supporto cartaceo.

I lavori di questi ultimi anni (Foss 1989; Foltz 1996) hanno infatti messo in luce che i processi di lettura e comprensione sono "perturbati" dalla struttura ipertestuale e che questo ha delle ripercussioni sulle performance dei soggetti, che si rivelano equiparabili (se non peggiori) alle performance su documenti lineari (mentre i creatori degli ipertesti predicavano delle performances nettamente migliori).

Vari elementi sono stati chiamati in causa per spiegare le ragioni dei problemi d'utilizzazione degli ipertesti. Foss identifica come colpevole la perdita del senso dell'orientamento, ovvero il fatto di non sapere dove ci si trova nella struttura, non sapere come si è giunti nella pagina attuale e come raggiungere la pagina desiderata. In effetti, soprattutto se la rete di collegamenti è fitta, vi sono molte pagine e il navigatore non conosce bene il soggetto trattato, è facile che non riesca a crearsi una mappa mentale che faciliti i suoi spostamenti. Foss cita tre cause principali della perdita dell'orientamento: il sovraccarico cognitivo, la mancanza di familiarità con il soggetto esposto nell'ipertesto e la mancanza di esperienza nel comportamento di navigazione (cliccare sui link, ritornare alle pagine precedentemente esplorate, ecc.). Un altro elemento fondamentale per la comprensione del contenuto di un testo è la sua coerenza interna. La coerenza è fondamentale per poter comprendere il contenuto ed i passaggi da una pagina all'altra (ovvero da un'unità di senso all'altra), come hanno messo in luce da parecchi anni vari lavori sulla lettura (Kintsch & Vipond, 1979; Miller & Kintsch, 1980). Secondo Foltz, i problemi di comprensione dei documenti ipertestuali sarebbero legati alla mancanza di coerenza tra le varie pagine di un ipertesto. Mantenere un elevato livello di coerenza tra le varie pagine di un ipertesto non è però un compito semplice, dato che, per sua natura, l'ipertesto permette di navigare liberamente, anziché seguire un percorso predefinito dall'autore. Non potendo quindi predire gli spostamenti del navigatore è molto difficile mantenere un alto grado di coerenza tra le pagine nella sequenza che egli ha scelto.

Le peculiarità degli ipertesti si riflettono anche sul comportamento di esplorazione oculare dei navigatori. Se l'analisi del percorso di esplorazione delle pagine (la sequenza scelta dall'utilizzatore per prendere visione del contenuto dell'ipertesto) ci dà molte informazioni

circa lo scopo della navigazione e l'idea del contenuto e della struttura che il navigatore si è fatta, l'analisi dei movimenti oculari ci permette di conoscere con precisione il percorso di lettura e ricerca visiva effettuato all'interno di ogni singola pagina.

Goldberg e colleghi (1995; 1998) hanno identificato un insieme di indicatori oculari specifici per lo studio delle interfacce uomo-macchina. Essi distinguono i parametri che riflettono il trattamento delle informazioni (essenzialmente legati alle fissazioni) da quelli che testimoniano del processo di ricerca (essenzialmente legati alle saccadi ed al percorso effettuato dello sguardo, detto *scanpath*). La tabella 2, tratta da Baccino (2004) riassume vari indicatori oculari utili nello studio delle interfacce uomo-macchina e ne specifica le unità di misura.

Tab. 2: i parametri oculari per lo studio delle interfacce (Baccino, 2004)

Processo cognitivo	Misure oculari	Unità di misura
Ricerca di informazioni	Numero di saccadi	N
	Taglia media delle saccadi	Pixels
	Lunghezza dello <i>scanpath</i>	Pixels
	Durata dello <i>scanpath</i>	msec
	Densità di transizione	%
	Aria convessa di Hull	Pixels <sup>2</sup>
	Densità spaziale	%
Trattamento delle informazioni	Somiglianza dello <i>scanpath</i>	Distanza di Levenshtein
	Durata delle fissazioni	msec
	Numero delle fissazioni	N

Come si può vedere, quindi, lo studio dei movimenti oculari permette di trarre importanti indicazioni non solo nel caso della lettura e comprensione di testi (come descritto nei paragrafi precedenti) ma anche nel caso dell'esplorazione visiva di informazioni complesse (per esempio pagine Web contenenti colori, immagini o animazioni).

Nel prossimo paragrafo di questo lavoro è esposto un esempio concreto di indagine delle strategie di esplorazione visiva messe in atto su delle pagine contenenti collegamenti ipertestuali.

### L'analisi dei movimenti oculari sui documenti ipertestuali: un esempio.

I documenti ipertestuali possono essere esplorati non solo per essere letti ma anche per essere "percorsi" alla ricerca di un'informazione particolare. In questo caso, alcuni parametri oculari (come la lunghezza dello *scanpath* o la densità delle transizioni tra una zona di contenuto e l'altra) possono essere degli indicatori importanti del processo di ricerca messo in atto dal soggetto che guarda la pagina. Colombi e Baccino (2003b) hanno chiesto a dei soggetti di effettuare vari compiti di ricerca di informazioni su dei documenti elettronici. Tre variabili indipendenti sono state manipolate: l'impaginazione (pagine organizzate su due colonne e pagine organizzate su quattro righe, Fattore *within subjects*), la sintassi (frasi dichiarative e frasi interrogative, Fattore *within subjects*) e l'obiettivo dato ai soggetti<sup>2</sup> (navigare in un sito internet o partecipare a un esperimento di psicologia, Fattore *between subjects*).

Sono stati condotti tre tipi di analisi sui dati raccolti: delle analisi globali, delle analisi locali e delle analisi specifiche per gli *scanpath*. I due primi gruppi di analisi prendono in considerazione le variabili dipendenti relative al trattamento delle informazioni, secondo la classificazione esposta in precedenza. L'ultimo gruppo si concentra invece sul processo di ricerca visiva delle informazioni e tratta quindi lo *scanpath*. Le analisi globali prendono in considerazione gli indicatori oculometrici relativi alla comprensione del contenuto della pagina, come il tempo di esplorazione, il numero di fissazioni rilevato e la loro durata. Queste tre variabili dipendenti sono strettamente correlate tra loro e quindi tutte mostrano grosso modo gli stessi risultati. L'ANOVA ha messo in luce un effetto principale della sintassi: le pagine contenenti frasi dichiarative necessitano di più tempo e di fissazioni più numerose e più lunghe che le pagine contenenti domande. Questo effetto era già stato notato in un altro esperimento di Colombi e Baccino (2003a), per molti aspetti analogo. La spiegazione che si può dare chiama in causa la posizione delle parole-chiave presenti in ogni

<sup>2</sup> Questa variabile riguarda il contesto descritto ai partecipanti, supposto influenzare il loro comportamento durante l'esperimento. Sono stati creati due gruppi di soggetti, l'uno al quale è stato detto che avrebbero dovuto "navigare su internet, in un portale di commercio elettronico per cercare alcune informazioni" e l'altro al quale è stato detto che avrebbero partecipato ad un "esperimento di psicologia cognitiva riguardante la lettura". Si noti bene che il materiale sperimentale proposto ai soggetti dei due gruppi è esattamente lo stesso, quello che cambia è il modo in cui l'esperimento viene presentato, ovvero il "contesto" di riferimento che si attiva nella mente dei partecipanti.

frase e che permettono di discriminare la pertinenza di ogni frase rispetto alla consegna di ricerca data. La sintassi è presente anche in interazione con l'impaginazione delle frasi, mettendo in luce valori più elevati quando le dichiarazioni sono organizzate in righe. L'impaginazione in righe sembra quindi di più difficile esplorazione (specialmente se si tratta della forma sintattica in cui è più difficile identificare la parola chiave), dato confermato anche dalle analisi sullo *scanspath*. Ma il risultato più interessante di questo gruppo di analisi è quello ottenuto sulla variabile obbiettivo: l'ANOVA ha mostrato una differenza significativa tra le due condizioni proposte. La condizione che presentava ai soggetti una situazione di navigazione su internet mostra valori inferiori alla condizione in cui i partecipanti credevano di partecipare ad un esperimento di psicologia. Questo risultato è particolarmente importante, dato che conferma da un punto di vista sperimentale l'affermazione, spesso fatta empiricamente, che i navigatori non leggono le pagine Web, bensì le scorrono (comportamento detto *scanning*). Questo particolare comportamento poteva essere finora imputato alle caratteristiche dello schermo e alle note differenze tra la lettura su carta e quella elettronica, descritte precedentemente. Questi risultati sperimentali mettono invece in evidenza una reale peculiarità delle pagine web, che quindi inducono un comportamento particolare, spingendo i soggetti ad esplorare il contenuto più rapidamente e con meno fissazioni. Il contesto cognitivo che si attiva nella mente dei soggetti li induce a comportarsi differenzialmente da quello che farebbero davanti allo stesso materiale, presentato come un esperimento di psicologia.

Le analisi locali hanno preso in considerazione il comportamento oculare all'interno di ogni singola frase (che fosse presentata come un link ipertestuale o come un semplice testo, a seconda del gruppo di soggetti). L'analisi della posizione di arrivo dell'occhio sulle frasi (*eye landing position*) conferma l'effetto della sintassi osservato nelle analisi globali, mostrando che nelle dichiarazioni l'occhio tende piuttosto a posarsi verso il centro della frase (specialmente se l'organizzazione delle frasi è per righe), mentre nelle domande cade maggiormente verso la fine. Un'altra importante analisi, che permette di trarre indicazioni sul processo di presa di informazione e sulle difficoltà incontrate in questo compito, è quella sulle fissazioni regressive<sup>3</sup>. Anche in questo caso è presente l'effetto dell'obbiettivo dato ai soggetti: nel contesto di

navigazione su Internet i soggetti tendono a fare meno spesso delle saccate regressive intra-frase, mentre quelli che credono di partecipare ad un esperimento di psicologia si comportano in maniera opposta. Questo risultato conforta il presente e permette di dedurre che il tempo che i soggetti nella condizione Internet risparmiano rispetto all'altra condizione è preso proprio sulle fissazioni regressive, molto meno numerose. Una differenza significativa tra le due modalità della variabile obbiettivo appare anche su una terza variabile dipendente delle analisi locali: il paragone tra il tempo passato sul testo che costituisce la risposta corretta e quello passato sulla media degli altri testi di ogni pagina. L'effetto rilevato mette in luce che i soggetti passano una quantità di tempo comparabile sul testo corretto, sia che si trovino nella situazione di navigazione che in quella di partecipazione ad un esperimento, mentre il tempo passato sulle altre frasi varia sensibilmente tra le due modalità. In effetti i soggetti del gruppo Internet passano molto meno tempo sulle altre frasi della pagina che i soggetti appartenenti al secondo gruppo. Anche questo risultato conferma il fatto che la situazione in cui i soggetti pensano di navigare in un portale di commercio elettronico induce un comportamento oculare particolare, che tende a economizzare il tempo, esplorare velocemente e "saltare" tutto quello che non è ritenuto pertinente con la ricerca in atto.

Il terzo gruppo di analisi prende in considerazione il processo di ricerca di informazione e, di conseguenza, permette di mettere in evidenza le strategie di ricerca visiva messe in atto dai soggetti. Un primo tipo di analisi che si può condurre sullo *scanspath* tende a verificare l'impatto dell'impaginazione sul modo di esplorare le varie frasi. Si potrebbe immaginare che un'impaginazione verticale (le colonne) induca un comportamento di esplorazione verticale (le basso mentre un'impaginazione orizzontale (le righe) induca un comportamento di esplorazione da sinistra a destra, somigliante alla lettura "classica". I risultati di questo esperimento mostrano invece una dominanza del comportamento di ispezione verticale, indipendentemente dall'impaginazione dei testi. Anche le righe, infatti, sono state molto spesso ispezionate come se fossero tre piccole colonne di quattro elementi ciascuna. La strategia più frequentemente usata è di tipo "a saccade" con un'esplorazione dei testi dall'alto in basso in cui l'occhio si sposta dal fondo di una colonna alla cima della successiva con una saccade. Le figure 2 e 3 mostrano dei tracciati oculari relativi a questa strategia registrati su testi con differente impaginazione.

3. Sono state considerate fissazioni regressive tutte le fissazioni che, per ogni frase, sono state precedute da una saccade che ha portato in zona focale una parte di testo più a sinistra di quella fissata inizialmente.



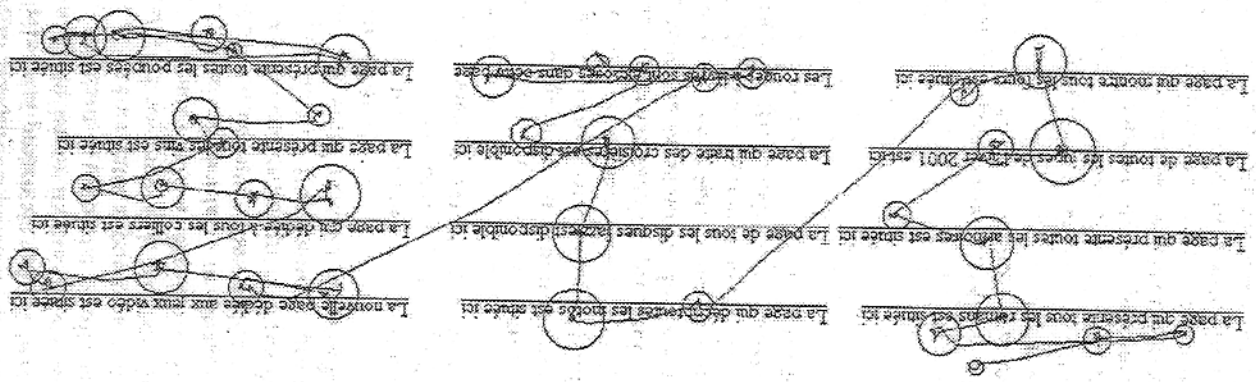


Fig. 3: strategia a saccade su pagina in righe con dictharazioni!

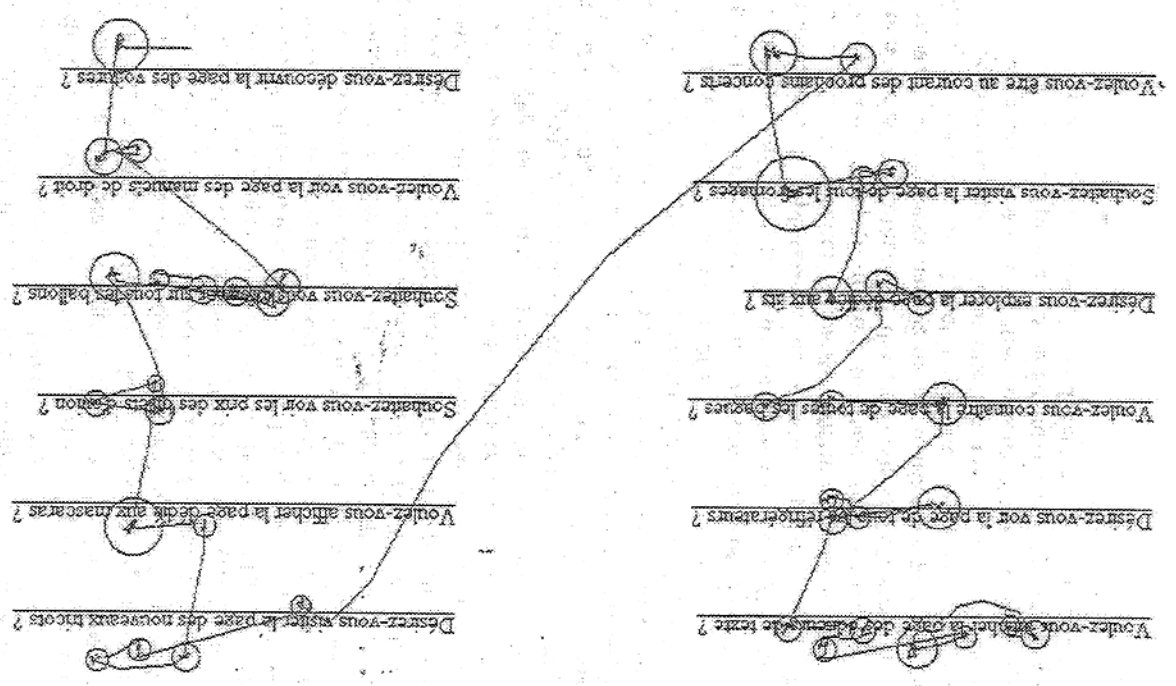


Fig. 2: strategia a saccade su pagina in colonna con domande

Attraverso l'analisi dello *scanship* è possibile studiare non solo le strategie di esplorazione delle frasi presentate sullo schermo, ma anche il comportamento di presa di decisioni rispetto alla ricerca in corso. Quando il soggetto arriva a fissare il testo che costituisce la risposta corretta rispetto al compito di ricerca dato, si possono infatti distinguere due differenti comportamenti: il soggetto può scegliere di fermarsi (e selezionare la risposta) o continuare a esplorare le altre frasi, mantenendo in memoria le coordinate del testo in questione per potervi ritornare una volta esplorati i rimanenti. Questi due comportamenti sono definibili rispettivamente auto-terminato e esaustivo ed il loro studio permette di comprendere meglio il processo di presa di decisioni e le strategie di azione attuate dalla persona che esplora la pagina cercando un elemento in particolare.

Come si può vedere, i tre parametri manipolati in questo esperimento giocano un ruolo importante sul comportamento di esplorazione oculare e, di conseguenza, sul processo di ricerca visiva e sul trattamento delle informazioni.

Le applicazioni pratiche di esperimenti come questo sono direttamente collegate al miglioramento delle interfacce uomo-macchina: ottimizzare i documenti elettronici dal punto di vista di impaginazione, sintassi e altri parametri sia visivi che semantici, permetterebbe all'utilizzatore un'interazione più facile, immediata e soddisfacente. Il semplice fatto, ad esempio, di disporre con particolare cura le parole chiave presenti nel testo (grazie ad un'impaginazione ed a una forma sintattica adeguata) permetterebbe di effettuare più velocemente i compiti di ricerca, effettuando meno fissazioni regressive, arrestando la ricerca più facilmente una volta identificata la buona risposta, ecc.

## Conclusioni

Come si è potuto notare da quanto esposto nelle pagine precedenti, sebbene i movimenti oculari siano studiati da molti anni, il comportamento di lettura di testi (e ancor più quello di esplorazione di documenti elettronici ipertestuali), non è ancora conosciuto a fondo. I modelli attualmente disponibili permettono di fare solo predizioni parziali e rendono conto di un numero di comportamenti limitato, a causa dell'interazione contemporanea di un elevato numero di fattori. Alcuni elementi sono attualmente centrali nella ricerca nel campo della lettura, come lo studio dell'importanza del contesto (frastico o lessicale) sulla programmazione e l'esecuzione dei movimenti oculari (si veda ad esempio Hess, Foss & Carroll, 1995). Che impatto ha l'effetto del

contesto su di una fissazione oculare? Interviene simultaneamente o posteriormente all'identificazione della parola fissata?

Le simulazioni computazionali attualmente disponibili devono ancora evolvere parecchio per poter render conto di fenomeni come la ricerca visiva su documenti non lineari. Una pista interessante da esplorare è quella che non tiene conto solamente dei parametri oculari classici (come il numero e la durata delle fissazioni, il numero di fissazioni progressive e regressive in ogni testo, ecc.), ma anche del comportamento scelto per esplorare le pagine ed interagire con esse. Lo studio dello *scanship* e quindi delle strategie di esplorazione del contenuto e di selezione delle risposte permette, infatti, di tener conto delle peculiarità degli ipertesti, in cui la mancanza di linearità (e quindi di un percorso di esplorazione preimpostato, come su un testo "classico") è un elemento cruciale, con un forte impatto sul comportamento oculare e, di conseguenza, sui processi cognitivi del lettore. È possibile inoltre comparare gli *scanship* di differenti soggetti tra loro per poter mettere in luce le diversità indotte dalle caratteristiche del testo o della pagina elettronica. Il calcolo di un indicatore detto "distanza di Levenshtein" permette infatti di conoscere "l'indice di dissimilarità" che i differenti tracciati oculari presentano tra loro, indice che permette di dedurre quanto simili sono le strategie di esplorazione visiva utilizzate dai soggetti (Baccino, 2004).

Sarebbe necessario anche adattare maggiormente gli indicatori oculometrici classici alle particolarità dei documenti elettronici: come propongono Hyönä, Lorch & Rinck (2003) per lo studio del trattamento cognitivo di frasi non adiacenti nel testo (il che è il caso anche dei documenti ipertestuali) è importante introdurre variabili dipendenti che permettano, ad esempio, di distinguere i *second passes* (fissazioni su una parte di testo già fissata in precedenza) dal cosiddetto "extended first pass fixation time". Questo nuovo indicatore sarebbe la somma del tempo passato sulla frase ( $\alpha$ , più in generale l'Area di Interesse) quando la si esplora per la prima volta e del tempo passato su di essa se vi si ritorna per esplorare parti che non erano state viste nel primo passaggio (e che sono quindi "nuove" anche se si torna su di un'area già esplorata).

Lo studio della lettura e dell'esplorazione visiva dei documenti elettronici dovrà, in futuro, prendere maggiormente in considerazione le relazioni tra le immagini (disegni, grafici, foto, ecc.) e il testo, ovvero la presenza di informazioni multimodali. I primi passi in questo senso cominciano ad essere fatti (si veda Strahm & Baccino, 2003), ma altre ricerche sono necessarie per poter rendere conto dell'impatto della multimodalità sui processi di comprensione e di apprendimento. Per quanto riguarda l'apprendimento attraverso i documenti elettronici una

delle nuove frontiere è quella posta dallo studio dell'apprendimento collaborativo (*Computer Supported Cooperative Learning*). Anche in questo caso le indagini oculometriche possono essere un valido mezzo di studio per poter analizzare i processi di comprensione individuali e collettivi.

Sebbene le conoscenze attualmente disponibili circa i processi cognitivi in atto durante l'interazione con i documenti elettronici siano tutt'altro che esaustive, non si deve dimenticare, inoltre, che gli ipertesti sono in continua evoluzione e che cominciano a diffondersi nuove forme di documenti elettronici, con enormi potenzialità e che suscitano nuovi interrogativi, come i *Perspective Wall* (Robertson & Mackinlay, 1991) e la *Document Lens* (Mackinlay, Robertson & Card, 1993). Il *Perspective Wall* è un sistema di presentazione di documenti elettronici (per esempio i risultati di una ricerca tramite un motore) che dispone su di un muro "in primo piano" i documenti con maggiore pertinenza con la richiesta dell'utilizzatore e mostra gli altri risultati grazie ad una visione prospettica, nella quale sono disposti su altri muri in secondo piano. La *Document Lens* è basata sullo stesso principio ma sfrutta la metafora della lente di ingrandimento, dando proporzioni maggiori alla parte del documento considerata la più pertinente rispetto alla ricerca in corso. Le potenzialità di queste forme di interazione uomo-macchina sembrano enormi (come si era detto anche per gli ipertesti al momento della loro creazione), ma sono accompagnate da altrettanto grandi questioni teoriche sul carico cognitivo necessario per gestire una tale mole di informazioni e gli spostamenti al suo interno. In futuro, la ricerca sui movimenti oculari potrebbe essere un valido supporto per render conto delle strategie di ricerca nelle tre dimensioni del muro prospettico e dei processi di comprensione ed integrazione delle informazioni organizzate nella lente di ingrandimento.

#### Riassunto

Questo articolo si propone come una panoramica degli studi attuali sui movimenti oculari. Lo studio dei movimenti oculari è particolarmente importante in psicologia, poiché i dati raccolti permettono di fare inferenze circa i processi cognitivi del lettore. Dopo una rapida descrizione del comportamento di lettura, degli indicatori oculometrici registrati e dei più noti modelli del comportamento oculare viene esposto l'attuale stato dell'arte in questo ramo. In particolare, vengono trattate le particolarità del comportamento di lettura su schermo e di quello di esplorazione visiva dei documenti ipertestuali. Viene esposto un esempio di esperimento relativo alle strategie di esplorazione in pagine contenenti link ipertestuali e vengono introdotte varie tematiche importanti per i futuri lavori in questo settore.

#### Abstract

This article is an overview of the research in the field of eye movement. The study of eye movements is very important in psychology because gathered data allow to infer information about underlying cognitive processes of the reader. After a short description of reading behaviour, of parameters of eye movements control and of the most important oculomotor models, the present state of the art in this field is described. In particular, the characteristics of reading on the computer's screen and exploring hypertexts are discussed. Authors give an example of an experiment concerning the visual strategies in the exploration of hypertext links and they introduce several important topics for future studies in this field.

#### Bibliografia

- Appelman, I. B., Mayzner, M. S. (1982). Application of geometric models to letter recognition: Distance and density. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(1), 60-100.
- Baccino, T. (2002). Oculométrie Cognitive. In Tiberghien, G. (Ed.), *Dictionnaire des Sciences Cognitives*, pp. 100-101, Paris: Armand Colin.
- Baccino, T. (2004). *La lecture électronique: de la vision à la compréhension*. Sciences et Technologies de la Connaissance, Grenoble: PUG.
- Baccino, T., Colombi, T. (2001). L'analyse des mouvements des yeux sur le web. In A. V. Hofe (Ed.), *Revue d'Intelligence Artificielle*, Vol. 14, pp. 127-148, Hermes.
- Baccino, T., Jasechinski, W., Bussolon, J. (2001). The influence of bright background flicker during different saccade periods on saccadic performance. *Vision Research*, 41, 3909-3916.
- Baccino T., Pynte, J. (1998). Spatial encoding and referential processing during reading. *European Psychologist*, 3, 1, pp. 51-61.
- Balota, D.A., Pollatsek, A., Rayner, K., (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, 17, 364-390.
- Beauvillain, C., Doré, K. (1996). Effect of luminance and linguistic information

- on the center of gravity of words. In J. Findlay (Ed.), *Eye Movement Research: Mechanism Processes and Applications*.
- Beauvillain, C., Doré, K., Baudouin, V. (1996). The 'Center of Gravity' of words: Evidence for an effect of the Word-Initial Letters. *Vision Research*, 36(4), 589-603.
- Bush, V. As we may think. *Atlantic Monthly* 176, 1. (July 1945). 101-108. Ristampato in: *The Growth of Knowledge*, M. Koelen. (Ed). Wiley. New York, 1967, pp. 23-35.
- Colombi T., Baccino T. (2003a). Le rôle de la mise en page et de la structure syntaxique dans la sélection des liens hypertextuels. *Le Travail Humain*, 66, pp.45-64.
- Colombi, T., Baccino, T. (2003b). "Visual Search Strategies on Hypertexts, *International Human Computer Interaction conference 2003*, Creta, 22-27 juin 2003.
- Ehrlich, S. F., Rayner, K. (1981). Contextual effects on word perception and eye movements during reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 20, 641-655.
- Foltz, P.W. (1996) Comprehension, Coherence and Strategies in Hypertext and Linear text. In Rouet, J.-F., Levonen, J.J., Dillon, A.P. Spiro, R.J. (Eds) *Hypertext and Cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Foss, C.L., (1989). Tools for reading and browsing hypertexts. *Information processing and management*, 25, 407-418.
- Goldberg, J. H., Schryver, J. C. (1995). Eye-Gaze Contingent Control of the Computer Interface: Methodology and Example for Zoom Detection. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 27, 3, pp. 338-350.
- Goldberg, J.H., Kotval, X.P. (1998). Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 24, pp. 631-645.
- Gould, J., Alfaro, L., Finn, R., Haupt, B., Minuto, A., (1987). Reading from CRT displays can be as fast as reading from paper. *Human Factors*, 26, pp. 497-517.
- Hess, D.J., Foss, D.J., Carroll, P. (1995) Effects of global and local context on lexical processing during language comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 1, pp. 62-82.
- Hyönä, J. (1993). Effects of thematic and lexical priming on readers' eye movements. *Scandinavian Journal of Psychology*, 34, pp. 293-304.
- Hyönä, J., Lorch, R.F., Rinck, M. (2003). Eye movement measures to study global text processing. In Hyönä J., Radach, R., Deubel, H. (Eds.) *The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movements research*, Amsterdam, Elsevier.
- Inhoff, A. W., Starr, M., Shindler, K. L. (2000). Is the processing of words during eye fixations in reading strictly serial? *Perception & Psychophysics*, 62, 7, 1474-1484.
- Just, M.A., Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological review*, 87, pp. 329-354.
- Kennedy, A. (2000). Parafoveal processing in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 53A, 2, 429-455.
- Kennedy, A., Pynte, J., Ducrot, S. (2002). Parafoveal-on-foveal interactions in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 55A, 4, 1307-1337.
- Klitsch, W., Vipond, D. (1979). Reading comprehension and readability in educational practice and psychological theory. In Nilsson, L. G. (Ed.), *Perspectives on Memory Research*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lewis, C., Walker, P. (1989). Typographic influences on reading. *British Journal of Psychology*, 80, 2, 241-257.
- Mackinlay, J., Robertson, G., Card, S. (1991). The perspective wall: Detail and context smoothly integrated, ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems pp. 173-179, New Orleans, LA.
- McConkie, C.W., Kerr, P.W., Reddix, M.D., Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixation on words. *Vision Research*, 28, 10, 1107-1118.

- Miller, J. R., Kintsch, W. (1980). Readability and recall of short prose passages: A theoretical analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 4, pp. 335-354.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: evidence for parallel programming of saccades. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 5, 667-682.
- Muter, P., Maurutto, P. (1991). Reading and skimming from computer screens and books: the paperless office revisited? *Behaviour & Information Technology*, vol. 10, 4, 257-266.
- O'Regan, J. K. (1990). Eye movements and reading. In E. Kowler (Ed.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes*, Vol. 4, pp. 395-453. New-York: Elsevier.
- Radach, R., McConkie, G. W. (1998). Determinants of fixation positions in words during reading. *Eye guidance in reading and scene perception*, pp. 77-100.
- Rayner, K. (1984). Visual selection in reading, picture perception and visual search: a tutorial review. In Bouma H., Bouwhuis D. (Eds.), *Attention and performance* (vol. 10), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 124, 3, pp. 372-422.
- Reichle, E. D., Rayner, K., Pollatsek, A. (2002). The E-Z reader Model of Eye Movement Control in reading: Comparisons to Other Models. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Robertson, G., Mackinlay, J. (1993). The document lens, in User Interface Software and Technology Proceedings, pp. 101-108, New York: ACM Press.
- Schroyens, W., Vitu, F., Brysbaert, M., d'Ydewalle, G. (1999). Eye movement control during reading: Foveal load and parafoveal processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 52, 4, 1021-1046.
- Schwarz, E., Beldie, I., Pastoor, S. (1983). A comparison of paging and scrolling for changing screen contents by inexperienced users, *Human Factors*, 25, 3, pp. 279-282.
- Strahm, M; Baccino, T. (2003). L'intermodalité dans la lecture de documents électroniques : investigations oculométriques. In Faure, C. (Ed.), *Le document électronique*, Paris : Europa.
- Van Nimwegen, C., Fouw, M., van Oostendorp, H. (1999). The influence of structure and reading-manipulation on usability of hypertexts, *Interacting with computers*, 12, 1, pp.7-21.
- Vitu, F., O'Regan, J. K., Mittle, M. (1990). Optimal landing positions in reading isolated words and continuous text. *Perception and Psychophysics*, 47, 6, 583-600.
- Woods, D.D., (1984). Visual Momentum: a concept to improve the cognitive coupling of person and computer, *International Journal of Man-Machine Studies*, 21, pp. 229-244.
- Yarbus, A.L. (1967). *Eye Movements and Vision*. Plenum Press, New York NY.