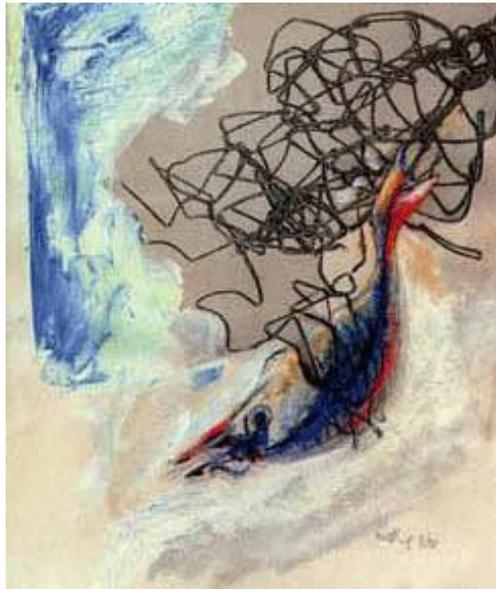


*Laura Bossa*

# La lettura: basi neurobiologiche, meccanismi evolutivi e patologie



Testo & Senso

n. 13, 2012

[www.testoesenso.it](http://www.testoesenso.it)

### *Che cos'è la lettura*

Letture (origini e apprendimento). I processi coinvolti nel rispondere al linguaggio in forma scritta. Questi processi comprendono la percezione ed il riconoscimento di lettere singole, il riconoscimento di combinazioni significative di lettere, la loro associazione con suoni e significati rilevanti e l'interpretazione di relazioni significative nel linguaggio scritto<sup>1</sup>.

Facendo riferimento alla citazione sopra riportata, è possibile definire la lettura come un insieme di processi cognitivi attraverso i quali l'uomo è in grado di riconoscere lo stimolo visivo percepito e di associarlo al rispettivo suono e significato.

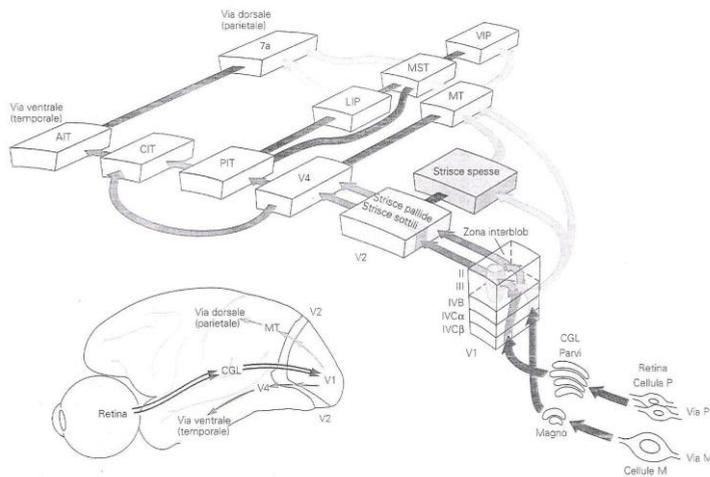
Nel momento in cui viene percepito un oggetto, i fotoni o quanti di luce che esso emette nello spazio circostante vengono proiettati nella retina per essere trasformati dai fotorecettori oculari (*bastoncelli* e *coni*) in energia chimica e successivamente in energia elettro-chimica. Dai suddetti fotorecettori l'informazione viene poi trasmessa alle cellule d'uscita della retina (*cellule gangliari*) e da quest'ultime, attraverso due principali vie (la *via magnocellulare* e la *via parvocellulare*), a tre regioni sottocorticali del sistema nervoso centrale: il collicolo superiore (preposto al controllo dei movimenti saccadici), l'area pretettale del mesencefalo (preposta al controllo dei riflessi pupillari) e il corpo genicolato laterale (in cui viene elaborato il 90% delle informazioni visive), il quale, a sua volta, la invia all'area visiva primaria o area visiva V1. Dall'area visiva V1 l'informazione raggiunge poi l'area visiva V2, composta da diversi tipi di strisce, che differiscono per la maggiore o minore attività dell'enzima mitocondriale citocromo-ossidasi: le strisce chiare, aventi bassa attività enzimatica, e le strisce scure, aventi alta attività enzimatica e suddivise a loro volta in sottili e spesse. Le strisce scure sottili e le strisce chiare di V2 inviano l'informazione all'area V4 che in seguito la trasmette alla corteccia visiva inferotemporale - IT. All'opposto, le strisce scure spesse di V2 inviano l'informazione all'area V3 e all'area V5 o area temporale media - MT che in seguito la trasmettono alle aree del lobulo parietale inferiore (area intraparietale ventrale - VIP, area intraparietale laterale - LIP, 7a) e all'area mediotemporale superiore - MST<sup>2</sup>. Questi due distinti percorsi sono stati definiti da Leslie Ungerleider e Mortimer Mishkin *via ventrale* o via del "cosa" e *via dorsale* o via del "dove"<sup>3</sup>. Mentre il primo fornisce informazioni riguardanti la forma, il colore

<sup>1</sup> JOHN E. MERRITT, 1986, in ROM HARRÉ, ROGER LAMB, LUCIANO MECACCI, p. 572.

<sup>2</sup> Cfr. ERIC R. KANDEL, JAMES H. SCHWARTZ, THOMAS JESSELL 1991; AA. VV. 2007; MASSIMO MATELLI, CARLO UMILTÀ 2007.

<sup>3</sup> Cfr. LESLIE UNGERLEIDER, MORTIMER MISHKIN 1982; MORTIMER MISHKIN, LESLIE UNGERLEIDER, KATHLEEN A. MACKO 1983.

e l'identità delle immagini e dunque informazioni sulle caratteristiche e sul significato degli oggetti, il secondo, invece, fornisce informazioni riguardanti l'orientamento degli oggetti nello spazio e la loro dimensione.



**Figura 1.1** Dalla retina al SNC: la via ventrale e la via dorsale (da Kandel, Schwartz, Jessell 1991, cit.).

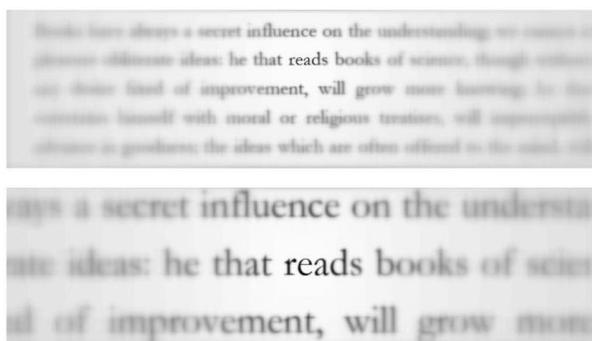
Affinché l'immagine visiva vada a cadere nella regione centrale della retina (*fovea centralis*), in cui l'acuità visiva<sup>4</sup> è massima e dove non si verificano fenomeni di aberrazione cromatica<sup>5</sup>, vengono costantemente compiuti dall'uomo una serie di movimenti oculari, detti *saccadi*. Le saccadi hanno un'ampiezza che oscilla fra 1° e 4°; una velocità pari a 500° per secondo e una durata compresa fra i 20 ms e i 40 ms. Fra una saccade e l'altra c'è un *periodo di fissazione*, che dura in media 200-300 ms, durante il quale le informazioni visive vengono raccolte. Successivamente si ha il fenomeno noto con il nome di *soppressione saccadica*, durante il quale il sistema visivo non acquisisce più le informazioni, per un breve periodo di tempo, al fine di consentire l'elaborazione di quelle precedentemente acquisite.

All'interno della [...] fovea l'informazione visiva non è rappresentata ovunque con la stessa precisione. Il numero dei recettori legati a ciascun punto del campo visivo

<sup>4</sup> L'*acuità visiva* o *acutezza visiva* o *visus* è la capacità del sistema visivo di scomporre una mira, ossia la capacità che questo sistema ha di separare i singoli particolari degli oggetti osservati.

<sup>5</sup> Per *aberrazione cromatica* si intende un difetto nella formazione dell'immagine dovuto alla diversa rifrangibilità dei raggi colorati che compongono la luce, strettamente connessa con la lunghezza d'onda dello spettro che passa attraverso il mezzo ottico. Tale difetto determina la comparsa di immagini con contorni poco nitidi e aloni colorati.

decrece progressivamente a mano a mano che ci si allontana del centro dello sguardo. [...] c'è una perdita progressiva di precisione nella codifica visiva. La precisione è massima al centro e diminuisce verso la periferia. Noi crediamo di vedere una parola o addirittura una pagina nella sua totalità, con la stessa precisione dappertutto. In realtà [...] il nostro sensore oculare percepisce con precisione solo il punto dove si fissa il nostro sguardo. Il contorno si perde in un flusso progressivo<sup>6</sup>.



**Figura 1.2** Rappresentazione grafica di come viene percepito un testo (da Dehaene 2007, cit.).

È stato infatti dimostrato nel 1975 da George W. McConkie e Keith Rayner, attraverso il metodo della *finestra mobile*, che quando volgiamo il nostro sguardo verso un qualsiasi tipo di testo scritto, non percepiamo il testo nella sua totalità, ma solo una porzione di esso, definita *span di percezione visiva delle lettere*<sup>7</sup>. Inoltre, è stato successivamente calcolato che nelle scritture in cui la direzione della lettura procede da sinistra a destra (ad esempio, l'italiano, l'inglese e il francese) è maggiore il numero di lettere percepite a destra del punto di fissazione dello sguardo rispetto alla sinistra del punto stesso; al contrario, nelle scritture in cui la direzione della lettura procede da destra a sinistra (ad esempio, l'ebraico e l'arabo) è maggiore il numero di lettere percepite a sinistra del punto di fissazione dello sguardo rispetto alla destra del punto stesso<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, trad. it., p. 15.

<sup>7</sup> Nell'esperimento condotto dai due autori veniva fatto indossare ad alcuni soggetti un apparecchio, in grado di rilevare i movimenti oculari, collegato a un computer, sul cui schermo veniva mostrato un testo. Ogni volta che lo sguardo dei soggetti si spostava lungo la pagina, il testo cambiava: nella zona dello *span* (altresì definita *finestra*) le lettere e le parole che componevano il testo rimanevano visibili, mentre nella zona al di fuori dello *span* erano sostituite con delle "x". Al termine dell'esperimento, nel momento in cui i soggetti venivano intervistati, essi dichiaravano di non aver percepito alcun cambiamento. Per ulteriori approfondimenti cfr. GEORGE W. MCCONKIE, KEITH RAYNER 1975.

<sup>8</sup> ALEXANDER POLLATSEK et al. 1981.

*Come riconosciamo lo stimolo visivo in entrata: l'accesso al lessico mentale*

Una volta che lo stimolo visivo è stato percepito, esso deve essere riconosciuto, e affinché ciò avvenga è necessario confrontarlo con l'insieme delle rappresentazioni contenute nel lessico mentale. «Con tale espressione si intende l'insieme delle conoscenze intorno alle parole che gli utenti di una certa lingua possiedono e di cui si servono, attraverso complessi processi di elaborazione dell'informazione, durante lo svolgimento di vari compiti linguistici»<sup>9</sup>. Nell'ambito della scienza cognitiva classica «il lessico è concettualizzato come un insieme di *rappresentazioni*, cioè di oggetti mentali che corrispondono ad elementi della realtà di cui riflettono certe caratteristiche rilevanti, e di *processi* che si applicano a queste rappresentazioni operando su di esse, trasformandole, o mettendole in relazione tra loro»<sup>10</sup>.

Volendo analizzare il modo in cui sono organizzate le rappresentazioni all'interno del lessico mentale bisogna distinguere fra due differenti punti di vista che tendono a focalizzare l'attenzione su due differenti aspetti:

- il momento in cui una parola è stata acquisita: le parole acquisite più recentemente vengono collocate all'apice di una possibile lista;
- la frequenza con cui viene usata una parola: le parole usate più frequentemente vengono collocate all'apice di una possibile lista.

Invece, volendo analizzare il modo in cui è strutturato il lessico mentale bisogna distinguere fra tre differenti ipotesi teoriche:

- l'esistenza di un unico sistema di elaborazione delle informazioni, come ipotizzato nella prima versione del 1969 del *modello del logogen* di John Morton<sup>11</sup> e da Ken I. Forster nel suo *modello a ricerca attiva* del 1976-1979<sup>12</sup>;
- l'esistenza di un unico sistema di elaborazione delle informazioni, avente però via d'accesso differenti a seconda del compito linguistico richiesto<sup>13</sup>;
- l'esistenza, come sostenuto da diversi autori, fra cui Morton nella successiva versione del suo modello<sup>14</sup> e da Stanislas Dehaene<sup>15</sup>, di un

<sup>9</sup> ALESSANDRO LAUDANNA, CRISTINA BURANI 1993, p. 15.

<sup>10</sup> *Ibidem*.

<sup>11</sup> JOHN MORTON 1969.

<sup>12</sup> KENNETH I. FORSTER 1976, in ROGER J. WALES, EDWARD WALKER; KENNETH I. FORSTER 1979, in WILLIAM E. COOPER, EDWARD WALKER.

<sup>13</sup> LORRAINE K. TYLER, RACHELLE WAKSLER, WILLIAM MARSLEN-WILSON 1993, in GERRY ALTMANN, RICHARD SHILLCOCK, pp. 125-159.

insieme di sistemi distinti di elaborazione delle informazioni (ortografico, fonologico e semantico).

Proprio per quest'ultimo autore, in virtù del fatto che l'insieme delle conoscenze è composto da diversi tipi di informazione, sarebbe più corretto parlare di lessici mentali (ognuno costituito da un numero di voci compreso tra le 50.000 e le 100.000):

- lessico ortografico: indica il modo in cui deve essere scritta una parola;
- lessico fonologico: indica il modo in cui deve essere pronunciata una parola;
- informazione grammaticale: indica la classe grammaticale a cui appartiene la parola;
- informazione semantica: indica il senso della parola.

E infine, volendo analizzare l'insieme delle procedure che consentono di accedere al lessico bisogna anzitutto distinguere fra due principali filoni di ricerche:

- quello in cui le ricerche prendono in considerazione il tipo di codice di accesso, ossia l'elemento o la componente attraverso cui è possibile riconoscere una parola:
  - il riconoscimento di una parola avviene sulla base della sua radice<sup>16</sup>;
  - il riconoscimento di una parola avviene sulla base delle singole lettere o gruppi di lettere che la compongono<sup>17</sup>;
  - il riconoscimento di una parola avviene sulla base delle sue componenti sillabiche<sup>18</sup>;
  - il riconoscimento di una parola avviene sulla base del *Basic Orthographic Syllabic Structure - BOSS*, ossia l'insieme delle lettere di una parola comprendente tutte le consonanti che

---

<sup>14</sup> JOHN MORTON 1979, in PAUL A. KOLERS, MERALD ERNEST WROLSTAD, HERMAN BOUMA, pp. 259-268.

<sup>15</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit.

<sup>16</sup> MARCUS TAFT, KENNETH I. FORSTER 1976.

<sup>17</sup> Cfr. DAVID E. RUMELHART 1977, in STANISLAS DORNIC, pp. 573-603; MARK H. JOHNSON, JAMES L. MCCLELLAND 1980; KENNETH I. FORSTER, JAMES GARTLAND 1976.

<sup>18</sup> CHARLES W. ERIKSEN ET AL. 1970; STUART T. KLAPP 1971; KENNETH I. FORSTER, SUSAN M. CHAMBERS 1973.

- seguono la prima vocale e, nei casi in cui è presente, il prefisso senza che venga violata la struttura morfologica della parola stessa (ad esempio, il *BOSS* della parola “penna” è: “pen”; mentre quello della parola “maltagliati” è: “tagl”)<sup>19</sup>;
- il riconoscimento di una parola avviene su base intera, nel caso si tratti di una parola usata frequentemente nella lingua del soggetto che legge; all’opposto, nel caso si tratti di una parola usata poco frequentemente, ma avente componenti morfemiche di uso comune, su base morfemica<sup>20</sup>;
  - il riconoscimento di una parola avviene solo su base intera<sup>21</sup>;
- quello in cui le ricerche prendono in considerazione il tipo di procedura che permette di accedere al lessico mentale, suddivisibile in:
    - modelli di tipo seriale<sup>22</sup>;
    - modelli ad attivazione in parallelo<sup>23</sup>;
    - modelli di tipo misto<sup>24</sup>.

Indipendentemente dalle caratteristiche proprie del/i lessico/i mentale/i è stato verificato che la nostra capacità di riuscire a riconoscere le lettere e le parole proiettate all’interno della retina è influenzata da diversi fattori, fra cui:

- l’effetto di superiorità della parola: i risultati ottenuti dall’esperimento condotto da Gerald M. Reicher nel 1969<sup>25</sup> hanno dimostrato che se una lettera è inserita all’interno di una parola o di una pseudo-parola viene riconosciuta più facilmente e più rapidamente rispetto al caso in cui essa venga presentata isolatamente;

---

<sup>19</sup> MARCUS TAFT 1979.

<sup>20</sup> ULI H. FRAUENFELDER, ROBERT SCHREUDER 1992, in GEERT BOOIJ, JAAP VAN MARLE, pp. 165-183; ROBERT SCHREUDER, R. HARALD BAAYEN 1995, in ROBERT S. FELDMAN, pp. 131-154; ROBERT SCHREUDER, R. HARALD BAAYEN 1997. Per ulteriori approfondimenti cfr. CRISTINA BURANI, ALFONSO CARAMAZZA 1987; BURANI 1987.

<sup>21</sup> Cfr. JOHN MORTON 1968, in JOHN C. CATFORD, pp. 499-545; ALICE F. HEALY 1980; GARY S. RUBIN ET AL. 1979; JAMES L. MCCLELLAND, DAVID E. RUMELHART 1981; ARTHUR M. JACOBS, JONATHAN GRAINGER 1992.

<sup>22</sup> MARCUS TAFT, KENNETH I. FORSTER 1975; MARCUS TAFT, KENNETH I. FORSTER 1976, cit.

<sup>23</sup> JOHN MORTON 1969 cit., 1979, in PAUL A. KOLERS, MERALD ERNEST WROLSTAD, HERMAN BOUMA, cit.; JAMES L. MCCLELLAND, DAVID E. RUMELHART 1981, cit.

<sup>24</sup> KENNETH R. PAAP ET AL. 1982.

<sup>25</sup> GERALD M. REICHER 1969.

- l'effetto frequenza: maggiore è la frequenza con cui incontriamo una parola nei compiti di lettura, più facilmente e più rapidamente siamo in grado di riconoscerla; ma se questa presenta molti vicini ortografici - *neighbour*<sup>26</sup>, le difficoltà nel suo riconoscimento aumentano<sup>27</sup>.

### *La via fonologica e la via lessicale*

Nelle fasi immediatamente successive al confronto tra l'informazione visiva in entrata e l'insieme degli oggetti mentali presenti nel/i lessico/i mentale/i, si ha l'associazione della parola al rispettivo suono e significato.

Secondo quanto ipotizzato dal *modello di lettura a due vie o modello standard di lettura*, elaborato per la prima volta da Max Coltheart nel 1978-1981<sup>28</sup>, e successivamente ripreso da Giuseppe Sartori nel 1984<sup>29</sup>, ogni lettore, a seconda dei diversi tipi di parole che deve leggere, utilizza due diverse vie di lettura, che sono:

- per le parole comuni e le parole dall'ortografia irregolare<sup>30</sup> per le quali è necessario accedere al significato per poi poterle pronunciare nel giusto modo, la *via visiva* o *via lessicale* che a sua volta si suddivide in due differenti percorsi:
  - *via visiva semantica* che collega la parola scritta al suono per mezzo del significato attraverso le seguenti fasi (A, C, H, L, N, S):
    - analisi delle caratteristiche visivo-formali delle lettere;
    - riconoscimento delle lettere sulla base delle caratteristiche individuate nella fase precedente;

---

<sup>26</sup> Il termine *vicini ortografici* di una parola è stato introdotto da MAX COLTHEART et al. nel 1997 per indicare l'insieme delle parole, aventi la stessa lunghezza della parola data, che è possibile ottenere cambiando una sola lettera (ad esempio, i vicini ortografici della parola "manto", cambiando la lettera in prima posizione, sono: "canto", "tanto", "santo", "vanto"; cambiando le lettere nelle successive posizioni, sono invece: "mento", "matto", "mango", ecc...). Per ulteriori informazioni cfr. PIER L. BALDI, DANIELA TRAFICANTE 2000.

<sup>27</sup> Segui, JONATHAN GRAINGER 1990.

<sup>28</sup> MAX COLTHEART 1978, in GEOFFREY UNDERWOOD, pp. 151-216, 1981.

<sup>29</sup> GIUSEPPE SARTORI 1984.

<sup>30</sup> Sono parole dall'ortografia irregolare tutte quelle parole in cui non c'è una corrispondenza biunivoca fra grafema e fonema: un grafema può essere rappresentato da differenti fonemi, ma anche differenti grafemi possono essere rappresentati dallo stesso fonema. Tali tipi di parole sono tipiche di scritture come l'inglese o il francese che, in virtù della suddetta caratteristica, vengono definite scritture dall'ortografia opaca.

- riconoscimento visivo delle parole attraverso l'accesso al lessico ortografico;
  - accesso al sistema semantico, contenente informazioni sul senso della parola;
  - produzione delle parole, ossia traduzione della parola scritta in suono;
  - intervento del sistema articolatorio solo nei casi in cui la parola deve essere pronunciata ad alta voce;
- *via visiva non semantica* che collega la parola scritta al suono per mezzo del lessico ortografico attraverso le seguenti fasi (A, C, H, N, S):
- analisi delle caratteristiche visivo-formali delle lettere;
  - riconoscimento delle lettere sulla base delle caratteristiche individuate nella fase precedente;
  - riconoscimento visivo delle parole attraverso l'accesso al lessico ortografico;
  - produzione delle parole, ossia traduzione della parola scritta in suono;
  - intervento del sistema articolatorio solo nei casi in cui la parola deve essere pronunciata ad alta voce.

L'utilizzo di quest'ultima via è stato riscontrato solo nei pazienti affetti, fin dall'età pre-scolare, da *sindrome di iperlessia*, che consiste nel riuscire a leggere tutti i tipi di parole pur non comprendendone il significato. Negli iperlessici la capacità di lettura si sviluppa prima rispetto alle altre persone ed è accompagnata da un ritardo nello sviluppo delle altre capacità cognitive (quali, ad esempio, il linguaggio verbale)<sup>31</sup>;

- per le parole nuove di cui non si conosce il significato, le parole rare, le parole dall'ortografia regolare<sup>32</sup> e le pseudo-parole, la *via dei suoni* o

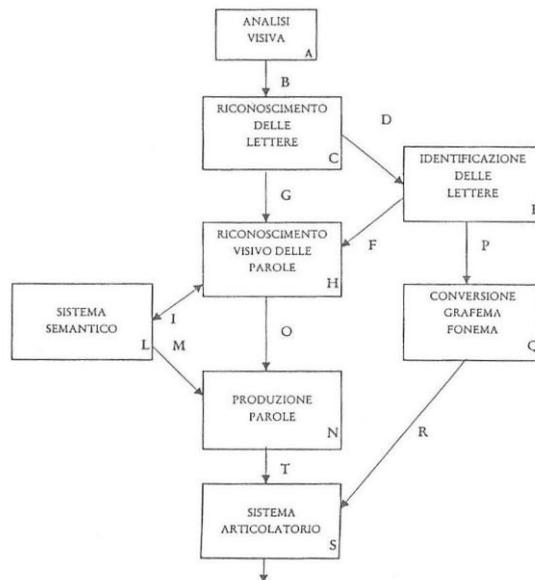
---

<sup>31</sup> Cfr. NORMAN E. SILBERBERG, MARGARET C. SILBERBERG 1967; NORMAN E. SILBERBERG, IVER A. IVERSEN, MARGARET C. SILBERBERG 1969; MARK F. SCHWARTZ ET AL. 1980 in MAX COLTHEART ET AL., pp. 259-269.

<sup>32</sup> Sono parole dall'ortografia regolare tutte quelle parole in cui c'è una corrispondenza biunivoca fra grafema e fonema. Tali tipi di parole sono tipiche di scritture come l'italiano che, in virtù della suddetta caratteristica, vengono definite scritture dall'ortografia trasparente.

*via fonologica* che collega direttamente la parola scritta al suono attraverso le seguenti fasi (A, C, E, Q, S):

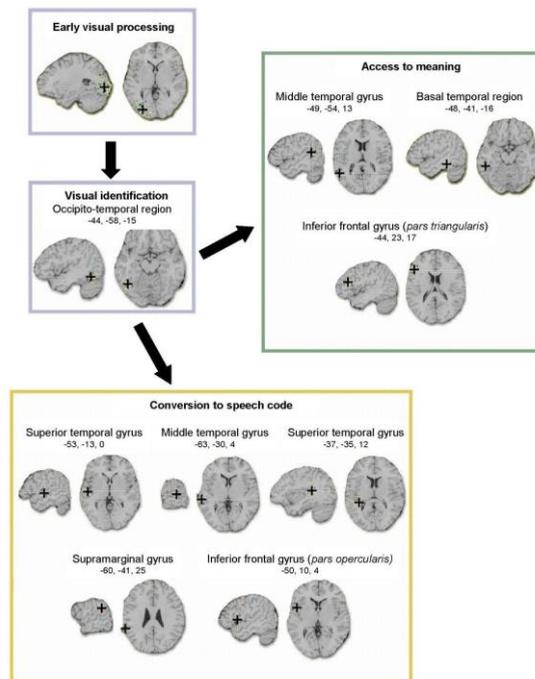
- analisi delle caratteristiche visivo-formali delle lettere;
- riconoscimento visivo delle lettere sulla base delle caratteristiche individuate nella fase precedente;
- identificazione delle lettere, ossia attribuzione di un nome alle lettere (ad esempio, alle lettere della parola “penna” vengono attribuiti i nomi “pi” alla lettera “p”, “e” alla lettera “e”, “enne” alle lettere “n” e “a” alla lettera “a”);
- conversione grafema-fonema, in cui il grafema viene convertito nel fonema corrispondente;
- intervento del sistema articolatorio solo nei casi in cui la parola deve essere pronunciata ad alta voce.



**Figura 3.1** Modello di lettura a due vie (da Sartori 1984, cit.).

È proprio dallo studio di pazienti con lesioni cerebrali che si ha la prova dell’esistenza di queste due vie di lettura: in seguito a lesioni diverse, essi non sono più in grado di convertire le lettere in suoni e dunque utilizzare

la via fonologica (in questi casi i pazienti sono affetti da *dislessia fonologica*)<sup>33</sup> o di accedere al significato delle parole e dunque di utilizzare la via lessicale semantica (in questi casi, invece, i pazienti sono affetti da *dislessia di superficie*). Si può dunque affermare che sussistono due differenti reti cerebrali: la rete cerebrale del suono, comprendente le regioni superiori del lobo temporale, la corteccia frontale inferiore e la corteccia precentrale dell'emisfero sinistro e, nei casi in cui vi sia compatibilità fra lettere viste e suoni uditi, la *regione del planum temporale* che viene specificamente attivata, e la rete cerebrale del significato, comprendente la parte posteriore della circonvoluzione temporale media, il lato ventrale anteriore del lobo temporale e la parte triangolare della regione frontale inferiore dell'emisfero sinistro e, nei casi in cui due o più parole condividono lo stesso significato, la *regione temporale media* sinistra, anch'essa specificamente attivata<sup>34</sup>.



**Figura 3.2** La rete cerebrale del suono (riquadro giallo) e la rete cerebrale del significato (riquadro verde)(da Dehaene 2007, cit.).

<sup>33</sup> Cf. JOHN C. MARSHALL, FRED A. NEWCOMBE 1973; TIM SHALLICE 1988; ROSALEEN A. MCCARTHY, ELIZABETH K. WARRINGTON 1990; MAX COLTHEART, COLTHEART 1997.

<sup>34</sup> JOSEPH T. DEVLIN ET AL. 2004.

*La regione della forma visiva delle parole e l'ipotesi del riciclaggio neuronale di Dehaene*

Nel 1892 il neurologo francese Joseph-Jules Déjerine<sup>35</sup> riporta il caso di un paziente che, svegliatosi una mattina, non era più in grado di leggere, pur riuscendo a: scrivere, riconoscere visivamente i volti, gli oggetti e i disegni, utilizzare il linguaggio orale, riconoscere le lettere se tracciate sul palmo della sua mano, riconoscere e comparare le cifre, nonché riuscire a risolvere operazioni matematiche come la sottrazione<sup>36</sup>. Tale deficit viene definito da Déjerine *cecità verbale pura*<sup>37</sup> e implica l'esistenza di un'area cerebrale, da lui definita *centro visivo delle lettere* e individuata alla base della regione parietale sinistra (più precisamente nel giro angolare), deputata esclusivamente al riconoscimento di lettere e parole che, se danneggiata, pone il soggetto nella situazione di percepire gli stimoli visivi, ma di non riconoscerli come caratteri<sup>38</sup> facenti parte del sistema di scrittura da egli utilizzato.

A più di un secolo di distanza dalle ipotesi formulate dal neurologo francese del secondo Ottocento, Stanislas Dehaene e Laurent Cohen sono riusciti a dimostrare che il centro visivo delle lettere, da loro definito *regione della forma visiva delle parole* (*visual word form area - VWFA*), non è localizzato nel giro angolare, bensì nella regione occipito-temporale ventrale sinistra: «whenever a skilled reader is presented with a printed word, brain activity can be observed in a well-delineated area of the left fusiform gyrus,

---

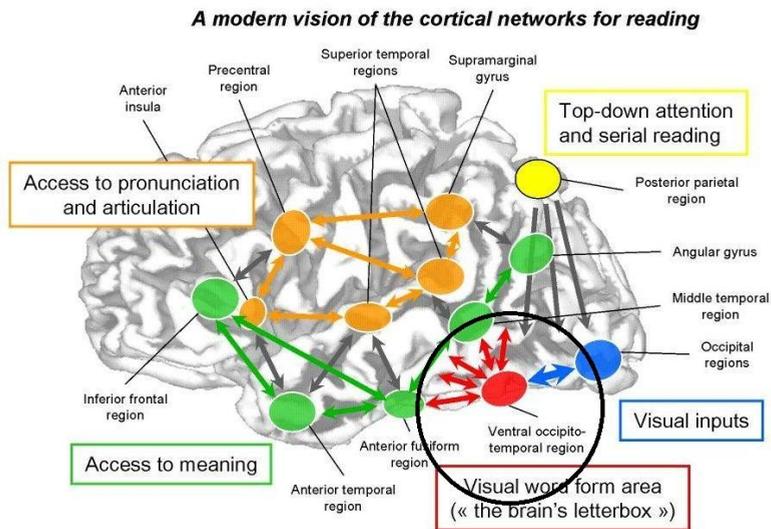
<sup>35</sup> JOSEPH JULES DÉJERINE 1892.

<sup>36</sup> Se un paziente riporta un danno cerebrale nelle stesse regioni del paziente di Déjerine, egli è in grado di svolgere operazioni matematiche come la sottrazione, pur leggendo le cifre ad alta voce in modo errato (ad esempio, se gli viene chiesto il risultato di 4-2, pur leggendo 8-3, produce la risposta corretta, ossia 2) poiché l'emisfero cerebrale che viene attivato, non trattandosi di un compito di natura verbale, è quello destro. All'opposto, non è in grado di svolgere operazioni matematiche come la moltiplicazione (ad esempio, se gli viene chiesto il risultato di 2x5, leggendo 9x3, produce la risposta errata, ossia 27) poiché l'emisfero cerebrale che viene attivato, trattandosi di un compito di natura verbale, è l'emisfero sinistro. Per ulteriori approfondimenti cfr. LAURENT COHEN, STANISLAS DEHAENE 1995, 2000; STANISLAS DEHAENE 1997; LAURENT COHEN 2004.

<sup>37</sup> Oggi conosciuto come *allessia pura* o *allessia senza agrafia* e consiste nella perdita totale o parziale dell'abilità di lettura pur mantenendo inalterata l'abilità di scrittura. Alcuni pazienti allessici riescono a riconoscere le parole, ma solo attraverso una lettura lettera per lettera, e di conseguenza il tempo impiegato per leggere è direttamente proporzionale alla lunghezza delle parole. Per ulteriori approfondimenti cfr. ANTONIO R. DAMASIO, HANNA DAMASIO 1983; MARLENE BEHRMANN, SANDRA E. BLACK, DANIEL BUB 1990; DAVID Q. BEVERSDORF ET AL. 1997; LAURENT COHEN et al. 2003.

<sup>38</sup> Con il termine *carattere* si fa riferimento alla forma grafica delle lettere di un alfabeto. Per ulteriori approfondimenti cfr. MARIUCCIA TERONI 2007.

which is consistently found at the same location in talairach space (about  $x = -42$ ,  $Y = -57$ ,  $z = -6$ ), with a standard deviation of only about  $0.5 \text{ cm}$ <sup>39</sup>. Inoltre essi hanno verificato che il funzionamento della *VWFA* può essere compromesso da una lesione che ne provoca un danneggiamento permanente o può dipendere da un'impossibilità di ricevere (*disconnessione a monte* – come nel caso del paziente di Déjerine) o di trasmettere (*disconnessione a valle*) informazioni alle altre regioni cerebrali.



**Figura 3.3** Architettura delle reti cerebrali della lettura (da Dehaene 2007, cit.).

Ricerche successive hanno confermato l'attivazione della *VWFA* solo durante la lettura delle parole, anche se si tratta di pseudo-parole, e non durante l'ascolto, benché a tal riguardo ci siano delle eccezioni: se viene chiesto a un soggetto di confrontare il suono fra due parole o di immaginare il modo in cui si scrive una parola o un suono, tale regione si attiva.

La *VWFA* è anche all'origine della capacità posseduta dagli esseri umani di riuscire a leggere i caratteri indipendentemente dalla cassa di composizione<sup>40</sup> utilizzata, dalla dimensione con cui vengono scritti e dalla

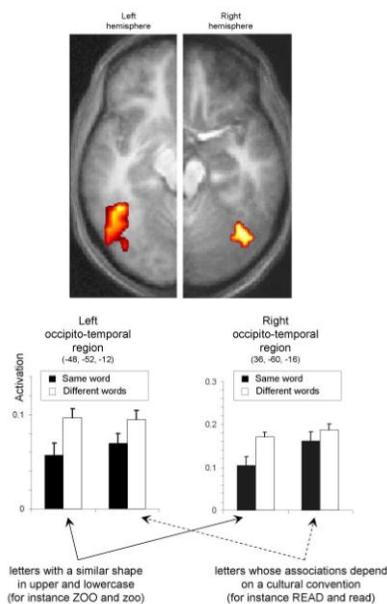
<sup>39</sup> STANISLAS DEHAENE et al. 2002, p. 321.

<sup>40</sup> La cassa di composizione è la cassa tipografica in cui, al tempo dell'invenzione della stampa a caratteri mobili per opera di Gutenberg, venivano collocati, una volta utilizzati, i caratteri. Essa era suddivisa per celle: nella parte alta venivano inseriti i caratteri in maiuscolo e i simboli tipografici quali "&", "/", "(", mentre nella parte bassa i caratteri in minuscolo, i numeri e i segni di punteggiatura o d'interpunzione.

posizione occupata sul foglio o su qualsiasi altro supporto impiegato per scrivere il testo. È stato infatti verificato che *all'interno di un testo possono ESSERE COMBinate fra loro diverse TIPOLOGIE DI CARATTERI* senza che ciò provochi un ritardo o un impedimento nello svolgimento dei compiti di lettura, poiché le popolazioni distribuite di neuroni collocate nella regione della forma visiva delle parole hanno appreso ad associare alla stessa lettera le forme grafiche “a”, “A”, “a”, “a”, “a”.

Durante l'apprendimento della lettura dobbiamo imparare non solo che le lettere rappresentano i suoni del linguaggio, ma pure che molteplici forme, senza particolari legami tra loro, possono rappresentare la medesima lettera. Questa conoscenza astratta risulta probabilmente dall'esistenza di rilevatori di lettere, di neuroni capaci di riconoscere l'identità delle lettere dietro forme in superficie molto diverse<sup>41</sup>.

Devono esistere neuroni che rispondono in modo identico a “G” e “g”. La loro risposta non sembra poter derivare dal caso o dall'organizzazione innata del sistema visivo. Risulta necessariamente da un apprendimento che ha incorporato associazioni culturali nuove<sup>42</sup>.



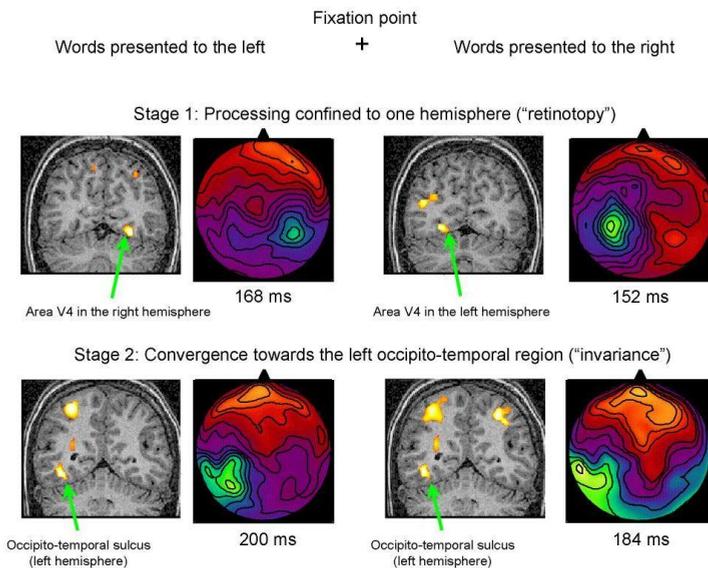
**Figura 3.4** Risultati dell'esperimento condotto da Dehaene et al. nel 2004 che mostrano come si ha l'attivazione della regione occipito-temporale ventrale sinistra alla presentazione

<sup>41</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit., p. 23.

<sup>42</sup> IVI, p. 108.

sia di parole composte da lettere che differiscono dal maiuscolo al minuscolo solo per dimensione (ad esempio, “foc-FOC”, “zoo-ZOO”) che di parole composte da lettere che differiscono dal maiuscolo al minuscolo non solo per dimensione ma anche per forma dei caratteri (ad esempio, “read-READ”, “tare-TARE”). Al contrario, si ha l’attivazione della regione occipito-temporale ventrale destra solo alla presentazione della prima tipologia di parole (da Dehaene et al. 2004).

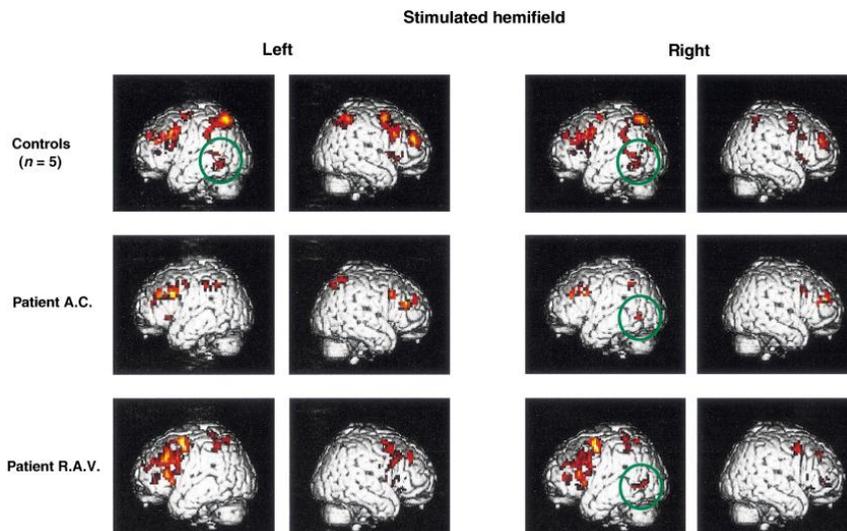
Le altre due forme d’invarianza percettiva di cui è responsabile la *VWFA* sono, come già accennato: l’invarianza per dimensione, grazie alla quale riusciamo a leggere lettere la cui dimensione può variare fino a un fattore cinquanta, e l’invarianza per posizione o invarianza spaziale, grazie alla quale riusciamo a leggere le lettere sia se presentate alla sinistra del punto di fissazione dello sguardo sia se presentate alla destra del suddetto punto.



**Figura 3.5** Cosa avviene nelle fasi immediatamente successive alla presentazione di uno stimolo visivo (da Dehaene 2007, cit.).

Come si può osservare dall’immagine sovrastante, intorno ai 152-168 millisecondi dalla presentazione dello stimolo visivo si ha l’attivazione del lobo occipitale destro, se gli stimoli sono presentati nella metà sinistra del campo visivo, e del lobo occipitale sinistro se gli stimoli sono presentati nella metà destra del campo visivo (stage 1). Tutto cambia intorno ai 184-200 millisecondi: le informazioni elaborate da entrambi gli emisferi convergono, indipendentemente da dove vengano presentate le parole, verso la regione

occipito-temporale sinistra (stage 2)<sup>43</sup>. Nel caso in cui il corpo calloso<sup>44</sup> risulti essere lesionato, il collegamento fra i due emisferi viene interrotto e i soggetti, affetti in questo caso da *sindrome di emialessia*, non sono più in grado di riconoscere le lettere e le parole presentate nella parte sinistra del punto di fissazione dello sguardo.



**Figura 3.6** Confronto fra lettori normali e lettori emialessici (da Cohen et al. 2000, cit.).

Riassumendo, è grazie all'attivazione della regione occipito-temporale ventrale sinistra se riusciamo a riconoscere le lettere e le parole, regione che, secondo Dehaene, si sarebbe riciclata a tale funzione (*ipotesi del riciclaggio neuronale*)<sup>45</sup>:

la nostra capacità di leggere esiste solo perché il nostro sistema visivo compie spontaneamente operazioni simili a quelle necessarie al riconoscimento delle parole, e perché è dotato di un margine di plasticità che gli permette di apprendere forme nuove. Quando impariamo a leggere, una parte di questo sistema arriva a riconvertirsi al riconoscimento invariante di lettere e parole.

La nostra corteccia non ha [...] nulla della *tabula rasa* o della tavoletta di cera che registrerebbe fedelmente l'impronta di tutte le invenzioni culturali arbitrarie. Non è

<sup>43</sup> Cfr. LAURENT COHEN ET AL. 2000; NICOLAS MOLKO ET AL. 2002.

<sup>44</sup> Il corpo calloso è un insieme di fasci di fibre nervose che collegano i due emisferi.

<sup>45</sup> STANISLAS DEHAENE 2005, in STANISLAS DEHAENE et al., pp. 133-158; STANISLAS DEHAENE 2007, cit.

nemmeno un organo rigido che, nel corso dell'evoluzione, avrebbe dedicato un "modulo" alla lettura<sup>46</sup>.

Piuttosto, il nostro cervello possiede un margine di plasticità che gli permette di adattarsi al mondo esterno, e nel momento in cui l'essere umano apprende a leggere parte del lobo temporale sinistro, responsabile del riconoscimento invariante di volti e oggetti, si riconverte alla lettura rendendo possibile il riconoscimento dei simboli grafici.

Il riciclaggio neuronale è una riconversione: trasforma una funzione che aveva la propria utilità nel nostro passato evolutivo in una nuova funzione più utile nel contesto culturale presente<sup>47</sup>.

È possibile notare come l'ipotesi del riciclaggio neuronale sia legata al concetto di *exaptation* introdotto nel 1982 da Stephen J. Gould ed Elisabeth S. Vrba<sup>48</sup> al fine di riprendere e ampliare la tesi di Charles Darwin<sup>49</sup> secondo cui alcuni caratteri non possono essere considerati e dunque etichettati con il termine di *adattamenti* in quanto non sono il prodotto della selezione naturale. In questi casi è più corretto parlare di *pre-adattamenti* (tutti quei caratteri, cioè, che in passato svolgevano una funzione, ma che ora ne svolgono un'altra), in quanto questo termine implica che ci sia una pre-determinazione o previsione della variazione della funzione iniziale dei caratteri. Perciò Gould e Vrba hanno introdotto il termine *ex-aptation*, indicante quell'insieme di caratteri evoluti per svolgere una funzione ma che successivamente vengono "cooptati" per svolgerne una differente. L'utilità di questi caratteri non dipende dalla funzione per cui sono stati selezionati dall'evoluzione e quindi non sono *ad-atti* (*ad-aptus*), ma dalla nuova funzione che ora sono chiamati a svolgere e quindi sono *atti* (*aptus*) anche se questa loro utilità deriva dalle caratteristiche passate, dalla loro *ex forma* (*exaptus*).

### *L'incapacità di lettura: la dislessia*

La dislessia è un disturbo specifico dell'apprendimento che consiste nell'incapacità del soggetto di riuscire a comprendere<sup>50</sup> e decodificare i

<sup>46</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit., p. 168.

<sup>47</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit., p. 169.

<sup>48</sup> STEPHEN J. GOULD, ELISABETH S. VRBA 1982.

<sup>49</sup> CHARLES DARWIN 1859, trad. it.

<sup>50</sup> In letteratura non vi è ancora ampio consenso nel considerare la capacità di comprensione del testo come un criterio di formulazione di una diagnosi di dislessia, ma viene spesso

simboli grafici presenti in un testo scritto<sup>51</sup>. La diagnosi di disturbo della lettura deve essere fatta a partire dal secondo anno di scuola elementare e si ha un disturbo della lettura quando i risultati ottenuti nei test standardizzati che richiedono l'utilizzo della suddetta abilità, risultano inferiori di due deviazioni standard rispetto al Quoziente Intellettivo (QI)<sup>52</sup>, all'età cronologica e alla classe di appartenenza del soggetto.

Sussistono due differenti tipologie di dislessia:

- la dislessia evolutiva, ossia il non normale sviluppo delle abilità necessarie allo svolgimento dei compiti di lettura in bambini che non presentano deficit sensoriali di tipo visivo o uditivo, deficit neurobiologici, disturbi alla sfera emotiva (ad esempio, disturbo d'ansia, ADHD) e disturbi neurologici (ad esempio, ritardo mentale) e che non sono inseriti in un contesto sociale che rende loro impossibile usufruire delle adeguate opportunità fondamentali per lo sviluppo delle capacità necessarie alla lettura (ad esempio, insegnamento scadente);
- la dislessia acquisita, ossia la perdita, in seguito a un danno cerebrale, dell'abilità di lettura in soggetti che precedentemente riuscivano a leggere.

Per quanto concerne le cause della dislessia evolutiva, bisogna distinguere fra due differenti posizioni teoriche:

- le ipotesi uni-causali: alla base del disturbo vi sarebbe un'alterazione di una funzione cognitivo-neuropsicologica dovuta a un disturbo linguistico-fonologico (*ipotesi fonologica*)<sup>53</sup>, a un deficit dei meccanismi sensoriali visivi (*ipotesi visiva o magnocellulare*)<sup>54</sup> e uditivi (*ipotesi del*

impiegato poiché considerato come elemento che permette di approfondire gli effetti della decodifica nell'accesso al significato.

<sup>51</sup> Cfr. WHO 1992; APA 2000.

<sup>52</sup> Alcuni autori, fra cui Linda Siegel, tendono a non considerare la discrepanza fra i risultati ottenuti nei test e il QI come un criterio diagnostico di disturbo della lettura in quanto i QI test richiedono al bambino l'utilizzo delle abilità per cui è deficitario e non predicono ciò che egli sarà in grado di fare in futuro, ma stabiliscono le conoscenze che già possiede. Per ulteriori approfondimenti cfr. LINDA SIEGEL 1988, 1989, 1990, in H. LEE SWANSON, BARBARA K. KEOGH, pp. 111-128, 2002, in GIACOMO STELLA, pp. 119-133.

<sup>53</sup> Cfr. FRANCK RAMUS 2003; FRANCK RAMUS ET AL. 2003; GLENN J. WHITE ET AL. 2006.

<sup>54</sup> ALBERT M. GALABURDA, THOMAS L. KEMPER 1979. Per ulteriori approfondimenti cfr. LESTER A. LEFTON et al. 1979; WILLIAM LOVEGROVE ET AL. 1986; ALBERT M. GALABURDA et al. 1987; GEORGE W. HYND ET AL. 1990; FRANCISCO J. MARTOS, JAIME VILA 1990; MARGARET S. LIVINGSTONE ET AL. 1991; ALBERT M. GALABURDA 1993; ALBERT M. GALABURDA, MARGARET S. LIVINGSTONE 1993, in PAULA TALLAL ET AL., pp.

*deficit del processing temporale*)<sup>55</sup> oppure al malfunzionamento del cervelletto (*ipotesi cerebellare*)<sup>56</sup>;

- l'ipotesi multi-fattoriale: alla base del disturbo vi sarebbero diversi fattori e per questo si avrebbero differenti sottotipi di dislessia.

Nel 1973 viene, infatti, proposto da Elena Boder uno dei primi sistemi di classificazione in cui si distingue fra<sup>57</sup>:

- dislessia disfonetica: si ha una compromissione delle capacità fonologiche;
- dislessia diseidetica: si ha una compromissione delle capacità visuo-percettive;
- dislessia mista: si ha una compromissione sia delle capacità fonologiche che di quelle visuo-percettive.

Successivamente nel 1979 Dirk J. Bakker formula la sua teoria del *balance-model*<sup>58</sup>, secondo cui è possibile individuare, nel processo di acquisizione e sviluppo delle abilità necessarie per l'espletamento dei compiti di lettura, due distinte fasi: in una (la fase iniziale) predominano le competenze visuo-percettive e nell'altra (la fase successiva) quelle linguistiche. Se nella prima fase c'è il coinvolgimento dell'emisfero destro, nella seconda è l'emisfero sinistro il protagonista, e questo passaggio da un emisfero all'altro costituirebbe una tappa fondamentale che, nel caso in cui non dovesse avvenire o avvenire troppo precocemente, condurrebbe all'insorgenza di un disturbo della lettura. Su tale base teorica, Bakker ha proposto la seguente distinzione:

- dislessia di Tipo-P (percettiva): il passaggio dall'utilizzo delle strategie visuo-percettive a quelle linguistiche non avviene;
- dislessia di Tipo-L (linguistica): il passaggio dall'utilizzo delle strategie visuo-percettive a quelle linguistiche avviene troppo precocemente.

---

70-82; JONATHAN D. VICTOR ET AL. 1993; GUINEVERE F. EDEN ET AL. 1994; PAULINE A. FILIPEK 1995; ERIC BORSTING ET AL. 1996; JOHN STEIN, VINCENT WALSH 1997; JONATHAN B. DEMB ET AL. 1998; JOHN STEIN 2001.

<sup>55</sup> PAULA TALLAL ET AL. 1993, in RODOLFO R. LLINAS ET AL., pp. 27-47.

<sup>56</sup> RODERICK I. NICOLSON ET AL. 2001.

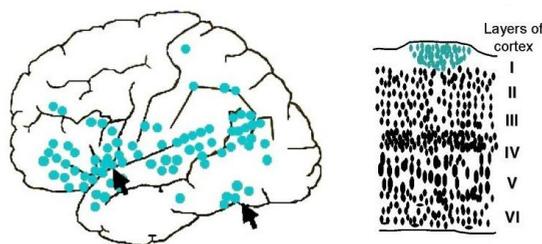
<sup>57</sup> ELENA BODER 1973.

<sup>58</sup> DIRK J. BAKKER 1979.

E infine, nel 1986 Philip H. K. Seymour, rifacendosi al *modello di lettura a due vie* di Coltheart, individua i seguenti sottotipi di dislessia evolutiva<sup>59</sup>:

- dislessia fonologica: si hanno difficoltà nella lettura di parole nuove, pseudo-parole, parole rare e parole dall'ortografia regolare;
- dislessia morfologica-lessicale o superficiale: si hanno difficoltà nella lettura di parole comuni e parole dall'ortografia irregolare;
- dislessia mista o profonda: si hanno difficoltà nella lettura di parole nuove, rare e comuni, pseudo-parole e parole dall'ortografia regolare e irregolare.

Nonostante non ci sia, ancora oggi, in letteratura un consenso sulle possibili/e cause/a che conducono alla manifestazione del disturbo, è stata verificata, nel cervello delle persone dislessiche, la presenza di numerose ectopie, nonché un'alterazione delle connessioni corticali e una diversa densità di materia grigia. Tali anomalie corticali potrebbero essere causate a loro volta da alterazioni del gene *DYX1C1* sul cromosoma 15, dei geni *KIAA0319* e *DCDC2* sul cromosoma 6 e del gene *ROBO1* sul cromosoma 3<sup>60</sup> e condurre a una sotto-attivazione della regione temporale sinistra che andrebbe a interessare, più dettagliatamente, la corteccia temporale laterale e la regione occipito-temporale ventrale, a cui farebbe seguito una sovra-attivazione dell'area di Broca<sup>61</sup>.

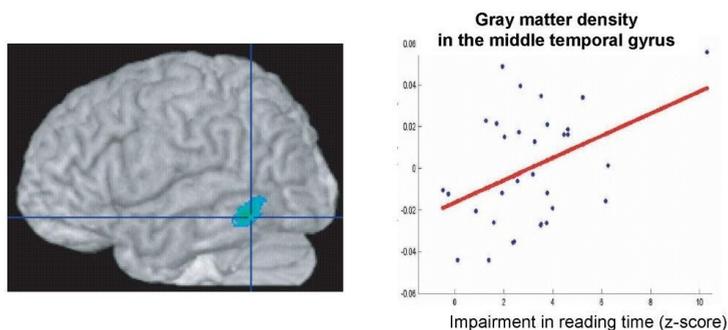


**Figura 4.1** A destra sono rappresentati i sei strati corticali e a sinistra le relative ectopie presenti nei cervelli delle persone dislessiche (da Galaburda et al. 1985).

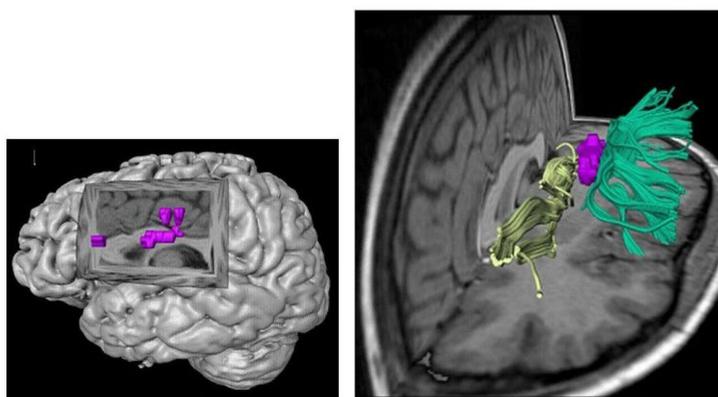
<sup>59</sup> PHILIP H. K. SEYMOUR 1986. I sottotipi proposti da Seymour fanno riferimento alla dislessia evolutiva e non devono essere confusi con le due diverse forme di dislessia acquisita che si verificano a seguito di un danno cerebrale che può interessare la rete del suono o la rete del significato (cfr. p. 6).

<sup>60</sup> Cfr. ELENA L. GRIGORENKO 2003; SIMON E. FISHER, CHRIS FRANCKS 2006; ALBERT M. GALABURDA ET AL. 2006.

<sup>61</sup> Cfr. RIITTA SALMELIN ET AL. 1996; PÄIVI HELENIUS ET AL. 1999; ELISE TEMPLE ET AL. 2001; BENNETT A. SHAYWITZ ET AL. 2002; EAMON J. MCCRORY ET AL. 2005.



**Figura 4.2** Aumento di materia grigia riscontrato nella regione temporale media (da Silani et al. 2005).



**Figura 4.3** Alterazioni nelle connessioni corticali a livello delle regioni parieto-temporali dell'emisfero sinistro (da Beaulieu et al. 2005).

Rifacendoci a quanto supposto da Dehaene è possibile che «intorno al sesto mese di gravidanza, perturbazioni della migrazione neuronale comportano la comparsa di ectopie e microsolchi. Questa distribuzione di malformazioni corticali concentrate sulle aree del linguaggio rende fragili le rappresentazioni fonologiche che saranno indispensabili, sei anni più tardi, all'alfabetizzazione. In parallelo, comporta una cascata di anomalie secondarie nelle regioni sensoriali del talamo, riducendo così la precisione della codifica degli ingressi uditivi e visivi»<sup>62</sup>.

<sup>62</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit., p. 292.

### *In conclusione*

Dal punto di vista dell'evoluzione umana, il cervello non è mai stato progettato per leggere; [...], non ci sono né specifiche strutture cerebrali della lettura né geni specifici. Al contrario: per leggere, il cervello deve imparare a realizzare nuovi circuiti collegando regioni preesistenti la cui organizzazione e il cui programma genetico avevano altri scopi - dal riconoscimento degli oggetti alla denominazione<sup>63</sup>.

Per poter acquisire le competenze necessarie all'espletamento dei compiti di lettura, il nostro cervello deve riconvertire a una nuova funzione i circuiti neuronali di cui è dotato alla nascita e ciò è possibile solo perché possiede una straordinaria plasticità che gli consente di adattarsi all'ambiente circostante. L'ipotesi in base alla quale saremmo provvisti di uno specifico modulo per la lettura, così come quella che vorrebbe il nostro cervello paragonato a una *tabula rasa* su cui è possibile inscrivere ogni forma di invenzione culturale, viene a cadere. «Per imparare nuove competenze ricicliamo i nostri antichi circuiti neuronali di primati - nella misura in cui questi tollerano un minimo di cambiamento»<sup>64</sup>. L'uomo, dunque, deve essere considerato come sintesi di natura e cultura. Grazie ai numerosi studi recenti di *neuroimaging* è stato possibile scoprire che, durante la lettura, a seconda del sistema di scrittura d'appartenenza, il cervello di un individuo risponde attivando prioritariamente alcune reti: durante la lettura di simboli grafici appartenenti a scritture dall'ortografia trasparente, al *pinyin* (sistema alfabetico utilizzato per rendere i caratteri cinesi) e ai *kana* (sillabari fonetici giapponesi) si verifica una maggiore - ma non esclusiva - attivazione della rete cerebrale del suono rispetto a quella del significato; all'opposto, durante la lettura di simboli grafici appartenenti a scritture dall'ortografia opaca, ai caratteri cinesi e ai *kanji* (caratteri cinesi impiegati nella scrittura giapponese) si verifica una maggiore - ma non esclusiva - attivazione della rete cerebrale del significato rispetto a quella del suono.

Ciononostante, a riprova di come vi sia un substrato comune, abbiamo visto che in tutte le culture, indipendentemente dal tipo di scrittura impiegato, vi è una stessa area cerebrale che viene attivata durante la lettura: la regione occipito-temporale ventrale sinistra, responsabile del riconoscimento invariante di lettere e parole.

*Laura Bossa*

---

<sup>63</sup> MARYANNE WOLF 2007, trad. it., p. 184.

<sup>64</sup> STANISLAS DEHAENE 2007, cit., p. 7.

**Bibliografia**

AA. VV., 2007, *Trattato di anatomia umana*, vol. 3, Milano, EDI - ERMES.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2000 (4° edizione), *Diagnostic and statistic manual of mental disorders. Text revision*, Washington, APA.

DIRK J. BAKKER, *Hemispheric differences and reading strategies: two dyslexias?*, «Bulletin of the Orton Society», n. 29, 1979, pp. 84-100.

PIER LUIGI BALDI, DANIELA TRAFICANTE, *Modelli di lettura e metodi di ricerca sulla somiglianza ortografica*, Roma, Carocci, 2000.

BEAULIEU, C., PLEWES, C., PAULSON, L. A., ROY, D., SNOOK, L., CONCHA, L., PHILLIPS, L., 2005, *Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability*, «Neuroimage», n. 25 (4), pp. 1266-1271.

BEHRMANN, M., BLACK, S. E., BUB, D., 1990, *The evolution of pure alexia: a longitudinal study of recovery*, «Brain Lang», n. 39, pp. 405-427.

BEVERSDORF, D. Q., RATCLIFFE, N. R., RHODES, C. H., REEVES, A. G., 1997, *Pure alexia: clinical- pathologic evidence for a lateralized visual language association cortex*, «Clin Neuropathol», n. 16, pp. 328-331.

BODER, E., 1973, *Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns*, «Developmental Medicine & Child Neurology», n. 15, pp. 663-687.

BORSTING E., RIDDER W. H., DUDECK K., KELLEY C., MATSUI L., MOTOYAMA J., 1996, *The presence of a magnocellular deficit depends on the type of dyslexia*, «Vision Research», n. 36, pp. 1047-1053.

BURANI, C., 1987, *Apprendimento della lettura e morfologia della parola*, «Età evolutiva», n. 28, pp. 30-41.

BURANI, C., CARAMAZZA, A., 1987, *Representation and processing of derived words*, «Language and cognitive processes», n. 2 (3-4), pp. 217-227.

COHEN, L., 2004, *L'homme thermometer. Le cerveau en pièces détachées*; trad. it. 2006, *L'uomo termometro. Quando il cervello si guasta*, Torino, Bollati Boringhieri.

COHEN, L., DEHAENE, S., 1995, *La lecture des nombres dans l'alexie pure: effets de la tâche et de la spécialisation hémisphérique*, «Revue Neurologique», n. 151 (8-9), pp. 480-485.

COHEN, L., DEHAENE, S., 2000, *Calculating without reading: unsuspected residual abilities in pure alexia*, «Cognitive Neuropsychology», n. 17 (6), pp. 563-583.

COHEN, L., DEHAENE, S., NACCACHE, L., LEHÉRICY, S., DEHAENE-LAMBERTZ, G., HÉNAFF, M. A., MICHEL, F., 2000, *The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients*, «Brain», n. 123, pp. 291-307.

COHEN, L., MARTINAUD, O., LEMER, C., LEHERICY, S., SAMSON, Y., OBADIA, M., SLACHEVSKY, A., DEHAENE, S., 2003, *Visual word recognition in the left and right hemispheres: anatomical and functional correlates of peripheral alexias*, «Cerebral Cortex», n. 13, pp. 1313-1333.

COLTHEART, M., 1978, "*Lexical access in simple reading tasks*", in G. Underwood, cura di, *Strategies of information processing*, London, Academic Press, pp. 151-216.

COLTHEART, M., 1981, *Disorders of reading and their implications for models of normal reading*, «Visible Language», n. 15, pp. 245-286.

COLTHEART, M., COLTHEART, V., 1997, *Reading comprehension is not exclusively reliant upon phonological representation*, «Cognitive Neuropsychology», n. 14 (1), pp. 167-175.

DAMASIO, A. R., DAMASIO, H., 1983, *The anatomic basis of pure alexia*, «Neurology», n. 33, pp. 1573-1583.

DARWIN, C., 1859, *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*; trad. it. 1985, *L'origine delle specie. Selezione naturale e lotta per l'esistenza*, Torino, Bollati - Boringhieri.

DEHAENE, S., 1997, *The number sense*; trad. it. 2000, *Il pallino della matematica: scoprire il genio dei numeri che è in noi*, Milano, Mondadori.

DEHAENE, S., 2005, "*Evolution of Human Cortical Circuits for Reading and Arithmetic: the neuronal recycling hypothesis*", in S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. D. Hauser, G. Rizzolatti, cura di, *From monkey brain to human brain. A fussen foundation symposium*, Cambridge, The MIT Press, pp. 133-157.

DEHAENE, S., 2007, *Les neurones de la lecture*; trad. it. 2009, *I neuroni della lettura*, Milano, Raffaello Cortina Editore.

DEHAENE, S., JOBERT, A., NACCACHE, L., CIUCIU, P., POLINE, J. B., LE BIHAN, D., COHEN, L., 2004, *Letter binding and invariant recognition of masked words: behavioral and neuroimaging evidence*, «Psychological Science», n. 15 (5), pp. 307-313.

- DEHAENE, S., LE CLECH, G., POLINE, J. B., LEBIHAN, D., COHEN, L., 2002, *The visual word form area. A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus*, «NeuroReport», n. 13 (3), pp. 321-325.
- DÉJERINE, J., 1892, *Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale*, «Mémoire de la Société de Biologie», n. 4, pp. 61-90.
- DEMB, J., BOYNTON, G., BEST, M., HEEGER, D., 1998, *Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia*, «Vision Research», n. 38, pp. 1555-1559.
- DEVLIN, J. T., JAMISON, H. L., MATTHEWS, P. M., GONNERMAN, L. M., 2004, *Morphology and the internal structure of words*, «Proceedings of the national academy of science USA», n. 101 (41), pp. 14984-14988.
- EDEN, G. F., STEIN, J. F., WOOD, H. M., WOOD, F. B., 1994, *Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children*, «Vision Research», n. 34, pp. 1345-1358.
- ERIKSEN, C. W., POLLACK, N. D., MONTAGUE, W. E., 1970, *Implicit speech: mechanism in perceptual encoding*, «Journal of Experimental Psychology», n. 84 (3), pp. 502-507.
- FILIPEK, P. A., 1995, *Neurobiological correlates of developmental dyslexia: what do we know about how the dyslexic's brains differ from those of normal readers?*, «Journal of Child Neurology», n. 10 (Suppl.), pp. 62-69.
- FISHER, S. E., FRANCKS, C., 2006, *Genes, cognition and dyslexia: learning to read the genome*, «Trends in Cognitive Sciences», n. 10 (6), pp. 250-257.
- FORSTER, K. I., 1976, "Accessing the mental lexicon", in R. J. Wales, E. Walker, cura di, *New approaches to language mechanisms*, Amsterdam, North-Holland, pp. 257-287.
- FORSTER, K. I., 1979, "Levels of processing and the structure of the language processor", in W. E. Cooper, E. Walker, cura di, *Sentence processing: psycholinguistic essays presented to Merrill Garrett*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 27-85.
- FORSTER, K. I., CHAMBERS, S. M., 1973, *Lexical access and naming time*, «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», n. 12 (6), pp. 627-635.
- FORSTER, K. I., GARTLAND, G., 1976, *Hash coding and search processes in lexical access*, in Paper presented at the *Second experimental psychology conference*, University of Sidney.

FRAUENFELDER, U. H., SCHREUDER, R., 1992, "Constraining psycholinguistic models of morphological processing and representation: the role of predictivity", in G. E. Booij, Y. Van Marle, cura di, *Yearbook of morphology 1991*, Dordrecht, Kluwer Academic, pp. 165-183.

GALABURDA, A. M., 1993, *Neuroanatomical basis of developmental dyslexia*, «Neurological Clinical», n. 11, pp. 161-173.

GALABURDA, A. M., COSIGLIA, J., ROSEN, G., SHERMAN, G., 1987, *Planum temporale asymmetry: reappraisal since Geschwind and Levitsky*, «Neuropsychologia», n. 25, pp. 853-868.

GALABURDA, A. M., KEMPER, T. L., 1979, *Cytoarchitectonic abnormalities in dyslexia*, «Annals of Neurology», n. 6, pp. 94-100.

GALABURDA, A. M., LIVINGSTONE, M., 1993, "Evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia", in P. Tallal, A. M. Galaburda, R. Llinas, C. Von Euler, cura di, *Temporal information processing in the nervous system: special reference to dyslexia and dysphasia*, New York, New York Academy of Science, pp. 70-82.

GALABURDA, A. M., LO TURCO, J., RAMUS, F., FITCH, R. H., ROSEN, G. D., 2006, *From gene to behavior in developmental dyslexia*, «Nature Neuroscience», n. 9 (10), pp. 1213-1217.

GALABURDA, A. M., SHERMAN, G. F., ROSEN, G. D., ABOITIZ, F., GESCHWIND N., 1985, *Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies*, «Annals of Neurology», n. 18, pp. 222-233.

GOULD, S. J., VRBA, E. S., 1982, *Exaptation: a missing term in the science of form*, «Paleobiology», n. 8, pp. 4-15.

GRIGORENKO, E. L., 2003, *The first candidate gene for dyslexia: turning the page of a new charter of research*, «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», n. 100 (20), pp. 11190-11192.

HEALY, A. F., 1980, *Proofreading errors on the word "the": new evidence on reading units*, «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», n. 6 (1), pp. 45-57.

HELENIUS, P., TARKIAINEN, A., CORNELISSEN, P., HANSEN, P. C., SALMELIN, R., 1999, *Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults*, «Cerebral Cortex», n. 9 (5), pp. 476-483.

HYND, G. W., SEMRUD-CLIKEMAN, M., LERYS, A. R., NOVEY, E. S., ELIOPULOS, D., 1990, *Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity*, «Archives of Neurology», n. 47, pp. 919-926.

- JACOBS, A. M., GRAINGER, J., 1992, *Testing a semi-stochastic variant of the interactive activation model in different word recognition experiments*, «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», n. 18, pp. 1174-1188.
- JOHNSON, J. C., MCCLELLAND, J. L., 1980, *Experimental tests of a hierarchical model of word recognition*, «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», n. 19 (5), pp. 503-524.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSELL, T. M., 1991, *Principles of Neural Science*; trad. it. 2003, *Principi di neuroscienze*, Milano, CEA.
- KLAPP, S. T., 1971, *Implicit speech inferred from response latencies in same-different decision*, «Journal of Experimental Psychology», n. 91 (2), pp. 262-267.
- LAUDANNA, A., BURANI, C., cura di, 1993, *Il lessico: processi e rappresentazioni*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.
- LEFTON, L. A., NAGLE, R. J., JOHNSON, G., FISHER, D. F., 1979, *Eye movement dynamics of good and poor readers: then and now*, «Journal of Reading Behavior», n. 11, pp. 319-328.
- LIVINGSTONE, M. S., ROSEN, G. D., DRISLANE, F. W., GALABURDA, A. M., 1991, *Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia*, «Neurobiology», n. 88, pp. 7943-7947.
- LOVEGROVE, W., MARTIN, F., SLAGHUIS, W. J., 1986, *A theoretical and experimental case for a visual deficit in specific reading disability*, «Cognitive Neuropsychology», n. 3, pp. 225-267.
- MARSHALL, J. C., NEWCOMBE, F., 1973, *Patterns of paralexia: a psycholinguistic approach*, «Journal of Psycholinguistic Research», n. 2, pp.175-199.
- MARTOS, F. J., VILA, J., 1990, *Differences in eye movement control among dyslexic, retarded and normal readers in the Spanish population*, «Reading and Writing», n. 2, pp. 175-188.
- MATELLI, M., UMILTÀ, C., 2007, *Il cervello*, Bologna, Il Mulino.
- MCCARTHY, R. A., WARRINGTON, E. K., 1990, *Cognitive neuropsychology: a clinical Introduction*, San Diego, Academic Press.
- MCCLELLAND, J. L., RUMELHART, D. E., 1981, *An interactive activation model of context effects in letter perception I. An account of basic findings*, «Psychological Review», n. 88, pp. 375-407.

MCCONKIE, G. W., RAYNER, K., 1975, *The span of the effective stimulus during a fixation in reading*, «Perception and Psychophysics», n. 17, pp. 578-586.

MCCRORY, E. J., MECHELLI, A., FRITH, U., PRICE, C. J., 2005, *More than words: a common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia?*, «Brain», n. 128, pp. 261-267.

MERRITT, J. E., 1986, "*Lettura (origini e apprendimento)*", in R. Harré, R. Lamb, L. Mecacci, cura di, *Psicologia. Dizionario enciclopedico*, Roma - Bari, Editori Laterza, pp. 568-571.

MISHKIN, M., UNGERLEIDER, L. G., MACKO, K. A., 1983, *Object vision and spatial vision: two cortical pathways*, «Trends in Neuroscience», n. 6, pp. 414-417.

MOLKO, N., COHEN, L., MANGIN, J. F., CHOCHON, F., LEHERICY, S., LE BIHAN, D., DEHAENE, S., 2002, *Visualizing the neural bases of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging*, «Journal of Cognitive Neuroscience», n. 14, pp. 629-636.

MORTON, J., 1968, "*Consideration of grammar and computation in language behavior*", in J. C. Catford, cura di, *Studies in language and language behavior*, Ann Arbor, University of Michigan Press, pp. 499-545.

MORTON, J., 1969, *Interaction of information in word recognition*, «Psychological Review», n. 76 (2), pp. 165-178.

MORTON, J., 1979, "*Facilitation in word recognition: experiments causing change in the logogen model*", in P. A. Kolers, M. E. Wrolstad, H. Bouma, cura di, *Proceedings of the conference on the "Processing of visible language"*, vol. 1, New York, Plenum Press, pp. 259-268.

NICOLSON, R. I., FAWCETT, A. J., DEAN, P., 2001, *Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis*, «Trends in Neurosciences», n. 24, pp. 508-511.

PAAP, K. R., NEWSOME, S. L., McDONALD, J. E., SCHVANEVELDT, R. W., 1982, *An activation-verification model for letter and word recognition: the word-superiority effect*, «Psychological Review», n. 89 (5), pp. 573-594.

POLLATSEK, A., BOLOZKY, S., WELL, A. D., RAYNER, K., 1981, *Asymmetries in the perceptual span for Israeli readers*, «Brain and Language», n. 14 (1), pp. 174-180.

RAMUS, F., 2003, *Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction?*, «Current Opinion in Neurobiology», n. 13 (2), pp. 212-218.

RAMUS, F., PIDGEON, E., FRITH, U., 2003, *The relationship between motor control and phonology in dyslexic children*, «Journal of Child Psychology and Psychiatry», n. 44 (5), pp. 712-722.

- RAMUS, F., ROSEN, S., DAKIN, S. C., DAY, B. L., CASTELLOTE, J. M., WHITE, S., FRITH, U., 2003, *Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults*, «Brain», n. 126 (Pt4), pp. 841-865.
- REICHER, G. M., 1969, *Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material*, «Journal of Experimental Psychology», n. 81, pp. 275-280.
- RUBIN, G. S., BECKER, C. A., FREEMAN, R. H., 1979, *Morphological structure and its effects on visual word recognition*, «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», n. 18 (6), pp. 757-767.
- RUMELHART, D. E., 1977, "Toward an interactive model of reading", in S. Dornic, cura di, *Attention and performance VI*, New York, Academic Press, pp. 573-603.
- SALMELIN, R., SERVICE, E., KIESILA, P., UUTELA, K., SALONEN, O., 1996, *Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography*, «Annals of Neurology», n. 40 (2), pp. 157-162.
- SARTORI, G., 1984, *La lettura. Processi normali e dislessia*, Bologna, Il Mulino.
- SCHREUDER, R., BAAYEN, R. H., 1995, "Modeling morphological processing", in L. B. Feldman, cura di, *Morphological aspects of language processing*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 131-154.
- SCHREUDER, R., BAAYEN, R. H., 1997, *How complex simplex words can be*, «Journal of memory and language», n. 37, pp. 118-139.
- SCHWARTZ, M. F., SAFFRAN, E. M., MARIN, O. S. M., 1980, "Fractionating the reading process in dementia: evidence for word specific print-to-sound associations", in M. Coltheart, K. Patterson, J. C. Marshall, cura di, *Deep dyslexia*, London and New York, Routledge and Kegan Paul, pp. 259-269.
- SEGUL, J., GRAINGER, J., 1990, *Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency*, «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», n. 16 (1), pp. 65-76.
- SEYMOUR, P. H. K., 1986, *Cognitive analysis of dyslexia*, London and New York, Routledge and Kegan Paul.
- SHAYWITZ, B. A., SHAYWITZ, S. E., PUGH, K. R., MENCL, W. E., FULBRIGHT, R. K., SKUDLARSKI, P., CONSTABLE, R. T., MARCHIONE, K. E., FLETCHER, J. M., LYON, G. R., GORE, J. C., 2002, *Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia*, «Biological Psychiatry», n. 52 (2), pp. 101-110.
- SIEGEL, L. S., 1988, *Evidence that IQ scores are irrelevant to the definition and analysis of reading disability*, «Canadian Journal of Psychology», n. 42, pp. 201-215.

SIEGEL, L. S., 1989, *IQ is irrelevant to the definition of learning disabilities*, «Journal of Learning Disabilities», n. 22, pp. 469-478, p. 486.

SIEGEL, L. S., 1990, "*IQ and learning disabilities: RIP*", in H. L. Swanson, B. Keogh, cura di, *Learning disabilities: theoretical and research issues*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 111-128.

SIEGEL, L. S., 2002 (5° edizione), "*Diagnosi e riabilitazione dei disturbi dell'apprendimento*", in G. Stella, cura di, *La dislessia. Aspetti clinici, psicologici e riabilitativi*, Milano, Franco Angeli, pp. 119-133.

SILANI, G., FRITH, U., DEMONET, J. T., FAZIO, F., PERANI, D., PRICE, C. FRITH, C. D., PAULESU, E., 2005, *Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study*, «Brain», n. 128 (Pt 10), pp. 2453-2461.

SHALLICE, T., 1988, *From neuropsychology to mental structure*, Cambridge, Cambridge University Press.

SILBERBERG, N. E., IVERSEN, I. A., SILBERBERG, M. C., 1969, *A model for classifying children according to reading level*, «Journal of Learning Disabilities», n. 2 (12), pp. 634-643.

SILBERBERG, N. E., SILBERBERG, M. C., 1967, *Hyperlexia specific word recognition skills in young children*, «Exceptional Children», n. 34, pp. 41-42.

STEIN, J., 2001, *The sensory basis of reading problems*, «Developmental Neuropsychology», n. 20, pp. 509-534.

STEIN, J., WALSH, V., 1997, *To see but not to read: the magnocellular theory of dyslexia*, «Trends Neuroscience», n. 20, pp. 147-152.

TAFT, M., 1979, *Lexical access via an orthographic code: the basic orthographic syllable structure (BOSS)*, «Journal of verbal learning and verbal behavior», n. 18 (1), pp. 21-39.

TAFT, M., FORSTER, K.I., 1975, *Lexical storage and retrieval of prefixed words*, «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», n. 14 (6), pp. 638-647.

TAFT, M., FORSTER, K.I., 1976, *Lexical storage and retrieval of polymorphemic and polysyllabic words*, «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», n. 15 (6), pp. 607-620.

TALLAL, P., MILLER, S., FITCH, R., ROSLYN, H., 1993, "*Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing*", in R. R. Llinas, C. Von Euler, P. Tallal, A. M. Galaburda, cura di, *Temporal information processing in the nervous system: special reference to dyslexia and dysphasia*, New York, New York Academy of Sciences, pp. 27-47.

TEMPLE, E., POLDRACK, R. A., SALIDIS, J., DEUTSCH, G. K., TALLAL, P., MERZENICH, M. M., GABRIELI, J. D., 2001, *Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study*, «NeuroReport», n. 12 (2), pp. 299-307.

TERONI, M., 2007, *Manuale di redazione*, Milano, APOGEO.

TYLER, L. K., WAKSLER, R., MARSLER-WILSON, W., 1993, "Representation and access of derived words in English", in G. T. M. Altmann, R. Shillcock, cura di, *Cognitive models of speech processing. The second Sperlonga meeting*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 125-159.

UNGERLEIDER, L. G., MISHKIN, M., 1982, "Two cortical visual systems", in D. J. Ingle, M. A. Goodale, R. J. W. Mansfield, cura di, *Analysis of visual behavior*, Cambridge, MIT Press, pp. 549-586.

VICTOR, J. D., CONTE, M. M., BURTON, L., NASS, R. D., 1993, *Visual evoked potentials in dyslexics and normals: failure to find a difference in transient or steady-state responses*, «Visual Neuroscience», n. 10, pp. 939-946.

WHITE, S., MILNE, E., ROSEN, S., HANSEN, P., SWETTENHAM, J., FRITH, U., RAMUS, F., 2006, *The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children*, «Developmental Science», n. 9 (3), pp. 237-255; discussion pp. 265-269.

WOLF, M., 2007, *Proust and the squid. The story and science of the reading brain*; trad. it. 2009, *Proust e il calamaro*, Milano, Vita&Pensiero.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1992 (10° edizione), *The ICD-10. Classification of mental and behavioural disorders. Clinical descriptions and diagnostic guidelines*, Geneva, WHO.