



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Psicologia Generale

**SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE PSICOLOGICHE
INDIRIZZO PSICOBIOLOGIA
XXII CICLO**

**ESPLORANDO LO SPAZIO:
L'Orientamento Automatico dell'Attenzione
nella Dislessia Evolutiva, nella Discalculia
Evolutiva
e nel Disturbo Visuo-Spaziale**

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. Clara Casco

Coordinatore d'indirizzo: Ch.mo Prof. Angelo Bisazza

Supervisore: Ch.mo Prof. Andrea Facchetti

Dottoranda: Anna Noemi Trussardi

RINGRAZIAMENTI

I miei più sinceri ringraziamenti vanno al Prof. Andrea Facchetti, che, con i suoi insegnamenti e il suo aiuto, mi ha sostenuto in questi anni. Un grazie speciale va a chi mi ha permesso di realizzare questo lavoro, dandomi la possibilità di accedere alla popolazione clinica nell'Unità Operativa di Neuropsichiatria dell'Infanzia e dell'Adolescenza dell'Azienda Ospedaliera di Bergamo e di collaborare con loro nella raccolta dati: Dott. Marco Pezzani, Dott. Stefano Conte, Dott.ssa Silvia Alchieri e il gruppo delle Logopediste. Ringrazio inoltre l'Associazione Amici della Pediatria, che mi ha sostenuta finanziando parte del mio lavoro di ricerca. Ringrazio Milena Ruffino per i suggerimenti e l'aiuto tecnico, Marco Zorzi, Cesare Cornoldi, Irene Mammarella, Manuela Piazza e Alessandro Chinello del Dipartimento di Scienze Cognizione e Formazione di Rovereto, Silvio Maffioletti con Simone Santacatterina e Alessio Facchin del Dipartimento di Ottica e Optometria dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca, per la preziosa collaborazione e per gli utili scambi di carattere scientifico. Ringrazio Elisa Balestrieri, Alessandro Peraldo, Letizia Frassine e Valeria Parlantini, per l'aiuto nella raccolta dati. Ringrazio il Prof. Giovanni Bilancia, Beatrice Bertelli e i docenti dell'Accademia di Neuropsicologia dello Sviluppo di Parma per i loro insegnamenti e spunti di riflessione. Ringrazio la Dott.ssa Silvia Arrigoni per il prezioso aiuto, per la disponibilità e la fiducia mostrata nei miei confronti. Infine un ringraziamento speciale alla Dott.ssa Vanda Gibellini, che mi ha permesso di portare avanti le ricerche presso l'Istituto Comprensivo di Ponte Nossola (BG), di cui è direttrice, offrendomi le sue strutture e la disponibilità del corpo docenti per la raccolta dati dell'intera popolazione di controllo.

GRAZIE a tutti coloro che mi sono stati vicini, mi hanno aiutata e sostenuta con la loro affettuosa e costante presenza: mamma Antonietta, papà Luigi, mio fratello Massimo con Sara e i nipotini Daniele e Silvia, Davide, Angelo, e tutti gli amici.

INDICE

RIASSUNTO.....	4
ABSTRACT.....	7
SCOPO.....	10
CAPITOLO 1 - DISLESSIA EVOLUTIVA.....	13
Introduzione.....	13
Esperimento 1.....	24
Partecipanti.....	25
Apparati e procedure.....	28
Risultati.....	32
Discussione.....	39
CAPITOLO 2 - DISCALCULIA EVOLUTIVA.....	43
Introduzione.....	43
Esperimento 2.....	50
Partecipanti.....	51
Stimoli e procedura.....	53
Risultati.....	55
Discussione.....	61
Esperimento 3.....	63
Partecipanti.....	64
Apparati e procedure.....	65
Risultati.....	65
Discussione.....	70
CAPITOLO 3 - COMORBIDITA' FRA DISLESSIA EVOLUTIVA E DISCALCULIA EVOLUTIVA.....	75
Introduzione.....	75
Esperimento 4.....	79
Partecipanti.....	80
Apparati e procedure.....	85
Risultati.....	85
Discussione.....	87
CAPITOLO 4 - DISTURBO VISUO-SPAZIALE.....	91
Introduzione.....	91
Esperimento 5.....	98
Partecipanti.....	99
Apparati e procedure.....	103
Risultati.....	105
Discussione.....	109
Esperimento 6.....	111
Partecipanti.....	111
Apparati e procedure.....	111
Risultati.....	111
Discussione.....	114
DISCUSSIONE GENERALE.....	119
ALLEGATO A.....	125
BIBLIOGRAFIA.....	129

RIASSUNTO

In questo lavoro sono state esaminate diverse popolazioni cliniche, Dislessia Evolutiva (DE), Discalculia Evolutiva (DCE) e Disturbo Visuo-spaziale (DVS) al fine di indagare il ruolo dell'orientamento dell'attenzione spaziale nello sviluppo delle competenze di lettura, calcolo e visuo-spaziali.

La lettura è un processo cognitivo complesso che per svilupparsi in modo adeguato necessita sia di buone abilità uditive-fonologiche sia di adeguate abilità visuo-percettive, che sembrerebbero mediate dall'attenzione spaziale. La nostra ipotesi è che un disturbo dell'attenzione spaziale visiva possa ostacolare il normale sviluppo dell'apprendimento della lettura, disturbando selettivamente il rapido meccanismo di isolamento visuo-percettivo del grafema all'interno di una stringa di lettere (i.e., segregazione grafemica, SG), cruciale prerequisito per una efficiente decodifica fonologica. Inoltre un disturbo dell'attenzione spaziale uditiva potrebbe disturbare selettivamente la segmentazione dei suoni linguistici, necessaria per il mappaggio dei fonemi da associare ai grafemi. I risultati indicano un selettivo ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale sia visiva che uditiva nei soli bambini con difficoltà nella lettura di nonparole, sia rispetto ai controlli pareggiati per età che per età di lettura (Esperimento 1).

Diversi studi hanno confermato il collegamento fra cognizione spaziale e cognizione numerica, dimostrando l'esistenza della linea numerica mentale (LNM), intesa come rappresentazione mentale dei numeri, spazialmente orientata da sinistra a destra. La nostra ipotesi è che in bambini con DCE, che mostrano uno specifico disturbo nella

rappresentazione delle grandezza numeriche (acuità numerica, Esperimento 2), l'attenzione spaziale visiva possa essere direttamente coinvolta nella esplorazione della LNM e che quindi abbia un ruolo cruciale nelle abilità numeriche mediate dall'uso della LNM. I risultati del nostro Esperimento 3 indicano un selettivo ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale nei soli bambini con caduta in un compito di inserzione di numeri (che richiede l'accesso alla LNM), rispetto ai controlli ed ai bambini DCE senza caduta nelle Inserzioni.

A partire da questi risultati ci siamo chiesti quale fosse il funzionamento dell'attenzione spaziale in bambini con DE e/o DCE (Esperimento 4). Abbiamo quindi diviso il campione a partire dalla caduta nella lettura di non parole e/o nel compito delle Inserzioni. I risultati confermano un ritardo nell'orientamento automatico dell'attenzione nel gruppo con difficoltà nella decodifica fonologica, nel gruppo con difficoltà nell'utilizzo della LNM e nel gruppo con doppio deficit. Abbiamo quindi introdotto la necessità di riferirsi a un modello multi-componenziale per l'espressione della DE e della DCE, che tenga conto sia del lento orientamento dell'attenzione che delle difficoltà nella consapevolezza fonologica nella DE (operazionalizzata come un deficit specifico della decodifica fonologica) e che tenga conto sia del lento orientamento dell'attenzione che delle difficoltà visuocostruttive nella DCE (operazionalizzata come un deficit dell'utilizzo della LNM).

Infine, è stata indagata la stretta relazione esistente tra cognizione visuo-spaziale e cognizione numerica misurando l'attenzione spaziale nei bambini con DVS, che presentano difficoltà sia di natura visuo-spaziale che aritmetiche (Esperimento 5).

Secondo la nostra ipotesi, l'orientamento dell'attenzione spaziale visiva, che è risultato essere coinvolto nei processi di esplorazione della LNM in una popolazione

di bambini con DCE, potrebbe essere deficitario anche in questa popolazione. Un esperimento preliminare ha chiaramente dimostrato che solo i bambini con DVS con caduta nel compito delle inserzioni presentano un disturbo nella percezione immediata di piccole numerosità, infatti riconoscono numerosità di soli 3 item, mentre i controlli arrivano a 6 item, avvalorando le relazione tra elaborazione visuo-spaziale e rappresentazione di grandezze numeriche. Inoltre solo i bambini con DVS con un disturbo nell'uso della LNM mostrano un effetto di facilitazione dell'indizio anche per SOA lunghi, suggerendo un'iperfocalizzazione nell'emicampo visivo in cui è comparso l'indizio, ovvero un deficit di disancoraggio dell'attenzione visiva. Confermiamo quindi la necessità di riferirsi a un modello multi-componenziale anche per l'espressione del DVS, che tenga conto sia dell'iperfocalizzazione attentiva che delle difficoltà visuo-costruttive e di rappresentazione globale delle immagini (iperattenzione ai dettagli).

Parole chiave: DE, DCE, DVS, attenzione spaziale

ABSTRACT

In order to investigate the possible role of spatial attention in reading acquisition, arithmetic and visuo-spatial abilities, we studied the time course of attentional orienting in three different clinical populations: children with Developmental Dyslexia (DD), children with Developmental Dyscalculia (DCD) and children with Visual-Spatial Disorder (VSD).

Reading is a complex cognitive process, which requires adequate auditory-phonological and visual-perceptual skills, both possibly mediated by spatial attention. We hypothesized that a spatial attentional deficit might hinder the normal development of reading acquisition through the disruption of rapid serial parsing of visual-perceptual grapheme in the letters string (i.e., graphemic segregation), an essential prerequisite to phonological decoding. Moreover, an impairment in auditory spatial attention could disrupt the segmentation of speech sound, necessary for grapheme-to-phoneme mapping. Our results indicate that a delay in orienting of multisensory spatial attention (visual and auditory) was present only in poor nonword reading children (Experiment 1).

The structure of mental number line (MNL) suggests the existence of link between numeric and spatial cognition, link confirmed by several empirical studies. Within MNL, numeric representations are organized on a line, spatially oriented from left to right. Our hypothesis is that children with DCD, characterized by a disorder in representation of numerical magnitude (numerical acuity, Experiment 2), have a

concurrent visuo-spatial attention deficit. Spatial attention is directly involved in MNL exploration and manipulation, thus might play a key role in numerical abilities. Results point out that only children with an impaired performance in the MNL (i.e., numbers insertion task) shown a specific sluggish orienting of spatial attention.

Driven from these results, we studied the time course of spatial attention in children with DD and/or DCD (double dissociation, Experiment 4). We divided the sample, using a 2x2 classification, between children proficient/impaired in nonwords reading task (i.e., phonological decoding ability) and children proficient/impaired in numbers insertion task (i.e., MNL exploration and manipulation). Results indicated that both the group with only nonwords reading difficulties and the group with only numbers insertion task difficulties as well as the group with double deficit have a sluggish automatic orienting of spatial attention. Thus, it is advisable to rely on a multi-factorial model of DD and DCD phenotype, taking into account both attentional and phonological impairments in DD phenotype, while considering both attentional and visuo-costruttive impairments in DCD phenotype.

Finally, we investigated the relationship between visual-spatial and numerical cognition in children with VSD, to test our multi-factorial hypothesis in a different neurodevelopmental disorder. Thus, we measured the time course of spatial attention in children with VSD (Experiment 6). According to our multi-factorial hypothesis, orienting of spatial attention, involved in LNM exploration and manipulation, could be compromised in children with VSD. By using a preliminary Experiment (Experiment 5), we shown that children with DVS impaired in numbers insertion task have a deficit in immediate perception of small quantities. Furthermore, only children with VSD impaired in numbers insertion task show an abnormal cueing

facilitation effect at long SOA (when the control groups show an inhibition of return effect), suggesting an attentional disengagement deficit in VSD. Thus we sustain the necessity to refer to a multi-factorial model for the DVS, taking into account attentional disengagement deficit - that could produce a fragmented global representation and over-attention to details – and visuo-costruttive difficulties.

Keywords: Developmental dyslexia, Developmental dyscalculia, Developmental Visuo-spatial disorder, Spatial attention.

SCOPO

Affinché un bambino possa esprimere le proprie potenzialità nel suo percorso di crescita è necessario che esplori attivamente l'ambiente fisico e sociale in cui è inserito. Una delle funzioni neurocognitive fondamentali affinché ciò avvenga è l'attenzione spaziale, definita come capacità di selezionare, tra i vari stimoli presenti nell'ambiente, una specifica regione dello spazio verso cui orientare la propria percezione ed eventualmente programmare l'azione. L'attenzione spaziale, in quanto funzione dominio-generale, risulta essere un antecedente importante alla costruzione delle competenze dominio-specifiche, quali ad esempio il linguaggio, la motricità, la coordinazione oculo-manuale, la lettura, la scrittura e la matematica (Karmiloff-Smith, 1998).

L'orientamento dell'attenzione può essere considerato come uno dei fattori cruciali che influenza specificamente il processo di efficienza dell'elaborazione percettiva (e.g., Carrasco, Ling e Read, 2004; Mondor e Bryden, 1991). L'attenzione selettiva (AS) può essere definita come un processo di elaborazione selettiva delle informazioni sensoriali provenienti da una specifica regione dello spazio che ci permette di elaborare le informazioni rilevanti limitando l'interferenza di quelle non rilevanti. L'AS sia uditiva che visiva renderebbe la rappresentazione degli stimoli sensoriali più saliente a livello delle aree corticali primarie e superiori (e.g., Reynolds e Chelazzi, 2004; Corbetta e Shulman, 2002). Tale aumento della salienza degli stimoli può essere ottenuto mediante un incremento delle risorse di elaborazione (e.g., processi eccitatori) nella regione spaziale attesa (e.g., Carrasco e

coll., 2004), oppure mediante un decremento delle risorse di elaborazione (e.g., processi inibitori) dalle regioni spaziali non attese (e.g., Doshier e Lu, 2000). In effetti, le informazioni sensoriali che cadono all'interno della regione spaziale attesa dell'AS producono: (i) tempi di reazione (TR) più rapidi sia per il rilevamento che per la discriminazione degli stimoli (e.g., Posner, 1980); (ii) un incremento della sensibilità per l'identificazione degli stimoli (i.e., riduzione delle soglie percettive; e.g., Carrasco e coll., 2004); (iii) una riduzione delle interferenze con stimoli vicini sia nello spazio (i.e., riduzione del mascheramento laterale, ML; e.g., Facoetti e Molteni, 2000) sia nel tempo (i.e., riduzione del mascheramento temporale; e.g., Enns, 2004). In questo modo l'AS modulerebbe tutti i processi post-sensoriali, tra cui i giudizi percettivi, la memoria a breve termine e le risposte volontarie. L'AS si compone di un processo di orientamento, che permette il disancoraggio dell'attenzione dalla regione spaziale su cui si è ancorata in precedenza e lo spostamento nella regione spaziale di nuovo interesse; e di un processo di focalizzazione, che permette l'ancoraggio dell'AS spaziale (e.g., Castiello e Umiltà, 1990). Riassumendo, la selezione dell'informazione, potrebbe avvenire attraverso un meccanismo di natura inibitoria mediato dalla rimozione delle risorse di elaborazione dalle regioni spaziali non rilevanti combinato con un meccanismo di natura facilitatoria mediato invece dalla maggiore concentrazione delle risorse di elaborazione alla regione spaziale rilevante (Facoetti e Molteni, 2000).

Lo scopo della mia tesi di dottorato è di descrivere gli studi effettuati sull'orientamento automatico dell'attenzione, controllato dal circuito fronto-parietale ventrale (Corbetta e Shulman, 2002), in diversi disturbi evolutivi, quali la Dislessia (DE), la Discalculia (DCE) e il Disturbo Visuo-Spaziale (DVS), al fine di rilevarne

l'importanza nello sviluppo delle competenze di lettura, calcolo e visuo-spaziali. Nello specifico, nel caso dell'apprendimento della lettura (inizialmente basata sulla decodifica fonologica; Share, 1995), la nostra ipotesi prevedeva che l'attenzione spaziale visiva fosse necessaria per la segregazione grafemica, mentre quella uditiva fosse indispensabile per la segmentazione dei suoni linguistici (si veda l'Esperimento 1). Nel caso dell'apprendimento delle abilità numeriche (poggiate sull'efficiente acquisizione della linea numerica mentale), la nostra ipotesi prevedeva invece che l'attenzione spaziale visiva fosse necessaria per la manipolazione di questa rappresentazione spazialmente orientata delle quantità numeriche (Dehaene, Piazza, Pinel e Cohen, 2003) (si vedano l'Esperimento 2 e 3). Inoltre, data la frequente comorbidità fra la DE e la DCE (e.g., Rubinsten, 2009; Von Aster e Shalev, 2007), si è ritenuto importante studiare il ruolo dell'attenzione spaziale visiva in una popolazione di bambini con DE e/o con DCE suddividendo il campione fra bambini con specifici deficit fra quelli che presentano una caduta nell'accuratezza della lettura di Nonparole (DEN-) oppure no (DEN+) e/o caduta nel compito di Inserzione di numeri (ovvero, posizionare correttamente numeri in codice arabo lungo una linea numerica, DCEI-) oppure no (DCEI+) (si veda l'Esperimento 4). Infine, è stata indagata la stretta relazione esistente tra cognizione visuo-spaziale e cognizione numerica, guidata dal circuito fronto-parietale (Hubbard, Piazza, Pinel e Dehaene, 2005), misurando il decorso temporale dell'attenzione automatica nei bambini con DVS (si veda l'Esperimento 5).

CAPITOLO 1 - DISLESSIA EVOLUTIVA

INTRODUZIONE

Secondo il Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994) per formulare una diagnosi di dislessia evolutiva (DE) è necessario che:

- il livello di lettura raggiunto, misurato mediante test standardizzati somministrati individualmente sull'accuratezza, sulla velocità o sulla comprensione della lettura, sia sostanzialmente al di sotto di quanto previsto in base all'età cronologica del soggetto, alla valutazione psicometrica dell'intelligenza e ad un'istruzione adeguata all'età;
- l'anomalia descritta interferisca in modo significativo con l'apprendimento scolastico o con le attività quotidiane che richiedano capacità di lettura;
- qualora fosse presente un deficit sensoriale, le difficoltà di lettura devono andare al di là di quelle solitamente associate al deficit sensoriale in questione.

Quindi è necessario differenziare le normali variazioni nelle abilità di lettura dalla DE, che può essere diagnosticata solo se al soggetto sono state fornite adeguate opportunità scolastiche e culturali, se il suo quoziente intellettivo risulta nella media e se non presenta deficit sensoriali che possano da soli spiegare i problemi di lettura.

La procedura diagnostica prevede una prestazione inferiore alla seconda deviazione standard (DS) in un test standardizzato per l'abilità di lettura (Cornoldi, Colpo e gruppo MT, 1981; Sartori, Job e Tressoldi, 1995), mentre una prestazione ad una scala di livello intellettivo (WISC-R, Scala di intelligenza Wechsler per

bambini–riveduta, Wechsler, 1986) nella norma.

La lettura può essere considerata come un processo cognitivo complesso che per svilupparsi in modo adeguato necessita, oltre che di buone abilità uditive-fonologiche, anche di adeguate abilità visuo-percettive.

Secondo il modello di lettura a due vie (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon e Ziegler, 2001), le parole scritte possono essere lette tramite la via sub-lessicale (i.e., decodifica fonologica) che si basa sulle corrispondenze grafema-fonema, e che permette di leggere le parole non conosciute e le nonparole, oppure tramite la via lessicale che si basa sulle corrispondenze di unità lessicali già apprese, e che quindi permette di leggere solamente le parole conosciute. L'esistenza di queste due vie di lettura è motivata dall'evidenza che esse possano essere selettivamente danneggiate, infatti sia i disturbi della lettura acquisiti sia quelli evolutivi sono solitamente discussi all'interno di questo approccio teorico (e.g., Castles e Coltheart, 1993; Coltheart e coll., 2001). In base a questo modello, la DE (specifico disturbo neuroevolutivo dell'apprendimento della lettura), può essere di tipo fonologico (i.e. difetto della via sub-lessicale) caratterizzata da una specifica difficoltà nella decodifica fonologica; o di tipo superficiale (i.e. difetto della via lessicale) caratterizzata da una specifica difficoltà nella lettura di parole conosciute (Coltheart e coll., 2001).

Alcuni studi sembrano coerenti nel confermare che un'efficiente acquisizione della lettura dipenderebbe primariamente da una buona funzionalità della decodifica fonologica (e.g., Share, 1995). Infatti, i principali modelli evolutivi suggeriscono che la normale acquisizione dell'abilità di lettura, basata sul riconoscimento di unità lessicali già apprese (i.e., via lessicale), sia fortemente subordinata alla funzionalità dei meccanismi di conversione grafema-fonema (e.g., Frith, 1986). In effetti, per un

bambino che sta imparando a leggere, tutte le parole sono all'inizio delle nonparole, poiché la via lessicale non si è ancora sviluppata. Gli studi longitudinali confermano, infatti, il primario utilizzo della via sub-lessicale nei bambini che iniziano a leggere (e.g., Sprenger-Charolles, Siegel, Bechenec e Serniclaes, 2003).

Anche le evidenze fornite da studi condotti sulla DE sembrano dimostrare il ruolo cruciale di una disfunzione della via sub-lessicale alla base del disturbo specifico dell'apprendimento della lettura (e.g. Ziegler, Perry, Wyatt, Ladner e Schulte-Korne, 2003). Nel loro interessante studio, Ziegler e coll. (2003) hanno verificato che il disturbo sottostante la DE potesse essere comune sia alle lingue ad ortografia opaca (come l'Inglese, dove le corrispondenze grafema-fonema sono irregolari) sia alle lingue ad ortografia trasparente (come il Tedesco e l'Italiano, dove le corrispondenze grafema-fonema sono più regolari). Dai risultati si è evidenziato che i processi deficitari alla base della DE erano comuni a prescindere dal tipo di ortografia. Soprattutto, entrambi i gruppi di dislessici risultavano ugualmente compromessi nella decodifica fonologica, evidenziando un processo di conversione grafema-fonema lento ed eccessivamente seriale. Secondo molti autori, il "core deficit" della DE sarebbe uno specifico disturbo nella decodifica fonologica (e.g., Snowling, 2000; Goswami, 2000; Ziegler e coll., 2003).

Secondo la più recente versione del modello della lettura a due vie (Perry, Ziegler e Zorzi, 2007) l'assemblaggio fonologico, mediante la via sub-lessicale, implicherebbe, in aggiunta a buone abilità uditive-fonologiche (e.g., percezione fonemica e memoria fonologica), delle adeguate abilità di selezione visuo-spaziale rese possibili dall'attenzione selettiva (AS) visiva (e.g., percezione del singolo grafema all'interno della stringa di lettere). Infatti, l'AS è il processo neurocognitivo che consente di migliorare l'efficienza percettiva mediante la combinazione di

meccanismi eccitatori di incremento dell'elaborazione delle informazioni rilevanti (i.e., il "segnale") e di meccanismi inibitori di esclusione delle informazioni non rilevanti (i.e., il "rumore") (per una recente rassegna si veda Reynolds e Chelazzi, 2004). Potrebbe essere quindi l'AS ad influenzare il processo di segmentazione visiva di una stringa di lettere nei suoi grafemi costituenti (i.e., segregazione grafemica, SG). L'AS sarebbe alla base all'elaborazione seriale di ciascun grafema mediante la perfetta combinazione di meccanismi di incremento del segnale (i.e., lo specifico grafema da decodificare) con quelli di esclusione del rumore (i.e., i grafemi laterali che interferiscono con l'elaborazione del grafema che deve essere decodificato).

Diversi studi hanno dimostrato che bambini e adulti con DE evidenziano, in aggiunta ad un disturbo fonologico (si veda per una rassegna Ramus, 2003), anche un difetto nell'elaborazione visuo-percettiva (si veda l'originale rassegna di Stein e Walsh, 1997), che coinvolgerebbe principalmente la capacità di escludere il rumore dall'elaborazione del segnale (e.g., Sperling, Lu, Manis e Seidenberg, 2005, 2006; Hari e Renvall, 2001). Individui con DE manifesterebbero una specifica difficoltà ad elaborare il segnale visivo quando esso è presentato insieme ad un rumore vicino nel tempo (i.e., interferenza temporale; e.g., Di Lollo, Hanson e McIntyre, 1983) e/o nello spazio (i.e., interferenza spaziale; e.g., Sperling e coll., 2005).

Sebbene sia largamente condiviso che alla base della DE vi sia un'alterazione di tipo neurobiologico (si veda per una rassegna Habib, 2000), restano fortemente dibattute le ipotesi eziologiche circa lo specifico disturbo che provocherebbe una manifestazione così eterogenea della difficoltà nello sviluppo dell'apprendimento della lettura.

La DE, comunemente interpretata in base ad un puro difetto di tipo linguistico-

fonologico, dipenderebbe da uno specifico disturbo nella manipolazione ed elaborazione dei fonemi (e.g., Goswami, 2000; Snowling, 2000; Ramus, 2003). L'apprendimento della lettura richiede l'utilizzo di specifiche regole di conversione grafema-fonema, e quindi della corrispondenza tra le lettere dell'alfabeto e i corrispettivi suoni del linguaggio. Se la rappresentazione, l'immagazzinamento o il recupero di tali suoni risulta deficitario, la possibilità di utilizzare le regole di conversione grafema-fonema viene, di conseguenza, compromessa (e.g., Ramus, 2003). Studi di neuroimmagine funzionale hanno localizzato nelle aree corticali perisilviane sinistre deputate al linguaggio la causa diretta del disturbo di lettura (Shaywitz e Shaywitz, 2005). Precisamente, è stato ipotizzato che l'identificazione visiva delle parole sarebbe controllata da due circuiti posteriori dell'emisfero sinistro, selettivamente danneggiati nella DE. Il sistema temporo-parietale sarebbe alla base della primaria elaborazione seriale della via sub-lessicale, mentre il sistema occipito-temporale sarebbe alla base del rapido meccanismo di riconoscimento della forma visiva delle parole (FVP) che si sviluppa più tardivamente ed è alla base della più fluente via lessicale (Shaywitz e Shaywitz, 2005). Tuttavia, le differenze neurobiologiche nelle regioni corticali della FVP, così come quelle delle aree corticali più direttamente coinvolte nell'elaborazione fonologica (aree frontali inferiori e temporo-parietali) sono probabilmente il semplice effetto della DE. L'ipotesi fonologica spiegherebbe solamente il puro effetto della DE, riducendo ad un'unica causa il complesso ed eterogeneo disturbo che caratterizza la DE stessa. Inoltre, l'ipotesi fonologica non è in grado di spiegare la presenza di disturbi di tipo non linguistico (visivi e uditivi) che caratterizzano gli individui con DE.

Un corposo filone teorico interpreta la DE in base ad un difetto nella rapida elaborazione dell'informazione visiva (Stein e Walsh, 1997) e/o uditiva (si vedano le

rassegne di Wright, Bowen e Zecker, 2000 e Tallal, 2004). Sebbene l'ipotesi magnocellulare (M) della DE resti ancora fortemente dibattuta (e.g., Skottun, 2000; Amitay, Ben-Yehudah, Banai e Ahissar, 2002; Sperling e coll., 2005, 2006), sembra che una specifica disfunzione nella via visiva "transiente" M, possa essere responsabile dei caratteristici difetti di tipo visuo-percettivo che sono spesso associati alla DE (si veda per una recente rassegna Boden e Giaschi, 2007). La via visiva M origina a livello retinico, dalle grandi cellule gangliari, i cui assoni afferiscono negli strati 1 e 2 del nucleo genicolato laterale. La via visiva M prosegue in corteccia visiva primaria (V1), poi in V2 e in V3, raggiungendo la corteccia medio temporale (V5-MT). L'area V5-MT proietta all'area medio temporale superiore e ad altre aree della corteccia parietale (i.e., il solco intraparietale, SIP e la corteccia parietale posteriore, CPP). Il sistema M, specializzato nell'analisi del movimento di uno stimolo visivo e nella relazione visuo-spaziale tra gli oggetti, costituirebbe la cosiddetta via dorsale-M (D-M), detta anche via del "dove" (si veda per una recente rassegna Milner e Goodale, 2007). Una delle evidenze più convincenti circa l'ipotesi D-M proviene dall'indagine post-mortem di cinque pazienti dislessici in cui si è osservata una consistente riduzione del fascio M e la presenza di cellule gangliari di tipo M più piccole di circa il 20% rispetto a quelle dei controlli (Galaburda, 1989). Alcuni studi hanno dimostrato una significativa differenza nella sensibilità della componente M tra dislessici e normali lettori (e.g., Stein e Walsh, 1997; Stein e Talcott, 1999; Ben-Yehudah, Sackett, Malchi-Ginzberg e Ahissar, 2001). L'ipotesi alla base della teoria M è che una disfunzione della via D-M si rifletterebbe nelle importanti funzioni implicate nella lettura: controllo del movimento oculare, visione periferica e AS visuo-spaziale. Durante il movimento oculare la nostra percezione del mondo rimane stabile a causa della soppressione

saccadica operata dal sistema M che, agendo sul sistema parvocellulare (P), inibisce la fissazione precedente in modo che questa non mascheri lo stimolo successivo. Alcuni studi hanno dimostrato che tale processo non avviene nei dislessici, creando quella confusione di stimoli percettivi spesso presente (e.g., Stein e Walsh, 1997; Stein e Talcott, 1999). Per quanto riguarda la visione periferica sembrerebbe che nell'emicampo visivo destro i soggetti con DE presentino un ridotto effetto dell'eccentricità retinica, per cui stimoli provenienti dalla periferia retinica verrebbero elaborati quasi come quelli provenienti dalla fovea, ostacolando la visione foveale a causa dell'impossibilità di inibire gli stimoli periferici (e.g., Geiger e Lettvin, 1999; Facoetti e Molteni, 2001).

Anche nel sistema uditivo è presente una suddivisione in fibre sensoriali simile a quelle P e M del sistema visivo (Stein e Walsh, 1997); ciò ha suggerito l'esistenza di un sistema M specializzato nell'analisi della posizione e del movimento degli stimoli uditivi (Barret e Hall, 2006). Gli studi della Tallal (1980) hanno, infatti, evidenziato nei bambini con DE un difetto specifico nell'elaborazione di stimoli uditivi (linguistici e non linguistici) presentati per breve tempo o in rapida successione tra loro. Secondo l'ipotesi della Tallal (2004), il difetto nell'elaborazione temporale rapida dell'informazione sensoriale uditiva, comprometterebbe selettivamente la percezione degli stimoli acustici alla base della discriminazione dei fonemi. Come sostenuto dall'ipotesi fonologica della DE (Ramus, 2003), la percezione dei fonemi sarebbe alterata nei bambini con DE, ostacolando l'elaborazione e la memoria fonologica. Queste evidenze potrebbero suggerire la presenza di un difetto più generale alle vie M dei sistemi visivo e uditivo. La versione multi-sensoriale della teoria M, suggerisce, infatti, che i bambini con DE presentano uno specifico difetto nell'elaborare stimoli sensoriali brevi o presentati in rapida successione temporale

sia nella modalità visiva che in quella uditiva (Farmer e Klein, 1995). Tale disfunzione potrebbe essere, quindi, la causa diretta dei disturbi fonologici che caratterizzano i soggetti con DE.

Tuttavia, recentemente diversi studi hanno screditato questa teoria dimostrando che i disturbi sensoriali e/o percettivi presenti nella DE non sono specifici degli stimoli elaborati dal sistema M (e.g., Skottun, 2000; Amitay e coll., 2002; Sperling e coll., 2005; Sperling, Lu, Manis e Seidenberg, 2006). Le evidenze sperimentali sembrano invece coerenti nell'indicare un difetto nella capacità di "escludere il rumore" dall'elaborazione percettiva degli stimoli (e.g., Di Lollo e coll., 1983; Sperling e coll., 2005; 2006). L'ipotesi di un generico difetto nell'elaborazione percettiva in bambini con DE (si veda il modello dell'"efficienza dell'elaborazione percettiva", Hartley e Moore, 2002) si riferisce a tutti quei fattori che influenzano l'abilità nel rilevare un segnale visivo e uditivo in presenza di rumore percettivo. Numerosi studi hanno dimostrato che i bambini con DE presentano un disturbo specifico nell'elaborazione di un segnale visivo seguito da una "maschera" (ovvero lo stimolo distrattore) presentata successivamente, provocando un'interferenza sull'elaborazione del segnale (e.g., Di Lollo e coll., 1983). Tale fenomeno viene comunemente denominato "mascheramento visivo all'indietro". Più recentemente, diversi studi hanno dimostrato che lo stesso fenomeno danneggia gravemente anche la percezione uditiva dei bambini con DE (e.g., Montgomery, Morris, Sevcik e Clarkson, 2005). Quindi, un rumore (la maschera), che viene presentato subito dopo un segnale (il bersaglio), produce un'interferenza maggiore nei bambini con DE rispetto ai bambini con normali abilità di lettura sia nella modalità visiva che in quella uditiva. Inoltre, i bambini con DE sono maggiormente disturbati rispetto ai normali lettori anche da una maschera laterale, presentata contemporaneamente

(mascheramento spaziale) al segnale da riconoscere sia nella modalità visiva che in quella uditiva: tale fenomeno è noto come mascheramento laterale (detto anche “affollamento”) (e.g., Geiger, Lettvin e Fahle, 1994; Geiger, Cattaneo, Galli, Pozzoli, Lorusso, Facoetti e Molteni, 2008). Casco, Tressoldi e Dellantonio (1998) hanno dimostrato, mediante un compito di ricerca visiva seriale (che presuppone la ricerca visiva di uno stimolo bersaglio all’interno di una complessa configurazione di stimoli interferenti) che i bambini con scarse abilità di lettura sembrano avere una specifica difficoltà nell’escludere il rumore dall’elaborazione del segnale.

Tra i più importanti processi che consentono di escludere il rumore dall’elaborazione del segnale, l’AS sembra essere quella principalmente implicata nella DE (Hari e Renvall, 2001). Un disturbo a carico dell’AS potrebbe determinare le difficoltà percettive, uditive e visive che sono alla base della disfunzione linguistica-fonologica normalmente associata alla DE. Anche la specifica capacità di percepire il movimento di uno stimolo visivo, considerato dai sostenitori dell’ipotesi M una chiara evidenza di un difetto del sistema D-M, è stato interpretato recentemente come un disturbo nell’efficienza dell’elaborazione a carico dell’AS (Sperling e coll., 2006). La percezione del movimento viene solitamente studiata mediante il compito del “movimento coerente di punti”, misurando la quantità dei punti che si muovono in una specifica direzione (i.e., il segnale) rispetto alla quantità dei punti che si muovono in altre direzioni (i.e., il rumore). Sperling e coll. (2006) hanno dimostrato, mediante un compito di movimento coerente di punti, che bambini e adulti con DE mostrano uno specifico difetto nella percezione del movimento rispetto ai normali lettori, solo nella condizione di rumore, ma non nella condizione in assenza di rumore, escludendo quindi un qualsiasi ruolo specifico giocato dal sistema D-M.

L’ipotesi visiva D-M della DE presenta il limite di non trovare un collegamento

funzionale diretto con le funzioni neuropsicologiche specificamente implicate nella lettura. Tuttavia, un'ipotesi promettente è quella che lega il sistema visivo D-M alla specifica codifica della posizione delle singole lettere all'interno della stringa di lettere che costituiscono le parole da leggere (Whitney e Cornillisen, 2005). Il rapido sistema D-M, mediando le funzioni dell'AS spaziale controllata dalla CPP, modulerebbe le complesse funzioni del sistema ventrale-parvocellulare (V-P, la via del "cosa"; Milner e Goodale, 2008). Sarebbe proprio l'AS spaziale a regolare il flusso dell'elaborazione delle informazioni visive necessarie per la decodifica seriale della precisa sequenza (a) delle lettere che costituiscono le parole (Facoetti, Zorzi, Cestnick, Lorusso, Molteni, Paganoni, Umiltà e Mascetti,.) e (b) delle parole che costituiscono l'intero testo (Vidyasagar, 1999).

Sebbene l'acquisizione della lettura sembri essere primariamente mediata da un'efficiente elaborazione fonologica (Ramus, 2003), deve essere sottolineato che la via sub-lessicale, necessita, ancor prima dei meccanismi di conversione grafema-fonema e di memoria-sintesi fonologica, di un primario processo di SG.

Alcuni studi sull'AS (e.g., Marois, Chun e Gore, 2000; Husain, Shapiro, Martin e Kennard, 1997) hanno portato diversi autori ad ipotizzare che la dislessia sia causata da una disfunzione della CPP (e.g., Hari e Renvall, 2001; Vidyasagar, 1999; Facoetti, 2004) responsabile dell'ancoraggio dell'AS spazio-temporale. La CPP destra, e precisamente la giunzione temporo-parietale (GTP), sembra rappresentare una importante area corticale coinvolta nell'acquisizione della lettura. Infatti, molte evidenze sperimentali dimostrano che le fasi iniziali dell'apprendimento della lettura siano mediate principalmente dall'elaborazione percettiva visuo-spaziale dell'emisfero destro (e.g., Bakker, 1992). In accordo con questa ipotesi, una ricerca recente sullo sviluppo dei meccanismi neurologici della lettura ha evidenziato

l'importante ruolo evolutivo dell'area parietale inferiore destra che riducono la loro attivazione con l'età insieme alle aree frontali e temporali sinistre che invece aumentano la loro attivazione con l'età (Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro e Eden, 2003). A favore dell'ipotesi di una possibile disfunzione della CPP destra nella DE, uno studio elettrofisiologico ha evidenziato un disturbo della risposta elettrofisiologica N1 elicitata dalla decodifica fonologica solo nei siti centro-parietali destri nei soggetti con DE. La ridotta ampiezza della componente N1 nei dislessici è stata interpretata come indice di una bassa efficienza di decodifica grafema-fonema (Wimmer, Hutzler e Wiener, 2002). Wijers, Been, Romkes (2005) hanno evidenziato, invece, il correlato neurobiologico dell'anomala lateralizzazione dei processi di controllo di AS, confermando la generale ipotesi di un'asimmetria interemisferica in accordo con i dati in letteratura che dimostrano un'asimmetrica organizzazione delle strutture del circuito fronto-parietale (e.g., Eckert, Leonard, Richards, Aylward, Thomson e Berninger, 2003). Questa evidenza trova supporto anche negli studi longitudinali finalizzati a studiare i precursori delle abilità di lettura. Questi studi hanno messo in luce la mancanza di una specializzazione emisferica in relazione all'elaborazione di stimoli uditivi nei soggetti a rischio di DE (Lyytinen, Gttorm, Huttunen, Hamalainen, Leppanen e Vesterinen, 2005). Un diretto ruolo dell'AS visuo-spaziale sulle future abilità di lettura è stato recentemente dimostrato da uno studio longitudinale (Leppanen, Aunola, Niemi e Nurmi, 2008).

ESPERIMENTO 1

Attenzione spaziale multi-sensoriale nella Dislessia Evolutiva

Questa ricerca è motivata dall'ipotesi di un deficit multi-sensoriale (i.e., visivo e uditivo) dell'attenzione spaziale in bambini con DE, in accordo con le recenti evidenze di un deficit percettivo nell'esclusione del rumore nella DE (e.g., Geiger e coll., 2008; Spearling e coll., 2005, 2006). Alcuni studi hanno dimostrato la presenza di disturbi specifici nel processo di orientamento e di focalizzazione dell'attenzione spaziale visiva sia in adulti che in bambini con DE (e.g., Brannan e Williams, 1987; Facoetti e Turatto, 2000; Facoetti, Lorusso, Paganoni, Cattaneo, Galli e Mascetti, 2003, Facoetti e coll., 2006; si veda Hari e Renvall, 2001 per una rassegna). Infatti, nei bambini con DE che presentano uno specifico disturbo della via sub-lessicale (decodifica fonologica inaccurata) è stato rilevato un disturbo nell'orientamento dell'attenzione spaziale visiva (e.g., Hari e coll., 2001; Facoetti e coll., 2006), suggerendo il possibile ruolo dell'attenzione spaziale visiva sui meccanismi della SG, necessaria per l'accurata conversione grafema-fonema durante l'apprendimento della lettura. L'efficiente apprendimento della conversione grafema-fonema richiede allo stesso tempo anche un'accurata rappresentazione dei suoni linguistici (si veda per una rassegna Ziegler e Goswami, 2005). In effetti, l'elaborazione acustica e la segmentazione dei suoni del linguaggio richiedono il rapido coinvolgimento dell'attenzione spaziale uditiva (e.g., Asbjørnsen e Bryden, 1998; Facoetti e coll., 2005; Renvall e Hari, 2002), dimostrata essere deficitaria anche nei bambini con disturbo specifico del linguaggio (e.g., Stevens, Sanders e Neville, 2006).

PARTECIPANTI

Il gruppo sperimentale era composto da 22 bambini con DE, di cui 16 maschi e 6 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 13 anni (media 10.75 anni, DS = 1.53 anni). I bambini appartenenti a questo gruppo avevano ricevuto la diagnosi di DE in base ai criteri del DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994). La loro prestazione nella velocità e/o accuratezza della lettura di brano (Cornoldi, Colpo e gruppo MT, 1998), di Liste di parole e di nonparole (Sartori, Job, Tressoldi, 1995) era inferiore a due deviazioni standard rispetto alla media calcolata sulla popolazione di pari età cronologica. Il campione sperimentale era stato selezionato, oltre che in base al Disturbo Specifico di Lettura, anche in base ai seguenti criteri:

- a) quoziente intellettivo (QI) totale superiore a 85 (misurato attraverso la somministrazione della scala WISC-R; Wechsler, 1986);
- b) assenza di disturbi neurologici;
- c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;
- d) assenza di un Disturbo Specifico del Linguaggio (spesso associato alla DE e valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);
- e) assenza di Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (spesso associato alla DE e valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);
- f) assenza di disturbi comportamentali o emotivi evidenti.

Il gruppo sperimentale è stato ulteriormente diviso in due sottogruppi a partire dalla prestazione nell'accuratezza di lettura nella Lista di nonparole (Sartori e coll., 1995; si veda per i dettagli metodologici Facoetti e coll., 2006). Sono stati così ottenuti i gruppi: DEN-, 13 bambini con DE con caduta al di sotto di -1.5 DS nella lettura

della Lista di nonparole (Sartori e coll., 1995) e DEN+, 9 bambini con DE con prestazione al di sopra di -1.5 DS nella lettura della Lista di nonparole (Sartori e coll., 1995). Sono state inoltre studiate le abilità di consapevolezza fonologica nei bambini DE, usando una prova di Elisione e di Sintesi fonemica. La prova di Elisione consiste nella presentazione orale di 20 parole, per ognuna delle quali il bambino deve togliere i primi due fonemi e dire cosa resta, ad esempio EUROPA diventa ROPA. La prova di Sintesi consiste nella presentazione orale di 20 parole suddivise nei fonemi costituenti, per ognuna delle quali il bambino deve fondere i fonemi sino a formare la parola, ad esempio M-A-N-O diventa MANO. Queste prove sono generalmente eseguite senza commettere errori già a partire dalla seconda elementare nei soggetti a sviluppo tipico, come dimostrano Cossu, Shankweiler, Liberman, Katz e Tola (1988).

I sottogruppi con DE erano pareggiati per età cronologica, QI, abilità di lettura e abilità di consapevolezza fonologica. Come atteso, il Gruppo DEN- era maggiormente compromesso nell'accuratezza di lettura, si veda **Tabella 1**.

	DEN- (n=13)		DEN+ (n=9)		Analisi	
	M	DS	M	DS	t (20)	p
Età (anni)	11.06	1.41	10.31	1.67	1.1	.29
QI Totale	98.2	7.7	101.3	7.01	0.97	.34
Accuratezza lettura NP (z)	-3.1	1.48	-.7	0.66	-5.15	<.001
Velocità lettura NP (z)	-3.01	1.22	-3.24	2.39	0.16	.87
Accuratezza lettura P (z)	-3.69	2.85	-1.07	1.1	2.68	<.05
Velocità lettura P (z)	-4.48	2.86	-3.37	1.73	1.12	.27
Elisione fonemica (errori)	3.38	3.4	1.56	1.67	-1.48	.15
Fusione fonemica (errori)	6.92	4.64	5.22	3.63	-0.92	.37

Tabella 1

Il Gruppo di controllo era composto da 31 bambini normali lettori (C), di cui 13 maschi e 18 femmine, di età compresa tra i 6 e i 13 anni. I criteri di inclusione del Gruppo di controllo erano:

- a) prestazione nella lettura di Liste di parole e di nonparole (velocità e/o accuratezza) nella norma (Sartori e coll., 1995);
- b) quoziente intellettivo nella norma stimato attraverso i subtest di Vocabolario e Disegno con Cubi della scala WISC-R (Wechsler, 1986);
- c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;
- d) assenza di difficoltà scolastiche, come suggerito dai loro insegnanti.

Il Gruppo di controllo è stato ulteriormente diviso per costituire un gruppo di bambini pareggiati per età cronologica e QI (CE), ed un secondo Gruppo di controllo pareggiato per livello di lettura e QI (CL), come suggerito da Goswami (2003).

Il Gruppo dei CE è formato da 16 bambini, di cui 5 maschi e 11 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.98, DS = 1.12). Le abilità di lettura nella Lista di parole (Sartori e coll., 1995) erano nella norma (accuratezza $z = +0.24$, DS = 0.5; velocità $z = +0.72$, DS = 0.71). La media nel punteggio ponderato al subtest Vocabolario della WISC-R (Wechsler, 1986) è di 12.8, DS = 2.4 e al subtest Disegno con Cubi della WISC-R (Wechsler, 1986) è di 12.5, DS = 3.3.

Il Gruppo dei CL è formato da 15 bambini, di cui 8 maschi e 7 femmine, di età compresa fra i 6 ed i 9 anni (media = 7.78 anni, DS = 1.12). Le abilità di lettura erano pareggiate ai DEN- attraverso una misura di efficienza data dal rapporto fra la velocità di lettura in secondi e il numero di errori commessi nella lettura della Lista di parole (Sartori e coll., 1995). Il Gruppo DEN- ottiene una media di 310 (DS = 156) mentre i CL ottengono una media di 244 (DS = 160), $t(26) = 1.1$, $p = .28$. La

media dei punteggi ponderati nei subtest della WISC-R (Weschler, 1986) Vocabolario è di 11.9, DS = 3.2 e Disegno con Cubi è di 11.1, DS = 3.3.

APPARATI E PROCEDURE

I compiti di orientamento implicito dell'attenzione visiva e uditiva spaziale sono stati eseguiti in una stanza debolmente illuminata (luminosità di 1.5 cd/m^2) e silenziosa (livello di pressione sonora circa 50 decibel). I soggetti erano seduti di fronte allo schermo di un computer (14 pollici, con una luminosità di 0.5 cd/m^2), con il capo appoggiato su un poggiatesta al fine di mantenere costante la distanza fra gli occhi e lo schermo (40 cm). Il punto di fissazione consisteva in una croce (1.4° di angolo visivo) che appariva al centro dello schermo. La sequenza dei due compiti era controbilanciata fra i soggetti.

Orientamento implicito dell'attenzione visiva

L'orientamento implicito dell'attenzione spaziale visiva è stato misurato mediante un paradigma sperimentale di pre-indizio spaziale (Posner, 1980). Il compito prevede il semplice rilevamento di un segnale visivo (bersaglio) presentato a destra o a sinistra rispetto il punto di fissazione centrale e preceduto da un indizio visivo presentato nella stessa (valida) o nella opposta (invalida) posizione spaziale. Il compito prevede la registrazione dei tempi di reazione (TR) e l'accuratezza della risposta.

Due cerchi (2.5° di angolo visivo) erano presentati in periferia al punto di fissazione, uno a sinistra ed uno a destra. L'indizio periferico era costituito dalla scomparsa e ricomparsa di uno dei due cerchi, il 50% delle volte si trattava di indizio valido, mentre nell'altro 50% dei casi l'indizio era invalido. Il bersaglio era un punto (0.5°)

posizionato al centro di uno dei due cerchi. Tutti gli stimoli erano bianchi con una luminosità di 24 cd/m². I partecipanti erano istruiti a mantenere gli occhi fissi sul punto di fissazione durante l'esecuzione di tutte le prove. Lo sperimentatore controllava i movimenti oculari attraverso l'osservazione degli occhi del soggetto riflessi in uno specchio posto di fronte al bambino; gli eventuali movimenti oculari erano comunque registrati da una telecamera.

Ogni prova aveva inizio con la comparsa del punto di fissazione accompagnato da un segnale acustico di 1000 Hz, la cui funzione era di preparare il soggetto. I due cerchi comparivano perifericamente sullo schermo dopo 500 ms, seguiti dopo altri 500 ms dall'indizio (durata 40 ms). A questo punto compariva lo stimolo bersaglio, appariva per 40 ms all'interno di uno dei due cerchi. L'intervallo temporale tra indizio e bersaglio (detto stimulus onset asynchrony, SOA) era variabile, e poteva essere di 100 o 250 ms. Nella condizione valida, il bersaglio era presentato dentro il cerchio indicato dall'indizio, mentre nelle prove invalide il bersaglio appariva nel cerchio opposto a quello indicato dall'indizio. Alla comparsa del bersaglio i soggetti erano istruiti a premere la barra spaziatrice della tastiera del computer il più velocemente possibile. Il tempo massimo concesso per rispondere era di 1.5 secondi. L'intervallo fra una prova e l'altra era di 1 secondo. Le prove "nulle", nelle quali all'indizio non seguiva il bersaglio, e a cui i partecipanti non dovevano rispondere, erano inserite in ordine casuale fra le prove in cui all'indizio seguiva anche il bersaglio. La sessione sperimentale era costituita da 160 prove divise in due blocchi da 80 prove ciascuna, ognuno formato da 32 prove valide (16 per ogni SOA), 32 prove invalide (16 per ogni SOA) e 16 prove nulle (20% delle prove totali). Si veda la **Figura 1a** per una rappresentazione della procedura sperimentale.

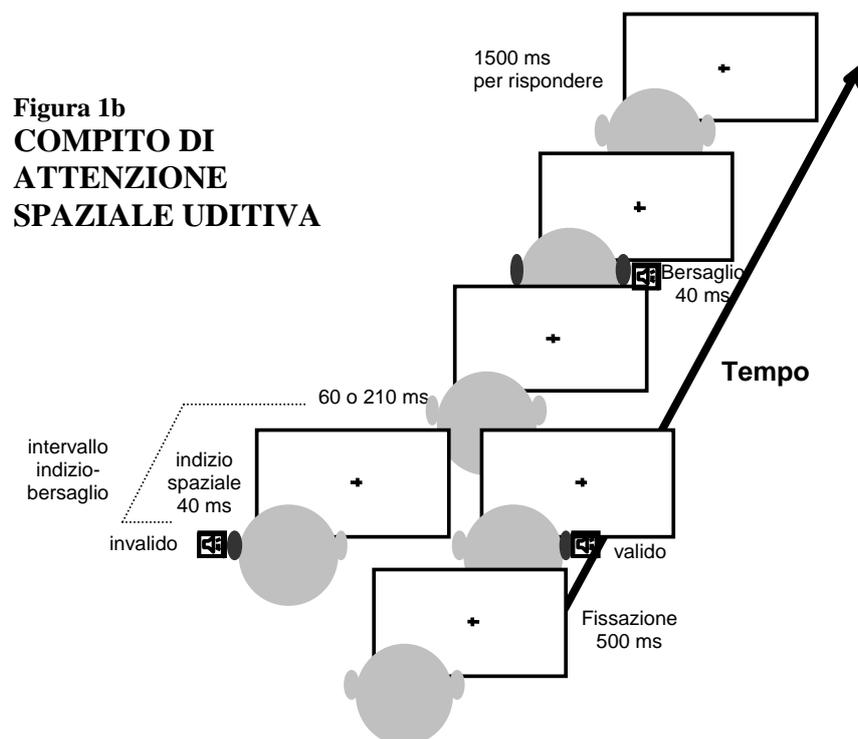
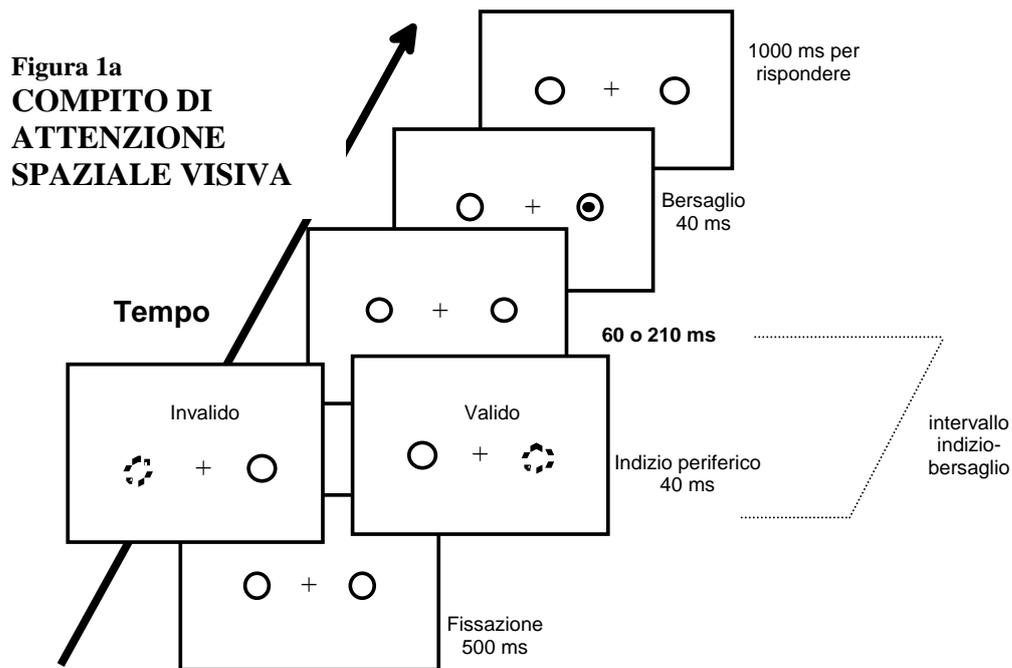
Orientamento implicito dell'attenzione uditiva

Il compito prevede il semplice rilevamento di un segnale uditivo (bersaglio) presentato all'orecchio destro o al sinistro e preceduto da un indizio uditivo presentato nella stessa (valida) o nella opposta (invalida) posizione spaziale. Il compito prevede la registrazione dei TR e l'accuratezza della risposta.

I suoni erano presentati attraverso cuffie Sennheiser HD270. L'indizio periferico era costituito da un tono puro di 1000 Hz presentato nell'orecchio destro o nell'orecchio sinistro, il 50% delle volte si trattava di indizio valido, mentre nell'altro 50% dei casi l'indizio era invalido. Il bersaglio era un singolo suono puro di 800 Hz. I partecipanti erano istruiti a mantenere gli occhi fissi sul punto di fissazione durante l'esecuzione di tutte le prove. Lo sperimentatore controllava i movimenti oculari attraverso l'osservazione degli occhi del soggetto riflessi in uno specchio posto di fronte al bambino; gli eventuali movimenti oculari erano comunque registrati da una telecamera.

Ogni prova aveva inizio con la comparsa del punto di fissazione, la cui funzione era di preparare il soggetto. Dopo 500 ms il soggetto riceve l'indizio sonoro, della durata di 40 ms, cui segue il suono bersaglio, anch'esso della durata di 40 ms. Il SOA era variabile, e poteva essere di 100 o 250 ms. Nella condizione valida, il bersaglio era presentato nello stesso orecchio dell'indizio, mentre nelle prove invalide il bersaglio si udiva nell'orecchio opposto a quello indicato dall'indizio. Alla comparsa del bersaglio i soggetti erano istruiti a premere la barra spaziatrice della tastiera del computer il più velocemente possibile. Il tempo massimo concesso per rispondere era di 1.5 secondi. L'intervallo fra una prova e l'altra era di 1 secondo. Le prove "nulle", nelle quali all'indizio non seguiva il bersaglio, e a cui i partecipanti non dovevano rispondere, erano inserite in ordine casuale fra le prove in

cui all'indizio seguiva anche il bersaglio. La sessione sperimentale era costituita da 160 prove divise in due blocchi da 80 prove ciascuna, ognuno formato da 32 prove valide (16 per ogni SOA), 32 prove invalide (16 per ogni SOA) e 16 prove nulle (20% delle prove totali). Si veda la **Figura 1b** per una rappresentazione della procedura sperimentale.



RISULTATI

Gli errori nel compito di attenzione spaziale visiva (risposte alle prove nulle e le mancate risposte al bersaglio) erano inferiori al 4%. Le prove con TR inferiori a 150 ms (anticipi) e superiori a 2.5 DS (ritardi) erano circa il 2%. Infine, i movimenti oculari erano circa il 5% delle prove. Gli errori nel compito di attenzione spaziale uditiva (risposte alle prove nulle e le mancate risposte al bersaglio) erano inferiori al 3%. Le prove con TR inferiori a 150 ms (anticipi) e superiori a 2.5 DS (ritardi) erano circa il 2%. Infine, i movimenti oculari erano circa il 3% delle prove. Le prove con errori, con anticipi o ritardi, e con movimenti oculari sono state eliminate prima di eseguire le analisi statistiche.

La media dei TR è stata analizzata con un'ANOVA mista con 4 variabili:

- Fra i gruppi: 4 livelli: DEN-, DEN+, CE e CL
- Entro i gruppi:
 - Modalità sensoriale: 2 livelli: visiva e uditiva
 - SOA: 2 livelli: 100 e 250 ms
 - Validità dell'indizio: 2 livelli: valido e invalido

Sono risultati significativi i seguenti effetti principali:

- SOA, $F(1,49) = 54.58$, $p < .001$; infatti i TR erano più rapidi al SOA 250 ms (434 ms) rispetto al SOA 100 ms (457 ms), indicando un effetto di preparazione alla risposta pari a 23 ms;

- Validità dell'indizio, $F(1,49) = 27.69$, $p < .001$; infatti i TR erano più rapidi nella condizione con indizio valido (438 ms) rispetto all'indizio invalido (452 ms), indicando un effetto di facilitazione pari a 14 ms.

L'interazione Modalità sensoriale X SOA è risultata essere significativa, $F(1,49) = 31.76$, $p < .001$, indicando che l'effetto di allerta era maggiore nella modalità uditiva rispetto a quella visiva (37 ms vs. 9 ms).

L'interazione Modalità sensoriale X Gruppo è risultata essere significativa, $F(3,49) = 11.55$, $p < .001$, indicando che nei CL i TR nella modalità uditiva erano inferiori di 67 ms rispetto alla modalità visiva.

L'interazione Gruppo X SOA X Validità dell'indizio è risultata essere significativa, $F(2,49) = 17.28$, $p < .001$, indicando che il decorso temporale dell'orientamento dell'attenzione varia nei diversi gruppi. Dai confronti pianificati emerge che l'effetto dell'indizio è significativo al SOA 100 ms nei DEN+ (21 ms), $F(1,49) = 8.47$, $p = .005$; nei CE (22 ms), $F(1,49) = 17.01$, $p = .001$ e nei CL (28 ms), $F(1,49) = 27.16$, $p < .001$, mentre non è significativo nei DEN- (-4 ms, $F < 1$). Inoltre solo i DEN- mostrano un significativo effetto dell'indizio al SOA 250 ms [24 ms, $F(1,49) = 24.06$, $p < .001$], mentre non è significativo nei DDN+, $F(1,49) = 1.43$, $p = .24$, nei CE, $F < 1$ e nei CL, $F < 1$.

L'interazione Gruppo X Modalità sensoriale X SOA X Validità dell'indizio non è risultata essere significativa ($F < .02$), indicando che il decorso temporale dell'orientamento dell'attenzione nei diversi gruppi non differisce fra la modalità visiva ed uditiva.

Inoltre, l'interazione triplice Gruppo X SOA X Validità dell'indizio è significativa anche quando vengono incluse nell'analisi, come covariate, anche l'età cronologica e l'accuratezza della lettura di parole $F(3,39) = 14.09$, $p < .001$ (si veda la **Figura 2**).

Quindi il rallentamento multi-sensoriale dell'attenzione spaziale è una caratteristica specifica del Gruppo DDN- e non può essere attribuito a differenze d'età o nell'abilità di lettura di parole.

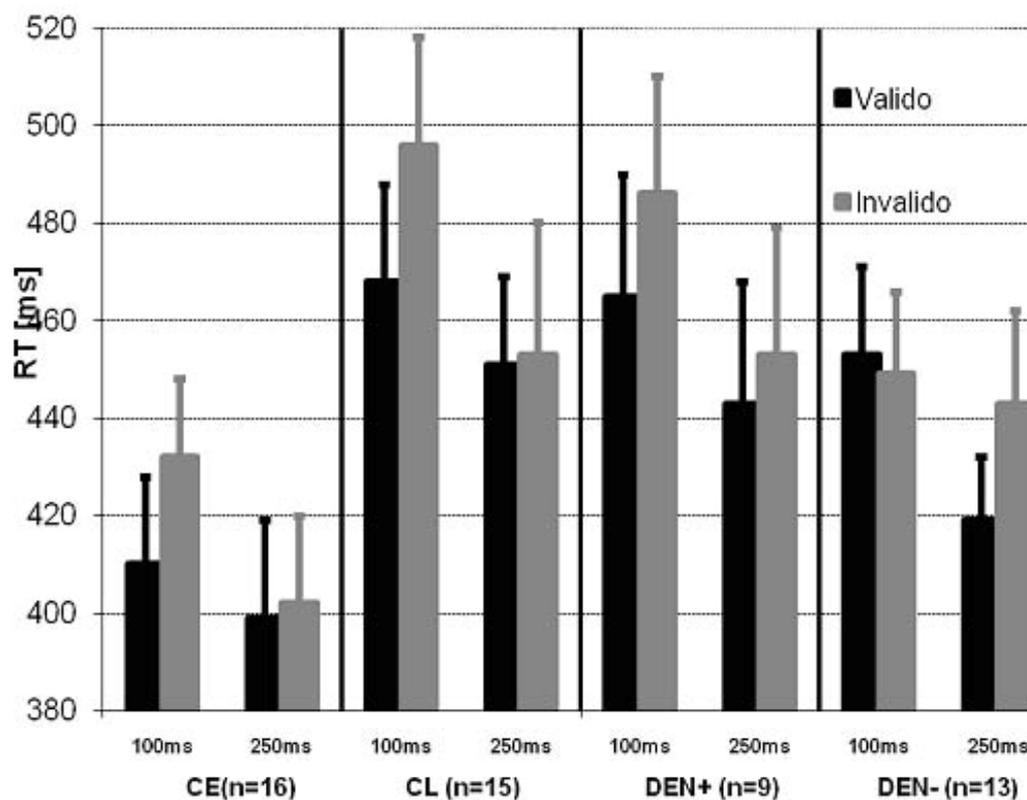


Figura 2

Per meglio investigare il decorso temporale dell'attenzione spaziale abbiamo confrontato l'effetto dell'indizio ai due SOA. La differenza fra i TR nella condizione invalida e valida è stata analizzata con un'ANOVA mista nella quale i fattori entro i soggetti erano la Modalità sensoriale (visiva vs. uditiva) e i SOA (100 ms vs. 250 ms) e il fattore fra i soggetti era l'appartenenza al Gruppo. Solo l'interazione Gruppo X SOA è risultata essere significativa, $F(3,48) = 17.28$, $p < .001$, indicando che l'effetto dell'indizio ai diversi SOA varia in direzione opposta fra il Gruppo dei DEN- e gli altri gruppi, sia nella modalità visiva che uditiva. Dai confronti pianificati emerge che l'effetto dell'indizio differisce al SOA 100 ms fra DEN- (-4

ms) e DEN+ (20 ms), $p < .05$; fra DEN- e CE (22ms), $p < .008$ e fra DEN- e CL (28 ms), $p < .001$, mentre non c'è differenza fra i DEN+ e i CE ($p = .87$), fra i DEN+ e i CL ($p = .57$) e fra i due gruppi di controllo CE e CL ($p = .32$). Inoltre l'effetto dell'indizio al SOA 250 ms differisce fra DEN- (24 ms) e CE (3 ms), ($p < .001$); fra DEN- e CL (2 ms), $p < .001$ e fra DEN- e DEN+ (10 ms), $p < .05$, mentre non c'è differenza fra i DEN+ e i CE ($p = .36$); fra DEN+ e CL ($p = .61$). Si veda la **Figura 3**. Ciò conferma la specificità del rallentamento dell'attenzione spaziale multi-sensoriale nei DEN-, infatti solo il Gruppo DDN- non mostra effetto di facilitazione dell'indizio al SOA 100 ms, mentre compare al SOA 250 ms.

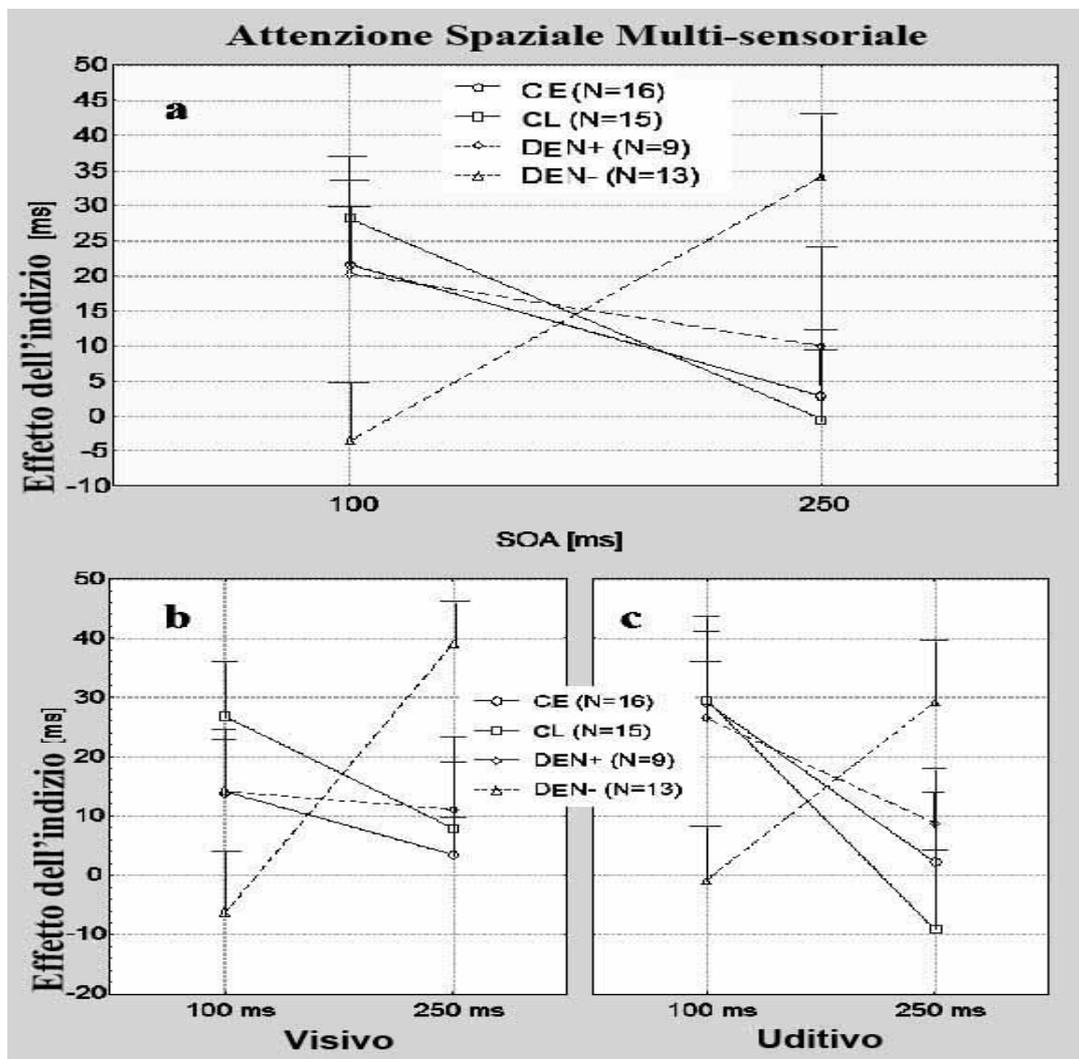


Figura 3

Dimostrata la presenza di un ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale nei bambini DDN-, abbiamo ritenuto importante studiare specificatamente questo pattern disfunzionale, quindi abbiamo calcolato, per ogni soggetto, la differenza fra l'effetto dell'indizio al SOA 100 ms e al SOA 250 ms (mediato fra la modalità visiva ed uditiva) per avere un indicatore della velocità di orientamento dell'attenzione. Tale indice è stato chiamato ROI ("Rapid Orienting Index"), quanto più è positivo, tanto più l'orientamento è rapido (maggior effetto dell'indizio al SOA 100 vs. 250 ms). Tutti i soggetti DEN- erano almeno al di sotto di 1 DS dalla media dei CE (ROI media = 18,75; DS = 14.63). Inoltre, 11 dei 13 soggetti DEN- (85%) erano almeno al di sotto di 1 DS rispetto alla media dei controlli CL (ROI media = 28.7; DS = 38.23), così come per i DEN+ (ROI media = 10.33; DS = 18.4). Nessuno dei bambini DEN+ mostrava una ROI anormale rispetto ai controlli CE e CL.

A questo punto abbiamo studiato la relazione fra l'indice ROI di ogni soggetto con DE e le abilità di lettura (N = 22), effettuando una correlazione bivariata fra l'indice ROI, l'età, il QIT, le abilità di consapevolezza fonologica (media fra il numero di errori nelle prove di elisione e sintesi fonemica) e la correttezza nella lettura di liste di parole e nonparole, si veda la **Tabella 2** per i risultati.

	ROI	Età	QI	Consapevolezza fonologica	Parole
Età (anni)	.01	-			
QI Totale	-0.21	-.49	-		
Consapevolezza fonologica	.26	-.36	.21	-	
Parole	.45	.20	.19	.57	-
Nonparole	.68	.09	-.01	.51	.81

Tabella 2

Come atteso, le abilità di consapevolezza fonologica correlano significativamente sia con l'accuratezza di lettura di parole ($r = .57, p < .05$) e di nonparole ($r = .51, p < .05$). Anche l'indice del ROI correla significativamente sia con l'accuratezza di lettura di parole ($r = .45, p < .05$) e di nonparole ($r = .68, p < .05$). Si veda la **Figura 4**. La correlazione fra l'indice del ROI e l'accuratezza nella lettura di nonparole (ma non nella lettura di parole) resta significativa anche quando l'indice ROI è stato separato fra la modalità visiva ($r = .43, p < .05$) e uditiva ($r = .42; p < .05$). Infine la correlazione fra l'indice ROI e la correttezza nella lettura di parole (la prova di lettura di nonparole non è stata effettuata sui bambini di prima elementare, quindi non è stato possibile studiarla) nell'intero campione di soggetti (22 DE+31 controlli) è risultata essere significativa ($r = .42; p < .05$).

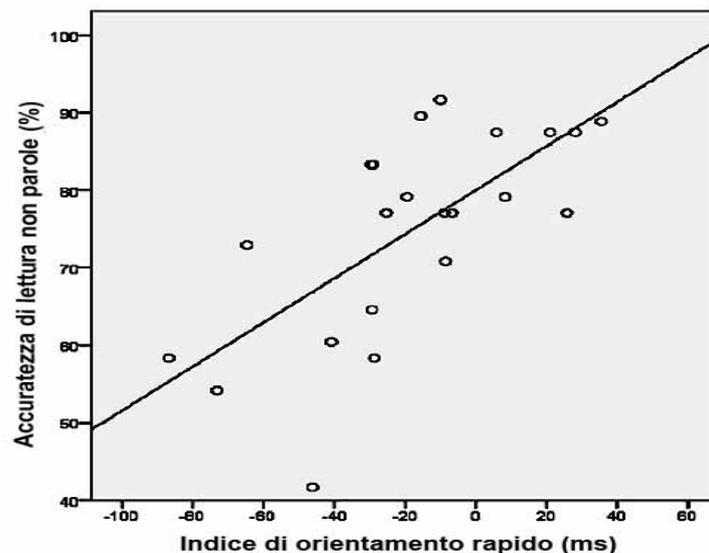


Figura 4

Per determinare la predittività della relazione fra il decorso temporale dell'attenzione spaziale multimodale e le abilità di lettura in modo più stringente, è stata eseguita nei soli soggetti con DE un'analisi della Regressione Multipla con quattro livelli ad entrata fissa, per controllare gli effetti dell'età (1° livello), del QI

(2° livello), delle abilità di consapevolezza fonologica (3° livello) e dell'indice del ROI (4° livello). La variabile dipendente era l'accuratezza nella lettura di nonparole. La misura delle abilità di consapevolezza fonologica spiega da sola il 27% della varianza dell'accuratezza della lettura di nonparole ($p < .05$), mentre l'indice ROI, entrato per ultimo nel modello, è in grado di spiegare da solo il 31.5% della varianza ($p < .005$). Si veda la **Tabella 3**.

La stessa Regressione Multipla, effettuata con l'accuratezza di lettura nelle liste di parole come variabile dipendente, mostra che la misura delle abilità di consapevolezza fonologica spiega da sola il 27.8% della varianza ($p < .05$), mentre l'indice del ROI, entrato per ultimo nel modello, è in grado di spiegare da solo il 12.3% della varianza (tuttavia $p = .07$) dell'accuratezza di lettura delle parole.

	Nonparole		Parole	
	R^2	P	R^2	p
Step 1:Età	.001	ns	.040	ns
Step 2:QI	.004	ns	.012	ns
Step 3: Consapevolezza fonologica	.27	<.05	.278	<.05
Step 4: ROI	.315	<.005	.123	.07

Tabella 3

Le analisi di Regressione Lineare sono state ripetute usando come predittori solo due variabili: consapevolezza fonologica e indice del ROI, per ottenere un migliore rapporto fra il numero di predittori e la grandezza del campione. I risultati mostrano che quando la variabile dipendente è l'accuratezza di lettura nelle liste di nonparole, la misura della consapevolezza fonologica (1° livello) spiega da sola il 26.5% della varianza ($p < .05$), mentre l'indice del ROI (2° livello) è in grado di spiegare da solo

il 32.1% della varianza ($p < .001$) dell'accuratezza di lettura delle nonparole. Quando la variabile dipendente è l'accuratezza di lettura nelle liste di parole, la misura della consapevolezza fonologica (1° livello) spiega da sola il 32.1% della varianza ($p < .01$), mentre l'indice ROI (2° livello) è in grado di spiegare da solo il 10% della varianza (tuttavia $p = .08$) dell'accuratezza di lettura delle parole.

Infine, per confermare la specificità della relazione fra l'attenzione spaziale multi-sensoriale e la decodifica fonologica, è stata eseguita un'analisi di Regressione Lineare ad entrata fissa con due livelli nella quale l'accuratezza nella lettura di parole (1° livello) e l'indice del ROI (2° livello) sono stati usati come predittori dell'accuratezza di lettura di nonparole. I risultati mostrano che l'accuratezza di lettura nelle parole spiega da sola il 66% della varianza ($p < .001$), mentre l'indice ROI spiega da solo il 13% della varianza ($p < .005$) della lettura di nonparole, dimostrando la specificità del ruolo dell'attenzione spaziale multi-sensoriale nella decodifica fonologica.

DISCUSSIONE

I risultati dimostrano chiaramente che solo i bambini con DE con cattive abilità di decodifica fonologica (DEN-) hanno un deficit dell'attenzione spaziale multi-sensoriale. Infatti sia i controlli pareggiati per età (CE) che per livello di lettura (CL) mostrano un rapido orientamento dell'attenzione, sia nella modalità visiva che uditiva. L'effetto dell'indizio è significativo già per SOA brevi (100 ms), rendendo significativamente più veloci le risposte a bersagli con indizio valido rispetto a quelle con indizio invalido, mentre tale effetto scompare già al SOA 250 ms, come previsto dalle teorie sull'orientamento automatico dell'attenzione (per una rassegna si veda Klein, 2000). Invece nei DEN- l'effetto dell'indizio compare solo al SOA

250 ms, come previsto dalla teoria del rallentamento dell'orientamento dell'attenzione nei bambini con DE (Hari e Renvall, 2001). Tale deficit è specifico, infatti non si riscontra nei bambini con DE e adeguate abilità di decodifica fonologica (DEN+). Tale specificità è confermata anche dall'analisi dei singoli casi, effettuata attraverso l'indice del ROI, che conferma la presenza di un deficit nell'orientamento dell'attenzione spaziale multi-sensoriale nel 100% dei bambini DEN- rispetto ai CE e nell'85% dei DEN- rispetto ai CL ed ai DDN+. Nessuno dei bambini con DE e adeguate abilità nella decodifica fonologica mostra un deficit nell'orientamento dell'attenzione spaziale multi-sensoriale misurata con l'indice del ROI. I nostri risultati suggeriscono inoltre che tale deficit nell'orientamento dell'attenzione spaziale multi-sensoriale sia cruciale nello sviluppo della DE caratterizzata da difficoltà (scarsa accuratezza) nella decodifica fonologica, il pattern disfunzionale più frequente in Italia (si veda al riguardo Facoetti e coll., 2006). Infatti le differenze nell'orientamento dell'attenzione multi-sensoriale (indice del ROI) sono predittive rispetto alle abilità di decodifica fonologica anche controllando l'età, il QI e le abilità nella consapevolezza fonologica nell'intero campione di DE, senza suddivisioni aprioristiche del campione. I nostri risultati sono in accordo anche con le predizioni del modello computazionale della lettura ad alta voce (CDP+, Perry, Ziegler e Zorzi, 2007), che assume il coinvolgimento dell'AS spaziale nel processo di conversione grafema-fonema della via fonologica. Infatti l'indice del ROI è un migliore predittore delle abilità di decodifica fonologica rispetto alle abilità di lettura di parole, e spiega da solo il 13% della varianza della decodifica fonologica anche quando sono state controllate le abilità di lettura delle parole. Questo studio dimostra per la prima volta che un disturbo dell'attenzione spaziale può danneggiare selettivamente la decodifica fonologica nei bambini con

DE, ostacolando la segregazione grafemica e la segmentazione dei suoni linguistici. Questo specifico disturbo nell'orientamento dell'attenzione spaziale sembra avvalorare una disfunzione della giunzione temporo-parietale destra che controlla la componente automatica "guidata dallo stimolo" dell'attenzione multi-sensoriale (Corbetta e Shulman, 2002).

Questo Studio è stato accettato per la pubblicazione su "Journal of Cognitive Neuroscience".

CAPITOLO 2 - DISCALCULIA EVOLUTIVA

INTRODUZIONE

La Discalculia Evolutiva (DCE) è definita come il disturbo neurobiologico dello sviluppo della cognizione numerica. Utilizzando le parole di Temple (1992, 211-212), “la DCE è un disturbo delle abilità numeriche ed aritmetiche che si manifesta in bambini di intelligenza normale, che non hanno subito danni neurologici”. La DCE risulta fortemente associata alla DE, anche se la dissociazione tra i due disturbi è comunque possibile (si veda il Capitolo 3).

Secondo il DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994) per formulare una diagnosi di DCE è necessario che:

- il livello nelle abilità di calcolo o di ragionamento matematico siano significativamente al di sotto di quanto previsto in base all'età cronologica del soggetto, alla valutazione psicometrica dell'intelligenza e ad un'istruzione adeguata all'età;
- l'anomalia sopra descritta interferisca in modo significativo con l'apprendimento scolastico o con le attività quotidiane che richiedano abilità di calcolo;
- qualora fosse presente un deficit sensoriale, le difficoltà numeriche ed aritmetiche devono andare al di là di quelle solitamente associate al deficit sensoriale in questione.

Quindi, come per la DE, è necessario differenziare le normali variazioni nelle abilità

aritmetiche dalla DCE, che può essere diagnosticata solo se al soggetto sono state fornite adeguate opportunità scolastiche e culturali, se il suo quoziente intellettivo risulta nella media e se non presenta deficit sensoriali che possano da soli spiegare tali difficoltà.

Le conoscenze elementari relative al concetto di numero sono competenze che il bambino inizia ad acquisire già nel primo anno di vita (Butterworth, 2005) e che gli consentono di arrivare all'ingresso della prima elementare con un bagaglio di abilità sufficiente per la formazione del lessico numerico e di un rudimentale sistema di calcolo.

I modelli teorici dell'elaborazione del numero e del calcolo costituiscono il tentativo di delineare sia l'architettura funzionale del sistema, vale a dire l'identificazione delle molteplici componenti funzionali e connessioni fra esse, sia la struttura interna e il funzionamento delle specifiche componenti. Nel modello del triplo codice di Dehaene e Cohen (1995) viene postulato che l'elaborazione di numeri si basi su tre distinti codici numerici interconnessi attraverso specifiche vie di transcodifica e distintamente coinvolti in diversi compiti. Tali codici sono:

- codice uditivo-verbale: è il codice linguistico, implicato nella transcodifica di input ed output verbali, ma anche in compiti di enumerazione e conteggio. Probabilmente costituisce il formato preferenziale della rappresentazione di addizioni e moltiplicazioni semplici (fatti aritmetici) e di calcolo a mente;
- codice arabico-simbolico: è il codice visivo, costituisce la rappresentazione grafica (arabica) e simbolica (nel senso che il numero arabo rimanda ad una quantità specifica) del numero. Questo codice è principalmente implicato nel calcolo scritto complesso e nei giudizi di pari/dispari;
- codice analogico di grandezza: veicola tutte le informazioni relative alla

La novità di questo modello sta nel riconoscere che esiste un terzo codice nella rappresentazione del numero, il codice analogico di grandezza, che permette di determinare le caratteristiche degli stimoli trattati, costituendo un passaggio obbligato in alcuni compiti, ma che non risulta di per sé indispensabile per altre attività, tra cui il calcolo scritto ed i fatti numerici. Dehaene, Piazza, Pinel e Cohen (2003) a partire dall'esistenza dei tre codici per la rappresentazione numerica hanno trovato conferme nella letteratura scientifica dell'esistenza dei tre diversi circuiti neurali sottostanti, utilizzando evidenze provenienti da studi di neuro-immagine morfologica e funzionale, sia sui soggetti normali che con deficit neuropsicologici nell'elaborazione numerica. Hanno concluso che a partire dalla localizzazione della lesione, vengono osservati tre tipi di deficit:

- Lesioni del solco intraparietale (SIP): puro deficit nella rappresentazione di quantità numeriche;
- Lesioni della corteccia perisilviana sinistra, incluso il giro angolare sinistro (GAS): deficit di rievocazione verbale;
- Lesioni dorsali della corteccia parietale posteriore (CPP): deficit dell'attenzione visiva spaziale coinvolta nell'accesso alla linea numerica.

Butterworth (1999; 2005) nei suoi lavori sostiene l'esistenza di un modulo numerico

innato che consente di apprezzare la numerosità, e che tale abilità sia alla base di tutte le successive abilità di calcolo acquisite e dell'elaborazione numerica.

Shalev e Gross-Tsur (2001) descrivono la DCE come un disturbo specifico dell'apprendimento che ostacola i normali processi di acquisizione dell'aritmetica. Considerano la DCE come l'espressione di una disfunzione cerebrale, derivante dalla possibile interazione fra diversi fattori, quali la predisposizione genetica, lievi disfunzioni neurobiologiche e deprivazione ambientale (anche metodi sbagliati d'insegnamento ed ansia per la matematica, e.g., Aschcraft, 1995). Dal momento che entrambi gli emisferi cerebrali sono coinvolti nelle normali abilità numeriche, la DCE potrebbe dipendere da disfunzioni di entrambi gli emisferi, in particolar modo dell'area parieto-temporale (Shalev e Gross-Tsur, 2001b). Studi di neuro-immagine funzionale hanno rivelato che i lobi parietali, in particolare il SIP è attivo nell'elaborazione numerica e nell'aritmetica (si veda per una rassegna Dehaene e coll., 2003). Semplici compiti numerici, quali l'abilità di stimare la numerosità di piccole serie di stimoli (e.g., la percezione immediata e precisa di piccole numerosità, conosciuta anche come "subitizing"), sembrano essere specializzati nel SIP destro (Piazza, Mechelli, Butterworth e Price, 2002). Diversi studi condotti utilizzando il metodo della risonanza magnetica funzionale hanno rivelato una selettiva attivazione della corteccia parietale, anche in associazione ad un compito di confronto di numeri ed indipendentemente dal fatto che il numero fosse presentato in codice arabo o verbale, con particolare attivazione del SIP sia destro che sinistro (Pinel, Dehaene, Riviere e LeBihan, 2001; Pinel, Piazza, LeBihan, Dehaene, 2004). Il circuito neurale cruciale per la rappresentazione di quantità numeriche, localizzato nel lobo parietale, si sovrappone al circuito neurale coinvolto nella rappresentazione spaziale (Hubbard., Piazza, Pinel e Dehaene 2005). Esistono valide prove

psicofisiche e neuropsicologiche a favore di una rappresentazione mentale dei numeri che ha delle caratteristiche spaziali: i numeri piccoli sarebbero rappresentati nel lato sinistro dello spazio, mentre quelli grandi a destra, tutto ciò è riassumibile nella metafora di un'ipotetica LNM con orientamento da sinistra a destra (e.g., Zorzi, Priftis, Umiltà, 2002; Zorzi, 2004; Hubbard e coll., 2005; Lucangeli, Zorzi e Cabrele, 2006). Anche la semplice presentazione di una cifra sopra il punto di fissazione, prima della comparsa del bersaglio, influenza lo spostamento dell'attenzione nel campo visivo destro o sinistro, in accordo con la grandezza del numero (Fischer, Castel, Dodd e Pratt, 2003). Il compito del soggetto era di premere un pulsante alla sua destra o alla sua sinistra in base a dove compariva lo stimolo bersaglio (un puntino). I risultati hanno mostrato che i TR a stimoli comparsi a sinistra sono più bassi quando il numero presentato in precedenza era piccolo, mentre i TR per stimoli comparsi a destra erano più bassi quando erano numeri grandi. La presentazione del numero influenzava dunque l'orientamento dell'attenzione (effetto del bias attenzionale), nonostante la cifra fosse completamente non-informativa ed irrilevante rispetto al compito di rilevazione del segnale bersaglio.

La più semplice dimostrazione dell'orientamento spaziale della LNM è l'effetto SNARC ("spatial-numerical association of response codes"), descritto per la prima volta da Dehaene, Bossini e Giraux (1993). Quando ai soggetti è chiesto di classificare numeri come pari o dispari, premendo un tasto con la mano destra o con quella sinistra, le risposte ai numeri piccoli (inferiori a 5) si sono rivelate più rapide con la mano sinistra, mentre le risposte ai numeri maggiori di 5 erano più veloci se effettuate con la mano destra. L'interpretazione di questo fenomeno è che la comparsa del numero al centro dello schermo attiva in modo automatico la

rappresentazione della quantità corrispondente sulla LNM (Zorzi, 2004). La LNM, sembra non procedere in maniera lineare, ma va restringendosi man mano che si procede con i numeri più grandi (verso sinistra). Attraverso compiti di comparazione di numeri o di giudizio uguale-diverso, è stato riscontrato un effetto distanza, per cui il tempo di risposta è una funzione logaritmica della distanza tra le due cifre (Buckley e Gillman, 1974; Duncan e McFarland, 1980). La LNM presenta anche un effetto grandezza, per cui a distanza uguale, i numeri grandi sono più difficili da comparare rispetto a quelli piccoli. Poiché la LNM è compressa, la distanza tra 1 e 2 è maggiore rispetto alla distanza tra 8 e 9 (Dehaene, 1989; Dehaene, Dupoux, Mehler, 1990).

La direzione dell'effetto (i.e., piccoli numeri a sinistra e grandi numeri a destra) potrebbe essere determinata da fattori ambientali, potrebbe essersi formata progressivamente attraverso le convenzioni culturali, così come l'orientamento della scrittura o l'orientamento convenzionale degli assi cartesiani. In uno studio di Berch, Foley, Hill e Ryan (1999) un gruppo di bambini americani non mostra l'effetto SNARC fino all'età di nove anni; inoltre tale effetto sembra andare in direzione opposta in un gruppo di adulti iraniani che scrivono da destra a sinistra (Dehaene e coll., 1993). Nonostante i fattori culturali e cognitivi abbiano un ruolo nell'orientamento dell'effetto SNARC, l'esistenza di una consistente interazione tra le rappresentazioni spaziali e la cognizione numerica è stata fortemente dimostrata (si veda per una recente rassegna Hubbard e coll., 2005). In un compito di bisezione in cui la richiesta era di indicare il punto di mezzo in una linea di X, i soggetti erano approssimativamente accurati. Quando invece lo stimolo era formato da una serie di cifre (2 o 9) o di parole numero, "deux" (due) o "neuf" (nove), i soggetti risultavano meno accurati: il punto di mezzo segnalato era spostato a sinistra nel caso della

bisezione di “2” e “due”, mentre era spostato a destra nel caso di “9” o “nove” (Calabria e Rossetti, 2005; Fischer, 2001).

Una prova ancora più forte dell’orientamento spaziale della LNM viene dallo studio di pazienti con neglect, ovvero l’emi-negligenza spaziale unilaterale, conseguente ad una lesione del lobo parietale (molto frequentemente del lobo parietale destro) con successiva comparsa di deficit spaziali contro-laterali (nell’emicampo sinistro) che si estende anche alle diverse rappresentazioni mentali dello spazio fisico percepito. In compiti di bisezione questi pazienti hanno prestazioni particolari: spostano il punto di mezzo a destra, con un errore che è proporzionale alla lunghezza della linea (Marshall e Halligan, 1989; Driver e Vuilleumier, 2001). Ciò accade anche in compiti di bisezione numerica, nei quali i soggetti devono indicare il numero di mezzo fra due numeri: le prestazioni erano significativamente compromesse in proporzione alla grandezza dell’intervallo numerico, infatti i punti indicati nella bisezione di intervalli piccoli sono troppo spostati verso sinistra, mentre i punti indicati nella bisezione di intervalli grandi sono troppo spostati verso destra. L’entità dell’errore è proporzionale alla lunghezza dell’intervallo numerico (Zorzi e coll., 2002). Le prestazioni nelle bisezioni sia di linee che di intervalli numerici presentano dunque lo stesso errore di spostamento verso destra, proporzionale alla grandezza fisica dello stimolo (Zorzi e coll., 2002; Zorzi 2004). Questo effetto rappresenta una forma di neglect rappresentazionale (Bisiach e Luzzatti, 1978) ed indica che la bisezione numerica richiede un processo interno di rappresentazione su una LNM spazialmente orientata (Hubbard e coll., 2005).

La connessione fra informazioni numeriche e spaziali può manifestarsi anche attraverso la congruenza spaziale degli stimoli, oltre che la risposta. L’effetto distanza si osserva indipendentemente dal formato degli stimoli, sia che siano

parole-numero, numeri arabi anche a più cifre (Dehaene e coll., 1990; Reynvoet e Brysbaert, 1999) o insiemi di punti (Buckley e Gilman, 1974) e viene interpretato come una dimostrazione del fatto che le discriminazioni fra gli elementi numerici sono tanto più facili quanto più le quantità da confrontare sono distanti sulla LNM. L'effetto distanza tende ad attenuarsi con l'aumentare dell'età (Duncan e McFarland, 1980; Girelli, Lucangeli e Butterworth, 2000). Tutti i compiti sperimentali presentati depongono a favore di una rappresentazione mentale dei numeri con specifiche caratteristiche spaziali, che conferma l'esistenza della LNM con orientamento da sinistra a destra (Zorzi e coll., 2002; Zorzi, 2004; Hubbard e coll., 2005; Lucangeli e coll., 2006).

ESPERIMENTO 2

L'acuità numerica nella Discalculia Evolutiva

Questa ricerca è motivata dall'interesse per lo studio dell'acuità numerica, ovvero la precisione della rappresentazione interna di quantità numeriche. Gli esseri umani, così come molte altre specie, possiedono la capacità di rappresentarsi quantità approssimative, che sembra essere controllata dal SIP bilaterale, con neuroni funzionalmente attivi già all'età di 3 mesi (Izard, Dehaene-Lambertz e Dehaene, 2008; Nieder e Miller, 2004). Recenti risultati psicofisici dimostrano che la percezione di numerosità è una caratteristica visiva primaria, come il colore, la dimensione, la frequenza (Burr e Ross, 2008). Quindi possiamo ipotizzare che possa esistere un disturbo specifico nella percezione di numerosità, che quindi potrebbe essere alla base della DCE (e.g., Landerl, Bevan e Butterworth, 2004). Gli studi sull'acuità numerica nella DCE non hanno ancora condotto a conclusioni certe, dal momento che in letteratura sono presenti solo studi che utilizzavano compiti di

comparazione numerica con cifre arabe (Iaculano, Tang, Hall e Butterworth, 2008; Rousselle e Noel, 2007) e quindi l'eventuale disturbo rilevato poteva essere il semplice effetto della DCE stessa, poiché la DCE è caratterizzata proprio da una difficoltà nella transcodifica del numero o nella conversione dalla cifra araba alla quantità rappresentata. Nel presente studio è stato quindi utilizzato un metodo quantitativo psicofisico per la stima dell'acuità numerica attraverso un paradigma computerizzato di comparazione non simbolica di quantità numeriche. Per potere eseguire questo compito di comparazione numerica non simbolica è necessario l'accesso alla LNM, che ipotizziamo richiedere anche l'efficiente orientamento dell'attenzione spaziale (si veda l'Esperimento 3).

PARTECIPANTI

Il gruppo sperimentale era composto da 23 bambini con DCE, di cui 14 maschi e 9 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.69 anni, DS = 2.16 anni). I bambini appartenenti a questo gruppo avevano ricevuto la diagnosi di DCE in base ai criteri del DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994). La loro prestazione nella Batteria per la DCE (BDE, Biancardi e Nicoletti, 2004) era significativamente deficitaria. Nella BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004) le prove aritmetiche sono state divise in modo da ottenere due distinti quozienti. Nella valutazione che porta alla formulazione del Quoziente Numerico (QN) sono incluse le prove di: Conteggio, Lettura, Scrittura e Ripetizione (ovvero, di Transcodifica) di numeri, e Triplette ed Inserzioni (ovvero, di Codifica Semantica), mentre per il Quoziente di Calcolo (QC) vengono effettuate le prove di: Tabelline, Moltiplicazioni a Mente, Sottrazioni ed Addizioni con risultato entro ed oltre 10, Calcolo Scritto. Infine i risultati di tutte le prove concorrono a formare il Quoziente di Numero e Calcolo (QNC), grazie al

quale è possibile formulare la diagnosi di DCE (se QNC inferiore a 70, con media 100 e deviazione standard 15). Il campione sperimentale era stato selezionato, oltre che in base al disturbo specifico nelle abilità numeriche e di calcolo, anche in base ai seguenti criteri:

- a) QI totale superiore a 85 (misurato attraverso la somministrazione della scala WISC-R; Wechsler, 1986);
- b) assenza di disturbi neurologici;
- c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;
- d) assenza di un Disturbo Specifico del Linguaggio (spesso associato alla DCE e valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);
- e) assenza di Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (spesso associato alla DCE e valutato secondo i criteri del DSM-IV American Psychiatric Association, 1994);
- f) assenza di disturbi comportamentali o emotivi evidenti.

La media dei quozienti intellettivi nel campione sperimentale è di QIT = 106, DS = 10; QIV = 108, DS = 12; QIP = 102, DS = 11. Gli altri indici descrittivi sono riportati in **Tabella 4**.

Il gruppo di controllo era composto da 3 sottogruppi, divisi per diverse fasce d'età:

- 26 bambini prescolari (CPS), di cui 19 maschi e 7 femmine, di età compresa tra i 3.8 anni e i 6.2 anni (media 5.25 anni, DS = 1.32), selezionati dalle insegnanti con sviluppo tipico;
- 26 bambini scolari (CE), di cui 18 maschi e 8 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.43 anni, DS = 1.43), selezionati dalle insegnanti con sviluppo tipico. Questo gruppo è pareggiato al gruppo sperimentale per età ($t = .77$, $p = .44$) e per QI attraverso la somministrazione di due sub-test della prova

- 20 adulti (A), di cui 13 maschi e 7 femmine, di età compresa fra i 22 anni e i 33 anni (media 26.65 anni, DS = 4.65), studenti universitari.

Tutti i soggetti avevano abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali.

I soggetti CE hanno effettuato anche 4 sub-test della BDE (i.e., lettura di numeri, moltiplicazioni a mente, addizioni e sottrazioni con risultato entro 10 e calcolo scritto). Tutte le prove di lettura e di abilità aritmetiche differiscono significativamente rispetto ai controlli. Si veda la **Tabella 4**.

	Subtest della WISC-R				Subtest della Batteria Discalculia Evolutiva							
	Somiglianze		Completamento di figure		Letture di Numeri*		Moltiplicazioni a mente*		Fatti Aritmetici*		Calcolo Scritto*	
	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
DCE	11.23	2.27	12.32	2.31	-7.5	8.79	-3.22	1.53	-2.61	2.11	-2.19	2.11
CE	13.04	1.75	12.15	2.31	.43	.32	.59	.43	.27	.47	.50	.81

Tabella 4 - *significativa differenza fra i gruppi, $p < .001$

APPARATI E PROCEDURE

Gli stimoli erano costituiti da coppie di configurazioni di punti neri presentati su sfondo bianco, all'interno di una cornice nera. I cerchi erano equidistanti da un punto di fissazione centrale costituito da un puntino bianco. Si veda la **Figura 5**.

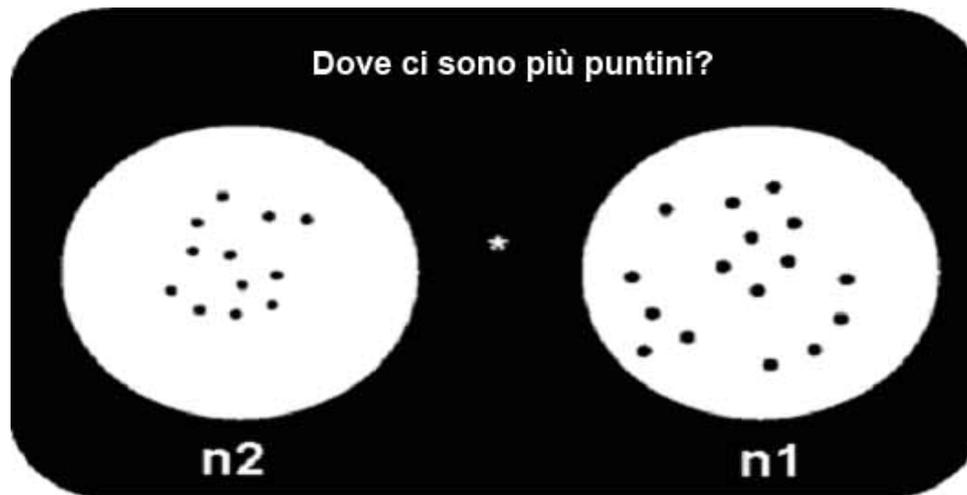


Figura 5

In ogni prova, una delle due configurazioni contiene 16 o 32 punti (numerosità di riferimento, $n1$), mentre l'altra configurazione ($n2$) contiene 12-13-14-15-17-18-19-20 punti (quando $n1 = 16$) oppure 24-26-28-30-34-36-38-40 punti (quando $n1 = 32$). In totale si hanno 16 condizioni sperimentali. Le variabili percettive erano assegnate in modo randomizzato ad ogni coppia di stimoli, cosicché mediamente metà delle configurazioni $n2$ manteneva costante la grandezza dei punti e l'altra metà delle configurazioni $n2$ manteneva costante la grandezza dell'area bianca occupata; le configurazioni $n1$ venivano randomizzate seguendo la stessa dinamica. Ciò impedisce la possibilità che i soggetti utilizzino altri parametri (non numerici) per decidere quale configurazione contiene più puntini (si veda Dehaene, Izard e Piazza, 2005, per una descrizione più dettagliata della randomizzazione).

I soggetti erano istruiti a decidere quale delle due configurazioni conteneva il maggior numero di puntini, senza contarli. La risposta veniva data premendo uno dei due tasti posti sulla tastiera coerentemente alla localizzazione spaziale del cerchio considerato contenere il maggior numero di puntini (il tasto di sinistra se per il soggetto la configurazione con più puntini era a sinistra, e viceversa a destra). La configurazione restava sullo schermo fino alla risposta del soggetto, che doveva

avvenire entro 5 secondi. L'esperimento aveva inizio con 4 prove di addestramento, seguite da un totale di 80 prove (5 per ogni condizione sperimentale). Per 14 dei 23 soggetti con DCE e per tutti i soggetti CE sono stati aggiunti nell'esperimento 4 numerosità di n_2 agli estremi della distribuzione, al fine di ottenere una migliore stima della frazione di Weber: le configurazioni con $n_2 = 10$ e $n_2 = 22$ punti per $n_1 = 16$ e le configurazioni $n_2 = 20$ e $n_2 = 44$ per $n_1 = 32$. L'incremento dei valori estremi aumenta la probabilità che si osservi una completa distribuzione delle risposte (da 0 a 100%) alla configurazione con più puntini, e potere così fittare meglio i dati sulla funzione sigmoideale. Inoltre in questa versione modificata è stato aumentato anche il numero di prove per condizione, da 5 a 7, per un totale di 140 prove. Tale modifica non ha provocato cambiamenti né nell' R^2 della sigmoide ($t = 1.06$, $p = .29$), né nella stima della frazione di Weber (w , stimata per ogni soggetto, $t = -.73$, $p = .47$).

RISULTATI

I risultati sono stati rappresentati in una scala lineare (si veda la **Figura 6A**) ponendo sull'asse delle x il valore di n_2 e sull'asse delle y la percentuale dell'accuratezza in risposta alle numerosità fisse (n_1) confrontate con le numerosità inferiori o superiori di n_2 . Nei tre gruppi di controllo (CE; CPS; A) le risposte corrette alla configurazione con il maggior numero di punti si sono distribuite su una curva sigmoideale, replicando la legge di Weber (migliore discriminabilità all'aumentare della differenza fra gli stimoli). Per rendere simmetrica la sigmoide, ogni curva è stata plottata su una scala logaritmica, ciò rende parallele le due curve (si veda la **Figura 6B**) ed infine le due curve vengono plottate su una scala logaritmica di base n_1/n_2 , rendendole identiche (si veda la **Figura 6C**). Dalla

Figura 6C si può notare che l'inclinazione della curva nella porzione centrale della sigmoide diventa sempre più ripida, indicando un progressivo miglioramento della rappresentazione interna di quantità all'avanzare dell'età.

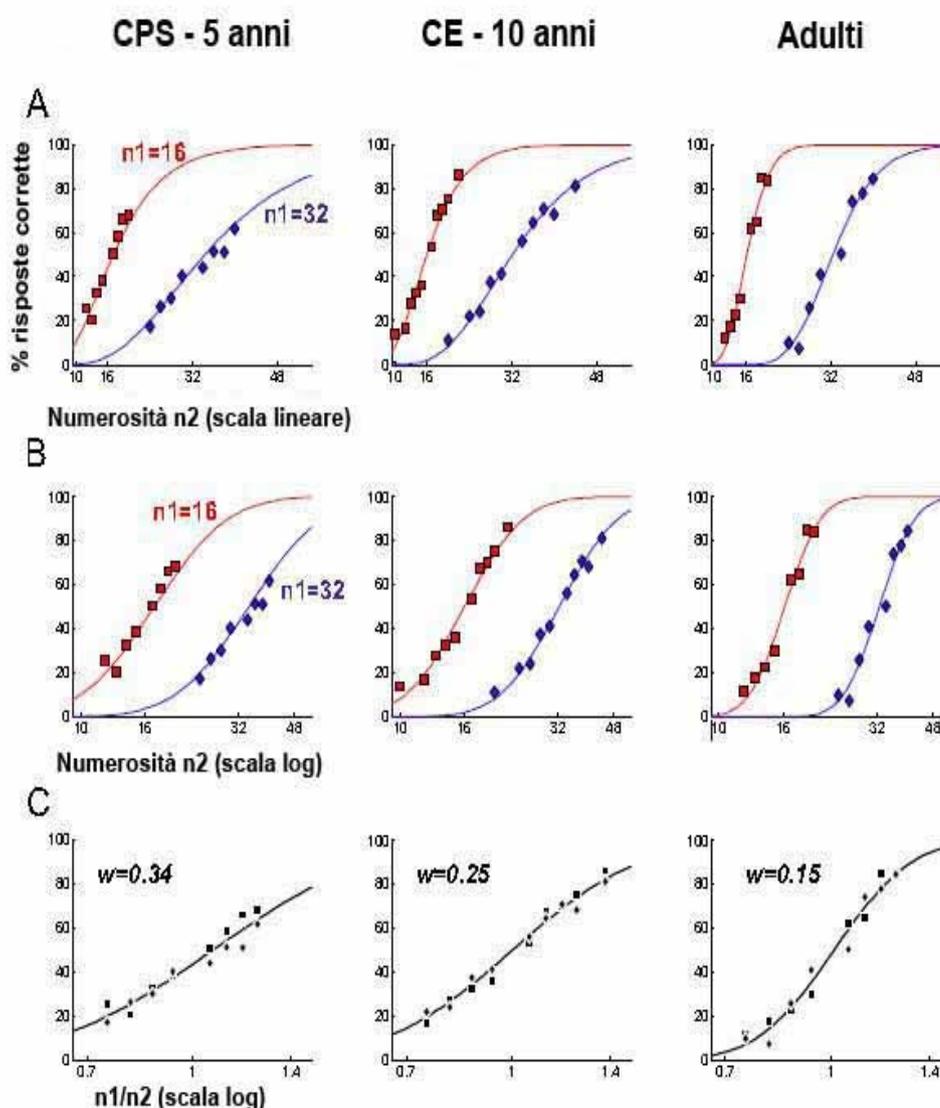


Figura 6

Per quantificare questo pattern evolutivo è stata successivamente calcolata per ogni soggetto la misura della rappresentazione interna di quantità, espressa come percentuale di differenza necessaria per discriminare le diverse quantità (w). L'indice $2w$ rappresenta quindi la percentuale di differenza fra due numerosità che è necessaria per percepirli come diversi con un intervallo di confidenza del 95%. Ad

esempio, ottenere una $w = .3$ implica che per potere discriminare correttamente due numerosità è necessario avere una differenza fra gli stimoli pari al 60%, come 10 vs. 16.

Come atteso, le prestazioni migliorano con l'età, $F(2,69) = 19.95$, $p < .001$, passano da una w media di .34 per il gruppo dei bambini prescolari, riducendosi a .25 per il gruppo CE, $t(50) = 2.99$, $p < .005$ ed infine a .15 per il gruppo degli adulti, $t(44) = 4.46$, $p < .001$.

L'acuità numerica segue dunque un'evoluzione che può essere descritta attraverso una funzione con esponente negativo (-0.5 , $R^2 = .97$), che indica la graduale riduzione di w nel tempo. Si veda la **Figura 7**.

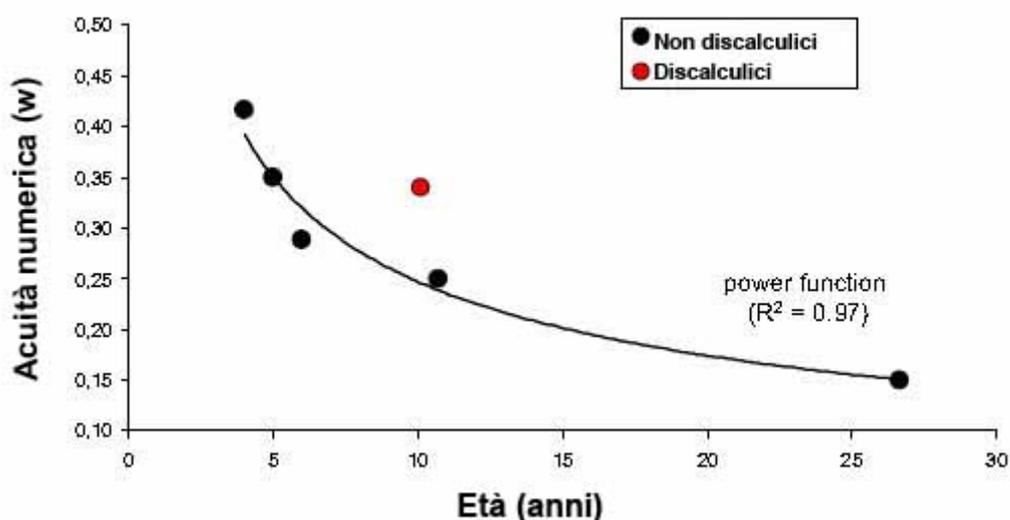


Figura 7

Nei soggetti con DCE la w media è di .34, indicando un significativo deficit nella stima di quantità rispetto ai CE ($w = .25$), $t(47) = 2.90$, $p < .003$.

Nonostante l'indice di acuità numerica w venga stimato sull'accuratezza delle risposte, durante l'esperimento sono stati raccolti anche i TR. I risultati mostrano una significativa diminuzione dei TR all'avanzare dell'età dei soggetti di controllo,

$F(2,69) = 61.24, p < .001$, infatti si passa da una media di 2524 ms per il gruppo CPS, a 1314 ms per il gruppo CE, $t(50) = 7.81, p < .001$ ed infine a 1016 ms per il gruppo A, $t(44) = 2.93, p < .005$.

Anche i TR seguono un'evoluzione rappresentabile da una funzione con esponente negativo ($-0.53, R^2 = .91$), che indica la graduale riduzione dei TR all'aumentare dell'età. Si veda la **Figura 8**.

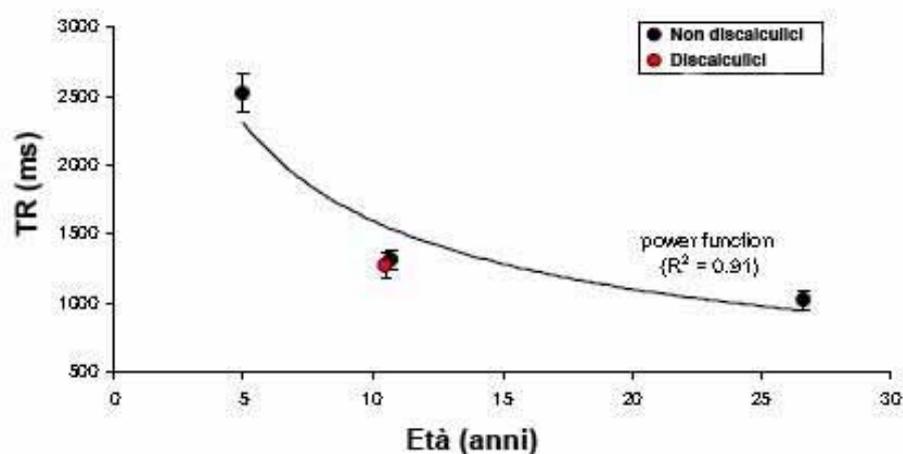


Figura 8

Nonostante l'acuità numerica differisca fra DCE e CE, questi gruppi non differiscono in termini di TR (1271 ms vs. 1314 ms), $t(47) = .39, p = .69$, dimostrando che il deficit nella rappresentazione di quantità numeriche non dipende dalle strategie utilizzate (e.g., velocità) per eseguire il compito. Per quantificare l'entità del deficit dei bambini con DCE, abbiamo comparato la media di w del gruppo dei bambini con DCE con quella del gruppo CPS, di 5 anni più giovani. I risultati mostrano che i due gruppi non differiscono rispetto all'acuità numerica, $t(47) = .06, p = .95$, suggerendo un ritardo di 5 anni nelle prestazioni dei bambini con DCE nell'acuità numerica. Si veda la **Figura 9**.

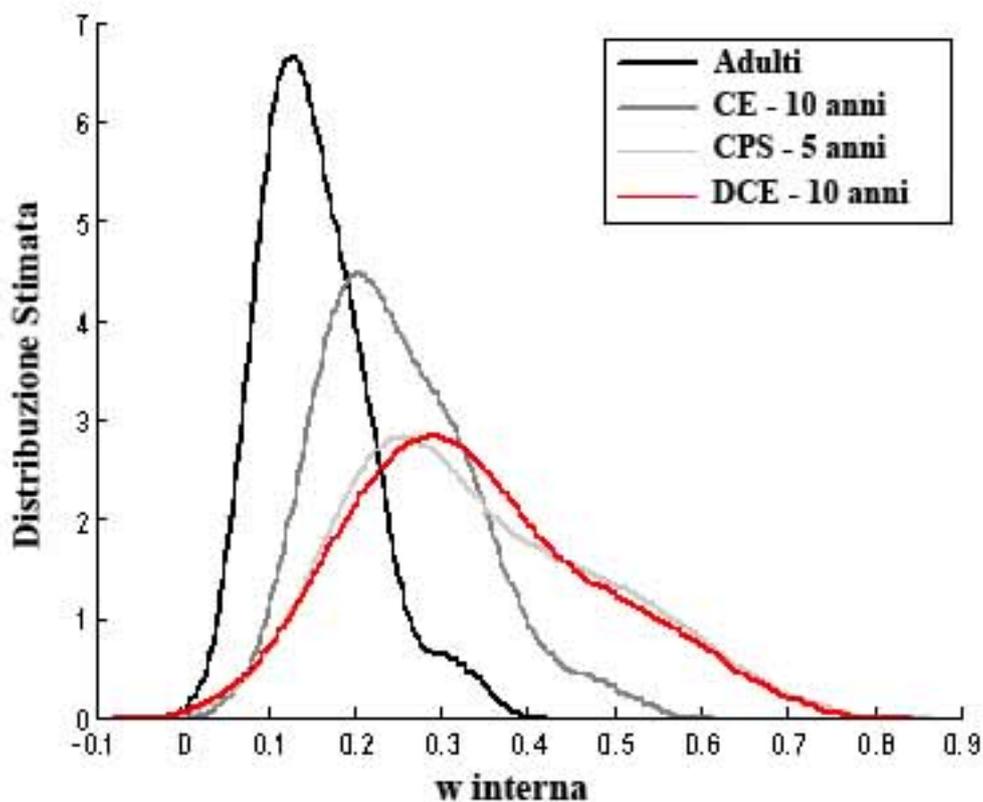


Figura 9

Per meglio studiare la relazione fra abilità aritmetiche e di acuità numerica nei bambini con DCE, è stato effettuato una correlazione bivariata fra w e la media nell'accuratezza nei sub-test della BDE, raggruppati in 4 cluster: abilità di transcodifica (i.e., Lettura, Scrittura e Ripetizione di numeri), abilità semantiche (i.e., Triplette e Inserzione di numeri), abilità di calcolo aritmetico semplice (i.e., Moltiplicazioni a mente e Addizioni/sottrazioni con risultato entro il 10) e abilità di calcolo aritmetico complesso (Calcolo a mente e scritto). Il nostro interesse era principalmente rivolto alle abilità semantiche, poiché direttamente legate all'accesso alla LNM, senza il coinvolgimento di conoscenze aritmetiche. Infatti nelle Triplette il bambino deve individuare il numero più grande fra tre (e.g., "12-54-23"), mentre nelle Inserzioni il bambino deve posizionare correttamente il numero in una serie di 3 numeri (e.g., posizionare il numero 10 fra 5 8 15). Per riuscire in questo

compito il bambino deve accedere alla LNM per rappresentarsi la grandezza del numero e le relazioni spaziali di vicinanza fra i diversi numeri. La nostra ipotesi era che l'acuità numerica (compito non simbolico, misurato con l'indice w) prevedesse l'accesso alla LNM durante il compito delle Inserzioni, (compito cartaceo e simbolico, con cifre arabe), e le abilità nel calcolo complesso, in accordo con il modello del triplo codice di Dehaene e coll. (2003).

I risultati delle analisi mostrano che w predice il 17% della varianza delle abilità semantiche $F(1,22) = 4.37, p < .05$. Infatti al diminuire di w (cioè al migliorare delle abilità di acuità numerica), si riduce il numero degli errori (mediato) nei compiti semantiche delle Triplette e delle Inserzioni. Si veda la **Figura 10**.

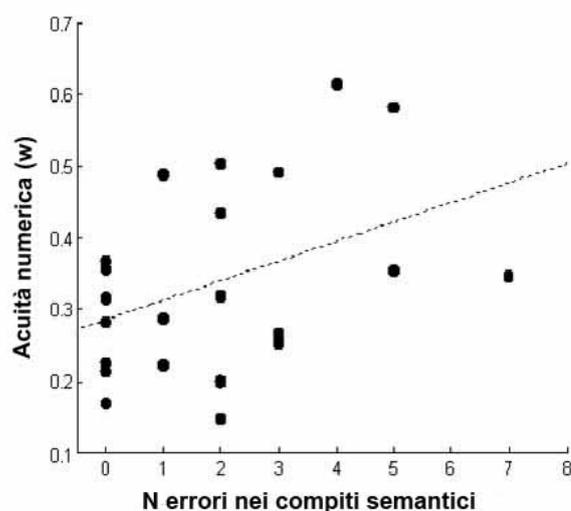


Figura 10

Le correlazione fra la w e le abilità di transcodifica (3%, $F(1,22) = .57, p = .46$) e con il calcolo semplice (1%, $F(1,22) = .17, p = .68$) non risultano significative. A differenza di quanto atteso dalle nostre ipotesi, neppure il calcolo complesso è risultato significativo. Si veda la **Tabella 5**.

Infine, una analisi della regressione multipla ad entrata fissa, con al 1° livello l'età e il QIV e al 2° livello w , indica che l'indice w predice il 24% della varianza unica

delle abilità semantiche dei bambini con DCE, $F(1,19) = 6.11$, $p = .02$, confermando la specifica relazione fra acuità numerica ed accesso alla LNM.

		BDE Semantica	BDE Transcodifica	BDE Calcolo Semplice	BDE Calcolo Complesso
W	Pearson	.414	.163	-.090	.076
	Sig.	.049	.458	.684	.729
BDE Semantica	Pearson		.460	.373	.512
	Sig.		.027	.080	.013
BDE Transcodifica	Pearson			.110	.120
	Sig.			.618	.586
BDE Calcolo Semplice	Pearson				.772
	Sig.				.001

Tabella 5

DISCUSSIONE

I nostri risultati dimostrano che l'acuità numerica migliora con lo sviluppo e che i tempi di risposta al compito diminuiscono progressivamente dall'età prescolare all'età adulta, in accordo con i recenti risultati ottenuti da Halberda e Feigenson (2008). Ciò potrebbe essere dovuto sia a processi maturativi che educativi e/o culturali. Noi propendiamo per l'ipotesi maturativa, sostenuti anche dall'evidenza che nei bambini la differenza critica affinché due numerosità siano discriminate passa da 3:1 nei neonati (Izard, Sann, Spelke e Streri, 2009) a 2:1 nei bambini di 6 mesi e al di sotto di 3:2 a 9 mesi (Lipton e Spelke, 2003). E' difficile che questa tendenza, riscontrata nei bambini durante il primo anno di vita, dipenda da processi educativi. Inoltre la stima di w (0.15) osservata negli adulti è simile al valore ottenuto in una popolazione adulta della remota cultura di Mundurucu, dove il lessico dei numeri è ristretto a 5 e i bambini non seguono percorsi di insegnamento formale di conteggio e aritmetica (Pica, Lemer, Izard e Dehaene, 2004).

Altro risultato importante è l'osservazione di una severa difficoltà nelle abilità di

acuità numerica nella popolazione di bambini con DCE rispetto a bambini pareggiati per età cronologica e QI. Questo riscontro è compatibile con gli studi di neuro-immagine che mostrano anomalie strutturali o funzionali nei bambini con DCE in alcune regioni della corteccia parietale (e.g., Isaacs, Edmonds, Lucas e Gadian, 2001; Molko, Cachia, Rivière, Mangin, Bruandet, Le Bihan, Cohen e Dehaene, 2003 e 2004; Price, Alloway, Rasanen, Vesterinen e Ansari, 2007), nelle aree specializzate all'apprezzamento di quantità numeriche, ovvero nel SIP (Cantlon, Brannon, Carter e Pelphrey, 2006; Piazza, Pinel, Le Bihan e Dehaene, 2007). Inoltre, attraverso il confronto fra le abilità di comparare quantità numeriche nei bambini con DCE e in quelli a sviluppo tipico, abbiamo quantificato l'entità del ritardo nell'acuità numerica dei bambini con DCE pari a 5 anni, infatti la loro prestazione non differiva da quella dei bambini prescolari. Si ipotizzano due interpretazioni alternative dei risultati: i) nei bambini con DCE esiste un puro deficit nell'acuità numerica (controllato dal SIP bilaterale) oppure; ii) nei bambini con DCE è inefficiente il collegamento fra la rappresentazione di quantità e il corrispettivo simbolo numerico (GAS; Dehaene e coll., 2003), che a sua volta condiziona la precisione nella percezione della numerosità. Infine, l'acuità numerica nel compito non-simbolico (w) sono in grado di predire la correttezza nell'esecuzione di compiti cartacei (con cifre arabe) di codifica semantica, nei quali è necessario accedere alla LNM e quindi alla conoscenza della quantità rappresentata dal numero. Contrariamente alle nostre ipotesi, l'acuità numerica non predice le abilità di calcolo. Ciò può essere giustificato, a posteriori, dalle possibili strategie compensatorie messe in atto dai bambini con DCE per svolgere i calcoli, ad esempio l'utilizzo delle dita, come dimostrato dagli studi di Jordan, Hanich e Kaplan (2003) e Ostad (1997; 1999) che riscontrano un maggiore utilizzo di tale strategia nei

bambini con DCE rispetto ai bambini con uno sviluppo tipico.

Questo Studio è stato accettato per la pubblicazione su “Cognition”.

ESPERIMENTO 3

Il decorso temporale dell'orientamento dell'attenzione visiva nella Discalculia

Evolutiva

Questa ricerca è motivata dal desiderio di investigare il possibile collegamento fra l'orientamento dell'attenzione visiva (controllata dalla CPP) e l'acuità numerica (controllata dal SIP). Diversi studi hanno dimostrato l'esistenza della LNM, intesa come rappresentazione mentale dei numeri, spazialmente orientata da sinistra a destra (e.g., Zorzi e coll., 2002; per una rassegna si veda Hubbard e coll., 2005). Il circuito neurale cruciale per la rappresentazione di quantità numeriche è stato individuato nel lobo parietale (i.e., segmento orizzontale del SIP bilaterale), nella regione che si sovrappone al circuito neurale coinvolto nell'elaborazione spaziale degli stimoli (si veda il circuito M-D del “Dove” descritto nel Capitolo 1 e Hubbard e coll., 2005 per una rassegna recente).

La nostra ipotesi è che nei bambini con DCE, in cui abbiamo dimostrato la presenza di uno specifico disturbo nella rappresentazione quantità numeriche (i.e., minore acuità numerica; si veda l'Esperimento 2), l'attenzione spaziale visiva possa essere direttamente coinvolta nell'accesso alla LNM e che quindi abbia un ruolo cruciale nelle abilità numeriche mediate dall'uso della LNM. Precisamente, se l'orientamento dell'attenzione (controllato dalla CPP) è alla base del corretto accesso alla LNM (SIP), allora ci dovremmo aspettare uno specifico deficit nell'orientamento dell'attenzione visiva solo nei bambini con DCE che cadono selettivamente nella prova delle Inserzioni. Infatti, il corretto svolgimento della prova di Inserzioni, oltre

a richiedere l'accesso alla LNM, necessita anche del corretto orientamento dell'attenzione visiva lungo la LNM.

PARTECIPANTI

I partecipanti a questo studio erano gli stessi bambini con DCE e di controllo dell'Esperimento 2. Il gruppo dei bambini con DCE è stato suddiviso in due sottogruppi a partire dalla caduta al di sotto di almeno 1 deviazione standard nella media dei punteggi *z* (rapidità e accuratezza) nella prova delle Inserzioni (Biancardi e Nicoletti, 2004). Abbiamo così ottenuto:

- 13 soggetti con caduta nelle Inserzioni (DCEI-);
- 10 soggetti senza caduta nelle Inserzioni (DCEI+).

I due gruppi non differiscono rispetto all'età, al QIT, al QN e al QC della BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004), mentre differiscono significativamente solo nelle Inserzioni (sia per l'indice di velocità che di accuratezza) coerentemente con il criterio di suddivisione del campione. Si veda la **Tabella 6**.

	DCEI- (n=13)		DCEI+ (n=10)		Analisi	
	M	DS	M	DS	<i>t</i> (21)	<i>p</i>
Età	10.43	1.29	11.05	.90	-1.30	.21
QI Totale	108	11.87	103.5	7.26	1.05	.30
BDE						
Quoziente Numerico	61.85	14.10	70.60	18.20	-1.03	.21
BDE						
Quoziente di Calcolo	60.77	16.45	61.40	12.39	-.10	.92
BDE Inserzioni (z velocità)	-1.86	1.39	-.64	.82	-2.44	.02
BDE Inserzioni (z accuratezza)	-2.33	2.19	.21	.85	-3.45	.002
w	35	14	31	11	-3.45	.002

Tabella 6

APPARATI E PROCEDURE

L'apparato e le procedure usate per misurare il decorso temporale dell'orientamento dell'attenzione visiva sono le stesse di quelle descritte nel Capitolo 1. L'unica differenza consisteva nell'aggiunta di due SOA più lunghi per poter investigare anche il decorso temporale del meccanismo di inibizione dell'attenzione (i.e., inibizione di ritorno; per una rassegna si veda Klein, 2000). Precisamente, in aggiunta ai SOA di 100 e di 250 ms (necessari per studiare il decorso temporale del meccanismo di facilitazione dell'attenzione), nel presente Esperimento sono stati inclusi i SOA di 400 e 550 ms. La sessione sperimentale era costituita da 320 prove divise in due blocchi da 160 prove ciascuna, ognuno formato da 64 prove valide (16 per ogni SOA), 64 prove invalide (16 per ogni SOA) e 16 prove nulle (10% delle prove totali).

Si veda la **Figura 11** per una rappresentazione della specifica procedura sperimentale utilizzata nel presente Esperimento.

RISULTATI

Gli errori nel compito di attenzione spaziale visiva (risposte alle prove nulle e le mancate risposte al bersaglio) erano inferiori al 3%. Le prove con TR inferiori a 150 ms (anticipi) e superiori a 2.5 DS (ritardi) erano circa il 2%. Infine, i movimenti oculari erano circa il 4% delle prove. Le prove con errori, con anticipi o ritardi, e con movimenti oculari sono state eliminate prima di eseguire le analisi statistiche.

Per ogni soggetto, abbiamo calcolato la differenza fra i TR alle risposte nella condizione con indizio invalido e valido (i.e., effetto dell'indizio) per ognuno dei 4

SOA utilizzati.

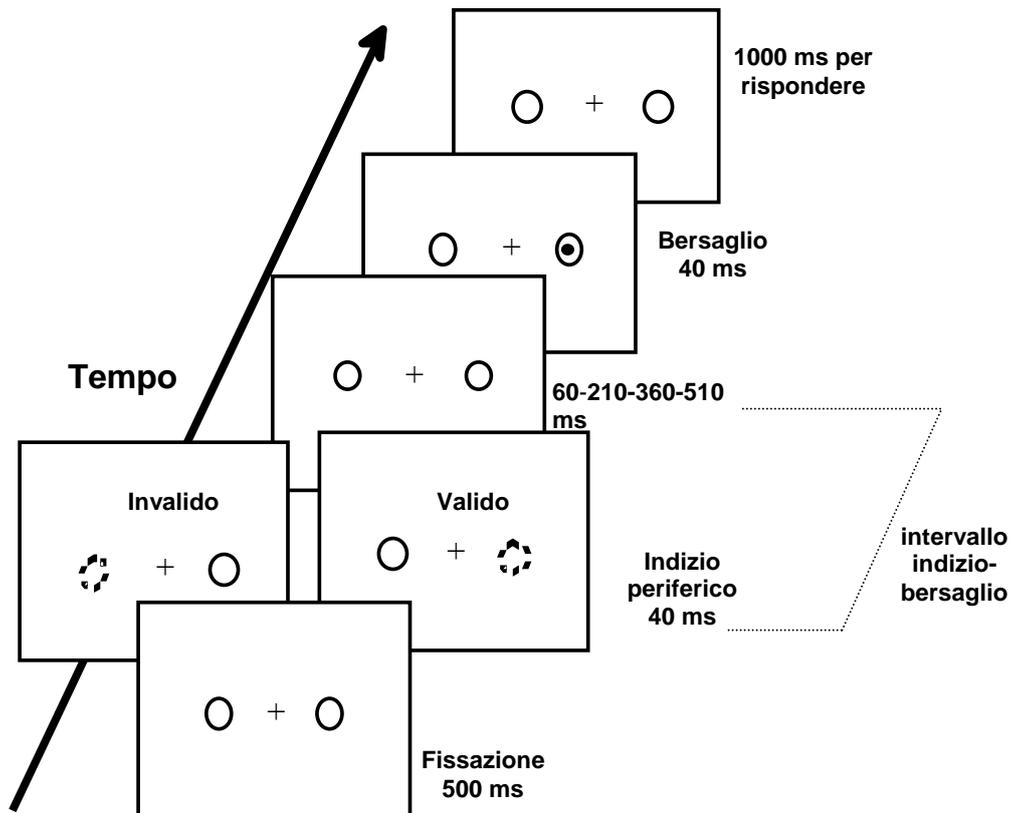


Figura 11

La media dei TR è stata analizzata con una ANOVA mista con 2 variabili:

- Fra i gruppi:

- Gruppo: 3 livelli: DCEI-; DCEI+; CE;

- Entro i gruppi:

- Effetto dell'indizio ai 4 SOA: 4 livelli: 100, 250, 400 e 550 ms.

E' risultato significativo solo l'effetto principale del SOA, $F(1,45) = 21.02, p < .001$, indicando che l'effetto dell'indizio varia al variare dei SOA. Precisamente, al SOA 100 l'effetto dell'indizio era di 17 ms (i.e., facilitazione), al SOA 250 era di 4 ms, al SOA 400 era di -10 ms (inibizione di ritorno) e al SOA 550 era di -13 ms (inibizione

di ritorno) (Klein, 2000).

L'interazione Gruppo X SOA è risultata significativa $F(2,45) = 5.32, p < .01$. Al SOA 100 ms, l'effetto dell'indizio era di 22 ms (facilitazione) nei CE, 31 ms (facilitazione) nei DCEI+, mentre era di -1 ms (assenza di facilitazione) nei DCEI-. Al contrario, al SOA 250 ms, l'effetto dell'indizio era di 2 ms (assenza di facilitazione) nei CE e di -10 ms (inibizione di ritorno) nei DCEI+, mentre era di 20 ms (facilitazione) nei DCEI-. Questi risultati indicano che i bambini con DCEI- mostrano un chiaro rallentamento del meccanismo di facilitazione dell'orientamento dell'attenzione, sia rispetto ai CE sia rispetto ai bambini con DCEI+. Al SOA 400 ms, l'effetto dell'indizio è di -16 ms (inibizione di ritorno) nei CE, -8 ms (inibizione di ritorno) nei bambini con DCEI+ e di -6 ms (inibizione di ritorno) nei bambini con DCEI-. Al SOA 550 ms, l'effetto dell'indizio è di -13 ms (inibizione di ritorno) nei CE, -2 ms (inibizione di ritorno) nei bambini con DCEI+ e di -24 ms (inibizione di ritorno) nei bambini con DCEI-.

Si veda la **Figura 12**.

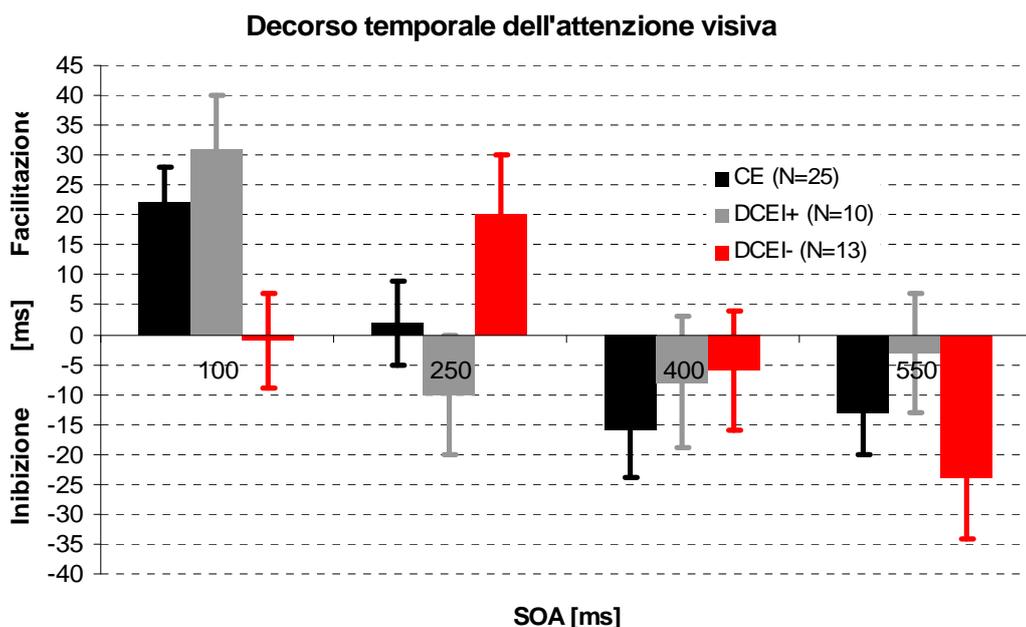


Figura 12

Successivamente abbiamo eseguito dei confronti pianificati per localizzare la possibile fonte dell'interazione. I risultati mostrano che non ci sono differenze significative fra gli effetti dell'indizio ai 4 SOA nel Gruppo CE vs. i bambini con DCEI+ [SOA 100 ms: $t(33) = -.86$, $p=.39$; SOA 250 ms: $t(33) = 1.06$, $p=.30$; SOA 400 ms: $t(33) = -.66$, $p=.51$; SOA 550 ms: $t(33) = -.83$, $p=.41$].

L'unica differenza significativa fra il Gruppo CE vs. il Gruppo DCEI- è al SOA 100 ms; $t(36) = 2.15$, $p<.05$, cioè nell'indice di rapido orientamento dell'attenzione spaziale visiva (i.e., facilitazione dell'indizio al SOA 100 ms), mentre agli altri SOA non ci sono differenze significative, SOA 250 ms : $t(36) = -1.30$, $p=.20$; SOA 400 ms : $t(36) = -.79$, $p=.44$; SOA 550 ms : $t(36) = -.86$, $p=.39$. Anche dal confronto fra i due sottogruppi di bambini con DCE (DCEI- vs. DCEI+) emerge che l'unica differenza significativa è al SOA 100 ms: $t(21) = 2.23$, $p=.037$, mentre agli altri SOA non ci sono differenze significative SOA 250 ms: $t(21) = -1.57$, $p=.13$; SOA 400 ms: $t(21) = -.11$, $p=.92$; SOA 550 ms : $t(21) = 1.28$, $p=.22$, confermando la differenza nell'orientamento rapido dell'attenzione visiva come deficit specifico del Gruppo DCEI-.

Inoltre, per meglio definire il collegamento fra orientamento dell'attenzione visiva e abilità di acuità numerica, abbiamo effettuato una correlazione bivariata fra le abilità di orientamento dell'attenzione ai 4 SOA e w (indice di acuità numerica, si veda l'Esperimento 2) nell'intero gruppo dei bambini studiati (CE e DCE, $n = 49$). I risultati mostrano che solo l'effetto dell'indizio al SOA 100 ms correla con l'indice di acuità numerica ($r = -.41$, $p<.005$). Si veda la **Tabella 7**.

La correlazione è significativa anche quando viene effettuata nei soli bambini con DCE ($r = -.38$, $p<.05$), confermando la stretta relazione fra orientamento rapido

dell'attenzione (effetto dell'indizio al SOA 100 ms) e acuità numerica nella DCE.

E' stata inoltre eseguita una correlazione parziale, controllando gli effetti dell'età e

		SOA 250 ms	SOA 400 ms	SOA 550 ms	w
SOA 100 ms	Pearson	- .15	- .03	.15	- .409
	Sig.	.15	.41	.15	.002
SOA 250 ms	Pearson	1	.18	.19	- .02
	Sig.		.11	.10	.44
SOA 400 ms	Pearson		1	.26	- .016
	Sig.			.38	.46
SOA 550 ms	Pearson			1	- .03
	Sig.				.42

Tabella 7

della stima del QI (sub-test di Somiglianze e di Completamento di Figure, WISC-R), nell'intero gruppo di bambini (CE + DCE, n = 49) per escludere la possibilità che siano tali fattori ad influenzare la correlazione fra l'orientamento rapido dell'attenzione e l'acuità numerica. I risultati confermano ancora la significatività della relazione ($r = .44, p < .002$).

Inoltre, per testare in modo più diretto l'ipotesi abbiamo eseguito una analisi della regressione lineare ad entrata fissa, con variabile dipendente la w, mentre i predittori erano: i) l'età; ii) il QI totale e infine; iii) l'indice di rapido orientamento dell'attenzione spaziale visiva (i.e., facilitazione dell'indizio al SOA 100 ms). Il modello globalmente spiega una quota significativa della varianza (circa il 36%) della w di cui ben il 16% della varianza unica, $F(1,43) = 10.51, p < .005$, è da attribuire al solo meccanismo di rapido orientamento dell'attenzione visiva, mentre il 20% della varianza, $F(3,44) = 3.62, p < .05$, è da attribuire alle altre variabili incluse nel modello. Precisamente, all'aumentare dell'effetto di facilitazione al SOA 100 ms si verifica un miglioramento delle abilità di acuità numerica. Si veda la **Figura 13**.

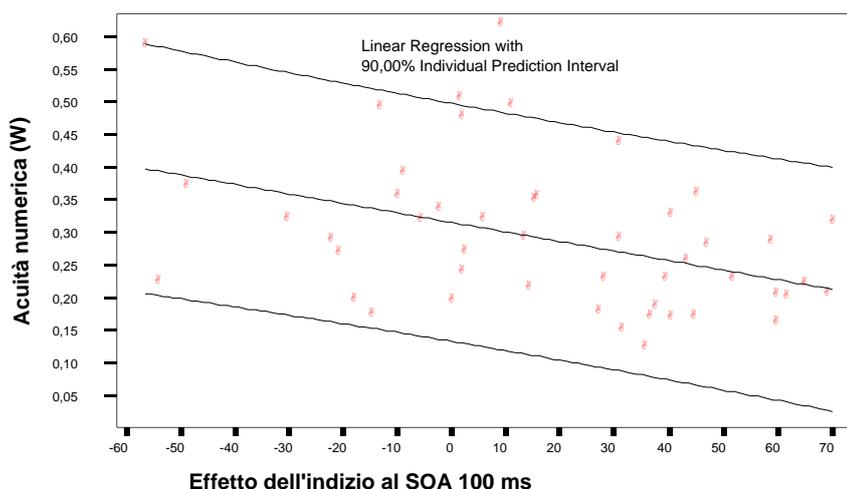


Figura 13

Infine, per approfondire specificatamente il legame fra orientamento dell'attenzione spaziale visiva ed acuità numerica nella DCE, abbiamo eseguito nel solo campione dei bambini con DCE una analisi della regressione lineare ad entrata fissa, con variabile dipendente la w , mentre i predittori erano: i) l'età; ii) il QIV e infine; iii) l'indice di rapido orientamento dell'attenzione spaziale visiva (i.e., facilitazione dell'indizio al SOA 100 ms). Il modello globalmente spiega una quota significativa della varianza (circa il 53%) della w di cui ben il 14% della varianza unica, $F(1,19) = 5.48$, $p < .05$, è da attribuire al solo meccanismo di rapido orientamento dell'attenzione visiva, mentre il 39% della varianza, $F(2,20) = 6.34$, $p < .01$, è da attribuire alle altre variabili incluse nel modello.

DISCUSSIONE

I nostri risultati dimostrano che solo i bambini con DCE con caduta nelle Inserzioni (DCEI-) hanno un deficit nell'orientamento rapido dell'attenzione spaziale visiva

(i.e. non mostrano il tipico effetto di facilitazione dell'indizio al SOA 100 ms). Questi bambini sono stati assegnati al Gruppo DCEI- a partire dalla significativa difficoltà nelle Inserzioni, compito che richiede l'accesso alla LNM. Ciò suggerisce uno specifico collegamento fra le abilità di orientamento dell'attenzione e la capacità di rappresentarsi quantità numeriche, attraverso l'accesso alla LNM. Per approfondire questa ipotesi abbiamo effettuato lo studio correlazionale fra l'indice w (i.e., indice dell'acuità numerica, ottenuto con l'Esperimento 2) e l'effetto dell'indizio ai 4 SOA, nell'intero gruppo di bambini studiati, dimostrando che è solo l'orientamento dell'attenzione al SOA 100 ms a correlare con l'acuità numerica, e che tale correlazione continua ad essere significativa anche quando studiata nel solo campione DCE. Le successive regressioni lineari, effettuate sia sull'intero campione che nei soli bambini con DCE, hanno infine dimostrato che al migliorare delle abilità di orientamento rapido dell'attenzione, migliorano le abilità acuità numerica (diminuzione dell'indice w). Infatti nei bambini con DCE, controllando l'età e il QIV (indice migliore delle competenze intellettive in questa popolazione, si veda il Capitolo 4 sui disturbi visuo-spaziali), il modello indica che il 14% della varianza unica del w è predetta dall'orientamento rapido dell'attenzione spaziale. Una delle nostre interpretazioni, che deriva dall'approccio neurocostruttivista, secondo il quale le funzioni dominio specifiche (i.e., cognizione numerica) sono la risultante della complessa interazione tra le funzioni dominio generali (attenzione visiva) e l'ambiente (per una rassegna si veda Karmiloff-Smith, 1998), prevede che il rapido orientamento dell'attenzione visiva sia necessaria alla costruzione della LNM attraverso l'esplorazione dell'ambiente e delle grandezze fisiche in cui siamo inseriti sin dalla nascita. L'altra interpretazione, guidata dal modello neurocognitivo di Dehaene e coll. (2003), prevede invece che il rapido orientamento dell'attenzione

visiva sia semplicemente necessaria durante l'accesso alla LNM che rappresenta spazialmente le quantità numeriche.

In letteratura sono riportati diversi lavori sull'interazione fra cognizione spaziale e quella numerica, ad esempio lo studio di bisezione di intervallo numerico di Zorzi e coll. (2002) nel quale dimostrano che pazienti con neglect non ignorano solo lo spazio fisico controlaterale alla lesione, ma anche quello mentale. Inoltre anche la semplice presentazione di una cifra sopra il punto di fissazione, prima della comparsa del bersaglio, influenza lo spostamento dell'attenzione nel campo visivo destro o sinistro, in accordo con la grandezza del numero (Fischer e coll., 2003). Numerosi studi di singoli neuroni nelle scimmie (e.g., Nieder, Freedman e Miller, 2002), di pazienti neurologici (e.g., Dehaene e Cohen, 2007), di neuro-immagine su soggetti sani (e.g., Dehaene, Spelke, Stanescu, Pinel e Tsivkin, 1999; Eger, Sterzer, Russ, Giraud e Kleinschmidt, 2003) e di stimolazione magnetica transcranica (e.g., Göbel, Calabria, Farnè e Rossetti, 2006) hanno dimostrato che i compiti numerici coinvolgono le regioni parietali posteriori, coinvolte anche nell'orientamento dell'attenzione visiva (per una recente rassegna si veda Hubbard e coll., 2005). Tutti questi risultati suggeriscono che l'accesso alla LNM può impiegare gli stessi meccanismi coinvolti nell'orientamento dell'attenzione visiva (Nobre, Coull, Maquet, Frith, Vandenberghe, Mesulam, 2004; Longo e Lourenco, 2007). Recenti evidenze hanno inoltre dimostrato che, durante compiti di bisezione di intervallo numerico, l'orientamento dell'attenzione lungo la LNM è accompagnato da movimenti oculari orizzontali orientati da sinistra verso destra, dimostrando che lo spostamento dell'attenzione nello spazio rappresentazionale è accompagnato da risposte oculo-motorie di orientamento (Loetscher, Bockisch e Brugger, 2008; Knops, Thirion, Hubbard, Michel e Dehaene, 2009). Tuttavia, nessuno degli studi

sopra commentati può escludere la nostra più radicale interpretazione neurocostruttivista secondo la quale l'orientamento dell'attenzione visiva (controllata dalla CPP) sia alla base dello sviluppo dell'acuità numerica, senza dover per forza assumere l'esistenza di un modulo numerico innato contenuto nel SIP. In effetti, secondo l'approccio neurocostruttivista le rappresentazioni cognitive realmente innate sono molto rare e non sarebbero altro che la risultante dei meccanismi di "modularizzazione" controllati dalle complesse interazioni dei meccanismi percettivo-attenzionali e di stimolazione ambientale (Karmiloff-Smith, 1998).

CAPITOLO 3 - COMORBIDITA' FRA DISLESSIA EVOLUTIVA E DISCALCULIA EVOLUTIVA

INTRODUZIONE

La DE si associa frequentemente ad altri disordini neuroevolutivi e questa circostanza è stata oggetto di numerosi studi indirizzati a chiarire, anche in termini neurobiologici ed eziopatogenetici, la natura di tali comorbidità (si veda per una recente rassegna Rubinstein, 2009). In letteratura sono riportate percentuali variabili dal 5% al 7% di bambini con difficoltà dell'apprendimento della lettura e/o aritmetiche (e.g., Von Aster e Shalev, 2007; Wilson e Dehaene, 2007). Diversi studi hanno mostrato che dal 20% al 60% dei bambini con DCE hanno associati disturbi quali la DE (e.g., Dyrks, Spyer, Van Lieshout e De sonneville, 2008; Mayes e Calhoun, 2006) o il Disturbo da Deficit dell'Attenzione/Iperattività (ADHD; e.g., Capano, Minden, Chen, Schachar e Ickowicz, 2008; Von Aster e Shalev, 2007). In uno studio di Gagliano, Germanò, Calarese, Magazù, Grosso, Siracusano e Cedro (2007), condotto analizzando le cartelle cliniche di una popolazione di 301 soggetti con DE italiani (94 femmine e 207 maschi), di età compresa fra i 6 e i 17 anni, è stata valutata la percentuale di frequenza di comorbidità fra DE ed i più frequenti disturbi dell'età evolutiva. I risultati mostrano che la DE è associata nel 70% dei casi alla DCE, mentre nel 98% dei casi a Disortografia Evolutiva, nell'83% dei casi a Disgrafia, nel 16% dei casi a Disturbi Specifici del Linguaggio, nel 12% al Disturbo Visuo-Spaziale, nell'11% dei casi al Disturbo da Deficit dell'Attenzione e nel 10% dei casi a Disturbi della Coordinazione Motoria. Come si può notare, la frequenza di

comorbidità fra DE e DCE è molto alta, ciò può dipendere anche da fattori contestuali, non ultimo il fatto che i dati provengano da un solo centro clinico, dalla stessa équipe di operatori e da una circoscritta area geografica.

Rubinsten (2009) individua tre fattori da tenere in considerazione per lo studio della comorbidità fra disturbi neuroevolutivi: il fattore comportamentale, inclusa la precisa definizione diagnostica del disturbo e gli strumenti utilizzati per la valutazione delle difficoltà. E' infatti possibile che alcuni casi di comorbidità possano derivare da un utilizzo errato dei criteri diagnostici o degli strumenti conoscitivi. Rubinsten e Henik, (2006) hanno individuato una doppia dissociazione fra DE e DCE rispetto all'abilità di associare automaticamente quantità ai numeri scritti in cifre arabe e all'associazione automatica dei fonemi alle lettere scritte. D'altra parte Landerl, Bevan e Butterworth (2004) non individuano differenze significative fra DCE e DCE+DE in compiti che prevedono l'elaborazione del numero. L'elevata comorbidità fra DE e DCE riscontrata in letteratura potrebbe dipendere dall'uso di impropri strumenti diagnostici, non in grado di caratterizzare il livello cognitivo specificatamente disturbato nella DE e nella DCE. Nel Capitolo 1 le nostre ricerche ci portano a sostenere che la decodifica fonologica (i.e., lettura di nonparole) sia la cruciale funzione dominio-specifica compromessa nella DE, il cui sviluppo dipende da almeno tre distinte funzioni dominio-generale: i.e., l'attenzione selettiva multisensoriale visiva e uditiva (rispettivamente necessaria per la segregazione grafemica e la segmentazione dei suoni linguistici), l'apprendimento implicito cross-sensoriale (i.e., visuo-fonologico; necessario per il mappaggio grafema-fonema) e la memoria a breve termine fonologica (necessaria per la sintesi fonemica). Nel Capitolo 2, invece, sembra che il compito delle Inserzioni possa essere la funzione dominio-specifica compromessa nella DCE, il cui sviluppo

sembra dipendere sia dal rapido orientamento dell'attenzione visiva (si veda l'Esperimento 3) sia dalle abilità visuo-spaziali (si veda per una recente rassegna Hubbard e coll., 2005).

In effetti, il secondo importante fattore è quello cognitivo. Disturbi come la DE e la DCE potrebbero derivare da rischi cognitivi intercorrelati, infatti la presenza di un disturbo neuroevolutivo potrebbe, attraverso i suoi effetti, costituire un meccanismo di rischio per l'altro disturbo (Rutter e Stroufe, 2000). Dai risultati descritti nei Capitoli 1 e 2 si evince che tale meccanismo di rischio comune sia per la DE sia per la DCE possa essere il lento orientamento dell'attenzione. Infatti, il lento orientamento dell'attenzione visiva sembra essere alla base sia dell'esplorazione della stringa grafemica durante la decodifica fonologica, sia dell'esplorazione della LNM durante il compito delle Inserzioni.

Il terzo è il fattore biologico, ad esempio alcuni autori hanno dimostrato che il malfunzionamento di una singola area cerebrale può produrre diverse patologie, quale il caso del GAS nella DE e nella DCE (Rubinstein e Henik, 2009). Infatti è stato dimostrato l'aumento di attivazione in quest'area in seguito a programmi di intervento fonologico nella DE (Shaywitz, Shaywitz, Blachman, Pugh, Fulbright, Skudlarski, 2004) e l'abbassamento delle prestazioni nell'elaborazione di quantità durante la stimolazione magnetica transcranica ripetuta della stessa area (Rusconi, Walsh e Butterworth, 2005). Rubinstein (2009) ritiene quindi importante, per lo studio delle comorbidità, che a livello comportamentale e cognitivo si tenga conto dell'esistenza di fenotipi multipli, infatti ridurre la ricerca ad un solo fenotipo rischia di non tenere in considerazione la complessità degli individui con sviluppo atipico (Gilger e Kaplan, 2001). In quest'ottica può essere un buon esempio lo studio di Hanich, Jordan Kaplan e Dick (2001) che hanno suddiviso il campione sperimentale

in quattro gruppi: un gruppo di bambini con prestazioni nella norma in lettura e matematica (i.e., nessun disturbo); un gruppo di bambini con difficoltà in lettura ma non in matematica (i.e., solo DE); un gruppo di soggetti con difficoltà in matematica ma non in lettura (i.e., solo DCE) e un ultimo gruppo di soggetti con difficoltà sia in matematica che in lettura (i.e., DE e DCE o doppio deficit). Gli autori erano interessati soprattutto al confronto tra gli ultimi due gruppi rispetto a diverse prove di risoluzione di problemi, calcolo approssimativo, calcolo a mente, comprensione del valore di numeri e calcolo scritto di numeri a più cifre. I risultati hanno evidenziato che i bambini con DCE hanno un vantaggio rispetto al gruppo con doppio deficit sul calcolo a mente, anche se entrambi i gruppi hanno risultati inferiori rispetto ai normali. I soggetti con doppio deficit inoltre ricorrono molto più spesso dei normali a strategie di conteggio sulle dita, anche se l'accuratezza risulta inferiore a quella degli altri tre gruppi. Per il recupero di fatti aritmetici, entrambi i gruppi con DCE hanno prestazioni inferiori rispetto al gruppo dei bambini con DE e ai normali. Rispetto al calcolo approssimativo, i bambini con DCE hanno prestazioni inferiori dei bambini con DE e ai normali, segno che la capacità di effettuare delle approssimazioni rappresenta un deficit centrale per le difficoltà in matematica e sembra essere indipendente dalle abilità linguistiche, ma sembra legata a deficit spaziali sottostanti (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu e Tsivkin, 1999). I bambini con doppio deficit presentano particolari problemi nella risoluzione di problemi presentati in forma orale rispetto agli altri tre gruppi. Per il calcolo esatto, i bambini con DCE e doppio deficit utilizzano strategie di conteggio sulle dita più spesso degli altri bambini, anche se l'accuratezza dei bambini con doppio deficit risulta inferiore a quella degli altri tre gruppi. Per la comprensione del valore dei numeri, i bambini con doppio deficit hanno prestazioni inferiori rispetto ai normali e rispetto ai

bambini con DE o DCE. Per il calcolo scritto, entrambi i gruppi con DCE hanno prestazioni inferiori rispetto ai normali, ma non rispetto ai bambini con DE. I bambini con DCE hanno un vantaggio rispetto a quelli con doppio deficit rispetto ad abilità matematiche che sono legate all'aspetto linguistico (come ad esempio la risoluzione di problemi), ma non rispetto ad abilità legate alla grandezza numerica, a processi visuospatiali e automaticità. In breve lo studio di Hanich e coll. (2001) ha dimostrato che i bambini con DCE sono da considerarsi separatamente rispetto ai soggetti con doppio deficit.

ESPERIMENTO 4

Il decorso temporale dell'attenzione visiva nella Dislessia e nella Discalculia

Evolutiva: evidenze dalle doppie dissociazioni

Il presente studio nasce dagli interessanti risultati degli Esperimenti 1 e 3, nei quali abbiamo dimostrato la presenza di un lento orientamento dell'attenzione automatica visiva sia nei soggetti con DEN- che con DCEI- rispetto ai controlli (sia per età cronologica sia per livello di abilità) ed ai rispettivi sperimentali senza deficit specifico (DEN+ e DCEI+). Abbiamo quindi deciso di studiare il decorso dell'attenzione visiva nei bambini con DE e/o DCE e dissociazioni tra le specifiche abilità nella decodifica fonologiche (i.e., Lettura di nonparole; Sartori e coll., 1995) e nell'accesso alla LNM (i.e., Inserzioni; Biancardi e Nicoletti, 2004) in un approccio multi-componenziale. La nostra ipotesi è che, il lento orientamento dell'attenzione visiva sia un fattore di rischio (necessario ma non sufficiente), e che quindi sia necessaria la co-occorrenza di altri fattori di rischio affinché si possano manifestare gli specifici disturbi nella decodifica fonologica e/o nell'accesso alla LNM.

PARTECIPANTI

Il gruppo sperimentale era composto da 55 bambini con DE e/o con DCE, di cui 27 maschi e 18 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.32 anni, DS = 1.76 anni). I bambini appartenenti a questo gruppo avevano ricevuto la diagnosi di DE e/o DCE in base ai criteri del DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994). Per la DE, la loro prestazione nella velocità e/o accuratezza della Lettura di brano (Cornoldi e coll., 1998), di Liste di parole e di Liste di nonparole (Sartori e coll., 1995) era inferiore a due deviazioni standard rispetto alla media calcolata sulla popolazione di pari età cronologica. Le competenze aritmetiche sono state indagate attraverso la somministrazione della BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004). Tutti i soggetti cadevano al di sotto di 70 in almeno uno dei tre quozienti, indicando la presenza di DCE (QN: media = 69.80, DS = 19.75; QC: media = 67.47, DS = 17.27; QNC: media = 64.31, DS = 16.85). Il campione sperimentale era stato selezionato, oltre che in base al disturbo specifico nelle abilità di lettura e/o aritmetiche, anche in base ai seguenti criteri:

- a) quoziente intellettivo (QI) totale superiore a 85 (misurato attraverso la somministrazione della scala WISC-R (Wechsler, 1986);
- b) assenza di disturbi neurologici;
- c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;
- d) assenza di un Disturbo Specifico del Linguaggio (spesso associato alla DE e alla DCE, valutato secondo i criteri del DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994);
- e) assenza di Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (spesso associato alla

DE e alla DCE, valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);

f) assenza di disturbi comportamentali o emotivi evidenti.

Il gruppo sperimentale è stato ulteriormente diviso in sottogruppi a partire dalla prestazione nell'accuratezza di lettura nella Lista di nonparole (Sartori e coll., 1995; metodologia già utilizzata nell'Esperimento 1; si veda anche Facchetti e coll., 2006) e dalla prestazione nelle Inserzioni della BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004; metodologia già utilizzata nell'Esperimento 3). Sono stati così ottenuti 4 gruppi:

- 17 bambini senza disturbo nella decodifica fonologica e senza disturbo nell'accesso alla LNM (N);
- 15 bambini con disturbo nella decodifica fonologica ma senza disturbo nell'accesso alla LNM (L);
- 13 bambini senza disturbo nella decodifica fonologica ma con disturbo nell'accesso alla LNM (C);
- 10 bambini con disturbo nella decodifica fonologica e con disturbo nell'accesso alla LNM (M).

Le abilità di consapevolezza fonologica, giacché considerate un cruciale deficit nella DE (Ramus, 2003; Goswami e Ziegler, 2005), sono state indagate usando la prova di Spoonerismo tratta dal Test CMF (Valutazione delle Competenze Metafonologiche, di Marotta, Ronchetti, Trasciani e Vicari, 2008). Questa prova consiste nella presentazione orale di 15 coppie di parole, per ognuna delle quali il bambino deve scambiare il primo fonema in modo da ottenere altre due parole di senso compiuto (e.g., "TASCA e VELA" diventano "VASCA e TELA").

I 4 sottogruppi individuati erano pareggiati per età cronologica e QI Totale.

L'analisi univariata, eseguita per confrontare le prestazioni nelle diverse prove cliniche nei 4 sottogruppi, mostra che la differenza non è significativa nel sub-test del Cifrario (WISC-R, Wechsler, 1986), indicando che i gruppi non differiscono rispetto all'apprendimento e all'automatizzazione di procedure di decodifica numerico-simboli, funzione prevalentemente controllata dal cervelletto (Vicari, Marotta, Menghini, Molinari e Petrosini, 2003). Si veda la **Tabella 8**.

	Età (anni)		QI Totale		Cifrario (Punteggio Ponderato)		Disegno con cubi (Punteggio Ponderato)*		Spoonerismo (errori)*	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
N(n=17)	10.42	0.26	105.65	3.13	9.41	0.62	11.00	0.68	7.93	1.35
L(n=15)	10.16	0.28	101.80	3.33	8.60	0.67	11.07	0.72	12.47	1.44
C(n=13)	10.06	0.30	103.69	3.58	8.92	0.71	8.77	0.78	8.54	1.55
M(n=10)	10.64	0.34	102.80	4.08	9.40	0.81	8.20	0.88	13.80	1.77

Tabella 8 - *significativa differenza fra i gruppi, $p < .05$

I gruppi mostrano invece di differire significativamente rispetto nelle seguenti prestazioni:

- Disegno con cubi (WISC-R), $F(3,51) = 3.68$, $p < .02$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. C ($p = .035$), N vs. M ($p = .015$), L vs C ($p = .034$), L vs M ($p = .015$) ma non fra N vs. L e C vs. M, indicando che i gruppi con caduta nell'accesso alla LNM (C ed M) hanno prestazioni significativamente peggiori nel Disegno con cubi rispetto ai gruppi senza caduta (N ed L). Si veda la **Figura 14**.

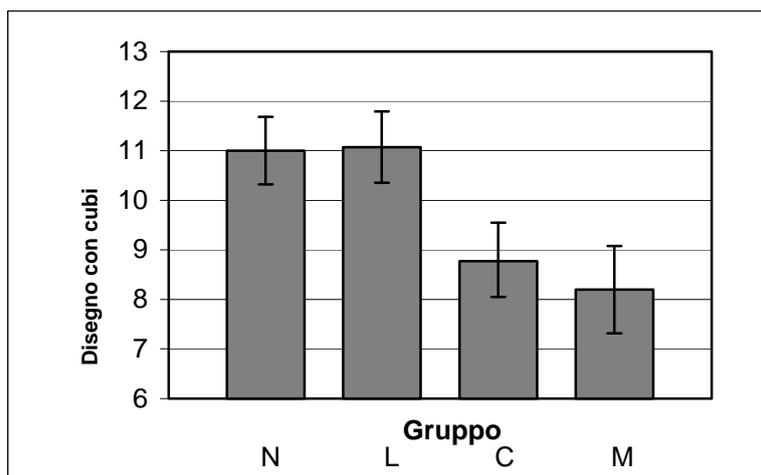


Figura 14

- Spoonerismo (errori), $F(3,51) = 3.5$, $p < .05$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. L ($p = .026$), N vs. M ($p = .011$), C vs. L ($p = .035$), C vs. M ($p = .030$) ma non fra N vs. C e M vs. L, indicando che i gruppi con caduta nella decodifica fonologica (L ed M) hanno prestazioni significativamente peggiori nello Spoonerismo rispetto ai gruppi senza caduta (N e C). Si veda la **Figura 15**.

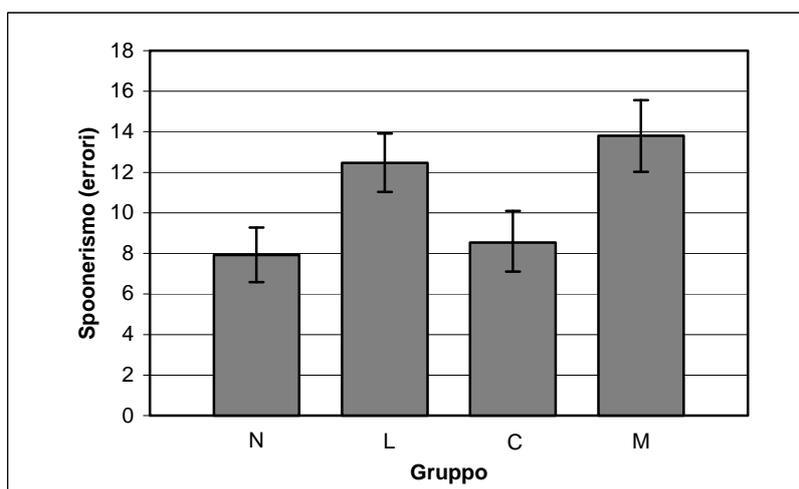


Figura 15

Per le altre funzioni neuropsicologiche valutate con specifiche prove comportamentali, si vedano i Materiali Supplementari, Allegato A.

Il gruppo di controllo era composto da 84 bambini, di cui 51 maschi e 33 femmine, di età compresa tra i 6 e i 12 anni (media 9.09 anni, DS = 1.12 anni). I criteri di inclusione del gruppo di controllo erano:

- a) prestazione nella lettura di Liste di parole e di nonparole nella norma (Sartori e coll., 1995), infatti la media nella lettura di parole era: accuratezza $z = + 0.57$, DS = 0.42; velocità $z = + 0.76$, DS = 0.44, e nella lettura di nonparole era: $z = + 0.68$, DS = 0.54; velocità $z = + 0.52$, DS = 0.58;
- b) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;
- c) assenza di difficoltà scolastiche, come suggerito dai loro insegnanti.

Il gruppo di controllo è stato ulteriormente diviso per costituire un gruppo di bambini pareggiati per età cronologica (CE), ed un secondo gruppo di controllo in fase iniziale degli apprendimenti (prima e seconda elementare, CA. Il gruppo dei CE è formato da 66 bambini, di cui 45 maschi e 21 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.38, DS = 0.13). Il gruppo dei CA è formato da 18 bambini, di cui 10 maschi e 8 femmine, di età compresa fra i 6 e gli 8 anni (media = 7.80 anni, DS = 0.26).

I soggetti CE hanno effettuato anche 5 sub-test della BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004: Lettura di numeri, Inserzioni, Moltiplicazioni a mente, Addizioni e sottrazioni con risultato entro 10 e Calcolo scritto). I risultati di tutte le prove differivano significativamente rispetto alle prestazioni del gruppo sperimentale.

Tutti i soggetti avevano abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali.

APPARATI E PROCEDURE

E' stato somministrato lo stesso compito di orientamento implicito dell'attenzione spaziale dell'Esperimento 3 (si veda il Capitolo 2), nelle stesse condizioni ambientali. Si veda la **Figura 11** per una rappresentazione schematica del compito.

RISULTATI

Gli errori nel compito di attenzione spaziale visiva (risposte alle prove nulle e le mancate risposte al bersaglio) erano inferiori al 2%. Le prove con TR inferiori a 150 ms (anticipi) e superiori a 2.5 DS (ritardi) erano circa il 1%. Infine, i movimenti oculari erano circa il 2% delle prove. Le prove con errori, con anticipi o ritardi, e con movimenti oculari sono state eliminate prima di eseguire le analisi statistiche.

Per ogni soggetto, abbiamo calcolato l'effetto dell'indizio (si veda l'Esperimento 3) per ognuno dei 4 SOA. La media dei TR è stata analizzata nei 6 gruppi mediante 4 analisi ANOVA univariate, una per ogni SOA, guidati dall'ipotesi di un lento orientamento dell'attenzione visiva trovato nell'Esperimento 1 e 3, sia nei bambini con caduta nella decodifica fonologica che in bambini con difficoltà nell'accesso alla LNM.

E' risultata significativa solo la differenza fra gruppi al SOA 100 ms, cioè nell'indice di rapido orientamento dell'attenzione, $F(1,133) = 2.52, p=.033$, compatibilmente con la nostra ipotesi, mentre ai SOA successivi (250, 400 e 550 ms) i gruppi sembrano mostrare effetti dell'indizio non differenti tra loro.

Le analisi pianificate mostrano che il gruppo CA (effetto dell'indizio = 36 ms, facilitazione) differisce significativamente vs. i gruppi L (5 ms, $p=.013$), C (- 5 ms, $p=.003$) e M (- 1 ms, $p=.009$), mentre non differisce dall'altro gruppo di controllo

CE (20 ms) e da N (cioè dai bambini senza caduta nella decodifica fonologica e senza caduta nell'accesso alla LNM, 24 ms). Il gruppo CE differisce significativamente dal gruppo C (- 5 ms, $p=.044$), mentre c'è una tendenza alla significatività vs. i gruppi L (5 ms, $p=.095$) e M (- 1 ms, $p=.058$). Il gruppo N, infatti, differisce significativamente sia dal gruppo C (- 5 ms, $p=.023$) che dal gruppo M (- 1 ms, $p=.049$), mentre c'è una tendenza vs. L (5 ms, $p=.79$).

Il gruppo L non differisce né dal gruppo C né dal gruppo M ed inoltre il gruppo C non differisce dal gruppo M, confermando il lento meccanismo di orientamento dell'attenzione nei soli soggetti che presentano deficit nella decodifica fonologica e/o nell'accesso alla LNM. Si veda la **Figura 16**.

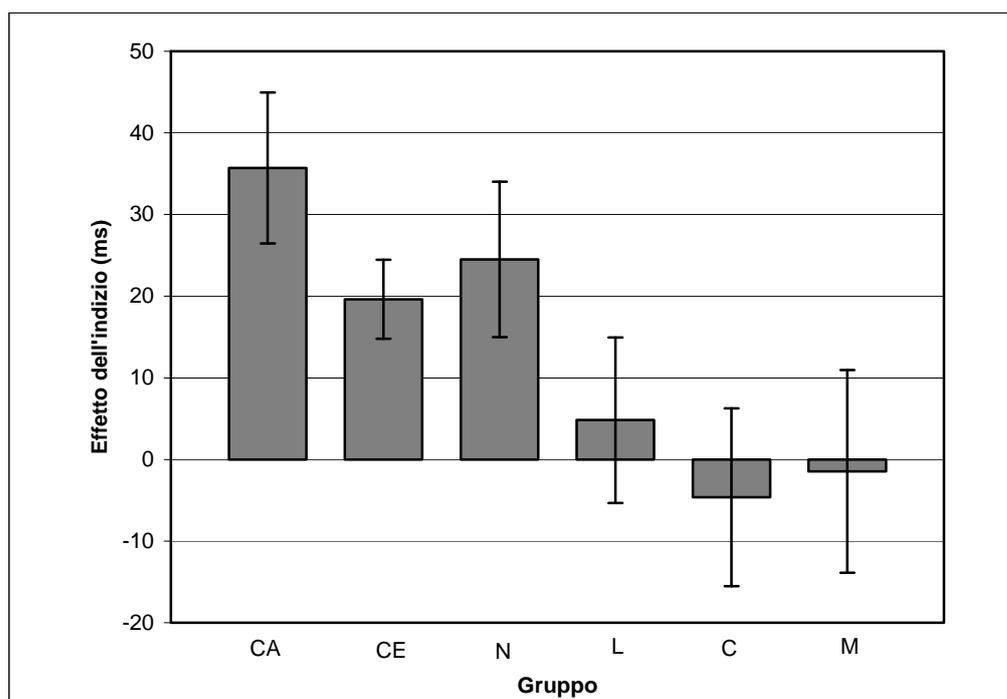


Figura 16

DISCUSSIONE

I risultati mostrano che i bambini del gruppo sperimentale L, cioè con una caduta nella decodifica fonologica, del gruppo C, cioè con caduta nell'accesso alla LNM, e del gruppo M, cioè con caduta sia nella decodifica fonologica sia nell'accesso alla LNM, hanno un lento meccanismo di orientamento automatico dell'attenzione spaziale. Infatti, non presentano facilitazione al SOA 100 ms, mentre la presentano solo a partire dal SOA 250 ms. Il gruppo di controllo pareggiato per età (CE) mostra invece di orientare l'attenzione già dal SOA 100 ms, cioè quando l'intervallo fra indizio e stimolo bersaglio è molto breve. L'altro gruppo di controllo, quello costituito da bambini in fase iniziale di apprendimento (CA), mostra anch'esso di orientare l'attenzione già al SOA 100 ms, dimostrando che non è l'apprendimento formale a stimolare l'orientamento rapido dell'attenzione affinché diventi sempre più efficiente, ma è un processo già attivo in età precoce. Anche nei bambini prescolari la facilitazione dell'indizio risulta presente al SOA 100 ms (dati non riportati nella presente Tesi). Inoltre, anche il gruppo N, costituito da bambini con DE e/o con DCE ma comunque senza deficit nella decodifica fonologica e nell'accesso alla LNM, mostra di orientare efficacemente l'attenzione già al SOA 100 ms, confermando lo stretto legame fra rapido orientamento dell'attenzione visiva e accurata scansione grafema-fonema durante la decodifica fonologica, così come fra rapido orientamento dell'attenzione e l'accesso alla LNM durante compiti di rappresentazione di quantità numeriche. L'orientamento rapido dell'attenzione spaziale sembra dunque essere il comune fattore di rischio ai disturbi di DE e DCE con caduta nelle due specifiche funzioni indagate (decodifica fonologica e accesso alla LNM). Tuttavia, come spiegare allora la diversità comportamentale riscontrabile nelle doppie dissociazioni?

La letteratura scientifica suggerisce che la DE sia accompagnata dalla presenza di deficit nella rappresentazione fonologica (Ramus, 2003; Goswami, 2003; Goswami e Ziegler, 2005). Alcuni autori dichiarano che ci sono tre grandi aspetti da considerare rispetto al deficit fonologico (Wagner e Torgesen, 1987), infatti nella DE è stata dimostrata la presenza di: (i) una scarsa consapevolezza fonologica (ad esempio in compiti di delezione di fonemi); (ii) scarsa memoria a breve termine verbale (ad esempio in compiti di ripetizione di cifre); (iii) scarsa velocità nel recupero lessicale (ad esempio in compiti di denominazione rapida di stimoli) (Ramus, 2007).

E' in quest'ottica che abbiamo pensato di interpretare i risultati del nostro esperimento: la natura multi-componenziale che caratterizza la complessità di disturbi quali la DE e la DCE. Le nostre analisi hanno mostrato che sia i bambini del gruppo L che quelli del gruppo M, entrambi caratterizzati da un deficit nella decodifica fonologica hanno prestazioni significativamente peggiori degli altri gruppi (CA, CE, N e C) nella prova di Spoonerismo (in cui è coinvolta sia la consapevolezza fonologica che la memoria a breve termine verbale). Quindi i bambini con caduta nella decodifica fonologica presentano sia un ritardo nell'orientamento dell'attenzione visiva che difficoltà fonologiche, ed entrambe le funzioni neurocognitive deficitarie sarebbero co-fattori necessari all'espressione della DE. L'efficace e rapido orientamento dell'attenzione spaziale interviene infatti nel processo di segregazione grafemica delle singole lettere durante la lettura, processo indispensabile nelle fasi iniziali dell'apprendimento e per la lettura di parole nuove (si veda Frith, 1986, per un modello evolutiva dell'apprendimento della lettura, e Perry e coll., 2007 per il modello computazionale della lettura a due vie). La consapevolezza fonologica, invece interviene durante il mappaggio e la

conversione grafema-fonema, anch'essa necessaria affinché si possano leggere in modo efficiente le nonparole e le parole nuove.

Sempre in un'ottica multi-componenziale e probabilistica, la letteratura scientifica suggerisce che la DCE sia accompagnata da disturbi di natura visuo-spaziale, quali deficit nella memoria di lavoro visuospaziale (Rotzer, Loenneker, Kucian, Martin, Klaver, Von Aster, 2009) e nelle abilità visuo-costruttive (ad esempio nel Disegno con cubi, Bachot, Gevers, Fias e Roeyers, 2005). Le nostre analisi hanno mostrato che sia i bambini del gruppo C che quelli del gruppo M, entrambi caratterizzati da un deficit nell'accesso alla LNM (compito delle Inserzioni) hanno prestazioni significativamente peggiori degli altri gruppi di controllo (CA, CE, N e L) nella prova di Disegno con cubi (in cui è coinvolta sia la rappresentazione mentale dell'immagine da riprodurre che la manipolazione visuo-costruttiva dei cubetti). Quindi i bambini con caduta nell'accesso alla LNM presentano sia un ritardo nell'orientamento dell'attenzione visiva che difficoltà di natura visuo-costruttiva, ed entrambe le funzioni neurocognitive deficitarie sarebbero co-fattori necessari all'espressione della DCE. L'efficace e rapido orientamento dell'attenzione visiva potrebbe intervenire infatti nella costruzione della LNM attraverso l'esplorazione dell'ambiente e delle grandezze fisiche in cui siamo inseriti sin dalla nascita, e continua ad essere necessaria durante l'esplorazione e il riferimento alla stessa LNM per potere effettuare compiti di confronto e rappresentazione di quantità numeriche. Infatti alcuni recenti studi hanno suggerito che la direzione dell'attenzione lungo la LNM può utilizzare gli stessi meccanismi coinvolti nell'orientamento dell'attenzione spaziale (Nobre e coll., 2004; Longo e Lourenco, 2001).

Questo risultato dimostra per la prima volta la necessità di un modello eziopatogenetico di tipo multi-componenziale (non uni-causale) in cui un singolo

deficit dominio-generale (e.g., attenzione spaziale visiva) risulta necessario ma non sufficiente affinché un'abilità dominio-specifica sia disfunzionale (decodifica fonologica e l'accesso alla LNM), richiedendo quindi l'associazione con almeno un altro disturbo dominio-specifico (e.g., la consapevolezza fonologica per la difficoltà nella decodifica fonologica e le abilità visuo-costruttive per la difficoltà nell'accesso alla LNM).

CAPITOLO 4 - DISTURBO VISUO-SPAZIALE

INTRODUZIONE

Studiando la popolazione di bambini con Disturbi Specifici degli Apprendimenti (i.e., DE e DCE), abbiamo individuato bambini con un pattern di funzionamento caratterizzato da gravi difficoltà in ambito visuo-spaziale. L'insieme delle abilità visuo-spaziali può essere sommariamente definito come le capacità di percepire e di operare nello spazio fisico oppure su rappresentazioni mentali, in funzione di coordinate spaziali (Grossi e Trojano, 2002). Le abilità visuo-spaziali permettono di eseguire svariate operazioni: localizzare gli stimoli nello spazio; cogliere le relazioni spaziali esistenti tra di essi; apprezzarne la distanza e le dimensioni relative e assolute (Cornoldi, Friso, Giordano, Molin e Rigoni, 1997).

Non esiste una teoria unica e condivisa sulle caratteristiche delle abilità visuo-spaziali ma ci sono alcune classificazioni e suddivisioni, fatte da autori diversi, che si riferiscono alla loro diagnosi clinica e al loro trattamento (Sabbadini, 1995; Cornoldi e coll., 1997). Cornoldi e Vecchi (2003) specificano che ogni tentativo di classificazione delle abilità visuo-spaziali dipende dagli strumenti utilizzati per rilevare tali capacità. Quindi ogni classificazione non può essere completa ed esaustiva ma solo parziale, poiché non è unica e condivisa ma rispecchia le teorie e i test utilizzati nell'indagine clinica (Facchin, 2005).

Il neuropsicologo canadese B.P. Rourke si è dedicato allo studio dei disturbi specifici dell'apprendimento, dando particolare rilievo a questo aspetto, finora poco investigato, relativo alle abilità visuo-spaziali, delineando le caratteristiche

funzionali del disturbo da lui definito *Sindrome Non Verbale* (Rourke, 1989; 1993; 1995; 2000). Tale classificazione non è tuttavia ancora stata riconosciuta dai manuali diagnostici internazionali (DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994 e ICD-10, World Health Organization, 1993). Attraverso successive rielaborazioni della cornice di riferimento, Rourke ha definito il *Fenotipo Non Verbale (FNV)* come pattern di funzionamento riscontrabile in diverse patologie genetiche o acquisite e fattori di rischio (nascita prematura e/o sottopeso), associato ad anomalie della materia bianca (Rourke, 2002). Il FNV è caratterizzato da difficoltà nell'area visuo-spaziale in presenza di adeguate abilità linguistiche, riscontrabile in prima istanza nel forte divario fra componenti verbali e non verbali nel punteggio *QI (WISC-R, Wechsler, 1986)*, cioè fra il *QIV*, che rappresenta le abilità verbali assimilate nell'ambiente educativo e scolastico di appartenenza, e il *QIP*, che misura le competenze spaziali, meccaniche e pratiche, la destrezza nell'elaborare e manipolare immagini, l'analisi e sintesi visuo-percettiva e la coordinazione visuo-motoria, ossia il quoziente che definisce l'abilità di un soggetto nella modalità visiva di pensiero (Padovani, 1998).

Le principali dimensioni del FNV sono suddivise secondo un ordine sequenziale: i tratti primari confluiscono in quelli secondari e questi nei terziari che, a loro volta, determinano gli aspetti linguistici e, da ultime, le abilità scolastiche e psicosociali (Rourke, 2002). Si riscontrano deficit significativi nella percezione tattile e visiva, nelle abilità psicomotorie complesse e nell'adattamento a circostanze nuove. A livello delle risorse primarie, il bambino con FNV predilige la modalità uditiva nel gestire le informazioni provenienti dall'ambiente esterno. Nella prima infanzia si verifica di frequente un certo ritardo nell'acquisizione della parola. Tale difficoltà iniziale viene solitamente superata e il bambino si impadronisce rapidamente del

mezzo linguistico. I progressi in questa abilità procedono speditamente e si raggiungono anche livelli superiori alla media. Il comportamento esplorativo appare carente in termini di qualità e di frequenza per la difficoltà ad adattarsi alla novità e i limiti delle competenze psicomotorie complesse (Rourke, 2002). Sul piano delle risorse e dei disordini secondari, si possono individuare buone capacità di attenzione uditiva e verbale, ma difficoltà nell'attenzione visiva e tattile. L'utilizzo preferenziale della modalità uditiva e verbale per l'interazione con il mondo costituirà il mezzo principale di compensazione delle abilità visuo-spaziali e favorirà l'instaurarsi di un divario maggiore tra le due abilità in questione (Rourke, 2002). Sul piano delle risorse e dei disordini terziari, la memoria uditiva e verbale riesce a conservare stimoli facilmente codificabili, mentre la memoria per stimoli visivi, tattili e motori continua ad essere disfunzionale nel corso dello sviluppo. Rourke (1995) ha rilevato che un buono sviluppo della memoria per stimoli uditivi e un inappropriato sviluppo per quelli visivi rifletterebbe una sequenza di causa-effetto per cui ad una inadeguata capacità percettivo-attenzionale corrisponderebbe una scadente abilità nel rievocare informazioni visuo-spaziali ed a queste, infine, si assocerebbe un'insufficiente memoria di tipo tattile e visuo-spaziale.

In letteratura sono inoltre presenti lavori che associano il FNV a deficit nella percezione sociale (Johnson e Myklebust, 1967; Forrest, 2004), definiti come difficoltà ad interpretare sia le emozioni espresse dalle altre persone che la percezione di sé in relazione agli altri. I bambini con FNV non riescono infatti a prevedere ed anticipare il comportamento e le emozioni altrui, comprendere il significato delle espressioni facciali e dei gesti, cogliere le sottigliezze delle emozioni dell'interlocutore, comprendere l'umorismo e il sarcasmo (restano ad un livello letterale di comprensione del messaggio). In uno studio condotto su bambini

FNV, Johnson e Myklebust (1967) trovano un sottogruppo di bambini con difficoltà nella percezione sociale, nonostante le abilità linguistiche fossero in norma o al di sopra: la difficoltà era proprio nello scarso utilizzo di queste abilità nell'interazione con gli altri. Interessante notare che la maggior parte dei bambini di questo sottogruppo aveva da 20 a 30 punti di discrepanza fra le abilità verbali e di performance nella scala WISC-R (Wechsler, 1986). Alcuni autori (Rourke, 1989; Tsatsanis, Fuerst e Rourke, 1997) ipotizzano che sia il linguaggio ripetitivo e stereotipato (l'eloquio può avere una prosodia o un ritmo insoliti, con intonazione scarsa e meccanica) dei bambini con FNV, insieme al fallimento nel cogliere gli indizi sociali, a causare l'isolamento sociale in cui spesso si ritrovano questi bambini, con il conseguente incremento del rischio di sviluppare una psicopatologia di tipo internalizzato (depressione). Una delle ipotesi eziopatogenetiche di questo disturbo poggia infatti sull'ipotesi di una disfunzione dell'emisfero cerebrale destro, specializzato sia per i compiti di natura visuo-spaziale (Semrud-Clikeman e Hynd, 1990) che per le componenti dell'elaborazione affettiva (Nass e Koch, 1991)

Rispetto agli apprendimenti scolastici, la lettura e la scrittura incontrano numerosi ostacoli solo nelle fasi iniziali degli apprendimenti, a causa dei limiti incontrati nel trattare e organizzare il nuovo materiale presentato (lettere, sillabe e digrammi). Tuttavia, non appena l'alfabetizzazione è completata e il bambino ha avuto tempo sufficiente per discriminare, riconoscere e quindi apprendere visivamente questi simboli, l'apprendimento della lettura procede generalmente senza ulteriori difficoltà (Cornoldi, 1997). L'apprendimento della scrittura segue un percorso evolutivo simile, anche se si aggiungono le difficoltà intrinseche ad una attività complessa di tipo grafo-motorio: le difficoltà nelle percezione tattile, visuo-percettiva e psicomotoria rendono più complesso il percorso per imparare a scrivere e spesso

permangono difficoltà di natura grafica (Disgrafia Evolutiva).

Rourke (2002) individua 10 criteri diagnostici utili per individuare bambini con FNV, riassumendone il profilo funzionale:

1. Deficit bilaterali nella percezione tattile, solitamente più marcati nella parte sinistra del corpo;
2. Deficit bilaterali nella coordinazione motoria, solitamente più marcati nella parte sinistra del corpo. Compiti semplici e ripetitivi possono raggiungere livelli di funzionamento normale, mentre restano deficitarie le abilità motorie complesse;
3. Significativa difficoltà nelle abilità visuo-spaziali e nelle funzioni esecutive;
4. Difficoltà nell'adattamento a situazioni nuove e nella comprensione di situazioni complesse, tendenza a comportarsi in modo inappropriate in situazioni in cui andrebbero colti alcuni segnali non verbali dall'interlocutore;
5. Difficoltà nel problem-solving non verbale, dove cioè il linguaggio non può guidare la risoluzione di un compito, la formazione di un concetto, la formulazione e verifica di un'ipotesi;
6. Senso del tempo distorto, infatti si riscontra una difficoltà nella stima dell'intervallo di tempo trascorso, nella stima del tempo impiegato a svolgere un compito;
7. Adeguato sviluppo di abilità verbali (lettura di parole singole, spelling), ma difficoltà nella comprensione del testo;
8. Presenza di verbosità, talvolta ripetitività nell'esposizione di un pensiero, possono essere presenti disturbi negli aspetti funzionali del linguaggio e nella pragmatica;
9. Difficoltà in ambito aritmetico o discrepanza fra queste e le buone competenze linguistiche;

10. Deficit significativo nella percezione sociale, nella costruzione di giudizi e interazioni, talvolta associato a comportamenti di isolamento, ansia anticipatoria per situazioni nuove, rischio di psicopatologie internalizzate in tarda fanciullezza ed adolescenza.

Vorrei sottolineare lo stretto rapporto interattivo (o circolare) esistente tra abilità visuo-spaziali e quelle prassiche in età evolutiva; infatti, il movimento richiede l'uso di rappresentazioni visuo-spaziali e, viceversa, lo sviluppo di rappresentazioni visuo-spaziali è facilitato da una certa abilità di movimento nell'ambiente circostante (Mammarella, Cornoldi, Pazzaglia, 2006). Il poter calcolare distanze fra gli oggetti, la posizione delle parti del proprio corpo nello spazio, quindi possedere una adeguata consapevolezza propriocettiva, richiede necessariamente la presenza di adeguate abilità visuo-spaziali (Mammarella e coll., 2006).

Inoltre, data la stretta relazione fra spazio e numero (si veda la letteratura nel Capitolo 2 sulla DCE), i bambini con FNV incontrano un ostacolo nell'affrontare compiti aritmetici, dove confondono simboli e procedure, hanno difficoltà nella corretta segmentazione delle cifre durante la lettura di numeri, nel riconoscimento di simboli quali maggiore e minore, nell'allineamento di numeri in colonna e nelle procedure del calcolo scritto (Cornoldi e coll., 1997). Forrest (2004) ha studiato le abilità aritmetiche di un gruppo di bambini con FNV, rilevando che 5 dei 7 bambini con difficoltà in ambito aritmetico commettevano un numero significativamente maggiore di errori nel Disegno con cubi, nell'Attenzione visiva e nei Labirinti (NEPSY, Korkman, Kirk e Kemp, 2007). Quindi le difficoltà aritmetiche potrebbero, secondo Forrest (2004), almeno in parte, basarsi su difficoltà visuo-percettive.

Inoltre Forrest (2004), propone una diversa classificazione dei bambini con FNV,

infatti propone di creare una categoria denominata Visual-Spatial Disability (VSD) per i bambini che presentano primariamente disturbi di natura visuo-spaziale, tali da compromettere le prestazioni scolastiche in matematica, ed un'altra categoria denominata Social Processing Disorder (SPD) per i bambini che presentano primariamente deficit nelle abilità sociali tali da compromettere l'adattamento sociale. Nel VSD i deficit visuo-spaziali si potrebbero accompagnare a deficit nelle funzioni esecutive e di regolamento del comportamento, rischiando di sviluppare disturbi psicopatologici secondari alle difficoltà visuo-spaziali, mentre nel SPD le difficoltà sociali sono la caratteristica primaria del disturbo.

I bambini con difficoltà di natura visuo-spaziale appartenenti al nostro campione sperimentale sono più simili alla categoria VSD proposta da Forrest (2004), rispetto al FNV di Rourke (2002). Infatti i bambini selezionati nel nostro studio non presentano deficit neurologici (indagati attraverso l'Esame Neurologico Obiettivo da parte del Neuropsichiatra Infantile), né psicopatologici (indagati attraverso il colloquio clinico con il bambino, i genitori e con gli insegnanti), quindi sono stati da noi identificati come bambini con un Disturbo Visuo-Spaziale (DVS). Il DVS offre un interessante laboratorio neuroevolutivo per testare l'ipotizzato legame causale tra le cognizione numerica e le elementari abilità visuo-spaziali (si veda per una recente rassegna Hubbard e coll., 2005). Precisamente, ci si aspetta che i bambini con DVS presentino quindi una DCE di tipo non verbale (il GAS dovrebbe essere efficiente), potenzialmente visuo-spaziale (SIP destro?) e/o attenzionale (CPP destro?). Poiché il DVS risulta decisamente distinto dalla DE e dalla DCE descritte nei Capitolo 1, 2 e 3, tale disturbo offre un'interessante occasione per testare l'ipotesi multi-componenziale (precedentemente descritta per la DE e la DCE) su una diversa popolazione. Precisamente, ci si aspetta che, ancora una volta, i bambini con una

caduta nell'accesso alla LNM (misurata con la prova delle Inserzioni, Biancardi e Nicoletti, 2004), presentino un disturbo dell'attenzione visiva, tuttavia distinto dal lento orientamento dell'attenzione rilevato sia nei bambini con DE e/o con DCE, poiché l'altro fattore di rischio, ovvero le abilità visuo-spaziali, sono per definizione significativamente alterate solo in questa specifica popolazione.

ESPERIMENTO 5

La percezione immediata di quantità numeriche nel Disturbo Visuo Spaziale

In letteratura sono presenti pochi lavori che indagano specificatamente il rapporto fra difficoltà visuo-spaziali e quelle aritmetiche, ciò ha stimolato ulteriormente il nostro lavoro. Uno dei pochi lavori in questo ambito è quello di Bachot e coll. (2005), che hanno studiato una popolazione di bambini con DVS per investigare la presenza di una anormale codifica dei numeri sulla LNM attraverso la misura dell'effetto SNARC. I risultati mostrano l'assenza di tale effetto, suggerendo un collegamento diretto fra difficoltà di natura visuo-spaziale e aritmetiche.

In questo ultimo Esperimento abbiamo indagato le abilità di orientamento automatico dell'attenzione in una popolazione di bambini con DVS. La nostra ipotesi era costruita a partire dai risultati dell'Esperimento 4, cioè dal rilevamento sia del lento orientamento dell'attenzione sia delle difficoltà visuo-costruttive nella DCE. Poiché le abilità visuo-costruttive sono notoriamente disfunzionali nei bambini con DVS (si veda l'Introduzione del presente Capitolo), così come abbiamo rilevato nei bambini con DCE, è probabile che il disturbo nell'orientamento dell'attenzione, se presente in questa distinta popolazione di bambini, debba essere di diversa natura rispetto a quello rilevato sia nei bambini con DE che in quelli con DCE (i.e., lento orientamento dell'attenzione). Ad un livello preliminare, abbiamo

somministrato un compito di percezione immediata di quantità numeriche (da 1 a 8 item) sia nei bambini DVS che nei controlli, proprio per indagare la possibilità che questi bambini avessero un disturbo nella rappresentazione di quantità numeriche. Successivamente (Esperimento 6) abbiamo somministrato il nostro compito di orientamento implicito dell'attenzione specificatamente per indagare il possibile collegamento fra le abilità visuo-spaziali, le abilità di rappresentazione di quantità numeriche ed il decorso temporale dell'attenzione visiva.

PARTECIPANTI

Il gruppo sperimentale era composto da 15 bambini con DVS, di cui 9 maschi e 6 femmine, di età compresa fra gli 8 e i 12 anni (media 10.07 anni, DS = 1.33 anni). I bambini appartenenti a questo gruppo avevano ricevuto la diagnosi di DVS a partire dalla discrepanza di almeno una deviazione standard fra QIV (media 102, DS = 11) e QIP (media 80, DS = 9), a discapito di quest'ultimo, nella WISC-R (Wechsler, 1986). Inoltre, le loro prestazioni in compiti di natura visuo-spaziale erano deficitarie, infatti nella figura di Rey-Osterrieth (Caffarra, Vezzadini, Dieci, Zonato, Venneri, 2002) hanno un punteggio z medio pari a -2.72, DS = 2.52 nella copia e di -2.64, DS = 1.4 nella memoria differita di 5 minuti. Nel Test di Corsi (memoria visuo-spaziale, Mammarella, Toso, Pazzaglia e Cornoldi, 2008), invece, i bambini con DVS, hanno un punteggio meno deficitario sebbene lo z medio fosse di -1.1 (DS = .52) nello span avanti e di -1 (DS = .89) nello span indietro.

Il campione sperimentale era stato selezionato, oltre che in base al DVS, anche in base ai seguenti criteri:

- a) quoziente intellettivo verbale (QIV) superiore a 85 (misurato attraverso la

somministrazione della scala WISC-R; Wechsler, 1986);

b) assenza di disturbi neurologici;

c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;

d) assenza di un Disturbo Specifico del Linguaggio (spesso associato ai Disturbi Specifici dell'Apprendimento e valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);

e) assenza di Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (spesso associato ai Disturbi Specifici degli Apprendimenti e valutato secondo i criteri del DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994);

f) assenza di disturbi comportamentali o emotivi evidenti.

Sono state inoltre indagate le abilità di lettura, attraverso la lettura di Liste di parole e di nonparole (Sartori e coll., 1995). I risultati mostrano un punteggio z medio nella velocità di lettura di parole di -1.74 (DS = 3.02) e nella correttezza di -.90 (DS = 1.7), mentre nella velocità di lettura di non parole un punteggio z medi di -1.5 (DS = 2) e nella correttezza di -.79 (DS = 1.84). Sono state indagate anche le competenze aritmetiche, attraverso la somministrazione della BDE (Biancardi e Nicoletti, 2004). Tutti i soggetti cadevano al di sotto di 70 in almeno uno dei tre quozienti, indicando la presenza di difficoltà in ambito aritmetico, i.e., QN medio 75 (DS = 18.2); QC medio 68 (DS = 17) e; QNC medio 67 (DS = 14).

Il gruppo sperimentale è stato ulteriormente diviso in due sottogruppi a partire dalla prestazione nelle Inserzioni (metodologia già utilizzata per gli Esperimenti 3 e 4). Sono stati così ottenuti i seguenti due gruppi: il gruppo DVSI-, composto da 9 bambini con DVS con caduta nelle Inserzioni e il gruppo DVSI+, 6 bambini con DVS senza caduta. I due sottogruppi DVS erano pareggiati per età cronologica, QI, differenza media fra QIV e QIP, prestazioni al Test di Corsi (sia memoria avanti che

indietro) e abilità di lettura (media fra i punteggi z negli indici di velocità e accuratezza nelle prove di lettura di Liste di parole e nonparole). Il gruppo DVSI- era maggiormente compromesso nel sub-test WISC-R di Disegno con cubi, $t(13) = 1.78$, $p=.049$; nel sub-test WISC-R Ricostruzione di oggetti, $t(13) = 2.48$, $p=.014$, nelle abilità aritmetiche (media fra i punteggi z di tutti i sub-test della BDE), $t(13) = 2.87$, $p=.006$, nella copia della Figura di Rey, $t(13) = 2.31$, $p=.020$). Si veda la

Tabella 9.

	DVSI -		DVSI +	
	Media	DS	Media	DS
Età	9.89	1.36	10.33	1.37
QI Totale	91.11	9.09	89.83	12.84
QI Verbale	102.56	9.80	102.00	13.31
QI Performance	80.67	8.54	79.00	10.37
Differenza QIV-QIP	21.89	7.49	23.00	6.07
Vocabolario	9.22	2.33	10.67	3.33
Memoria di cifre	7.00	3.35	9.17	3.82
Disegno con cubi *	4.56	2.79	7.17	2.79
Ricostruzione di oggetti *	4.44	2.07	6.67	.82
Test di Corsi (z avanti)	-1.09	.55	-1.04	.52
Test di Corsi (z indietro)	-1.15	.98	-.87	.79
Rey (z copia) *	-3.89	2.25	-1.17	2.08
Rey (z memoria)	-3.37	1.15	-1.68	1.15
Lettura (z medio)	-1.19	1.71	-1.20	1.54
BDE (z medio) *	-2.18	.72	-1.22	.47

Tabella 9 - *significativa differenza fra i gruppi, $p<.05$

Il gruppo di controllo (CE) era composto da 28 bambini, di cui 16 maschi e 12 femmine, di età compresa tra gli 8 e i 12 anni (media 9.64 anni, DS=1.2 anni). I criteri di inclusione del gruppo di controllo erano:

a) prestazione nella lettura di Liste di parole e di nonparole nella norma (Sartori e coll., 1995), infatti la media nella lettura di parole era: accuratezza $z = 0.48$ (DS = 0.47); velocità $z = .73$ (DS = .52), e nella lettura di non parole era: $z = .43$ (DS = .53); velocità $z = .54$ (DS = .60);

b) quoziente intellettivo nella norma stimato attraverso i sub-test di Memoria di cifre

e Disegno con cubi della scala WISC-R (Wechsler, 1986);

c) abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali;

d) assenza di difficoltà scolastiche, come suggerito dai loro insegnanti.

La media nel punteggio ponderato al sub-test Memoria di Cifre della WISC-R (Wechsler, 1986) è di 9.54 (DS=2.7), non differisce dai risultati del gruppo sperimentale, mentre la media nel Disegno con cubi differisce significativamente, ad ulteriore dimostrazione delle difficoltà in ambito visuo-spaziale del gruppo DVS (media DVS=5.6, DS=3, media CE=13.46, DS=2.74, $t(41)=8.68$, $p<.002$). I soggetti CE hanno effettuato anche 5 sub-test della BDE (Lettura di numeri, Moltiplicazioni a mente, Addizioni e sottrazioni con risultato entro 10, Inserzioni e Calcolo scritto). I risultati di tutte le prove differivano significativamente rispetto alle prestazioni del gruppo sperimentale. Si veda la **Tabella 10**.

		CE	DVS
Lettura numeri (z velocità) *	Media	-.15	-2.74
	DS	.89	2.98
Lettura numeri (z errori) *	Media	.13	-2.09
	DS	.74	2.70
Moltiplicazioni a mente (z errori) *	Media	.29	-1.47
	DS	.61	1.49
Fatti aritmetici (z errori) *	Media	.35	-2.09
	DS	.33	2.09
Calcolo scritto (z errori) *	Media	-.43	-1.63
	DS	1.01	1.51
Inserzioni (z velocità) *	Media	.41	-1.78
	DS	.62	1.28
Inserzioni (z errori) *	Media	.25	-.80
	DS	.62	2.09

Tabella 10 - *significativa differenza fra i gruppi, $p<.05$

Tutti i soggetti avevano abilità sensoriali (vista e udito) nella norma o corretti come tali.

APPARATI E PROCEDURE:

Compito di percezione immediata di quantità numeriche

Questo paradigma sperimentale è stato ideato da Zorzi e Fabbri (2010). L'esperimento è stato eseguito in una stanza debolmente illuminata (luminosità di 1.5 cd/m^2) e silenziosa (livello di pressione sonora circa 50 decibel). I soggetti erano seduti di fronte allo schermo di un computer (14 pollici, 1024×768 pixel di risoluzione, frequenza di aggiornamento 75 Hertz), con il capo appoggiato su un poggiatesta al fine di mantenere costante la distanza fra gli occhi e lo schermo (40 cm). Ogni prova iniziava con la presentazione di una configurazione di pallini (stimolo bersaglio) e si concludeva con la presentazione di una seconda configurazione di pallini (stimolo di confronto). Tra lo stimolo bersaglio e quello di confronto appariva una maschera, per inibire la memoria iconica. Ogni prova aveva inizio con la presentazione di una croce di fissazione nera su sfondo grigio, che appariva per 500 ms al centro dello schermo. Dopo una schermata grigia di altri 150 ms, compariva lo stimolo bersaglio (per 200 ms). Subito dopo appariva la maschera (per 150 ms), dopodiché compariva lo stimolo di confronto a cui il soggetto doveva rispondere. Lo stimolo di confronto restava sullo schermo per un tempo massimo di 5000 ms. Il compito dei soggetti consisteva nel giudicare se la numerosità dello stimolo bersaglio era uguale o diversa da quella dello stimolo di confronto, esprimendo a voce il proprio giudizio (UGUALE o DIVERSA), cosicché lo sperimentatore potesse premere il tasto corrispondente alla risposta data. L'accuratezza della risposta è l'unica variabile misurata. Ogni configurazione era formata da pallini bianchi su sfondo grigio che potevano assumere casualmente tre diverse dimensioni (0.3° , 0.4° e 0.5° di angolo visivo) ed occupare una posizione

casuale all'interno di una matrice di 16 celle (4x4) centrata sulla schermo. La maschera era costituita da pallini che occupano tutte le possibili posizioni in cui i punti potevano comparire. Inoltre, poiché i pallini possono avere diverse dimensioni, nella maschera ogni posizione è occupata da tre pallini di diverse dimensioni sovrapposti dal più grande al più piccolo. Lo stimolo di confronto e lo stimolo bersaglio possiedono numerosità comprese tra 1 e 8. Lo stimolo bersaglio rappresenta, nel 50% delle prove, una quantità uguale allo stimolo di confronto (match), e nell'altra metà una quantità diversa (non match). In quest'ultima condizione, con uguale probabilità il target è maggiore o minore di un'unità rispetto allo stimolo di confronto. Poiché si è stabilito che il target non assumesse valori inferiori ad 1, per lo stimolo di confronto 1 la condizione di non-match è una sola (n=2). La sessione sperimentale era costituita da 96 prove, ogni numerosità dello stimolo di confronto appariva 12 volte, mentre la fase di training era costituita da 25 prove. Si veda la **Figura 17**.

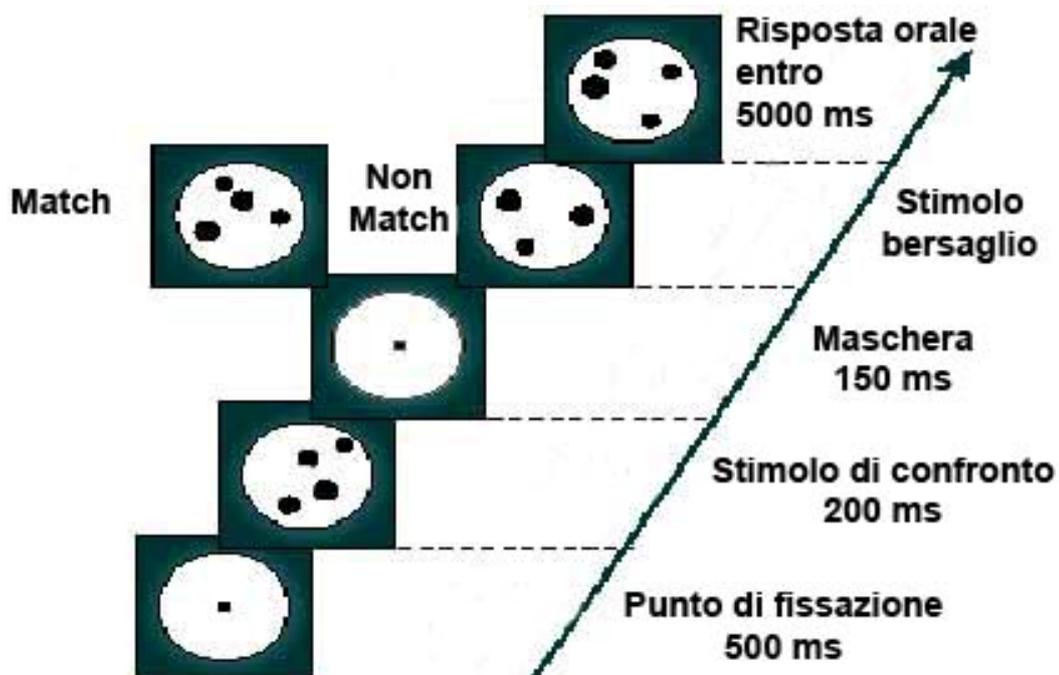


Figura 17

RISULTATI

Per ogni soggetto è stata calcolata la percentuale di risposte corrette ad ogni numerosità (configurazioni da 1 a 8 item), ed è poi stata trasformata in numero decimale nell'intervallo 0-1, dove 0 corrisponde allo 0% di risposte accurate e 1 corrisponde al 100% di risposte accurate. E' stata poi calcolata la media dell'accuratezza ad ogni numerosità nel gruppo CE e nel gruppo DVS. A questo punto è stata eseguita una ANOVA mista con due variabili:

- Fra i gruppi:

- Gruppo: 2 livelli: DVS e CE;

- Entro i gruppi:

- Numero di item: 8 livelli, corrispondenti alla numerosità dei pallini dello stimolo di confronto.

E' risultato significativo solo l'effetto principale del Numero di item, $F(7,41) = 30.73$, $p < .002$, indicando che alle diverse numerosità corrispondono percentuali di accuratezza diverse. Anche l'interazione Gruppo X Numero di item è risultata significativa, $F(7,41) = 2.58$, $p < .02$, indicando che i due gruppi si comportano diversamente nelle risposte a numerosità diverse. Si veda la **Figura 18**.

Abbiamo quindi eseguito dei *t*-test per confrontare la percentuale di accuratezza nei due gruppi per ogni numerosità presentata. All'item 1, la differenza fra i due gruppi non è significativa, entrambi i gruppi sono molto accurati nelle risposte. Ciò si ripete anche per l'item 2. All'item 3 la differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .89 (DS = .18), mentre il gruppo DVS di .78 (DS = .21), $t(41) = 1.87$, $p < .05$. All'item 4 c'è una tendenza alla significatività, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza

pari a .80 (DS = .25), mentre il gruppo DVS di .68 (DS = .23), $t(41) = 1.52$, $p=.068$. All'item 5 la differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .74 (DS = .23), mentre il gruppo DVS di .50 (DS = .27), $t(41) = 3.08$, $p<.005$. Anche all'item 6 la differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .60 (DS = .22), mentre il gruppo DVS di .48 (DS = .24), $t(41) = 3.1$, $p=.05$. Dall'item 7 la differenza non è significativa, indicando un effetto pavimento per entrambi i gruppi.

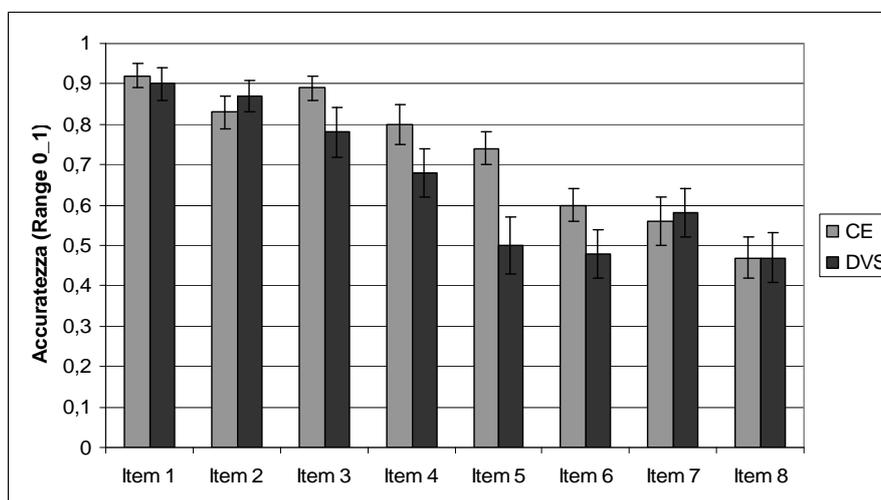


Figura 18

A questo punto abbiamo studiato la probabilità che le risposte accurate ottenute fossero pari al caso, eseguendo dei t -test con valore di riferimento pari a .50. Nel gruppo CE le risposte sono diverse dal caso sia all'item 1, $t(27) = 14.3$, $p<.002$, che all'item 2, $t(27) = 9.14$, $p<.002$, che all'item 3, $t(27) = 11.37$, $p=.001$, che all'item 4, $t(27) = 6.21$, $p<.002$, che all'item 5, $t(27) = 5.53$, $p<.002$, che all'item 6, $t(27) = 2.40$, $p<.05$, mentre all'item 7 ed 8 non c'è significatività, quindi i soggetti non riescono più a stimare le numerosità a partire dalla configurazione di 7 item, quando cioè il compito sarebbe risolvibile solo attraverso il conteggio dei punti.

Nel gruppo DVS le risposte sono diverse dal caso solo all'item 1, $t(14)=10.19$, $p<.002$, all'item 2, $t(14)=9.9$, $p<.002$, all'item 3, $t(14)= 5.01$, $p<.002$, e all'item 4, $t(14)=2.99$, $p<.010$, mentre dall'item 5 non c'è significatività, quindi i soggetti non riescono più a stimare le numerosità a partire dalla configurazione di 5 item.

A questo punto abbiamo ripetuto le analisi con il campione sperimentale diviso nei due sottogruppi, per verificare se, compatibilmente con le nostre ipotesi, è solo il gruppo che presenta una caduta nelle Inserzioni a presentare un deficit nella percezione immediata di quantità numeriche.

Abbiamo quindi eseguito due analisi ANOVA per confrontare, rispettivamente, le prestazioni nel compito di giudizio di numerosità immediate del gruppo DVSI+ vs. i CE e le prestazioni del gruppo DVSI- vs. i CE.

Prima ANOVA: mista, con due variabili:

- Fra i gruppi:

- Gruppo: 2 livelli: DVSI+; CE;

- Entro i gruppi:

- Numero di item: 8 livelli, corrispondenti alla numerosità dei pallini dello stimolo di confronto.

E' risultato significativo solo l'effetto principale del Numero di item, $F(7,32)=17.81$, $p=.001$, indicando che alle diverse numerosità corrispondono percentuali di accuratezza diverse. L'interazione Gruppo X Numero di item non è risultata essere significativa.

Seconda ANOVA: mista, con due variabili:

- Fra i gruppi:

- Gruppo: 2 livelli: DVSI-; CE;

- Entro i gruppi:

- Numero item: 8 livelli, corrispondenti alla numerosità dei pallini dello stimolo di confronto.

L'effetto principale del Gruppo è risultato essere significativo, $F(1,35) = 4.18$, $p < .05$, indicando che i due gruppi rispondono con accuratezze significativamente diverse. L'effetto principale del Numero di item è risultato significativo, $F(7,35) = 18.63$, $p < .002$, indicando che alle diverse numerosità corrispondono percentuali di accuratezza diverse. L'interazione Gruppo X Numero di item è risultata essere significativa, $F(7,35) = 2.17$, $p < .05$. Si veda la **Figura 19**.

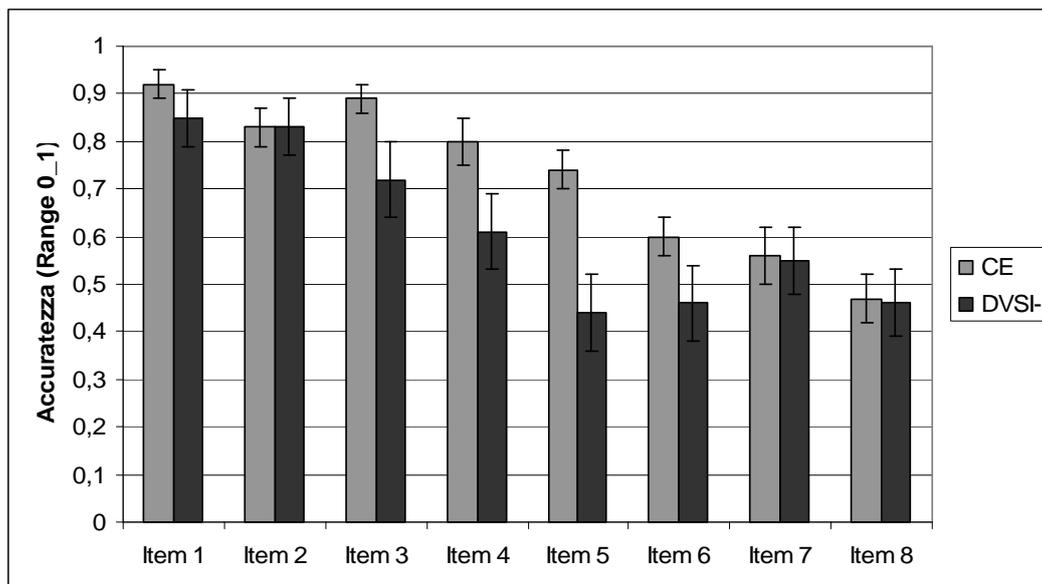


Figura 19

Abbiamo quindi eseguito dei *t*-test per confrontare la percentuale di accuratezza nei due gruppi per ogni numerosità presentata. All'item 1, la differenza fra i due gruppi non è significativa, entrambi i gruppi sono molto accurati nelle risposte. Ciò si ripete anche per l'item 2. All'item 3 la differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .89 (DS = .18), mentre il gruppo DVSI- di .72 (DS = .25), $t(35) = 2.24$, $p < .02$. All'item 4 la

differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .80 (DS = .25), mentre il gruppo DVSI- di .61, (DS = .23); $t(35) = 1.95$, $p=.029$. All'item 5 la differenza fra i due gruppi è significativa, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza maggiore, pari a .74 (DS = .23), mentre il gruppo DVSI- di .44 (DS = .23), $t(35) = 3.34$, $p<.005$. All'item 6 c'è una tendenza alla significatività, infatti il gruppo CE ha una percentuale di accuratezza pari a .60 (DS = .22), mentre il gruppo DVSI- di .46, (DS = .23), $t(35)= 1.61$, $p=.058$. Dall'item 7 la differenza non è significativa, indicando un effetto pavimento per entrambi i gruppi.

A questo punto abbiamo studiato la probabilità che le risposte accurate ottenute fossero pari al caso, eseguendo dei t -test con valore di riferimento pari a .50. Nel gruppo DVSI- le risposte sono diverse dal caso solo all'item 1, $t(8) = 6.01$, $p<.002$, all'item 2, $t(8) = 5.99$, $p<.002$ e all'item 3, $t(8) = 2.67$, $p<.05$, mentre dall'item 4 non c'è significatività, quindi i soggetti stimano la numerosità sino alla configurazione contenente 3 item.

DISCUSSIONE

I risultati ottenuti nel compito di percezione immediata di quantità numeriche indicano chiaramente che la rappresentazione di quantità numeriche nei bambini con DVS è deficitaria, quando comparata alle prestazioni dei bambini di pari età cronologica. Infatti già a partire dalla configurazione con 3 pallini, i bambini con DVS sono significativamente meno accurati nel giudicare se la numerosità dello stimolo bersaglio era uguale o diversa a quella dello stimolo di riferimento. Nei bambini di controllo, le risposte ottenute non sono casuali quando vengono confrontate configurazioni con 1 fino a 6 pallini, mentre per numerosità superiori (7

e 8) le risposte erano casuali. Ciò indica che, per mantenere le percentuali di accuratezza ottenute con numerosità inferiori, sarebbe necessario passare da una strategia di subitizing (per l'appunto quantificazione precisa ed immediata di piccole numerosità) ad una strategia di conteggio (si veda la dissociazione fra i due sistemi di rappresentazione numerica, precisa per piccole numerosità e approssimata per grandi numerosità, nel lavoro di Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004). Nel nostro compito non era comunque possibile accedere al conteggio, dal momento che lo stimolo di confronto restava sullo schermo per soli 200 ms, insufficienti a compiere movimenti oculari. Nei bambini con DVS, invece, le risposte ottenute erano casuali già a partire dalla configurazione con 5 pallini, confermando un deficit nella percezione immediata di quantità numeriche. Inoltre, dividendo il campione sperimentale in due sottogruppi, abbiamo osservato che il gruppo DVS con buone abilità nelle Inserzioni (che richiede l'accesso alla LNM per potere posizionare correttamente i numeri target sulla linea dei numeri) non differisce dai bambini di controllo nella percezione immediata di quantità numeriche. Infatti è il solo gruppo DVS con caduta nelle Inserzioni a differire dai controlli, dal momento che l'accuratezza è significativamente inferiore già a partire dalla configurazione con 3 pallini, mostrando di avere un subitizing ridotto a 2 item. Le risposte accurate sono risultate essere casuali già a partire dalla configurazione con 4 puntini, confermando il deficit nella rappresentazione di quantità numeriche. Possiamo quindi concludere che i bambini con DVS, ed in particolare quelli con difficoltà nei compiti che richiedono l'accesso alla LNM, hanno un deficit anche nel subitizing, ovvero nella precisa rappresentazione di piccole quantità. Resta da stabilire se, in questa specifica popolazione di bambini, le difficoltà visuo-spaziali siano collegate, oltre che con il deficit nel subitizing, anche con l'orientamento dell'attenzione spaziale, dimostrato

essere necessario al buon accesso alla LNM nei bambini con DCE.

ESPERIMENTO 6

Il decorso temporale dell'attenzione visiva nel Disturbo Visuo-Spaziale

PARTECIPANTI

I partecipanti a questo esperimento sono gli stessi dell'Esperimento 5

APPARATI E PROCEDURE:

Compito di attenzione spaziale visiva

E' stato somministrato lo stesso compito di orientamento implicito dell'attenzione spaziale dell'Esperimento 3 e dell'Esperimento 4, nelle stesse condizioni ambientali.

Si veda la **Figura 11** per una rappresentazione schematica del compito.

RISULTATI

Gli errori nel compito di attenzione spaziale visiva (risposte alle prove nulle e le mancate risposte al bersaglio) erano inferiori al 3%. Le prove con TR inferiori a 150 ms (anticipi) e superiori a 2.5 DS (ritardi) erano circa il 2%. Infine, i movimenti oculari erano circa il 3% delle prove. Le prove con errori, con anticipi o ritardi, e con movimenti oculari sono state eliminate prima di eseguire le analisi statistiche.

Per ogni soggetto, abbiamo calcolato l'effetto dell'indizio per ognuno dei 4 SOA. E' stata quindi eseguita una ANOVA mista con due variabili:

- Fra i gruppi:

- Gruppo: 3 livelli: DVSI-; DVSI+; CE;

- Entro i gruppi:

- Effetto dell'indizio: 4 livelli: 100, 250, 400 e 550 ms.

E' risultato significativo solo l'effetto principale del Gruppo, ad indicare che la media dell'effetto dell'indizio nei quattro SOA (100, 250, 400 e 550 ms) è significativamente diverso nei gruppi. Infatti, il gruppo CE ha una media di -3 ms (DS = 25.93); il gruppo DVSI+ ha una media di 2 ms (DS = 25.94); e il gruppo DVSI- ha una media di 32 ms (DS = 25.95). Le analisi pianificate, eseguite per specificare quali gruppi differiscono rispetto all'effetto dell'indizio, mostrano che il gruppo DVSI- differisce sia dai CE ($p < .002$) che dai DVSI+ ($p < .05$), mentre il gruppo CE non differisce dal gruppo DVSI+. Ciò implica che solo il sottogruppo DVS con caduta nelle Inserzioni differisce dai CE e dai DVSI+, ottenendo un effetto di facilitazione significativamente superiore agli altri. Si veda la **Figura 20**.

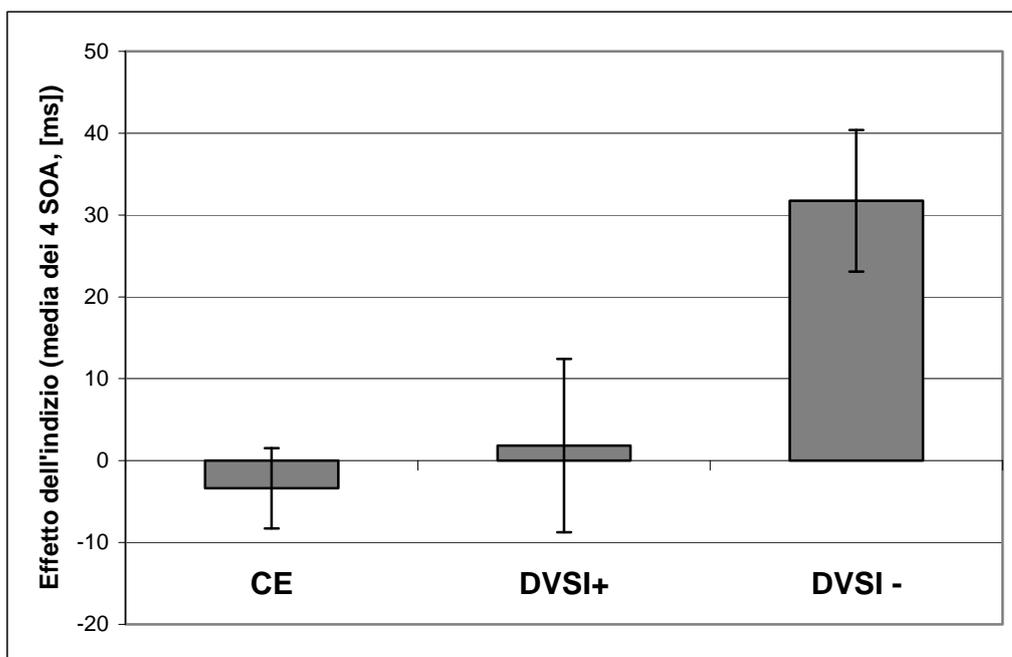


Figura 20

Sebbene l'interazione Gruppo X Effetto dell'indizio non fosse significativa, per investigare il decorso temporale dell'orientamento dell'attenzione visiva nei diversi gruppi sono state eseguite 4 analisi ANOVA univariate, una per ogni SOA. Si veda la **Figura 21**.

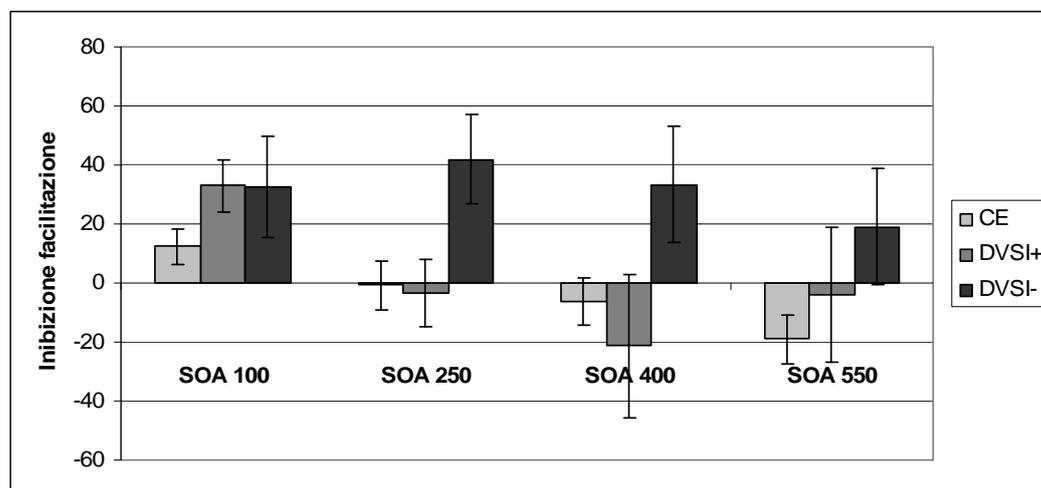


Figura 21

Al SOA 100 ms l'effetto dell'indizio non risulta essere significativamente diverso nei tre gruppi, infatti tutti sono in facilitazione (CE, media = 12.43; DVSI+, media = 32.86; DVSI-, media = 32.63). Al SOA 250 ms la differenza è significativa, $F(2,40)=3.46$, $p<.05$. Infatti, il gruppo CE ha un effetto dell'indizio di -1 ms (DS = 45); il gruppo DVSI+ di 0 ms (DS = 28) mentre il gruppo DVSI- di ben 42 ms (DS = 46). Le analisi pianificate mostrano che il gruppo DVSI- differisce dai CE ($p<.02$) mentre c'è una tendenza vs. i DVSI+ ($p=.071$); il gruppo CE non differisce dal gruppo DVSI+, indicando che è il solo gruppo DVSI- ad essere ancora in facilitazione al SOA 250 ms. Al SOA 400 ms c'è una tendenza alla significatività $F(2,40)=2.94$, $p=.064$. Infatti, il gruppo CE ha un effetto dell'indizio di -6 ms, (DS = 42); il gruppo DVSI+ di -21 ms (DS = 59) mentre il gruppo DVSI- di ben 33 ms (DS = 59). Le analisi pianificate mostrano che il gruppo DVSI- differisce sia dal gruppo CE ($p<.05$) che dal gruppo DVSI+, e che il gruppo DVSI+ non differisce dai CE,

dimostrando che è il solo gruppo DVSI- ad essere ancora in facilitazione al SOA 400 ms. Infine, al SOA 550 ms l'effetto dell'indizio non è significativamente diverso nei tre gruppi.

Ad ulteriore conferma di questi risultati, abbiamo eseguito delle analisi (*t*-test) in ogni gruppo, volte ad indagare la differenza nelle medie degli effetti dell'indizio ai quattro SOA. Nel gruppo CE al SOA 100 ms la differenza è significativa, confermando la presenza di facilitazione (12 ms, DS = 32, $t(27) = 2.081$, $p < .05$), al SOA 250 ms e 400 ms la differenza non è significativa, mentre lo è al SOA 550 ms, confermando la presenza di inibizione di ritorno (-19 ms, DS = 44, $t(27) = -2.28$, $p < .02$). Nel gruppo DVSI+ al SOA 100 ms la differenza è significativa, confermando la presenza di facilitazione (33 ms, DS = 22, $t(5) = 3.729$, $p < .01$). Agli altri SOA la differenza non è significativa. Nel gruppo DVSI- al SOA 100 ms la differenza è significativa, confermando la presenza di facilitazione (33 ms, DS = 52, $t(8) = 1.88$, $p < .05$), al SOA 250 ms la differenza è significativa, dimostrando la presenza di facilitazione (42 ms, DS = 46, $t(8) = 2.75$, $p = .012$), al SOA 400 ms si riscontra una tendenza alla significatività, ancora in facilitazione (33 ms, DS = 59, $p = .06$), mentre al SOA 550 ms la differenza non è significativa.

DISCUSSIONE

I bambini con DVSI- non mostrano lo stesso pattern disfunzionale nell'orientamento dell'attenzione spaziale mostrato dai bambini con DCEI-, nonostante entrambi i gruppi abbiano difficoltà in compiti che richiedono l'accesso alla LNM. Ciò innanzitutto conferma che la popolazione di bambini con DVS e difficoltà aritmetiche non è sovrapponibile alla popolazione di bambini con DCE, nonostante tutti i bambini con DVS del nostro campione siano potenzialmente inquadrabili dal

punto di vista nosografico nella DCE (il DVS non è ancora stato inserito nei manuali diagnostici di riferimento, DSM-IV, American Psychiatric Association, 1994 ed ICD-10, World Health Organization, 1993). Inoltre ci rende sostenitori della necessità di raffinare l'indagine diagnostica e di caratterizzare meglio i diversi endofenotipici dei Disturbi Specifici degli Apprendimenti al fine di studiarne i fattori eziopatogenetici e programmare specifici interventi. I risultati mostrano che i bambini DVSI- orientano l'attenzione spaziale al SOA 100 ms, non differendo dall'altro gruppo DVS senza difficoltà nella Inserzioni ed dal gruppo di controllo. Ma, a differenza loro, il gruppo DVSI- continua a manifestare l'effetto di facilitazione dell'indizio anche a SOA più lunghi, quando ci aspetteremmo la comparsa di inibizione di ritorno. I bambini di questo gruppo sembrano infatti essere iperfocalizzati nell'emicampo dove è comparso l'indizio, mostrando quindi uno specifico deficit di disancoraggio dell'attenzione visiva. Questo pattern sembra essere molto simile a quello recentemente dimostrato da una nostra metanalisi su 22 studi ritrovati in letteratura sull'effetto dell'indizio spaziale nei bambini con autismo (Mazzoni e coll., 2009). Ulteriori studi sono tuttavia necessari per verificare il possibile collegamento tra i bambini con DVS e l'autismo. Forrest (2004) descrive la difficoltà di differenziare dal punto di vista neuropsicologico i bambini con DVS e i bambini con Sindrome di Asperger e Autismo ad alto funzionamento. Secondo l'autore è solo attraverso un'indagine psicologica accurata che si identificano le caratteristiche differenziali, per esempio i bambini con Sindrome di Asperger hanno interessi selettivi, non sembrano essere interessati alle relazioni, mentre i bambini con DVS cercano di costruire relazioni sociali, ma il deficit nella percezione sociale ne limita l'instaurarsi.

Seguendo nuovamente il principio della multi-componenzialità nell'espressione dei

disturbi evolutivi, ci siamo chiesti quali funzioni neurocognitive potessero concorrere, insieme all'orientamento dell'attenzione spaziale, nella caratterizzazione del DVS. La letteratura scientifica suggerisce che il DVS sia accompagnato dalla presenza di deficit nelle abilità visuo-costruttive e di integrazione visuomotoria (Bachot e coll., 2005) e nella memoria di lavoro visuo-spaziale (Rotzer e coll., 2009; Mammarella, Cornoldi, Pazzaglia, Toso, Grimoldi e Vio, 2006). Le nostre analisi mostrano infatti che i bambini con DVSI- sono significativamente più compromessi dei bambini con DVSI+ nel Disegno con cubi della WISC-R (compito di assemblaggio dei cubetti all'interno di una configurazione globale e coerente) e nella Ricostruzione di oggetti della WISC-R (compito di ricostruzione gerarchica di figure). In questi compiti sono coinvolte sia la rappresentazione globale dell'immagine da riprodurre/ricostruire che la manipolazione dei cubetti/pezzetti (componente visuo-costruttiva). Inoltre i due gruppi differivano anche nella prova della Copia della figura di Rey (ma non nella memoria), suggerendo che le abilità di percezione globale e visuo-costruttive siano specificatamente deficitarie nei soli bambini DVS con difficoltà nel subitizing e nell'accesso alla LNM. Si può quindi ipotizzare che questi bambini abbiano un'elaborazione frammentaria dell'immagine, e ciò potrebbe essere dovuto all'iperattenzione che pongono sui dettagli. Mobbs, Eckert, Menon, Mills, Korenberg, Galaburda, Rose, Bellugi e Reiss (2007) individuano la stessa difficoltà nella percezione globale dell'immagine in una popolazione di bambini con Sindrome di Williams, risultati avere una ridotta attivazione del lobo parietale e delle aree visive durante compiti di natura visuo-spaziale. I bambini DVSI-, a partire da un'attenzione spaziale iperfocalizzata, dimostrata dalla presenza di facilitazione anche con SOA lunghi, potrebbero avere sviluppato un'iperattenzione per i dettagli, che si manifesta nella strutturazione di

difficoltà di natura visuo-spaziale. Inoltre, dato lo stretto legame fra cognizione spaziale e quella numerica (si veda per una recente rassegna Hubbard e coll., 2005), i bambini con DVSI- presentano deficit nell'accesso alla LNM, confermati dalla caduta nelle Inserzioni e nel compito di percezione immediata di quantità numeriche.

Questo risultato conferma la necessità di un modello eziopatogenetico multi-componenziale in cui un singolo deficit dominio-generale (l'orientamento dell'attenzione visiva) risulta necessario ma non sufficiente affinché abilità dominio-specifiche siano disfunzionali (abilità visuo-spaziali e rappresentazione di quantità), richiedendo quindi l'associazione con almeno un altro disturbo dominio-specifico (abilità visuo-costruttive e di percezione globale dell'immagine).

DISCUSSIONE GENERALE

Negli ultimi anni sono stati condotti molti studi (comportamentali, neurofisiologici, di neuroimmagine e di genetica) con l'obiettivo di definire meglio l'eziopatogenesi di disturbi neuroevolutivi quali la Dislessia Evolutiva (DE) e la Discalculia Evolutiva (DCE). L'interesse è stato minore per il Disturbo Visuo-Spaziale (DVS), ciò è motivato anche dalla mancanza di una chiara e condivisa definizione nosografica. Nel nostro lavoro ci siamo posti l'obiettivo di caratterizzare quali potessero essere i deficit sottostanti l'espressione di questi disturbi, consapevoli della necessità di adottare un'ottica multi-fattoriale probabilistica anziché unifattoriale deterministica e che l'eterogeneità dei fenotipi incontrati nella pratica clinica potessero essere spiegati solo indagando molteplici componenti neuropsicologiche.

L'orientamento dell'attenzione spaziale è il filo conduttore di tutti i lavori presentati, la funzione trasversale che si è dimostrata essere necessaria al buon funzionamento di tutte le abilità dominio-specifiche indagate. Con l'Esperimento 1 abbiamo dimostrato la presenza di un ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale multi-sensoriale in bambini dislessici che leggono male le non parole, sia rispetto a bambini di controllo pareggiati per età che per livello di lettura. E' quindi lecito sostenere che il deficit attentivo riscontrato non è la conseguenza delle difficoltà di lettura, come suggerito da Ramus (2003), dal momento che bambini più piccoli, pareggiati per abilità di lettura, hanno l'effetto di facilitazione dell'indizio già dal SOA breve. L'orientamento dell'attenzione spaziale è selettivamente

coinvolto nella via sub-lessicale (Coltheart, 2001) a due livelli: nella segregazione visiva dei singoli grafemi durante la scansione lettera per lettera necessaria alla lettura di parole sconosciute (componente visiva); nella segmentazione dei suoni linguistici che necessaria al mappaggio fonema-grafema sottostante al processo della conversione grafema-fonema (componente uditiva). Nell'Esperimento 2 abbiamo confermata la presenza di un deficit nella rappresentazione di grandezze numeriche, considerato essere il core deficit della DCE, collocando le prestazioni dei bambini con DCE ad un livello di maturazione pari ai 5 anni (bambini prescolari). In questi stessi bambini è stata indagato l'orientamento dell'attenzione spaziale (Esperimento 3), confermando la presenza di un ritardo nell'orientamento rapido dell'attenzione nei soli bambini con caduta nel compito delle Inserzioni (compito cartaceo che richiede l'accesso alla LNM per potere correttamente posizionare il numero bersaglio nella linea dei numeri). Inoltre l'orientamento rapido dell'attenzione è in grado di predire le abilità di acuità numerica sia nell'intero campione di bambini che nei soli DCE, precisamente al migliorare delle abilità di orientamento rapido dell'attenzione, migliora l'acuità numerica. L'attenzione spaziale è quindi direttamente coinvolta in compiti che necessitano di una ben strutturata rappresentazione interna delle quantità numeriche, metaforicamente descritte nella LNM spazialmente orientata da sinistra verso destra. Ciò potrebbe dipendere sia da un'erronea rappresentazione di grandezze sulla LNM che da un deficit nell'accesso della stessa, in entrambi i casi sono necessarie ulteriori indagini per confermare quale sia l'esatto ruolo dell'attenzione spaziale. Nel primo caso l'attenzione spaziale potrebbe essere coinvolta molto precocemente (Simion, Valenza, Umiltà e Dalla Barba, 1995) nel riconoscimento di differenze quantitative durante l'esplorazione del mondo fisico circostante. Nel secondo caso

sarebbe coinvolta nell'orientamento dell'attenzione nello spazio rappresentazionale secondo meccanismi sovrapponibili a quelli del mondo esterno (Loetscher e coll., 2008; Knops e coll., 2009).

Ci siamo inoltre chiesti se fosse ancora possibile interpretare le differenze comportamentali riscontrate nei bambini con DE e con DCE alla luce del solo ritardo nell'orientamento rapido dell'attenzione, che è stato confermato in entrambe le popolazioni. Per rispondere a questa domanda, nell'Esperimento 4 abbiamo studiato una popolazione di bambini con DE e/o DCE, dividendo il campione proprio a partire dalla doppia dissociazioni fra la caduta nella lettura di non parole (decodifica fonologica) e la caduta nel compito delle Inserzioni (accesso alla LNM). Abbiamo confermato la specificità del ritardo nell'orientamento rapido dell'attenzione sia per i bambini con singola caduta che con doppia caduta, mentre i bambini senza caduta nei due compiti ed i bambini di controllo mostravano un normale effetto di facilitazione al SOA 100 ms. Il ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale è quindi il denominatore comune ai due disturbi e necessita dell'intervento di altri fattori per l'espressione della DE e della DCE. I nostri risultati mostrano che i bambini con caduta nella lettura di nonparole, sia come unico disturbo che associato, differiscono dagli altri gruppi nel compito dello Spoonerismo (consapevolezza ed elaborazione fonologica), suggerendo la necessità di un deficit dominio-generale (ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale) associato ad un deficit dominio-specifico (consapevolezza fonologica) affinché si esprima la DE. Inoltre i bambini con caduta nel compito delle Inserzioni, sia come unico disturbo che associato, differiscono dagli altri gruppi nel Disegno con cubi, suggerendo la necessità di un deficit dominio generale (ritardo nell'orientamento dell'attenzione spaziale) associato ad un deficit dominio-specifico (abilità visuo-

costruttive) affinché si esprima la DCE.

Nell'esperimento 5 abbiamo studiato bambini con DVS, caratterizzati sia da difficoltà visuo-spaziali che aritmetiche. Innanzitutto, data la frequente associazione fra cognizione spaziale e numerica, abbiamo indagato la presenza di un disturbo nella percezione immediata di quantità numeriche, confermata dall'evidenza che i bambini con DVS e con caduta nelle Inserzioni manifestano un disturbo nella percezione della numerosità (stima sino a 3) rispetto ai controlli che ne riconoscono sino a 6. Inoltre, i bambini DVS con caduta nelle Inserzioni mostrano di essere iperfocalizzati nell'emicampo visivo pre-segnalato dall'indizio, infatti continuano a mostrare, diversamente dai bambini di controllo pareggiati per età e dai bambini DVS senza caduta nel compito delle Inserzioni, l'effetto di facilitazione dell'indizio anche a SOA lunghi. Questo deficit attenzionale differisce da quello dei bambini DCE, nonostante entrambi i gruppi siano inquadrabili dal punto di vista nosografico nella DCE. I nostri risultati mostrano che i bambini con DVS e caduta nelle Inserzioni sono in difficoltà anche nei compiti di Disegno con cubi, Ricostruzione di oggetti e Copia della figura di Rey, confermando la relazione fra orientamento dell'attenzione, abilità visuo-costruttive e di rappresentazione di grandezze numeriche. In questo caso, suggeriamo la necessità di un deficit dominio generale (attenzione spaziale iperfocalizzata) associato a più deficit dominio-specifici (difficoltà visuo-costruttive e di percezione globale delle immagini) affinché si esprima il DVS.

Abbiamo infine costruito uno schema esplicativo delle conclusioni a cui siamo giunti. L'orientamento automatico dell'attenzione, in quanto funzione dominio generale, risulta essere deficitario nei bambini di tutte le popolazioni studiate. Quando un bambino ha un'associazione di disturbi costituita dal rallentamento

nell'orientamento dell'attenzione (deficit nell'ancoraggio dell'attenzione spaziale) associato ad un deficit dominio-specifico nella consapevolezza fonologica, manifesta un sottotipo della DE caratterizzato dalla difficoltà nella lettura di nonparole. Quando un bambino ha un'associazione di disturbi costituita dal rallentamento nell'orientamento dell'attenzione (deficit nell'ancoraggio dell'attenzione spaziale) associato al deficit dominio-specifico nelle abilità visuo-costruttive, manifesta un sottotipo della DCE caratterizzato da difficoltà nella rappresentazione di grandezze numeriche (codice analogico di grandezza secondo il modello del triplo codice di Dehaene e coll., 2003). Infine, quando un bambino ha un'associazione di disturbi costituita dall'iperfocalizzazione nell'emicampo pre-segnalato dall'indizio (deficit nel disancoraggio dell'attenzione spaziale) associata ai deficit dominio-specifici nella percezione globale delle immagini e nelle abilità visuo-costruttive, manifesta un DVS caratterizzato da difficoltà nella rappresentazione di grandezze numeriche (codice analogico di grandezza secondo il modello del triplo codice di Dehaene e coll., 2003). Il lavoro di Forrest (2004) ci suggerisce un'ulteriore possibile disturbo che potrebbe essere meglio caratterizzato con un approccio multi-fattoriale: la Sindrome di Asperger. Infatti dal punto di vista neuropsicologico la popolazione con Sindrome di Asperger sembra non differenziarsi dal DVS (Forrest, 2004), quindi potremmo trovare in questi bambini un deficit nel disancoraggio dell'attenzione spaziale (funzione dominio-generale) associata ai deficit dominio-specifici nella percezione globale della figura e nella percezione sociale. L'approccio ai disturbi dell'età evolutiva multi-fattoriale probabilistico, diversamente da quello unifattoriale deterministico, è sicuramente un filone di ricerca interessante da sviluppare nei prossimi anni, così come la costruzione di raffinati paradigmi per misurare quanto ciascun deficit dominio-

specifico sia danneggiato a causa delle difficoltà nell'orientamento dell'attenzione spaziale. Si veda la rappresentazione grafica del modello multi-fattoriale appena descritto nella **Figura 22**.

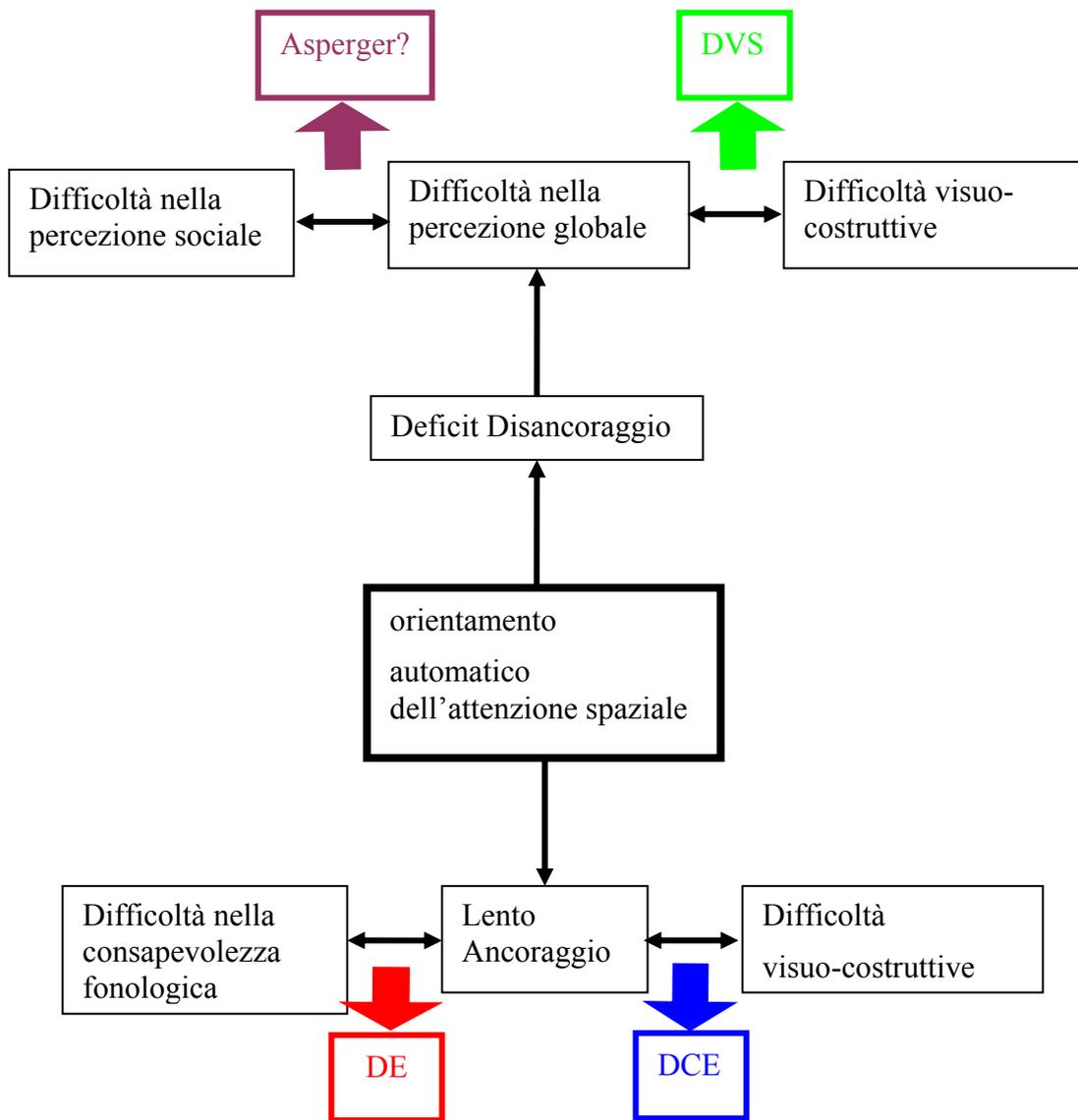


Figura 22

ALLEGATO A

I 4 sottogruppi non differiscono nella velocità di esecuzione dello Spoonerismo (Marotta e coll., 2008) e nella velocità di lettura di liste di parole e nonparole (Sartori e coll., 1995), indicando che non ci sono differenze nei tempi impiegati, ma solo nelle modalità e strategie utilizzate per eseguirli. Si veda la **Tabella a**

	Spoonerismo (errori)*		Spoonerismo (velocità)		Lettura P (Z accuratezza)*		Lettura P (velocità)		Lettura NP (Z accuratezza)*		Lettura NP (velocità)	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
N(n=17)	7.93	1.35	401.00	206.13	-1.13	1.52	-1.84	2.66	-.12	.8	-1.60	2.33
L(n=15)	12.47	1.44	581.13	335.97	-3.22	2.77	-3.14	2.95	-2.66	.83	-2.43	3.22
C(n=13)	8.54	1.55	398.63	167.23	-.96	1.21	-1.15	1.17	-.43	.65	-1.06	1.14
M(n=10)	13.80	1.77	607.30	382.69	-2.86	1.92	-3.08	3.11	-4.15	2.02	-2.06	3.12

Tabella a

In ambito aritmetico i soggetti non differiscono rispetto al QC (Biancardi e Nicoletti, 2004), ciò è giustificato dal fatto che i gruppi non differiscono nei subtest di Moltiplicazioni a mente (tabelline), Fatti aritmetici (addizioni e sottrazioni con risultato entro 10) e Calcolo scritto. I 4 gruppi inoltre non differiscono nella velocità di esecuzione delle Triplette. Si veda la **Tabella b e c**.

	Quoziente numerico *		Quoziente di calcolo		Quoziente di numero e calcolo *		Moltiplicazioni a mente (Z errori)		Fatti aritmetici (Z errori)	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
N(n=17)	81.76	21.02	75.00	17.03	73.47	17.96	-1.62	1.37	-1.86	1.63
L(n=15)	69.80	18.31	68.07	17.12	65.20	16.95	-2.38	1.97	-1.63	1.59
C(n=13)	64.77	18.38	65.08	18.89	61.23	15.37	-2.17	1.79	-2.52	1.95
M(n=10)	56.00	8.05	56.90	10.10	51.40	2.99	-3.24	1.18	-2.14	2.24

Tabella b

	Calcolo scritto (Z errori)		Triplette (Z velocità)		Triplette (Z errori) *		Inserzioni (errori) *		Inserzioni (velocità) *	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
N(n=17)	-1.03	1.75	-1.30	1.21	-0.10	1.24	0.60	0.28	-0.89	0.80
L(n=15)	-1.66	2.01	-0.99	1.87	-0.46	1.15	-0.40	0.91	-0.41	0.77
C(n=13)	-1.81	2.12	-1.90	2.18	-1.65	2.64	-1.64	1.96	-2.05	1.37
M(n=10)	-2.63	1.37	-1.90	1.60	-2.91	3.49	-2.44	1.64	-3.35	4.56

Tabella c

I soggetti differiscono invece nelle seguenti prove:

- Quoziente Numerico, $F(3,51) = 4.84$, $p < .01$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. C ($p = .013$), N vs. M ($p = .001$), ma non fra gli altri gruppi, indicando che nell'indice generale di abilità numeriche hanno prestazioni significativamente migliori gli N rispetto ai gruppi con caduta nell'accesso alla LNM.
- Quoziente di Numero e Calcolo, $F(3,51) = 4.53$, $p = .007$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. C ($p = .036$), N vs. M ($p = .001$) e fra L vs. M ($p = .033$), indicando che nell'indice generale di abilità aritmetiche hanno prestazioni significativamente peggiori i gruppi con caduta nelle Inserzioni (C ed M).
- Lettura di liste di Parole (errori), $F(3,51) = 4.91$, $p < .01$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. L ($p = .004$), N vs. M ($p = .032$), C vs. L ($p = .004$), C vs. M ($p = .025$) ma non fra N vs. C e M vs. L, indicando che i gruppi con caduta nella decodifica fonologica (L ed M) hanno prestazioni significativamente peggiori anche nell'accuratezza di lettura di parole rispetto ai gruppi senza caduta (N e C).
- Lettura di liste di Nonparole (errori), $F(3,51) = 36.67$, $p < .001$, risultato atteso giacché la divisione del campione in gruppi è avvenuta proprio a partire dai risultati in questa prestazione.
- Triplette (errori), $F(3,51) = 4.30$, $p < .01$. Dalle analisi pianificate emerge che la differenza è significativa fra i gruppi N vs. C ($p = .05$), N vs. M ($p = .002$) e L vs. M ($p = .007$) ma non fra N vs. L e M vs. C, indicando che i gruppi con caduta nelle Inserzioni (C ed M) hanno prestazioni significativamente peggiori rispetto ai gruppi senza caduta (N e L).

- Inserzioni (errori), $F(3,51) = 14.67$, $p < .001$. Risultato atteso giacché la divisione del campione in gruppi è avvenuta proprio a partire dai risultati in questa prestazione.
- Inserzioni (velocità), $F(3,51) = 4.64$, $p < .01$. Risultato atteso giacché la divisione del campione in gruppi è avvenuta proprio a partire dai risultati in questa prestazione.

BIBLIOGRAFIA

American Psychiatric Association (1994), Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th Edition). DC author, Washington.

Amitay S., Ben-Yehudah G., Banai K. e Ahissar M. (2002). Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain*, 125: 2272-2285.

Asbjørnsen A. E. e Bryden M. P. (1998). Auditory attentional shifts in reading-disabled students: quantification of attentional effectiveness by the Attentional Shift Index *Neuropsychologia*, 36: 143-148

Bachot J., Gevers W., Fias W. e Royers H. (2005). Number sense in children with visuospatial disabilities: orientation of the mental number line. *Psychology Science*, 47, 1: 172-183.

Bakker D.J. (1992). Neuropsychological classification and treatment of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25:102-109.

Barrett D.J.K. e Hall D.A. (2006). Response preferences for “what” and “where” in human non-primary auditory cortex. *Neuroimage*, 32: 968-977.

Ben-Yehudah G., Sackett E., Malchi-Ginzberg L. e Ahissar M. (2001). Impaired temporal contrast sensitivity in dyslexics is specific to retain-and-compare paradigms. *Brain*, 124: 1381-1395.

Berch D.B., Foley E. J., Hill R. J. e Ryan P. M. (1999), Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: developmental changes in number processing and mental representation.

Journal of Experimental Child Psychology, 74: 286-308.

Biancardi A. e Nicoletti C. (2004), Batteria per la Discalculia Evolutiva – BDE- Test per la diagnosi dei disturbi dell'elaborazione numerica e del calcolo in età evolutiva, Omega Edizioni.

Bisiach E. e Luzatti C. (1978), Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, 14: 129-133.

Boden C. e Giaschi D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133: 346-366.

Brannan J. e Williams M. (1987). Allocation of visual attention in good and poor readers. *Perception and Psychophysics*, 41: 23-28.

Buckley P.B. e Gilman C. B. (1974), Comparison of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 103: 1131-1136.

Burr D. e Ross J. (2008) A visual sense of number. (Translated from eng) *Curr Biol* 18(6):425-428.

Butterworth B. (1999), The mathematical brain. London: Macmillan.

Butterworth B. (2005), The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychiatry*, 46: 3-18.

Caffarra P., Vezzadini G., Dieci F., Zonato F. e Venneri A. (2002). Rey-Osterrieth complex figure: normative values in an Italian population sample. *Neurological Science*, 22: 443-447.

Calabria M. e Rossetti Y. (2005), Interference between number processing and line bisection: a methodology. *Neuropsychologia*, 43: 779-783.

Cantlon J.F., Brannon E.M., Carter E.J., e Pelphrey K.A. (2006) Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PLoS Biol* 4(5):e125. 19.

Capano L., Minden D., Chen S. X., Schachar R. J., e Ickowicz A. (2008). Mathematical learning disorder in school-age children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Canadian Journal of Psychiatry*, 53, 392–399.

Carrasco M., Ling S. e Read S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, 7: 308-313.

Casco C., Tressoldi P. e Dellantonio A. (1998). Visual selective attention and reading efficiency are related in children. *Cortex*, 34: 531-546.

Castiello U. e Umiltà C. (1990). Size of the attentional focus and efficiency of processing. *Acta Psychologica*, 73: 195-209.

Castles A. e Coltheart M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47: 148-180.

Cestnick L. e Coltheart M. (1999). The relationship between language-processing and visual-processing deficit in developmental dyslexia. *Cognition*, 71: 231-255.

Coltheart M., Rastle K., Perry C., Langdon R. e Ziegler J. (2001). The DRC model: A model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108: 204 - 258.

Corbetta M. e Shulman G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Review Neuroscience*, 3: 201-215.

Cornoldi C., Friso G., Giordano L., Molin A., e Rigoni F. (1997). *Abilità visuospatiali*. Trento, Italy: Erickson.

Cornoldi C., Colpo, G., e Gruppo M.T. (1998), *Prove di Lettura MT*. Firenze: O.S. Organizzazioni Speciali.

Cornoldi e Vecchi (2003) Cornoldi, C., & Vecchi, T. (2003). *Visuo-spatial working memory and individual differences*. Hove, UK: Psychology Press.

Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I.Y., Katz, L.E., e Tola, G. (1988). Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children. *Applied Psycholinguistics*, 9, 1–16.

Dehaene S., Dupoux E. e Mehler J. (1990), Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology Hum. Percept. Perform*, 16: 626-641.

Dehaene S., Bossini S. e Giraux P. (1993), The mental representation of parity and number magnitudo. *Journal of Experimental Psychology*, 122 (3): 371-396.

Dehaene S. e Cohen L. (1995), Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1 (1): 83-120.

Dehaene, S., Spelke E., Stanescu, Pinel, P. e Tsivkin (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brainimaging evidence. *Science*, 284(5416), 970–974.

Dehaene S., Piazza M., Pinel P. e Cohen L. (2003), Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20: 487-506.

Dehaene S., Cohen L (2007) Cultural recycling of cortical maps. *Neuron* 56: 384–398

Di Lollo V., Hanson D. e McIntyre J.S. (1983). Initial stages of visual information processing in dyslexia. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6: 623-935.

Dosher B. e Lu Z. (2000). Noise exclusion in spatial attention. *Psychological Science*, 11: 139-146.

Driver J e Vuilleumier P. (2001), Perceptual awareness and its loss in unilateral neglect and extinction. *Cognition*, 79: 39-88.

Duncan E.M. e McFarland C. E. (1980), Isolating the effects of symbolic distance and semantic congruity in comparative judgements: an additive-factor analysis. *Memory and Cognition*, 8 (6): 612-622.

Dyrks E., Spyer G., Van Lieshout E. C., e De Sonneville L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 41, 460–473.

Eckert M.A., Leonard C.M., Richards T.L., Aylward E.H., Thomson J. e Berninger V.W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain*, 126: 482-494.

Enns J.T. (2004). Object substitution and its relation to other forms of visual masking. *Vision Research* 44: 1321-1331.

Facchin A. (2005). Le abilità visuospatiali. Dentro il volume a cura di Maffioletti S., Pregliasco R., Ruggeri L. (a cura di) *Il bambino e le abilità di lettura: il ruolo della visione*, pag:144 – 159. Franco Angeli Editori

Facoetti A. e Molteni M. (2000). Is attentional focusing an inhibitory process at distractor location? *Cognitive Brain Research*, 10: 185-188.

Facoetti A. e Turatto M. (2000). Asymmetrical visual fields distribution of visual attention in dyslexic children: a neuropsychological study. *Neuroscience Letters*, 290: 216-218.

Facoetti A. e Molteni M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39: 352-357.

Facoetti A., Lorusso M.L., Paganoni P., Cattaneo C., Galli R. e Mascetti G.G. (2003). The time course of attentional focusing in dyslexic and normally reading children. *Brain and Cognition*, 53: 181-184.

Facoetti A. (2004). Reading and selective spatial attention: Evidence from behavioral studies in dyslexic children. In H. D. Tobias (Ed.), *Trends in dyslexia research*, New York: Nova Science Publishers, 35-71.

Facoetti A., Zorzi M., Cestnick L., Lorusso M.L., Molteni M., Paganoni P., Umiltà C. e Mascetti G.G. (2006). The relationship between visuospatial attention and non-word reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23: 841-855.

Farmer M.E. e Klein R.M. (1995). The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia. *Psychonomic Bulletin Review*, 2: 469-493.

Fischer M.H. (2001), Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57: 822-826.

Fischer M.H., Castel A. D., Dodd M. D. e Pratt J. (2003), Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6: 555-556.

Forrest B. J. (2004) The utility of Math Difficulties, Internalized Psychopathology and Visual Spatial Deficits to identify children with the Nonverbal Learning Disability Syndrome: evidence for a Visuospatial Disability. *Child Neuropsychology*, 10, 2:129-146.

Frith U. (1986). A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 36: 69-81.

Gagliano A., Germanò E., Calarese T., Magazù A., Grosso R., Siracusano M. e Cedro C. (2007). Le comorbidità della dislessia: studio di un campione di soggetti in età evolutiva con disturbo di lettura. *Dislessia*, 4, 1:27-45.

Galaburda A. (1989). Ordinary and Extraordinary Brain Development: Anatomical Variation in Developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 39: 67-80.

Geiger G., Lettvin J.Y. e Fahle M. (1994). Dyslexic children learn a new strategy for reading: a controlled experiment. *Vision Research*, 34: 1223-1233.

Geiger G. e Lettvin J.Y. (1999). How dyslexics see and learn to read well. In Everatt J.(Ed). *Reading and Dyslexia: Visual and Attentional Process*, London: Routledge, 64-90.

Geiger G., Cattaneo C., Galli R., Pozzoli U., Lorusso M.L., Facoetti A. e Molteni M. (2008). Wide and diffuse perceptual modes characterizes dyslexics in vision and audition. *Perception*, in press.

Gilger J. W. e Kaplan B. J. (2001). Atypical brain development: A conceptual framework for understanding developmental disabilities. *Developmental Neuropsychology*, 20, 465–481.

Girelli L., Lucangeli D. e Butterworth B. (2000), The development of automaticità in accessing number magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76: 104-122.

Gobel S.M., Calabria M., Farnéc A. e Rossetti Y. (2006), Parietal rTMS distorts the mental number line: Simulating “spatial” neglect in healthy subjects. *Neuropsychologia*, 44: 860-868, Issue 6.

Goswami U. (2000). Phonological representations, reading development and dyslexia: Towards a cross-linguistic theoretical framework. *Dyslexia*, 6: 133-151.

Goswami U. (2003). Why theories about developmental dyslexia require developmental designs. *Trends in Cognitive Science*, 7:534-540.

Grossi D. e Trojano L. (2002). *Lineamenti di neuropsicologia clinica*. Carocci Editore.

Habib M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia. *Brain*, 123: 2373-2399.

Halberda J. e Feigenson L. (2008) Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. (Translated from eng) *Dev Psychol* 44(5):1457-1465.

Hanich L. B., Jordan N. C., Kaplan D. e Dick, J. (2001), Performance across different areas of mathematical cognition in Children with Learning Difficulties, *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 615-626.

Hari R. e Renvall H (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Science*, 5: 525-532.

Hartley D. e Moore D. (2002). Auditory processing efficiency deficits in children with developmental language impairments. *Journal of Acoustic Society of America*, 112: 2962-2966.

Hubbard E.M., Piazza M., Pinel P. e Dehaene S. (2005), Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6: 435-448.

Husain M., Shapiro K., Martin J. e Kennard C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385: 154-156.

Isaacs E.B., Edmonds C. J., Lucas A. e Gadian D.G. (2001), Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain*, 124: 1701-1707.

Izard V., Dehaene-Lambertz G., e Dehaene S. (2008) Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. (Translated from eng) *PLoS Biol* 6(2):e11.

Johnson. D., & Myklebusl H. (1967). *Leaming di.sahilities: Educati(mal principles and practices*. New York, Gmne & Stratton.

Jordan N.C., Hanich L.B., e Kaplan D. (2003) A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Dev* 74(3):834-850

Karmiloff-Smith A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2: 389-398.

Klein R.M. (2000). Inhibition of return. *Trend in Cognitive Science*, 4: 138-147.

Knops A., Thirion B., Hubbard E. M., Michel V. e Dehaene S. (2009). Recruitment of an Area Involved in Eye Movements During Mental Arithmetic. *Scienceexpress*, 1171599.

Korkman M., Kirk U. e Kemp K. (2007). *NEPSY*, Second Edition. Pearson

Landerl K., Bevan A. e Butterworth B. (2004), Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8-9-year-old students. *Cognition*, 93: 99-125.

Leppanen U., Aunola K., Niemi P. e Nurmi J.E. (2008). Letter knowledge predicts Grade 4 reading fluency and reading comprehension. *Learning and Instruction*, in press.

Lipton J. e Spelke E. (2003) Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychol. Sci.* 14:396-401.

Longo M. R. e Lourenco S. F. (2007). Spatial attention and the mental number line: evidence for characteristic biases and compression. *Neuropsychologia*, 45: 1400-1407.

Lucangeli, D., Zorzi, M. e Cabrele, S. (2006). Lo sviluppo della rappresentazione dei numeri. *Età evolutiva*, 83, 63-70.

Lyytinen H., Gttorm T.K., Huttunen T., Hamalainen J., Leppanen P.H.T. e Vesterinen M. (2005). Psychophysiology of developmental dyslexia: a review of findings including studies of children at risk for dyslexia. *Journal of Neurolinguistic*, 18: 167-195.

Mammarella I.C., Cornoldi C., Pazzaglia F., Toso C., Grimoldi M., Vio C. (2006). Evidence for a double dissociation between spatial-simultaneous and spatial-sequential working memory in visuospatial (nonverbal) learning disabled children. *Brain and Cognition*, 62: 58–67.

Mammarella I. C., Toso C., Pazzaglia F. e Cornoldi C. (2008). BVS – Corsi. Batteria per la valutazione della memoria visiva e spaziale, Edizioni Erickson.

Marois R., Chun M.N. e Gore J.C. (2000). Neural correlates of the attentional blink. *Neuron*, 28: 299-308.

Marotta L., Ronchetti C., Trasciani M. e Vicari S. (2008). CMF – Valutazione delle Competenze Metafonologiche, Edizioni Erickson.

Marshall J. e Halligan P.(1989), *Cortex*, 25: 503-515.

Mayes S. D., e Calhoun S. L. (2006). Frequency of reading, math and writing disabilities in children with clinical disorders. *Learning and Individual Differences*, 16, 145–157.

Milner A.D e Goodale M.A. (2007). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46, 3: 774-785

Mobbs D., Eckert M. A., Menon V., Mills D., Korenberg J., Galaburda A. M., Rose F. E., Bellugi U. e Reiss A. L. (2007) Reduced parietal and visual cortical activation during global processing in Williams syndrome. In *Developmental medicine & child neurology* 49. 433-438

Molko N., Cachia A., Rivière D., Mangin J., Bruandet M., Le Bihan D., Cohen L. e Dehaene S. (2003). Functional and Structural Alterations of the Intraparietal Sulcus in a Developmental Dyscalculia of Genetic Origin. *Neuron*, 40: 847-858, issue 4.

Molko N., Cachia A., Rivière D., Mangin J., Bruandet M., Le Bihan D., Cohen L. e Dehaene S. (2004). Brain Anatomy in Turner Syndrome: Evidence for Impaired Social and Spatial-Numerical Networks. *Cerebral Cortex*, 14, 8: 840-850.

Mondor T.A. e Bryden M.P. (1991). The influence of attention on the dichotic REA. *Neuropsychologia*, 29: 1179-1190.

Montgomery C.R., Morris R.D., Sevcik R.A. e Clarkson M.G. (2005). Auditory backward masking deficits in children with reading disabilities. *Brain and Language*, 95: 450-456.

Moyer R.S. e Landauer T. K. (1967), Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215: 1519-1520.

Nass R., & Koch D. (1991). Innate specialization for emotion: Temperament differences in children with early left versus right brain damage. In N. Amir, I. Rapin, & D. Branski (Eds.). *Pediatric neurology behavior and cognition of the child with brain dysfunction*. Basel: Karger.

Nieder A. e Miller E.K. (2004) A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101(19):7457-7462.

Nobre A. C., Coull J. T., Maquet P., Frith C. D., Vandenberghe R., Mesulam M. M. (2004). Orienting Attention to Locations in Perceptual Versus Mental Representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 3: 363-373.

Ostad S.A. (1997) Developmental differences in addition strategies: a comparison of mathematically disabled and mathematically normal children. *The British journal of educational psychology* 67 (Pt 3):345-357.

Padovani F., (1998). L'interpretazione psicologica della WISC-R. Giunti Editore

Perry C., Ziegler J. e Zorzi M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: The CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review*, 114: 273-315.

Piazza M., Mechelli A., Butterworth B. e Price C. (2002), Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes?. *Neuroimage*, 15: 435-446.

Piazza M., Pinel P., Le Bihan D., e Dehaene S. (2007) A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron* 53(2):293-305

Pica P., Lemer C., Izard W., e Dehaene S. (2004) Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science* 306(5695):499-503.

Pinel P., Dehaene S., Riviere D. e LeBihan D. (2001), Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage*, 14: 1013-1026.

Pinel P., Piazza M., LeBihan D., Dehaene S. (2004), Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgements. *Neuron*, 41: 983-993.

Posner M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32: 3-25.

Price G.R., Holloway I., Rasanen P., Vesterinen M., e Ansari D. (2007) Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. (Translated from eng) *Curr Biol* 17(24):R1042-1043.

Ramus F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13: 212-218.

Ramus F. e Szenkovits G. (2007). What phonological deficit? *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 61 (1): 129–141.

Reynolds J.H. e Chelazzi L. (2004). Attentional modulation of visual processing. *Annual Reviews*, 27: 611-647.

Reynvoet B. e Brysbaert M. (1999), Single-digit and two-digit Arabic numerals address the same semantic number line. *Cognition*, 72: 191-201.

Rotzer S., Loenneker T., Kucian K., Martin E., Klaver P., Von Aster M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 47: 2859-2865.

Rourke, B. P. (1989). Nonverbal learning disabilities, the syndrome and the model. New York: Guilford Press.

Rourke B.P. (1993), Arithmetic disabilities, specific and otherwise: a neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disability*, 26: 214-226.

Rourke B.P. (1995). *Syndromic of nonverbal learning disabilities: Neurodevelopmental manifestations*. New York: Guilford Press.

Rourke B.P. (2000). *Conference on nonverbal learning disabilities*. Speech delivered in New Haven, Connecticut.

Rourke B.P. (2002). http://www.nldontheweb.org/Byron_Rourke_QA_15.htm

Rousselle L. e Noel M.P. (2007) Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. (Translated from eng) *Cognition* 102(3):361-395.

Rubinsten O. (2009). Co-occurrence of developmental disorders: The case of developmental Dyscalculia. *Cognitive Development*, 24, 362-370.

Rubinsten, O. e Henik, A. (2006). Double dissociation of functions in developmental dyslexia and dyscalculia. *Educational Psychology*, 98, 854–867.

Rubinsten O., e Henik A. (2009). Developmental dyscalculia: Heterogeneity may not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 92–99.

Rusconi E., Walsh V. e Butterworth B. (2005). Dexterity with numbers: rTMS over left angular gyrus disrupts finger anthesis and number processing. *Neuropsychologia*, 43, 1609–1624.

Rutter, M. e Sroufe, L. A. (2000). Developmental psychopathology: Concepts and challenges. *Developmental Psychopathology*, 12, 265–296.

Sabbadini G. (a cura di, 1995). Manuale di neuropsicologia dell'età evolutiva. Zanichelli Editore.

Sartori G., Job R. e Tressoldi P. (1995). Batteria per la valutazione della dislessia e della disortografia evolutiva. Firenze: O.S. Organizzazioni Speciali.

Semrud-Clikeman M., e Hynd G. (1990). Right hemispheric dysfunction in nonverbal learning disabilities: Social, academic, and adaptive functioning in adults and children. *Psychological Bulletin*. 107. 198-209.

Shalev R.S. e Gross-Tsur V. (2001a), Developmental dyscalculia. *Pediatric Neurology*, 24: 337-342.

Shalev R.S., Manor O., Kerem B. e coll. (2001b), Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disability*, 34: 59-65.

Share D.L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55: 151-218.

Shaywitz B., Shaywitz S. E., Blachman B. A., Pugh K. R., Fulbright R. K., Skudlarski P. (2004). Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biological Psychiatry*, 55, 926-933.

Shaywitz S.E. e Shaywitz B.A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biological Psychiatry*, 57: 1301-1309.

Simion F., Valenza E., Umiltà C. e Dalla Barba B. (1995). Inhibition of return in newborns is temporo-nasal asymmetrical. *Infant Behavior and Development*, 18: 189-194.

Skottun B.C. (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: The evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 40: 111-127.

Snowling M.J. (2000). *Dyslexia*. Oxford Blackwell.

Sperling A.J., Lu Z.L., Manis F.R. e Seidenberg M.S. (2005). Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience*, 8: 862-863.

Sperling A.J., Lu Z.L., Manis F.R. e Seidenberg M.S. (2006). Motion perception deficits and reading impairment: it's the noise, not the motion. *Psychological Science*, 17: 1043-1054.

Sprenger-Charolles L., Siegel L.S., Bechenec D. e Serniclaes W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: a four-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84: 194-217.

Stein J. e Walsh V. (1997). To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20: 147-152.

Stein J.F. e Talcott J.B. (1999). Impaired neuronal timing in developmental dyslexia- The magnocellular hypothesis. *Dyslexia* 5: 59-78.

Stevens C., Sanders L., e Neville H. (2006). Neurophysiological evidence for selective auditory attention deficits in children with specific language impairment. *Brain Research*, 1111, 143-152.

Tallal P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9: 182-98.

Tallal P. (2004). Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Review Neuroscience*, 5: 721-728.

Temple M.C. (1992), Developmental Dyscalculia. In Boller F. e Grafman J. (a cura di), Handbook of Neuropsychology, Amsterdam-New York-London-Tokio, Elsevier Science Publisher.

Tsatsanis K.D., Fuerst D.R. e Rourke B.P (1997). Psychological dimensions of learning disabilities: External validation and relationship with age and academic functioning. *Journal of Learning Disabilities*. 30. 490-502.

Turkeltaub P.E., Gareau L., Flowers D.L., Zeffiro T.A. e Eden G.F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6: 767-773.

Vicari S., Marotta L., Menghini D., Molinari M. e Petrosini L. (2003). Implicit learning deficit in children with developmental dyslexia *Neuropsychologia*, 41, 1:108-114.

Vidyasagar T.R. (1999). A neural model of attentional spotlight: Parietal guiding the temporal. *Brain Research Reviews*, 30: 66-76.

Von Aster M., e Shalev R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49, 868–873.

Wagner R. K. e Torgesen J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192–212.

Wechsler D. (1986). Scala di Intelligenza Wechsler per Bambini-Riveduta. Firenze O.S. Organizzazioni Speciali.

Whitney C. e Cornelissen P. (2005). Letter-position encoding and dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28: 274-301.

Wijers A.A., Been P.H., Romkes K.S. (2005). Dyslexia show a deviant lateralization of attentional control: a brain potential study. *Neuroscience Letters*, 374: 87-91.

Wilson A. J. e Dehaene S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In D. Coch, G. Dawson, e K. Fischer (Eds.), *Human behavior, learning and the developing brain: Atypical development*. New York: Guilford Press.

Wimmer H., Hutzler F., Wiener C. (2002). Children with dyslexia and right parietal lobe disfunction: event-related potentials in response to words and pseudowords. *Neuroscience Letters*, 331: 211-213.

World Health Organization (1993). *The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural Disorders: Diagnostic Criteria for Research*. WHO, Geneva.

Wright B.A., Bowen R.W. e Zecker S.G. (2000). Nonlinguistic perceptual deficits associates with reading and language disorders. *Current Opinion in Neurobiology*, 10: 482-486.

Ziegler J., Perry C., Wyatt A., Ladner D. e Schulte-Korne G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, 86: 169-193.

Zorzi M., Priftis K. e Umiltà C. (2002), Brain damage: Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417 (6885): 138-139.

Zorzi M. (2004), La rappresentazione mentale dei numeri: neuropsicologia dell' "intelligenza numerica". *Difficoltà in matematica*, 1: 57-70.

Zorzi M. e Fabbri S. (2010, in preparazione). A numerosità match-to sample task for the study of basic numerical skills.