

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

Facoltà di Psicologia

**Corso di laurea triennale in Scienze e Tecniche
Psicologiche**



**“NUOVI APPROCCI ALLA RIABILITAZIONE
DELLA DISCALCULIA EVOLUTIVA”**

Relatore: Chiar.ma Prof.ssa Luisa Girelli

Elaborato finale di

Federica Ferretti

Matricola: 755416

Anno accademico: 2014/2015

“NUOVI APPROCCI ALLA RIABILITAZIONE DELLA DISCALCULIA EVOLUTIVA”

Sommario

Introduzione.....	3
1. I disturbi specifici di apprendimento	4
1.1 Definizione e caratteristiche generali dei DSA	4
2. La discalculia evolutiva.....	6
2.1 Definizione e caratteristiche della discalculia	6
2.2 La discalculia secondo la <i>Consensus Conference</i>	9
2.3 Anatomia e possibili cause alla base della discalculia	9
2.4 La diagnosi di discalculia	11
3. I trattamenti riabilitativi per la discalculia evolutiva	13
3.1 Introduzione agli interventi per la discalculia	13
3.2 Interventi basati sui software.....	13
3.2.1 Numeracy Recovery & Catch up Numeracy	13
3.2.2 The Number Race.....	16
3.2.3 Rescue Calcularis	18
3.2.4 Calcularis.....	19
3.2.5 Virtual environment	21

4. L'Embodied Cognition.....	24
4.1 Teoria e applicazioni nella discalculia	24
5. Stimolazione elettrica transcranica – TES.....	30
5.1 5.1 Applicazioni della TES nei deficit cognitivi	30
Conclusione	32
Riferimenti bibliografici	34
Ringraziamenti	43

Introduzione

Il presente elaborato è un approfondimento teorico che tratterà della discalculia evolutiva e delle varie tipologie d'intervento riabilitativo sviluppate nel corso degli ultimi decenni.

Il settore della psicologia che studia questo disturbo è in lenta espansione rispetto agli altri disturbi specifici di apprendimento, come per esempio la dislessia. Per questo motivo tuttora non vi sono definizioni e modalità d'intervento condivise all'interno della comunità scientifica, ma vi sono numerosi approcci che forniscono contributi diversi e spesso eterogenei tra loro.

Nel primo capitolo esporrò sinteticamente i disturbi evolutivi specifici di apprendimento. Nel secondo tratterò un profilo della discalculia evolutiva, evidenziandone definizioni e caratteristiche principali. Nel terzo capitolo esporrò alcune tipologie di intervento basate sull'utilizzo del computer. Nel quarto descriverò un recentissimo approccio di intervento basato sull'*Embodied Cognition*, che negli ultimi anni ha sviluppato programmi di intervento innovativi fondati sull'integrazione della cognizione e del sistema senso-motorio. Infine, nel quinto capitolo esporrò brevemente i risultati ottenuti dai primi studi sull'applicazione della stimolazione elettrica transcranica (TES) su alcuni deficit cognitivi.

1. I disturbi specifici di apprendimento

1.1 Definizione e caratteristiche generali dei DSA

I disturbi evolutivi specifici di apprendimento (DSA) costituiscono un'area di interesse clinico che negli ultimi trent'anni ha conosciuto un notevole sviluppo grazie alla ricerca scientifica.

Nel 1990 Hammill definì le caratteristiche generali dei disturbi di apprendimento, o *learning disabilities*, indicando con questo termine un gruppo eterogeneo di disturbi limitati specificatamente allo sviluppo delle abilità del calcolo, della lettura, dell'ortografia e della grafia, non dovute a *handicap* o influenze estrinseche, come per esempio l'istruzione e la società.

A livello internazionale, secondo il DSM-5, i disturbi dell'apprendimento costituiscono una categoria diagnostica specifica per le difficoltà scolastiche riscontrabili in età evolutiva; sono disturbi del neurosviluppo aventi un'origine biologica, ossia causati da un malfunzionamento del sistema nervoso centrale, in cui sono compromessi in modo significativo specifici domini di abilità (calcolo, lettura, espressione scritta), in presenza di un'intelligenza media o superiore alla norma ($QI > 70$) e in assenza di condizioni mediche, sociali o ambientali che possano condizionare il normale sviluppo delle abilità scolastiche (disabilità intellettive, acuità visiva o uditiva alterata, altri disturbi mentali o neurologici, avversità psicosociali, mancata conoscenza della lingua dell'istruzione scolastica o istruzione scolastica inadeguata). Le abilità scolastiche compromesse sono significativamente al di sotto di quelle attese per l'età cronologica dell'individuo e causano una significativa interferenza con il rendimento scolastico o lavorativo e con le normali attività quotidiane.

Solitamente i primi sintomi di un disturbo specifico dell'apprendimento sono visibili sin dall'età pre-scolare; tuttavia, molto spesso, vengono individuati e diagnosticati solo successivamente, a partire dalla seconda o dalla terza classe della scuola primaria.

Per porre una diagnosi è necessario conoscere la storia clinica del soggetto e della famiglia, prendendo in considerazione il rendimento scolastico, il punto di vista della scuola, le pagelle, le eventuali valutazioni precedenti e i punteggi ottenuti ai test standardizzati.

Essendo le abilità scolastiche parte di un continuum, non esiste un livello di soglia naturale che può essere utilizzato per discriminare i soggetti con un disturbo specifico di apprendimento da quelli con uno sviluppo tipico. Qualsiasi soglia utilizzata, infatti, è

arbitraria. Ulteriori differenze nella diagnosi sono dovute a diversità tra i vari test standardizzati utilizzati.

Secondo quanto riportato dalla *Consensus Conference*¹ (2007), la categoria diagnostica dei DSA ha carattere specifico, ossia si riferisce in maniera circoscritta a uno specifico dominio di abilità, lasciando intatto il funzionamento intellettuale generale. Il principale criterio necessario a stabilire la diagnosi di disturbo specifico dell'apprendimento è, infatti, quello della discrepanza tra le abilità nel dominio specifico interessato (deficitario in rapporto alle attese per l'età e/o la classe frequentata) e l'intelligenza generale (adeguata per l'età cronologica). Dunque, durante la fase di diagnosi è doveroso utilizzare test standardizzati volti a misurare sia l'intelligenza generale che l'abilità specifica e, in accordo con quanto affermato nel DSM-5, è necessario escludere possibili cause esterne dovute ad altre condizioni mediche o situazioni ambientali di svantaggio socioculturale che possono interferire con un'adeguata istruzione.

A causa dell'esistenza di alcune difformità a livello nazionale e internazionale su come si debba utilizzare il criterio della discrepanza, la *Consensus Conference* ha definito principalmente due parametri su cui basare la diagnosi di DSA:

- la compromissione dell'abilità specifica deve essere significativa, ossia inferiore a $-2DS^2$ (o al 5° percentile) dei valori normativi attesi per l'età o la classe frequentata;
- il livello intellettuale (QI) deve essere nei limiti di norma, ossia non inferiore a $-1DS$ (equivalente a un valore di 85) rispetto ai valori medi attesi per l'età.

Vi è un comune accordo circa l'importanza di una diagnosi accurata e meticolosa, in quanto è necessario personalizzare l'intervento riabilitativo, ponendo in primo piano le peculiari caratteristiche di ogni individuo.

1 La *Consensus Conference* è un evento promosso dall'Associazione Italiana Dislessia (A.I.D.) a cui hanno preso parte tutte le principali associazioni clinico-scientifiche che si occupano di DSA per definire standard clinici condivisi per la diagnosi e la riabilitazione della dislessia e dei disturbi ad essa correlati.

2 La sigla DS sta per Deviazione Standard.

2. La discalculia evolutiva

2.1 Definizione e caratteristiche della discalculia

“Disturbo che influisce sulla capacità di acquisire abilità numeriche. I soggetti con discalculia possono avere difficoltà a comprendere semplici concetti numerici, essere privi della capacità intuitiva di cogliere i numeri e avere difficoltà nell'apprendere i fatti numerici e le procedure aritmetiche” (UK Department of Educational and Skilss, 2001).

Dagli studi empirici sembrerebbe che alla base della discalculia vi sia un deficit relativo al concetto di numerosità, ossia la capacità di cogliere intuitivamente i numeri. Butterworth (2005) definisce il concetto di numerosità come la capacità astratta di percepire, rappresentare e manipolare le quantità numeriche; essa non denota una caratteristica di un oggetto, come per esempio il colore o la forma, ma è una proprietà di un insieme che può essere composto da un qualsiasi elemento (oggetti concreti o astratti e suoni). Secondo l'autore (1999-2005), inoltre, l'uomo possiede il *modulo numerico*, un circuito specializzato per l'elaborazione della numerosità; dunque, le abilità matematiche di base, che dipendono dal concetto di numerosità, sarebbero geneticamente determinate e presenti sin dalla nascita.

La discalculia evolutiva sembra essere una difficoltà specifica nella comprensione dei concetti numerici di base, soprattutto del concetto di numerosità; essa potrebbe incidere sulla capacità di svolgere compiti anche molto semplici come contare o confrontare grandezze numeriche (Butterworth, 2007; Iuculano, Tang, Hall e Butterworth, 2010).

I ricercatori hanno cercato di identificare i correlati cognitivi e neuropsicologici della discalculia evolutiva, nel tentativo di individuare gli elementi causali, presentandosi essa spesso in comorbidità con i deficit di attenzione, di memoria di lavoro e di memoria semantica. Molte ricerche si sono soffermate sulla memoria semantica (Geary, Hamson, Hoard, 2000) e sulla memoria di lavoro (Geary, 1993). Secondo i ricercatori un deficit della memoria semantica potrebbe spiegare anche l'origine delle difficoltà di lettura riscontrate spesso in comorbidità con la discalculia, in quanto i bambini discalculici mostrano difficoltà a leggere e a ricordare i fatti aritmetici; tuttavia questa ipotesi non è supportata da un adeguato numero di prove sperimentali. Inoltre studi di neuropsicologia indicano che la conoscenza dei numeri è distinguibile dalla memoria semantica verbale (Cappelletti, Butterworth, Kopelman, 2001) e che i sistemi di memoria semantica per le informazioni numeriche e non numeriche

sono localizzati in aree diverse del cervello (Thioux, Seron e Pesenti, 1999). Questa dissociazione funzionale e anatomica tra i due sistemi rende improbabile che alla base della discalculia e della dislessia vi sia lo stesso deficit semantico. Geary (1993) suggerisce anche che un deficit a carico della memoria di lavoro potrebbe condurre a difficoltà nell'esecuzione delle procedure di calcolo e nell'apprendimento dei fatti aritmetici. Tuttavia i risultati empirici delle ricerche che studiano la correlazione tra la capacità della memoria di lavoro fonologica e la discalculia sono contraddittori. Siegel e Ryan (1989), sulla base di alcune evidenze empiriche, hanno ipotizzato l'esistenza di un sistema di memoria di lavoro specializzato per le informazioni numeriche, affermando quindi che i soggetti con discalculia hanno problemi specifici in questo sistema. In seguito anche McLean e Hitch (1999) sono arrivati a risultati simili, affermando che i bambini discalculici non hanno deficit nella capacità di memoria di lavoro fonologica generale, nonostante possano avere dei malfunzionamenti a livello della capacità di memoria di lavoro per le informazioni numeriche. Koontz e Berch (1996), invece, hanno rilevato un problema a livello della memoria di lavoro in generale. Infine, Temple e Sherwood (2002) non hanno trovato differenze tra il gruppo dei bambini discalculici e quello di controllo in nessuna delle misure di memoria di lavoro, né tra le misure di memoria di lavoro e quelle di capacità aritmetica. Non si è quindi giunti ad un accordo comune sul ruolo della memoria di lavoro nella discalculia. Ad oggi non ci sono dati a sufficienza per ritenere come elemento causale della discalculia la memoria di lavoro.

Un altro approccio per comprendere le origini della discalculia è stato quello di definirne alcuni sottotipi in funzione della presenza o meno di altre difficoltà, in modo da individuare delle cause comuni ai vari disturbi.

La discalculia può presentarsi in comorbilità con differenti patologie: altri disturbi specifici di apprendimento, deficit dell'attenzione/iperattività (Badian 1983; Rosenberg, 1989; Shalev et al., 2001), scarsa coordinazione oculo-manuale (Siegel e Ryan, 1989) e scarsa memoria per il materiale non verbale (Fletcher, 1985). Infine, un disturbo molto spesso associato al deficit di calcolo è la dislessia. Landerl, Bevan e Butterworth (2010) hanno suddiviso i bambini in quattro gruppi di soggetti in base alla tipologia di deficit posseduta: deficit di calcolo, deficit di lettura, doppio deficit e controlli. I bambini discalculici hanno evidenziato deficit generali nell'elaborazione numerica, tra cui l'accesso alle informazioni numeriche semantiche e verbali, la conta di pallini, la verbalizzazione di sequenze di numeri e la scrittura di numeri. Tuttavia i soggetti discalculici senza difficoltà di lettura hanno fornito prestazioni nella

norma, se non superiori, nei compiti che coinvolgono la memoria di lavoro fonologica, l'accesso a informazioni verbali non numeriche, l'intelligenza non verbale, le capacità di linguaggio e quelle psicomotorie. Dunque secondo i ricercatori la discalculia può derivare da un deficit nella rappresentazione e nell'elaborazione delle informazioni specificatamente numeriche. Inoltre soggetti con deficit di lettura non hanno deficit nelle abilità numeriche, ma incontrano diverse difficoltà con gli aspetti verbali o fonologici di alcuni compiti matematici. In conclusione i ricercatori affermano che l'apprendimento della lettura e dell'aritmetica sono funzionalmente indipendenti e che il recupero dei fatti aritmetici non è un processo mediato verbalmente. Il deficit chiave della discalculia evolutiva risiede nell'incapacità congenita di rappresentare ed elaborare le numerosità in modo normale. Questa ipotesi è supportata dai deficit nelle capacità numeriche più elementari, come la conta di pallini, il confronto tra numeri e l'uso del *subitizing*³.

A supporto dell'ipotesi del modulo numerico innato vi sono altri studi. È stato dimostrato che anche infanti (Starkey, Spelke e Gelman, 1990) e animali (Gallistel, 1990) possiedono capacità numeriche. Queste scoperte non supportano l'ipotesi che alle origini della discalculia vi siano delle problematiche nelle aree connesse al linguaggio, come la memoria di lavoro e la memoria semantica. Appare molto più probabile che le funzioni numeriche di base (comprensione di simboli numerici, conta, esecuzione di semplici calcoli) si sviluppino da meccanismi precoci di elaborazione di piccole numerosità, i quali potrebbero causare, se deficitari, la discalculia. Uno studio di Koontz e Berch (1996) è in linea con quanto appena detto: essi hanno dimostrato che in un compito di appaiamento di piccole configurazioni di pallini, i bambini discalculici, anziché ricorrere al *subitizing*, contano. Geary, Bow-Thomas e Yao (1992) hanno trovato che i soggetti discalculici notano meno gli errori di conteggio rispetto ai controlli e presentano un ritardo nella comprensione di alcuni principi della conta⁴ (Gelman e Gallistel, 1978). Nonostante altri studi abbiano fornito dati diversi (Russell e Ginsburg, 1984), la ricerca neuropsicologica ed evolutiva suggerisce l'esistenza di un modulo numerico innato, il cui malfunzionamento causa la discalculia evolutiva.

3 Il *subitizing* è la capacità di determinare la numerosità di un insieme visivo di oggetti in modo immediato, senza contare. Il numero massimo di oggetti percepibili è di circa quattro elementi (Arkinson, Campell e Francis, 1976).

4 Secondo Gelman e Gallistel esistono cinque regole della conta: corrispondenza biunivoca, ordine stabile, cardinalità, astrazione e irrilevanza dell'ordine. I bambini discalculici non comprendono i principi dell'astrazione e dell'irrilevanza dell'ordine, mentre comprendono i restanti e affermano che contare a partire da destra o da sinistra non modifica il risultato finale.

I soggetti con discalculia inoltre utilizzano procedure più immature (come il “contare tutto”⁵) (Geary e colleghi, 1999, 2000) e per più anni, circa fino alla classe quinta della scuola primaria (Geary e Brown, 1991), rispetto ai controlli, i quali sin dalla classe seconda abbandonano la conta sulle dita della mano, in favore della conta verbale e del recupero mnemonico (Geary e colleghi, 1999, 2000).

In generale sembra esserci un accordo comune tra i vari ricercatori, secondo il quale i soggetti con discalculia avrebbero difficoltà ad apprendere e ricordare i fatti aritmetici (Geary, 1993; Geary e Hoard, 2001; Ginsburg, 1997; Jordan e Montani, 1997; Kirby e Becker, 1988; Russell e Ginsburg, 1984; Shalev e Cross Tsur, 2001) e a eseguire le procedure di calcolo; inoltre possiedono strategie di *problem solving* immature, commettono un elevato numero di errori e richiedono tempi più lunghi per risolvere gli esercizi (Geary, 1993).

2.2 La discalculia secondo la *Consensus Conference*

La *Consensus Conference* nel 2007 ha approvato principalmente due profili coinvolti nel disturbo specifico di apprendimento del calcolo:

- un profilo caratterizzato da una debolezza nelle procedure esecutive e del calcolo, in cui sono deficitarie la lettura, la scrittura e l'incolonnamento dei numeri per le procedure esecutive, il recupero dei fatti numerici e gli algoritmi per il calcolo scritto;
- un profilo caratterizzato da una debolezza delle componenti di cognizione numerica o dell'intelligenza numerica di base, in cui sono deficitari il subitizing, la quantificazione, la comparazione, la seriazione e le strategie di calcolo a mente.

2.3 Anatomia e possibili cause alla base della discalculia

Ricerche empiriche hanno dimostrato che i lobi parietali ed in particolare i solchi intraparietali sono implicati nell'elaborazione della numerosità e nelle abilità aritmetiche (Dehaene, Piazza, Pinel e Cohen, 2003). Inoltre studi su singoli casi con pazienti neurologici hanno mostrato che una lesione ai lobi parietali provoca acalculia⁶, pur mantenendo le altre funzioni cognitive intatte (Cipollotti, Butterworth e Denes, 1991), mentre una progressiva atrofia dei lobi

5 Procedura di calcolo in cui si contano entrambi gli addendi (con o senza l'aiuto delle dita) partendo da 1.

6 Impossibilità completa nell'esecuzione di calcoli a mente o scritti a causa di una lesione cerebrale.

temporali provoca un deficit del linguaggio e della memoria semantica, nonostante le capacità di calcolo rimangano intatte, fatta eccezione per le moltiplicazioni e le divisioni presentate in forma scritta (Cappelletti, Butterworth e Kopelman, 2001; Cappelletti, Kopelman e Butterworth, 2002). Un'altra prova empirica del coinvolgimento dei lobi parietali nella discalculia proviene da uno studio in cui le prestazioni in un compito di confronto tra numeri (Cappelletti, Barth, Fregni, Spelke e Pascuale-Leone, 2007; Kadosh et al., 2007) e in uno di recupero di fatti aritmetici (Rusconi, Walsh, and Butterworth, 2005) sono influenzate negativamente dalla stimolazione dei lobi parietali tramite TMS⁷.

Differenze tra malfunzionamenti del lobo parietale destro e del lobo parietale sinistro non sono ancora state confermate empiricamente.

Inoltre Isaacs, Edmonds, Lucas e Gadian (2001) hanno riscontrato nei soggetti con discalculia evolutiva una minore quantità di sostanza grigia nel solco intraparietale sinistro rispetto al gruppo di controllo.

Diversi ricercatori hanno dimostrato che la discalculia potrebbe svilupparsi anche a causa di fattori ereditari. Già nel 1974 Kosh, in uno dei primi studi sistematici sulla discalculia evolutiva, aveva suggerito la possibilità di un ruolo dell'ereditarietà. In seguito in uno studio sui gemelli è stato scoperto che quando uno dei due bambini mostrava un deficit del calcolo, molto spesso anche l'altro fratello ne era in possesso (58% nei monozigoti e 39% nei dizigoti) (Alarcon, Defries, Gillis Light e Pennington, 1997). In un successivo studio Shalev e colleghi (2001) hanno riscontrato che circa la metà dei fratelli e sorelle di bambini con discalculia evolutiva presentava anche essa questo disturbo, con un rischio di circa cinque o dieci volte maggiore rispetto alla popolazione generale.

Infine hanno una notevole influenza sul potenziale sviluppo della discalculia anche le particolari e uniche esperienze di vita e influenze ambientali che ogni soggetto possiede: per esempio, sono state individuate come possibili fattori di rischio le nascite premature, in quanto potrebbero provocare effetti a lungo termine sul sistema cognitivo del bambino (Kovas, Haworth, Dale e Plomin, 2007).

7 *Transcranial Magnetic Stimulation* (stimolazione magnetica transcranica).

2.4 La diagnosi di discalculia

Il disturbo specifico di apprendimento del calcolo può essere diagnosticato a partire dalla fine del terzo anno della scuola primaria. Prima di questo momento è possibile identificare alcuni fattori di rischio e mettere in atto delle attività didattico-pedagogiche mirate al conseguimento di quelle competenze che il soggetto in esame non ha ancora raggiunto (*Consensus Conference, 2007*). Nel corso dell'ultimo anno della scuola dell'infanzia è possibile riscontrare i seguenti fattori di rischio: mancato raggiungimento dell'enumerazione fino al numero dieci, mancato conteggio fino al numero cinque, mancata acquisizione del principio di cardinalità e difficoltà di comparazione tra piccole quantità. Nel corso della prima classe della scuola primaria, invece, è possibile identificare i seguenti fattori di rischio: difficoltà nel riconoscimento di piccole quantità, nella lettura e scrittura dei numeri entro il dieci, nel calcolo orale entro la decina anche con supporto concreto (*Consensus Conference, 2007*).

Secondo quanto riportato nelle *Raccomandazioni per la pratica clinica di dislessia, disortografia, disgrafia e discalculia (Consensus Conference, 2007)* la diagnosi per il deficit del calcolo si suddivide in due fasi: la diagnosi clinica e la diagnosi funzionale. Nel corso della prima fase si somministrano prove standardizzate d'intelligenza numerica e di procedure esecutive e di calcolo e prove per la valutazione del livello intellettuale. Per quanto riguarda la valutazione delle abilità di calcolo e numeriche non è ancora stato specificato il numero di prove che devono essere deficitarie per poter porre la diagnosi. Il clinico, inoltre, deve valutare attentamente l'indagine anamnestica, esaminare lo sviluppo visivo e uditivo e analizzare il bilancio di salute operato dal pediatra o dal medico curante del bambino. In seguito è necessario escludere altre patologie o anomalie sensoriali, neurologiche e cognitive e gravi psicopatologie. Nella seconda fase si valutano altre abilità fondamentali o complementari mediante l'indagine strumentale, l'osservazione clinica sia delle funzioni deficitarie sia di quelle integre, l'indagine relativa ai fattori ambientali e alle condizioni emotive e relazionali e l'esame di comorbilità.

Gli strumenti di valutazione disponibili sono i seguenti:

- ABCA. Test delle abilità di calcolo aritmetico (Lucangeli, Tressoldi e Fiore, Trento Erikson, 1998);
- BDE. Batteria per la discalculia evolutiva (Biancardi e Nicoletti, Torino, Omega, 2004);

- Test delle abilità di Soluzione dei Problemi Matematici (SPM) di Lucangeli, Tressoldi e Cendron, Trento, Erikson, 1998;
- Valutazione delle Abilità Matematiche (alcune schede) di Giovanardi Rossi e Malaguti, Trento, Erikson, 1994;
- AC-MT. Test di valutazione delle abilità di calcolo – Gruppo MT di Cornoldi, Lucangeli e Bellina, Trento, Erikson, 2002;
- Prove oggettive di matematica per la scuola elementare di Soresi, Corcione e Gruppo Emmepiù, Firenze, Giunti OS, 1992;
- Mat 2: Test di matematica per la scuola dell'obbligo di Amoretti, Bazzini, Pesci e Reggiani, Firenze, Giunti OS, 1994.

3. I trattamenti riabilitativi per la discalculia

3.1 Introduzione agli interventi per la discalculia

La ricerca scientifica è in continuo sviluppo per quanto riguarda il trattamento riabilitativo della discalculia evolutiva, anche se ad oggi esistono ancora pochi studi che abbiano confermato empiricamente l'efficacia dei diversi interventi.

In primo luogo i soggetti con questo disturbo hanno il diritto di utilizzare strumenti compensativi (formulari, schemi, mappe, calcolatrici e tavole pitagoriche) per affrontare i compiti a casa e le valutazioni in classe e di usufruire di misure dispensative, che consistono nell'esonero da determinate attività; hanno a disposizione, solitamente, un tempo maggiore per lo svolgimento delle verifiche e possono essere esonerati dall'esecuzione completa della verifica. I docenti, infatti, dopo aver preso visione della diagnosi, devono compilare il PDP, un documento in cui vengono riportate le misure compensative e quelle dispensative relative al soggetto in questione.

3.2 Interventi basati sui software

Diversi ricercatori hanno ipotizzato che interventi mirati possano avere effetti benefici sulle competenze matematiche dei bambini con discalculia, modificando, grazie alla marcata plasticità neuronale del cervello, le connessioni cerebrali che supportano le abilità numeriche. Dati recenti mostrano risultati incoraggianti e, ad oggi, diversi ricercatori stanno lavorando sullo sviluppo di software e programmi d'intervento basati sull'uso del computer sempre più specializzati e sofisticati. Potenziare la rappresentazione del numero e il legame tra numeri e spazio è l'obiettivo principale di queste ricerche. Secondo Dehaene et al. (1993) lo sviluppo di una rappresentazione spaziale del numero è fondamentale per la successiva comprensione del principio di ordinalità, che a sua volta è associato all'abilità di categorizzare i numeri in ordine di grandezza.

3.2.1 Numeracy Recovery & Catch up Numeracy

I primi due programmi di intervento che ho analizzato sono *Numeracy Recovery* e *Catch Up Numeracy*, la cui efficacia nella riabilitazione della discalculia evolutiva è stata dimostrata da Dowker e Sigley (2010).

Il programma *Numeracy Recovery* è stato testato sviluppando un esperimento in cui sono stati inclusi 168 bambini inglesi di età compresa tra i sei e i sette anni con difficoltà in matematica. All'inizio e alla fine dello studio essi sono stati valutati attraverso alcuni test standardizzati: il *Basic Number Skills subtest* della *British Abilities Scales*, 2nd edition (BAS; Elliott, Smith e McCulloch, 1996); il *Numerical Operations subtest* della *Wechsler Objective Numerical Dimensions* (WOND; Wechsler, 1996) e l'*Arithmetic subtest* della *Wechsler Intelligence Scale for Children*, 3rd edition (WISC-III; Wechsler, 1991).

Nel pre-test i bambini sono stati valutati in diverse aree: abilità di conteggio, operazioni matematiche (addizione e sottrazione), lettura e scrittura di numeri, valore posizionale delle cifre, problemi in formato verbale e numerico, proprietà aritmetiche (proprietà commutativa e associativa dell'addizione), stime aritmetiche e recupero di fatti aritmetici. Il progetto del programma di intervento è stato sviluppato sulla base degli esiti del pre-test, in modo tale da creare interventi personalizzati per le necessità di ogni soggetto. Durante il training ogni bambino è stato seguito per circa trenta minuti a settimana da un insegnante o da un assistente adeguatamente preparati.

Il progetto si è concentrato sulle seguenti componenti matematiche:

- abilità di conteggio: evidenze teoriche hanno trovato che alcuni bambini con discalculia di sei anni non riescono a contare come i coetanei (Griffin, Case e Siegler, 1994; Yeo, 2003) (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 5% del campione);
- principi associati al conteggio e loro applicazione (Gelman e Gallistel, 1978): in particolare l'intervento su questa componente si è concentrato sul principio dell'irrelevanza dell'ordine, sull'addizione e sulla sottrazione (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 16% del campione);
- scrittura e lettura di numeri in cifre: i bambini con discalculia hanno difficoltà a rappresentare le quantità come numeri (Fuson, 1992; Ginsburg (1977) (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 34% del campione);
- comprensione del valore posizionale dei numeri e utilizzo di decine e unità nelle operazioni: diverse ricerche indicano che bambini con deficit del calcolo riscontrano problemi anche in questa componente (77% del campione; Fuson e Burghardt, 2003, Hiebert e Wearne, 1994 e Thompson, 2003);
- risoluzione di problemi verbali: i bambini con difficoltà in questa componente trovano più complessi i problemi che includono confronti tra quantità piuttosto che variazioni

di quantità (De Corte e Verschaffel, 1987; Riley et al., 1983) (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 58% del campione);

- trasformazione o risoluzione di problemi aritmetici presentati in forma verbale e numerica: Huges ha mostrato come i bambini con discalculia abbiano problemi anche in questa tipologia di compiti (1986) (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 62% del campione);
- derivazione di fatti sconosciuti da fatti conosciuti: utilizzo delle proprietà commutativa e associativa (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 71% del campione);
- stime aritmetiche: stimare (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 56% del campione);
- recupero di strategie numeriche (ha ricevuto questa tipologia di intervento circa il 58% del campione).

Alla fine dei sei mesi di training i bambini sono stati valutati nuovamente. I risultati mostrano effetti positivi nei post-test per tutti i subtest utilizzati, confermando quindi l'efficacia del software nella riabilitazione della discalculia evolutiva.

In seguito i ricercatori, in collaborazione con Lawes e Holmes, hanno esteso il primo programma di intervento per un suo uso più ampio, chiamando il nuovo software *Catch Up Numeracy*. I ricercatori hanno selezionato 246 bambini con difficoltà in matematica di età compresa tra i sei e i dieci anni, di cui 154 hanno ricevuto l'intervento mediante l'utilizzo del software, 50 hanno ricevuto un intervento non mirato e i restanti non hanno ricevuto alcun intervento specifico, eccezion fatta dell'usuale istruzione scolastica. All'inizio e alla fine dello studio i bambini sono stati sottoposti al *Basic Number Screening Test*. Ogni bambino è stato sottoposto a due sessioni da quindici minuti ogni settimana per circa trenta settimane sotto la supervisione di un insegnante o di un assistente adeguatamente preparati. Inoltre all'inizio del training è stato creato per ciascun soggetto il *Catch Up Numeracy learner profile*, un profilo personalizzato usato per determinare il livello di entrata per ognuna delle dieci componenti, al fine di programmare adeguatamente l'intervento, il quale comprende, quindi, giochi matematici e attività mirate specifici per il livello di ogni bambino. All'inizio di ogni sessione il bambino e l'insegnante hanno esaminato i risultati raggiunti nella sessione precedente e programmato il lavoro per la nuova seduta.

Il training si focalizza su una o più delle dieci componenti incluse nel programma:

- conteggio verbale;

- conteggio di oggetti;
- lettura e scrittura di numeri;
- centinaia, decine e unità;
- numeri ordinali;
- problemi;
- trasformazione (per esempio trasformare una parola-numero in cifra);
- strategie e procedure;
- stima;
- memorizzazione dei fatti aritmetici.

L'analisi dei dati ha mostrato un effetto significativo dell'intervento mediante il programma *Catch Up Numeracy*, in quanto i bambini hanno fornito prestazioni migliori nel post-test nelle componenti inizialmente carenti.

3.2.2 The Number Race

The Number Race è un software sviluppato da Wilson, pensato come gioco per sviluppare e potenziare le abilità di apprendimento di bambini al di sotto degli otto anni. Si basa sul principio della *zona dello sviluppo prossimale* (Vygotsky, 1978), secondo la quale è necessario individuare il livello di sviluppo del bambino in questione, stimolandone l'accrescimento mediante la somministrazione di compiti leggermente più complessi rispetto al suo livello di sviluppo in modo da permettergli il raggiungimento di un livello superiore.

In questo studio i bambini hanno utilizzato il programma per un periodo di cinque settimane.

Il software permette il potenziamento principalmente di quattro aree:

- il concetto di numerosità (senso del numero): abilità di rappresentare e manipolare quantità numeriche approssimative in formato simbolico non verbale; per il potenziamento di quest'area il software prevede compiti di confronto tra quantità numeriche e attività per incrementare l'associazione tra numero e spazio;
- il collegamento tra rappresentazioni di quantità numeriche non verbali e sviluppo di altre rappresentazioni numeriche simboliche come per esempio il sistema dei numeri arabi o il sistema delle parole-numero;
- strategie aritmetiche di addizione e sottrazione;
- livelli di attenzione e di motivazione.

Nel gioco sono presenti due schermate principali in cui i bambini devono svolgere determinate attività giocando contro un *avatar* del computer: *comparison screen* e *board screen*. Nella prima schermata i bambini devono eseguire un compito di confronto scegliendo tra due la maggiore quantità di un tesoro (*range*: 1-9), dovendo svolgere, a volte, una sottrazione o un'addizione per indicare la risposta corretta.

Le quantità possono essere rappresentate in formato non simbolico (gruppo di monete), in formato simbolico (cifre arabe), in formato simbolico verbale (numeri espressi in parole) o in una combinazione di questi formati.

Nella seconda schermata il bambino deve muovere il suo personaggio e quello dell'avversario in base al numero di monete acquisite da entrambi. Quando il bambino finisce il percorso prima dell'avversario riceve un premio. Una volta che il bambino ha accumulato un certo numero di premi, è possibile sbloccare un nuovo personaggio con cui giocare.

Per adattare costantemente il livello di difficoltà del software al grado di sviluppo delle competenze del bambino, i ricercatori hanno associato ad ogni soggetto un algoritmo multidimensionale a tre dimensioni (distanza tra i numeri, velocità e complessità concettuale), la cui grandezza varia al variare del livello raggiunto e delle difficoltà superate.

Dai risultati è emerso che il software produce con successo un incremento nella cognizione numerica di base, ma, nonostante i risultati incoraggianti, è doveroso mettere in luce alcuni limiti: in primo luogo esso è stato testato su un piccolo campione (solo nove soggetti) e in secondo luogo l'esperimento si è svolto senza un gruppo di controllo.

3.2.3 Rescue Calcularis

Nel 2010 è stato sviluppato *Rescue Calcularis*, un programma di intervento basato sulla linea mentale dei numeri (Kucia, Grond, Rotzer, Henzi, Schonmann, Plangger, Galli, Martin, Von Aster, 2010). L'obiettivo dei ricercatori consiste nella creazione di un software che favorisca un buono sviluppo della linea mentale dei numeri, il quale risulta essere un aspetto fondamentale nello sviluppo delle abilità matematiche. Ci si aspetta che, dopo il training, i bambini abbiano acquisito nuove e automatizzate competenze spaziali numeriche e matematiche.

Sono stati inseriti nello studio sedici bambini con deficit del calcolo (gruppo sperimentale) e sedici bambini senza alcun deficit (gruppo di controllo). Tutti i partecipanti sono stati valutati attraverso alcune batterie testistiche prima e dopo il training. Metà dei soggetti discalculici ha iniziato subito il training e in seguito è stata a riposo per cinque settimane, mentre l'altra metà ha iniziato il training dopo le cinque settimane di riposo.

I soggetti sono stati valutati nei seguenti modi:

- somministrazione ai bambini e ai genitori di un questionario per valutare le eventuali difficoltà incontrate durante il training e il grado di motivazione dei partecipanti;
- somministrazione della *Neuropsychological Test Battery for Number processing and Calculation in Children (ZARELI-R: Von Aster et al., 2006)* per valutare le abilità matematiche;
- somministrazione dei subtest *Vocabulary, Arithmetic, Similarities, Picture Arrangement* della *Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC-III, Wechsler, 1999)* per valutare il QI;
- somministrazione della *Number Line*, un'attività cartacea sulla linea dei numeri per valutare il grado di adeguatezza della rappresentazione mentale del numero: i soggetti devono indicare su una retta che va dal valore zero al valore cento la posizione di un determinato numero, quella del risultato di una sottrazione o di un'addizione da loro eseguita o la posizione del numero corrispondente a un insieme di elementi visualizzato per circa tre secondi;
- somministrazione del *Corsi-Block Tapping test* e *Block Suppression Test* per valutare la memoria di lavoro visuo-spaziale.

Il software *Rescue Calcularis* si pone come obiettivi il miglioramento della rappresentazione mentale del numero, l'automatizzazione dell'accesso alla linea mentale dei numeri (favorendo quindi il miglioramento dell'associazione tra rappresentazione del numero e spazio) e la comprensione dei concetti di ordinalità del numero, di stima e di abilità aritmetiche.

Ciascun bambino ha utilizzato il software quindici minuti al giorno per cinque giorni a settimana per cinque settimane.

Il programma d'intervento si presenta sotto forma di un gioco in cui è necessario sbloccare dei livelli per poter proseguire, eseguendo di volta in volta degli esercizi mirati al potenziamento delle abilità sopracitate. Il gioco è stato curato nel dettaglio per incrementare l'interesse e la motivazione dei bambini. Inoltre ogni partecipante ha avuto la possibilità di adattare il software al suo livello di sviluppo.

I feedback ricevuti dai questionari dei genitori e dei bambini sono positivi: il gioco è adatto a bambini di classe seconda, terza e quarta della scuola primaria; inoltre i soggetti hanno trovato il software piacevole e interessante e non hanno riscontrato difficoltà nel suo utilizzo senza la supervisione di un adulto.

Dall'analisi dei dati emerge che entrambi i gruppi, quello sperimentale e quello di controllo, hanno mostrato un aumento dell'accuratezza nell'indicare la posizione corretta di un numero sulla linea dei numeri dopo il training, sebbene i bambini con discalculia abbiano ottenuto maggiori benefici e miglioramenti rispetto al gruppo di controllo. Inoltre è stato riscontrato un miglioramento nel compito di confronto tra grandezze numeriche, nella comprensione del concetto di ordinalità e nella rappresentazione mentale dei numeri. Si è visto, poi, che una rappresentazione mentale più accurata del numero è accompagnata da un incremento delle prestazioni matematiche, in quanto entrambi i gruppi hanno commesso meno errori di calcolo nell'addizione e nella sottrazione nel post-test. Tuttavia non è possibile affermare se questo sia l'effetto del training o di una maggiore dimestichezza negli esercizi di calcolo.

3.2.4 Calcularis

Nel 2013 i ricercatori Kaser, Baschera, Kohon, Kucian, Richtmann, Grond, Gross e von Aster hanno sviluppato un programma di intervento per bambini con difficoltà di apprendimento in matematica chiamato *Calcularis*.

Hanno partecipato a un training di sei o dodici settimane trentadue bambini con disturbo di apprendimento del calcolo, utilizzando il gioco per circa venti minuti al giorno per cinque giorni.

Questo software ha preso spunto in alcuni suoi elementi da *Rescue Calcularis* (Kucian et al., 2011).

Il programma è costituito da diversi giochi strutturati gerarchicamente in base al livello di difficoltà suddivisibili principalmente in tre aree: rappresentazione del numero negli aspetti di cardinalità, ordinalità e relatività, operazioni aritmetiche e problemi aritmetici.

Tutti i bambini hanno iniziato il training con lo stesso gioco; in seguito, mediante l'uso dei diversi comandi *stay*, *go back* e *go forward*, è stato possibile personalizzare il percorso di ciascun soggetto a seconda del suo livello di apprendimento e delle sue difficoltà. Il sistema prevede anche delle opzioni di rimedio nel caso in cui il bambino commetta determinati errori; infatti esso possiede un database con i *pattern* di errori più ricorrenti.

Tra i vari giochi troviamo:

- *Ordering*: fa parte dell'area “rappresentazione del numero” e permette il potenziamento della comprensione del concetto di ordinalità: i bambini devono valutare se una sequenza numerica, vista per circa cinque secondi, sia in ordine crescente;
- *Landing*: è il gioco più importante dell'area “rappresentazione del numero”: i bambini devono indicare la posizione di un determinato numero, presentato in forma verbale o scritta, su una linea dei numeri utilizzando il computer;
- *Slide rule* e *Plus and Minus*: entrambi i giochi appartengono all'area delle “operazioni matematiche” e permettono il potenziamento delle operazioni di addizione e di sottrazione.

Tutti i soggetti dello studio sono stati valutati all'inizio e alla fine del training tramite diversi test (subtest dell'addizione e della sottrazione del *Heidelberger Rechentest*, HRT; *Arithmetic*, AC; *Number line*, NL; *Non-symbolic magnitude comparison*, NC; *Estimation*); in seguito hanno compilato un questionario, indicando per ogni gioco i livelli di piacevolezza, di difficoltà e di miglioramento.

I risultati dell'analisi mostrano degli effetti incoraggianti per quanto riguarda la sottrazione, i tempi di svolgimento dei problemi, la linea dei numeri e il concetto di rappresentazione del numero; anche i feedback dei questionari sono positivi.

È doveroso indicare, tuttavia, alcuni limiti: in primo luogo l'efficacia a lungo termine del software non è stata testata nei mesi successivi al training; in secondo luogo i bambini che hanno preso parte allo studio presentavano sì delle difficoltà in matematica, ma non era stato loro diagnosticato un disturbo specifico di apprendimento nell'area del calcolo.

3.2.5 Virtual environment

Recentemente è stato sviluppato un nuovo programma di intervento per la riabilitazione dei soggetti con discalculia (de Castro, Bissaco, Panccioni, Rodrigues, Domingues, 2014). I ricercatori hanno dimostrato come la creazione di un gioco virtuale possa incrementare notevolmente le prestazioni dei bambini discalculici. L'ambiente virtuale da essi creato si chiama *Tom's Rescue* e narra la storia di una tartaruga che è stata sottratta dal suo ambiente naturale, la foresta, e portata in una città; l'obiettivo del gioco è salvare la tartaruga mediante l'utilizzo di un altro personaggio, Caco, una scimmia.

Vi sono in totale dieci sessioni che comprendono varie tipologie di giochi a seconda dell'abilità che si vuole potenziare (nella tabella 1 è riportato l'elenco delle attività).

Game	Abilità sviluppate
Caco Files	Operazioni aritmetiche (addizione e sottrazione), ragionamento visuale, calcolo mentale.
Lost Ruins	Operazioni aritmetiche (addizione e sottrazione), ragionamento visuale, calcolo mentale.
Slot Machine	Addizione, confronto tra forme geometriche.
Off Road	Sequenze di numeri, calcolo mentale, sottrazione e addizione.
Number Race 1	Conta e sequenze di numeri.
Number Race 2	Operazioni aritmetiche (addizione) e calcolo mentale.
Memory	Ragionamento visuale e memoria.
Shark	Addizione e calcolo mentale.

Selling Corn	Addizione, calcolo mentale e moltiplicazione.
Beware of the Alligator	Addizione e calcolo mentale.
Flash Cards	Addizione e calcolo mentale.
Noggin Breaker	Ragionamento visuale e spazio visivo.
Monkey Puzzle	Ragionamento visuale e spazio visivo.
Motocross	Identificazioni di simboli.
Wrapping presents	Conta, forme geometriche.
Dance, Dance and Dance!!	Operazioni aritmetiche (addizione), calcolo mentale.
Apple Harvest	Identificazione di simboli, ragionamento visuale.
Hit the Balloons	Ragionamento visuale, conta, spazio visivo.

Tabella 1: elenco attività del software Tom's Rescue.

Il bambino può scegliere da quale attività partire e può ripetere più volte il gioco. Non è prevista alcuna penalità o punizione in caso di errore: ciò diminuisce la frustrazione determinata dai ripetuti errori e aumenta la curiosità e il desiderio di apprendere dei bambini. Per lo studio sono stati selezionati ventisei soggetti, con discalculia evolutiva, di età compresa tra i sette e i dieci anni. I partecipanti sono stati valutati con un pre-test (subtest dell'aritmetica contenuto in *Scholastic Performance Test, SPT*) per determinare le loro capacità matematiche e in seguito sono stati suddivisi tramite randomizzazione in due gruppi: il gruppo sperimentale (EG) che ha utilizzato il software e il gruppo di controllo (CG) che ha studiato utilizzando le tecniche di apprendimento tradizionali. Alla fine del training entrambi i gruppi sono stati valutati nuovamente attraverso l'SPT.

Dall'analisi dei dati emerge una significativa differenza tra i gruppi nel post-test (assente invece nel pre-test), mostrando un netto miglioramento delle performance nel gruppo sperimentale. Si ritiene, inoltre, che un disegno sperimentale privo di sentimenti di frustrazione e con possibilità di esplorare e prendere decisioni arbitrarie, sia fondamentale per i soggetti che presentano una storia di frustrazione nell'ambiente scolastico. Il post-test del gruppo sperimentale ha mostrato notevoli miglioramenti nella capacità di indicare una

sequenza di numeri in ordine crescente, nelle procedure aritmetiche del calcolo e nell'abilità di transcodifica dei numeri dalla forma verbale e alla forma araba.

4. Embodied Cognition

4.1 Teoria e applicazioni nella discalculia

Negli ultimi decenni si è sviluppato un nuovo filone delle scienze post-cognitivistice, l'*Embodied Cognition*. Secondo i sostenitori di questo approccio, non è possibile considerare la cognizione come un processo amodale, distaccato dalla percezione e dall'azione (Smith e Sheya, 2010), ma risulta invece essere dipendente dal sistema senso-motorio e dalla morfologia del nostro corpo. Farebbero quindi parte dei processi cognitivi anche i processi senso-motori, l'azione, le emozioni e l'enterocezione.

Tradizionalmente, nelle scienze cognitive, la cognizione riguardava il pensare ed era considerata totalmente differente dal sentire e dall'agire; era un processo mentale simbolico, in quanto forniva delle rappresentazioni astratte di sé e del mondo.

Recenti studi supportano una visione della cognizione totalmente differente (Barsalou, Simmons, Barbey e Wilson, 2003; Clark, 2011; Crollen, Dormal, Seron, Lepore e Collignon, 2013; Maouene e Ionescu, 2011; Riegler, 2002; Schubert e Semin, 2009; Wilson, 2002): dati sulla cognizione numerica (Crollen et al., 2013), sulla conoscenza concettuale (Barsalou et al., 2003; Boncoddò, Dixon e Kelley, 2010; Borghi, Glenberg e Kaschak, 2004; Vankov e Kokinov, 2013), sull'apprendimento della matematica (Goldin-Meadow e Singer, 2003; Goldin-Meadow, Wagner Cook e Mitchell, 2009; Wagner Cook, 2011), sulla comprensione del linguaggio (Glenberg, Sato, Cattaneo, Riggio, Palumbo e Buccino, 2008), sull'apprendimento del linguaggio (Maouene, Sethuraman, Laakso e Maouene, 2011) e sullo sviluppo cognitivo (Smith, 2009) mostrano come il sistema cognitivo sia dipendente dal sistema senso-motorio; dunque l'agire e il sentire dovrebbero fare parte del pensare stesso.

Agli stessi risultati sono giunti anche i ricercatori Andres, Olivier e Badets nel 2008, affermando che il sistema motorio controlla e monitora le azioni e contribuisce anche all'elaborazione e alla rappresentazione cognitive.

L'*Embodied Cognition* si sta ampiamente sviluppando in molti settori. In questo elaborato mostrerò alcune evidenze a favore dell'applicazione di questa teoria al trattamento della discalculia evolutiva. Recenti studi hanno, infatti, mostrato come anche le abilità matematiche e il concetto di numerosità siano in qualche modo legate al sistema senso-motorio; in particolare spiegherò come i soggetti con discalculia evolutiva potrebbero beneficiare di un training che integri la cognizione numerica nel sistema senso-motorio.

Alcuni studi hanno dimostrato l'importante ruolo dei movimenti delle nostre mani nella risoluzione di differenti compiti, come per esempio l'uso della conta sulle dita utilizzata dai bambini della scuola primaria come ausilio nello svolgimento di esercizi di matematica.

In uno studio del 2008 Cook, Mitchell e Goldin-Meadow sono arrivati a risultati incoraggianti. Nella suddetta ricerca il gruppo sperimentale doveva mimare i gesti eseguiti dallo sperimentatore che suggerivano come risolvere un determinato problema. Il gruppo di controllo, invece, doveva limitarsi a ripetere verbalmente le strategie di risoluzione espresse dallo sperimentatore. Si è visto che nel follow up del mese successivo il gruppo sperimentale era riuscito a svolgere correttamente un numero maggiore di esercizi, rispetto al gruppo di controllo. Questo dimostra come il linguaggio gestuale favorisca l'apprendimento, in quanto supporta il mantenimento delle informazioni apprese nella memoria a lungo termine.

Dehane, Bossini e Giroux (1993) hanno ipotizzato che la grandezza numerica sia rappresentata in modo ascendente lungo una linea mentale dei numeri orientata da sinistra verso destra, che si attiva automaticamente nel momento in cui ci si imbatte in un numero e che si sviluppa nei primi anni della scuola primaria (Berch, Foley, Hill e McDoonough, 1999; van Galen e Reitsma, 2008). Sembrerebbe, inoltre, che l'abilità di posizionamento dei numeri lungo questa linea migliori con l'età e con l'esperienza (Booth e Siegler, 2008). Nelle culture occidentali la linea mentale dei numeri sembrerebbe essere orientata in modo tale per cui i numeri siano disposti in ordine crescente da sinistra verso destra (De Hevia, Girelli, Macchi-Cassia, 2012; Wood, Nuerk, Moeller, Geppert, Schnitker, Weber et al., 2008).

Il metodo migliore per esaminare la rappresentazione della grandezza numerica è il compito della linea numerica (Siegler e Opfer, 2003), in cui il soggetto deve indicare la posizione corretta di un determinato numero su un'ipotetica linea numerica; l'accuratezza viene inferita attraverso la distanza tra la posizione indicata dal soggetto e quella corretta.

Inoltre, si è visto che nei bambini la rappresentazione della linea mentale influenza lo sviluppo aritmetico; in particolare Booth e Siegler (2008) hanno trovato che i bambini con una più accurata rappresentazione della linea numerica ottengono risultati migliori nelle prestazioni aritmetiche. In linea con questi studi, Geary, Hoard, Nugent e Bailey hanno mostrato che i bambini con discalculia hanno una rappresentazione mentale della linea dei numeri più debole (2008).

Diversi ricercatori hanno ipotizzato che sia possibile rafforzare la linea mentale dei numeri sia nei bambini con sviluppo normale che nei bambini con discalculia evolutiva. Ramani e Siegler (2008) hanno trovato che i giochi da tavolo che utilizzano la retta numerica favoriscono sia lo sviluppo della rappresentazione della linea mentale dei numeri sia altre abilità matematiche, quali la conta, la denominazione di numeri e il confronto tra numeri (Ramani e Siegler, 2008; Siegler e Ramani, 2009; Whyte e Bull, 2008).

Un altro esempio è l'*Embodied numerosity* (Moeller, Fischer, Link, Wasner, Huber, Cress, Nuerk, 2012), di cui fa parte il metodo della conta sulle dita. Di Luca e Pesenti (2008) hanno esaminato l'associazione tra numeri cardinali e la rappresentazione delle dita, in un compito di confronto tra *pattern* canonici di conta sulle dita (per esempio il numero tre rappresentato dal pollice, dall'indice e dal dito medio) e non canonici (per esempio il numero tre rappresentato dall'indice, dall'anulare e dal mignolo). Essi hanno trovato che i soggetti forniscono risposte più velocemente per i primi. Questa scoperta, insieme ad altre, indica che la rappresentazione dei numeri è influenzata dalla sequenza ordinale delle dita nella conta sulle mani (quindi il dito medio è rappresentato dal numero tre in quanto è il terzo dito che bisogna alzare per contare fino a tre partendo da sinistra).

Inoltre, è stata trovata una rappresentazione comune dei numeri e delle dita nel cervello umano (Kaufmann et al., 2008; Rusconi et al., 2005). Per questo motivo alcuni autori hanno proposto il concetto di rappresentazione incarnata del numero basata sulle dita delle mani (Fischer e Brugger, 2011). Essa si attiva automaticamente insieme ad altre rappresentazioni numeriche ogniqualvolta ci si imbatte in un numero ad una cifra.

Si è poi cercato di estendere il concetto di *Embodied Numerosity* alla rappresentazione di tutto il corpo e non solo delle dita. Fischer (2008) ha trovato che l'abitudine di contare sulle dita delle mani crea un'associazione tra i numeri e lo spazio, in quanto i soggetti che iniziano a contare dalla mano sinistra associano alla sinistra i numeri minori e alla destra i numeri maggiori in maniera più marcata rispetto a coloro i quali iniziano a contare a partire dalla mano destra. Nel 2011 Fischer, Moeller, Bientzle, Cress e Nuerk hanno sviluppato un programma di intervento basato sul sistema senso-motorio in cui i bambini sono stati guidati nello svolgimento di un compito di confronto tra grandezze numeriche.

Hanno completato il training diciannove bambini di età compresa tra i cinque e i sei anni. Tutti i soggetti hanno partecipato sia alla condizione sperimentale, in cui i bambini, per fornire le risposte, sono stati aiutati da una linea spaziale numerica e da un tappetino da ballo,

sia alla condizione di controllo, in cui i bambini hanno fornito le risposte mediante l'uso di un computer. In entrambe le condizioni gli stimoli sono stati rappresentati da numeri arabi appartenenti ai *range* 0-10 o 0-20. I bambini hanno partecipato a tre sessioni per ogni condizione, della durata di circa quindici minuti in un periodo totale di tre settimane. Nella condizione sperimentale un numero è stato presentato di fronte ai soggetti e un numero standard è stato presentato sulla linea numerica; i soggetti dovevano confrontare il numero di fronte a loro con quello standard e fare un passo a sinistra del tappetino per i numeri considerati più piccoli di quello standard e un passo verso destra per quelli più grandi. Nella condizione di controllo, invece, i soggetti dovevano indicare sul computer il numero più grande tra due presentati simultaneamente sullo schermo, senza il vantaggio di riferimenti spaziali.

Tutti i soggetti sono stati valutati prima del training, dopo la condizione sperimentale e dopo la condizione di controllo attraverso un'attività cartacea sulla linea dei numeri e la somministrazione di cinque subtest del TEDI-MATH (Kaufmann, Nuerk, Graf, Krinzinger, Delazer e Willmes, 2009): principi di conta, conta di oggetti, cifre arabe, parole-numero e calcoli.

Dai risultati è emerso che l'ordine di partecipazione alle due condizioni non influisce sulle successive prestazioni; inoltre i dati confermano le aspettative dei ricercatori, in quanto il gruppo sperimentale, rispetto a quello di controllo, ha migliorato maggiormente l'accuratezza della rappresentazione della linea mentale dei numeri per il *range* 0-10; invece non sono state trovate differenze per il *range* 0-20.

Infine i ricercatori hanno dimostrato che il training sperimentale ha influenzato positivamente le prestazioni solo nel subtest "principi di conta" del TEDI-MATH.

È possibile concludere che i bambini traggono più benefici da un training che si focalizza sul potenziamento della rappresentazione numerica fondata sul sistema senso-motorio.

Si ritiene, infatti, che sia possibile sviluppare dei programmi di intervento da inserire nelle terapie dei soggetti con discalculia evolutiva.

Link, Moeller, Huber, Fischer e Nuerk (2013) hanno ipotizzato che la linea mentale dei numeri sia continuativa e non categoriale. A supporto di questa ipotesi hanno sviluppato un training in cui i soggetti potevano muoversi liberamente nello spazio, anziché limitarsi a fare spostamenti a sinistra o a destra del tappetino da ballo. Hanno partecipato a questa ricerca trentatré bambini della scuola primaria, suddivisi in due condizioni; in entrambe le condizioni

i bambini avevano il compito di stimare la posizione di un determinato numero su una linea dei numeri demarcata solo dallo zero e dal cento. Nella condizione sperimentale i bambini dovevano stimare la posizione di un determinato numero, camminando lungo una retta sul pavimento. Nella condizione di controllo, invece, i bambini dovevano stimare la posizione di un determinato numero sulla retta utilizzando il computer. In caso di errore, nella condizione sperimentale era mostrata la posizione corretta e veniva richiesto al bambino di ripetere il compito, mentre in quella di controllo l'errore veniva corretto automaticamente dal computer. I bambini sono stati valutati anche sulle abilità cognitive generali, sulla capacità di memoria di lavoro verbale e sulla velocità di scrittura per controllare eventuali influenze di possibili variabili covariate. Inoltre tutti i soggetti sono stati valutati con un pre-test e un post-test nelle seguenti attività: compito di stima cartaceo sulla linea dei numeri, compito di addizione al computer, confronto tra quantità simboliche (42-87) e non simboliche (due insiemi di punti) numeriche e due subtest del TEDI-MATH.

L'analisi dei dati ha mostrato ancora una volta risultati incoraggianti. È stato trovato che un training fondato sull'utilizzo della linea dei numeri fornisce effetti positivi sulla rappresentazione spaziale della grandezza numerica in entrambe le condizioni; tuttavia i bambini appartenenti alla condizione sperimentale hanno ottenuto miglioramenti più marcati rispetto ai controlli e tra questi hanno beneficiato maggiormente del training i bambini con deboli abilità cognitive generali e con una debole capacità di memoria di lavoro. Questi risultati indicano che un Embodied training potrebbe avvantaggiare in maniera particolare i soggetti con problematiche di apprendimento.

I ricercatori ipotizzano che un miglioramento della rappresentazione spaziale numerica potrebbe influire positivamente anche su altre capacità numeriche; tuttavia, questa ipotesi è stata confermata solo parzialmente dai risultati di questo studio. Infine si è trovato che i bambini appartenenti alla condizione sperimentale hanno avuto miglioramenti nell'esecuzione di addizioni di due numeri ad una cifra con risultato entro il nove ($4+3=7$) e di addizioni di due numeri ad una cifra aventi come risultato un numero a due cifre ($9+8=17$); non è stato trovato, invece, alcun effetto positivo per la somma di un numero ad una cifra e di un numero a due cifre ($14+3=17$). Questi risultati sembrano indicare un'associazione tra la linea mentale dei numeri e l'addizione.

Dunque, il training basato sulla linea dei numeri potrebbe essere utilizzato con buoni risultati anche nella riabilitazione della discalculia evolutiva.

Il settore *dell'Embodied Cognition* si sta ampiamente sviluppando e nei prossimi anni si potranno approfondire ulteriormente queste scoperte per sviluppare training sempre più accurati ed efficaci per le persone che soffrono di discalculia evolutiva.

5. Stimolazione elettrica transcranica - TES

5.1 Applicazione della TES nei deficit cognitivi

Recenti ricerche hanno proposto come possibile intervento per la discalculia, la dislessia e l'ADHD l'utilizzo della stimolazione elettrica transcranica (TES)⁹, la quale, insieme a specifici training cognitivi, potrebbe incrementare la neuroplasticità cerebrale nei soggetti con sviluppo atipico (Krause, Kadosh, 2013).

Un recente studio su giovani adulti ha mostrato, durante un training numerico, effetti benefici a lungo termine della TES (Kadosh et al., 2010).

Altri studi hanno evidenziato effetti simili a lungo termine anche dopo un training aritmetico (Snowball et al., 2013), un training basato sull'uso di frazioni (Looi et al., 2013) e un training di discriminazione numerica (Cappelletti et al., 2013).

Fritsch et al. (2010) e Stagg et al. (2009) hanno trovato che la TES modula la neurochimica cerebrale; ciò può portare a benefici soprattutto per quelle abilità che sottostanno a reti neurali disfunzionali. È stato suggerito che, facilitando il potenziamento sinaptico, il potenziale cognitivo dei bambini può essere accresciuto (Holt e Mikati, 2011).

L'introduzione di nuovi strumenti, come la TES, tra i training per la riabilitazione dei disturbi di apprendimento, potrebbe anche risolvere i problemi riscontrati nelle altre tipologie di intervento; infatti, nonostante anche queste ultime abbiano la capacità di alterare il funzionamento atipico del cervello promuovendo una riorganizzazione strutturale (Knudsen, 2004), sono dispendiosi in termini economici, tempistici e cognitivi (Gross et al., 2009; Rabipour e Raz, 2012). Inoltre, la TES è un mezzo più che adeguato per il trattamento dei disturbi specifici di apprendimento, giacché i corrispondenti correlati neuronali si localizzano in aree cerebrali facilmente accessibili alla TES (Wagner et al., 2007).

Una questione importante, tuttavia, riguarda i possibili effetti fisici e cognitivi sul bambino. Per il momento sono poche le ricerche che hanno testato la TES sui bambini e sugli adolescenti con sviluppo atipico ed esse non hanno riportato effetti fisici significativi (Mattai

8 La tecnica TES prevede l'applicazione di deboli correnti elettriche (circa 1-2 mA) direttamente sulla testa per diversi minuti (circa 5-30 minuti). La corrente è erogata grazie all'applicazione di due elettrodi posizionati sullo scalpo, attraverso uno stimolatore di corrente alimentato a batterie. Queste correnti generano un campo elettrico che modula l'attività neurale in base alla modalità di applicazione, che può essere continua (stimolazione transcranica a corrente continua, tDCS), rumore casuale (stimolazione transcranica random noise, tRNS) o alternata (stimolazione transcranica a corrente alternata, tACS).

et al., 2011; Schneider e Hopp, 2011). Gli effetti sugli adulti sono per lo più sensazioni di formicolii, pizzicori e bruciori nella zona di pelle su cui viene applicata la TES, inclusi nausea e mal di testa (Poreisz et al., 2007). Inoltre i bambini sfruttano diverse aree cerebrali durante lo sviluppo (Kadosh et al., 2012; Kadosh, 2011; Jolles e Crone, 2012): per esempio le abilità aritmetiche sono localizzate in una prima fase nei lobi frontali e successivamente nei lobi parietali (Rivera et al., 2005); il momento esatto in cui avviene il passaggio è difficilmente prevedibile nei bambini con sviluppo tipico e potrebbe esserlo ancora di più per i bambini con sviluppo atipico. Inoltre questi ultimi potrebbero rispondere diversamente al trattamento con TES rispetto ai soggetti con sviluppo tipico. Per questo motivo è importante ampliare la ricerca in questa direzione, approfondendo sempre di più le diverse dinamiche in questione. Un ulteriore rischio è quello di influenzare l'attività cerebrale delle aree prescelte, condizionando anche l'attività delle aree circostanti.

Conclusione

A conclusione di questo elaborato è possibile affermare che, nonostante la ricerca sulla discalculia evolutiva sia ancora poco sviluppata, recenti studi hanno fornito spunti per possibili interventi riabilitativi differenti e innovativi.

Ad oggi vi sono numerose ambiguità circa la definizione, le caratteristiche principali e gli interventi per il disturbo specifico del calcolo. Per questo motivo si ritiene fondamentale continuare ad approfondire queste tematiche, al fine di arrivare ad una migliore conoscenza del problema, delineando con esattezza i vari deficit presenti in questo disturbo.

I principali problemi riscontrabili nel disturbo di apprendimento del calcolo riguardano: la conta, il *subitizing*, la quantificazione, la comparazione, la seriazione, le strategie di calcolo a mente, la lettura, la scrittura e l'incolonnamento dei numeri, il recupero dei fatti numerici e degli algoritmi del calcolo scritto (*Consensus Conference*, 2007), l'elevato numero di errori e i maggiori tempi di risoluzione degli esercizi (Geary, 1993).

Software, programmi di *Embodied Cognition* e TES sono tre tipologie di intervento in via di sviluppo che hanno già fornito i primi risultati, mostrando notevoli miglioramenti nelle prestazioni matematiche dei soggetti.

Si potrebbe, inoltre, proporre un approccio integrato, in cui si accosti l'utilizzo di due o più tipologie di intervento per incrementare l'influenza finale sulle prestazioni.

L'utilizzo della TES ha il vantaggio di eliminare i problemi che si riscontrano nell'intervento con i software e con i programmi di *Embodied Cognition*: i bambini non devono sottoporsi a sforzi cognitivi maggiori rispetto a quelli normalmente richiesti dalla scuola e vi è un risparmio cospicuo in termini economici e tempistici (Gross et al., 2009; Rabipour e Raz, 2012). Essa, tuttavia, potrebbe influire negativamente su altre funzioni cerebrali. È doveroso eseguire delle ricerche che indichino precisamente gli effetti fisici e cognitivi della TES sul cervello sia del bambino sia dell'adulto. Inoltre è necessario approfondire adeguatamente l'utilizzo della TES come intervento riabilitativo specifico per il disturbo di apprendimento del calcolo.

Per il momento, quindi, i software e i programmi di *Embodied Cognition* sembrano essere la soluzione migliore, poiché non comportano rischi effettivi fisici e cognitivi per i bambini e possono portare a notevoli miglioramenti nelle prestazioni matematiche.

L'approccio dell'*Embodied Cognition*, in particolare, potrebbe dare in futuro risultati notevoli. La percezione è considerata come parte integrante del sistema senso-motorio e l'incremento delle prestazioni matematiche è dato dall'associazione tra l'apprendimento cognitivo numerico e la rappresentazione spaziale basata sul corpo. Nei programmi di intervento di *Embodied Numerosity* che utilizzano la linea dei numeri, è stato mostrato come l'utilizzo di movimenti eseguiti con il corpo permetta una migliore comprensione della distanza effettiva tra i numeri, in quanto i bambini per indicare i numeri maggiori devono camminare più a lungo sulla linea dei numeri; questo esercizio è un potente allenamento per comprendere ed eseguire al meglio attività di confronto tra grandezze numeriche.

A partire da queste considerazioni, la ricerca si è posta come obiettivo quello di arrivare ad una profonda conoscenza della discalculia evolutiva e degli strumenti migliori da utilizzare negli interventi di riabilitazione.

Riferimenti bibliografici

- Alarcon, M., Defries, J., Gillis Light, J., & Pennington, B. (1997). A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities*, 30, 617-623.
- Ann Dowker e Graham Sigley. (2010). Targeted intervention for children with arithmetical difficulties. *Understanding Number Development and Difficulties*, 65-81. The British Psychological Society.
- Baddeley A.D., Lewis V. e Vallar G. (1984), Exploring the articulatory loop, «*Journal of Experimental Psychology*», vol. 36A, pp. 233-252.
- Badian N.A. (1983), Arithmetic and nonverbal learning. In H.R. Myklebust (a cura di), *Progress in learning disabilities*, New York, Grune and Stratton, vol. 5, pp. 235-264.
- Barsalou, L. W., Breazeal, C., & Smith, L. B. (2007). Cognition as coordinated non-cognition. *Cognitive Processing*, 8, 79-91.
- Beatrix Krause, Roi Cohen Kadosh. 2013. Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. *Developmental Cognitive Neuroscience* 6 (2013) 176-194.
- Beblo, T., Macek, C., Brinkers, I., Hartje, W., Klaver, P., 2004. A new approach in clinical neuropsychology to the assessment of spatial working memory: the block suppression test. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 26, 105-114.
- Berch, D. B., Foley, E. J., Hill, R. J., & McDonough, R. P. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: Developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 286–308.
- Berteletti, I., Lucangeli, D., Piazza, M., Dehaene, S., Zori, M., 2010. Numerical esitmatation in preschoolers. *Dev. Psycholo.* 46,545-551.
- Bickhard, M. H. (2008). Is Embodiment Necessary? In Calvo P. & Gomila A. (Eds.), *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach*, San Diego, Elsevier.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development*, 79, 1016–031.
- Brian Butterworth, Diana Laurillard (2010). Low numeracy and dyscalculia: identification and intervention. *ZDM Mathematics Education*, 42:527-539.
- Brian Butterworth. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 46, n.1. Association of Child Psychology and Psychiatry.

- Butterworth B. (1999), *The mathematical brain*, London, Macmillan.
- Cappelletti M., Butterworth B. e Kopelman M.D. (2001), Spared numerical abilities in a case of semantic dementia, «*Neuropsychologia*», vol. 39/11, pp. 1224-1239.
- Cappelletti, M., Barth, H., Fregni, F., Spelke, E. S., & Pascuale-Leone, A. (2007). rTMS over the intraparietal sulcus disrupts numerosity processing. *Experimental Brain Research*, 179, 631–642.
- Cappelletti, M., Butterworth, B., & Kopelman, M. (2001). Spared numerical abilities in a case of semantic dementia. *Neuropsychologia*, 39, 1224–1239.
- Cappelletti, M., Gessaroli, E., Hithersay, R., Mitolo, M., Didino, D., Kanai, R., Cohen Kadosh, R., Walsh, V., 2013. Transfer of cognitive training across magnitude dimensions achieved with concurrent brain stimulation of the parietal lobe. Paper Presented at the 5th International Conference on Non-invasive Brain Stimulation, Leipzig, March.
- Cappelletti, M., Kopelman, M., & Butterworth, B. (2002). Why semantic dementia drives you the dogs (but not to the horses): A theoretical account. *Cognitive Neuropsychology*, 19(6), 483–503.
- Cipolotti, L., Butterworth, B., & Denes, G. (1991). A specific deficit for numbers in a case of dense acalculia. *Brain*, 114, 2619–2637.
- Cohen Kadosh, K., 2011. What can emerging cortical face networks tell us about mature brain organisation? *Developmental Cognitive Neuro-science* 1 (3), 246–255.
- Cohen Kadosh, K., Johnson, M.H., Dick, F., Cohen Kadosh, R., Blakemore, S.J., 2012a. Effects of age, task performance, and structural brain development on face processing. *Cerebral Cortex*.
- Cohen Kadosh, R., Soskic, S., Iuculano, T., Kanai, R., Walsh, V., 2010. Modulating neuronal activity produces specific and long-lasting changes in numerical competence. *Current Biology* 20 (22), 2016–2020.
- Cook, S. W., Mitchell, Z., & Goldin-Meadow, S. (2008). Gesturing makes learning last. *Cognition*, 106(2), 1047–1058.
- Cowan, R., Dowker, A. D., Christakis, A., & Bailey, S. (1996). Even more precisely assessing children's understanding of the order-irrelevance principle. *Journal of Experimental Child Psychology*, 62, 84-101.
- David C. Geary. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, vol 37, n.1, pp. 4-15, Pro-ed.

- De Corte E., Verschaffel L. (1987). The effect of semantic structure on first-graders' strategies for solving addition and subtraction word problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18, 363-381.
- De Hevia MD, Girelli L, Macchi-Cassia V. Minds without language represent number through space: origins of the mental number line. *Frontiers in Psychology* 2012:3.
- Dehaene S., Piazza M., Pinel P. e Cohen L. (2003), Three parietal circuits for number processing, «*Cognitive Neuropsychology*», vol. 20, pp. 487-506.
- Dehaene, S., Bossini, S., Giraux, P., 1993, the mental representation of parity and number magnitude. *J. Exp. Psychol.* 122, 371-396.
- Di Luca S, Pesenti M (2008) Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Exp Brain Res* 185:27–39.
- Dowker, A. D. (2005). *Individual differences in arithmetic: Implications for psychology, neuroscience and education*. Hove: Psychology Press.
- Elliott. C. D., Smith, P., & McCulloch, K. (1996). *British Ability Scales* (2nd ed.). London: NFER-Nelson.
- Fischer M. H., (2008), Finger counting habits modulate spatial–numerical associations. *Cortex* 44:386–392.
- Fischer MH, Brugger P (2011) When digits help digits: spatial–numerical associations point to finger counting as prime example of embodied cognition. *Front Psychol* 2:260.
- Fischer U, Moeller K, Bientzle M, Cress U, Nuerk H-C (2011) Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychon Bull Rev* 18:177–183.
- Fletcher J.F. (1985), Memory for verbal and nonverbal stimuli in learning disabled subgroups: Analysis by selective reminding, «*Journal of Experimental Child Psychology*», vol. 40, pp. 244-259.
- Fritsch, B., Reis, J., Martinowich, K., Schambra, H.M., Ji, Y., Cohen, L.G., Lu, B., 2010. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. *Neuron* 66 (2),198–204.
- Fuson, K. (1992). Research on learning and teaching addition and subtraction of whole numbers. In G. Leinhardt, R. Putnam, & R. A. Hattrup (Eds.), *The analysis of arithmetic for mathematics teaching* (pp. 53-187). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fuson, K., & Burghardt, B. (2003). Multidigit addition and subtraction: Methods invented in small groups and teacher support for problem-solving and reflection. In A.

J. Baroody & A. Dowker (Eds.). The development of arithmetical concepts and skills (pp. 267-304). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Gallistel C.C. (1990), The organization of learning, Cambridge, MA, MIT Press.
- Geary D. C. e Brown S. C. (1991). Cognitive addition: Strategy choice and speed of processing differences in gifted, normal, and mathematically disabled children, <<Developmental Psychology>>, vol. 27, pp. 398-406.
- Geary D. C., Brown S. C. e Samaranayake V. A. (1991), Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children, <<Developmental Psychology>>, vol. 27, pp. 787-797.
- Geary D. C., Hamson C.O. e Hoard M. K. (2000), Numerical and arithmetica. Cognition: A longitudinal study of process and concepts deficits in children with learning disabilities, << Journal of Experimental Child Psychology>>, vol. 77, pp. 236-263.
- Geary D.C. e Hoard M.K. (2001), Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia, «Aphasiology», vol. 15, n. 7, pp. 635-647.
- Geary D.C., Bow-Thomas C.C. e Yao Y. (1992), Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children, «Journal of Experimental Child Psychology», vol. 54, pp. 372-391.
- Geary DC, Hoard MK, Nugent L, Byrd-Craven J. 2008. Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology* 2008; 33:277–99.
- Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: Cognition, neuropsychological and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114, 345–362.
- Geary, D. C., Bailey, D. H., Littlefield, A., Wood, P., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2009). First-grade predictors of mathematical learning disability: A latent class trajectory analysis. *Cognitive Development*, 24, 411–429.
- Gelman R. e Gallistel C.R. (1978), The child's understanding of number, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- Ginsburg, H. P. (1977). *Children's arithmetic: How they learn it and how you teach it*. New York: Van Nostrand.
- Ginsburg, H.P. (1997), Mathematics learning disabilities: A view from developmental psychology, «Journal of Learning Disabilities», vol. 30, pp. 20-33.

- Griffin, S. A., Case, R., & Siegler, R. S. (1994). Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. In K. McGilly (Ed.), *Classroom learning: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 25-49). Boston, MA: MIT Press.
- Gross, J., Hudson, J., Price, D., 2009. The long term costs of numeracydifficulties: Every Child a Chance Trust (KMPG).
- Hiebert J., & Wearne, D. (1994). Instruction, understanding and skill in multidigit addition and subtraction. *Cognition and Istruction*, 14, 251-283.
- Holt, R.L., Mikati, M.A., 2011. Care for child development: basic sciencerationale and effects of interventions. *Pediatric Neurology* 44 (4),239–253.
- Hughes, M. (1986). *Children and number: Difficulties in learning mathematics*. Oxford: Blackwell.
- Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A., & Gadian, D. G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain*, 124, 1701–1707.
- Jolles, D., Crone, E.A., 2012. Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Frontiers in Human Neuroscience* 6.
- Jordan N. e Montani T. (1997), Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematics difficulties, «*Journal of Learning Disabilities*», vol. 30, pp. 624-634.
- K. Kucian, U. Grond, S. Rotzer, B. Henzi, C. Schonamann, F. Plangger, M. Galli, E. Martin, M. von Aster. 2011. Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage* 57 (2011) 782-795.
- Karin Landerl, Anna Bevan, Brian Butterworth. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8-9-year-old students. *Cognition*, vol 93 n.2, Elsevier Science.
- Kaufmann L, Vogel SE, Wood G, Kremser C, Schocke M, Zimmerhackl LB (2008) A developmental fMRI study of nonsymbolic numerical and spatial processing. *Cortex* 44:376–385.
- Kaufmann, L., Nuerk, H.-C., Graf, M., Krinzinger, H., Delazer, M., & Willmes, K. (2009). TEDI-MATH. Test zur Erfassung numerischrechnerischer Fähigkeiten vom Kindergarten bis zur 3. Klasse. Zürich: Hans-Huber-Verlag.
- Kirby J.R. e Becker L.D. (1988), Cognitive components of learning problems in arithmetic, «*Remedial and Special Education*», vol. 9, pp. 7-16.

- Knudsen, E.I., 2004. Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16 (8), 1412–1425.
- Koontz K.L. e Berch D.B. (1996), Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children, <<Mathematical Cognition>>, vol. 2, pp. 1-23.
- Korbinian Moeller, Ursula Fischer, Tanja Link, Mirjam Wasner, Stefan Huber, Ulrike Cress, Hans-Christoph Nuerk. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cogn Process* (2012) 13 (Suppl 1): S274.
- Kosci L. (1974), Developmental dyscalculia, «*Journal of Learning Disabilities*», vol. 7, pp. 159-162.
- Lewis C., Hitch G. e Walker P. (1994), The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- and 10-year old boys and girls, «*Journal of Child Psychology and Psychiatry*», vol. 35, pp. 283-292.
- Looi, C. Y., Duta, M., Huber, S., Nuerk, H.-C., Cohen Kadosh, R., 2013. Stimulating the brain while playing a computer-based maths game to enhance domain-specific and domain-general cognitive abilities. Paper Presented at the 5th International Conference on Non-invasive Brain Stimulation, Leipzig, Germany, March.
- Marcus Vasconcelos de Castro, Marcia Aparecida Silvia Bissaco, Bruno Marques Panccioni, Silvia Cristina Martini Rodrigues, Andreia Miranda Dominigues. 2014. Effect of a Virtual Environment on the Development of Mathematical Skills in Children with Dyscalculia. *PloS ONE* 9(7): e103354.
- Mario Marchiori, Enrico Savelli, Roberto Iozzino, Claudio Turello, Cristiano Termine (AID-Associazione Italiana Dislessia). (2007). Disturbi evolutivi specifici di apprendimento. Raccomandazioni per la pratica clinica di dislessia, disortografia, disgrafia e discalculia. Erikson.
- Mattai, A., Miller, R., Weisinger, B., Greenstein, D., Bakalar, J., Tos-sell, J., David, C., Wassermann, E.M., Rapoport, J., Gogtay, N., 2011. Tolerability of transcranial direct current stimulation in childhood-onset schizophrenia. *Brain Stimulation* 4 (4), 275–280.
- McLean J.F. e Hitch G.J. (1999), Working memory impairments in children with specific arithmetical difficulties, «*Journal of Experimental Child Psychology*», vol. 74, pp. 240-260.
- Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., Paulus, W., 2007. Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain Research Bulletin* 72 (4–6), 208–214.

- Principles underlying the design of “The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. 2006. *Behavioral and Brain Functions* 2006, 2:19.
- Pylyshyn, Z. W. (1980). Computation and cognition: issues in the foundations of cognitive science. *The Behavioral and Brain Sciences*, 3, 111-169.
- Rabipour, S., Raz, A., 2012. Training the brain: fact and fad in cognitive and behavioral remediation. *Brain and Cognition* 79, 159–179.
- Ramani GB, Siegler RS. Promoting broad and stable improvements in low income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child Development* 2008; 79:375–94.
- Rivera, S.M., Reiss, A.L., Eckert, M.A., Menon, V., 2005. Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex* 15,1779–1790.
- Roi Cohen Kadosh, Ann Dowker, Angela Heine, Liane Kaufmann, Karin Kucian. 2013. Interventions for improving numerical abilities: Present and future. *Trends in Neuroscience and Education* 2 (2013) 85–93.
- Rosenberg P.B. (1989), Perceptual-motor and attentional correlates of developmental dyscalculia, «*Annals of Neurology*», vol. 26, pp. 216-220.
- Rusconi E, Walsh V, Butterworth B (2005) Dexterity with numbers: rTMS over left angular gyrus disrupts finger gnosis and number processing. *Neuropsychologia* 43:1609–1624.
- Russell R.L. e Ginsburg, H.P. (1984), Cognitive analysis of children's mathematical difficulties, «*Cognition and Instruction*», vol. 1, pp. 217-244.
- Schellig, D., 1997. Bock-Tapping test. Swets Tests Services, Frankfurt a Main.
- Schneider, H.D., Hopp, J.P., 2011. The use of the Bilingual Aphasia Test for assessment and transcranial direct current stimulation to modulate language acquisition in minimally verbal children with autism. *Clinical Linguistics & Phonetics* 25 (6-7), 640–654.
- Shalev R.S. e Gross-Tsur V. (2001), Developmental dyscalculia: Review article, «*Pediatric Neurology* », vol. 24, pp. 337-342.
- Shalev, R. S., Manor, O., Kerem, B., Ayali, M., Badichi, N., Friedlander, Y., et al. (2001). Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disabilities*, 34(1), 59–65.

- Siegel L.S. e Ryan E.B. (1989), The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children, «Child Development», vol. 60, pp. 973-980.
- Siegler RS, Ramani GB. Playing linear numerical board games promotes low income children's numerical development. *Developmental Science, Special Issue on Mathematical Cognition* 2008;11:655–61.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14, 237–243.
- Smith, L. B., & Sheya, A. (2010). Is cognition enough to explain cognitive development? *Topics in Cognitive Science*, 1-11.
- Snowball, A., Tachtsidis, I., Popescu, T., Thompson, J., Delazer, M., Zamarian, L., Zhu, T., Cohen Kadosh, R., 2013. Long-term enhancement of brain function and cognition using cognitive training and brain stimulation. *Current Biology*, in press.
- Stagg, C.J., Best, J.G., Stephenson, M.C., O'Shea, J., Wylezinska, M., Kincses, Z.T., Johansen-Berg, H., 2009. Polarity-sensitive modulation of cortical neurotransmitters by transcranial stimulation. *The Journal of Neuroscience* 29 (16), 5202–5206.
- Starkey P., Spelke E.S. e Gelman R. (1990), Numerical abstraction by human infants, «Cognition», vol. 36, pp. 97-128.
- Tania Kaser, Gian-Marco Baschera, Juliane Kohn, Karin Kucian, Verena Richtmann, Ursina Grond, Markus Gross e Michael von Aster. 2013. Design and evaluation of the computer-based training program *Calcularis* for enhancing numerical cognition. *Front Psychol.* 2013; 4:489.
- Tanja Link, Korbinian Moeller, Stefan Huber, Ursula Fischer, Hans-Christoph Nuerk. 2013. Walk the number line – An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neuroscience and Education* 2(2013)74–84.
- Thea Ionescu, Dermina Vasc. (2014). Embodied cognition: challenges for psychology and education. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 128 (2014) 275-280.
- Thioux M., Seron X. e Pesenti M. (1999), Functional neuroanatomy of the semantic system: The case for numerals, «Brain and Language», vol. 69, n. 3, pp. 488-490.
- Thompson, I. (2003). Place value. The English disease? In I. Thompson (Ed.), *Enhancing primary mathematics teaching* (pp. 181-190). Maidenhead: Open University Press.

- Ursula Fischer & Korbinian Moeller & Martina Bientzle & Ulrike Cress & Hans-Christoph Nuerk. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychon Bull Rev* (2011) 18:177–183.
- Von Aster, M., Weinhold Zulauf, M., Horn, R., 2006. ZAREKI-R (Neuropsychological Test Battery for Number Processing and Calculation in Children), revidierte Version. Harcourt Test Services, Frankfurt.
- Vygotsky LS: *Mind in society: The development of higher psychological processes* Cambridge, MA: Harvard University Press; 1978.
- Wagner, T., Valero-Cabre, A., Pascual-Leone, A., 2007. Noninvasive human brain stimulation. *Annual Reviews of Biomedical Engineering* 9, 527–565.
- Wechsler, D., 1999. WISC-III Wechsler Intelligence Scale for Children, 3rd ed. Hans Huber, Bern Gottingen Toronto Seattle.
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children* (3rd ed.). London: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1996). *Wechsler Objective Numerical Dimensions*. London: Psychological Corporation.
- Whyte JC, Bull R. Number games, magnitude representation, and basic number skills in preschoolers. *Developmental Psychology* 2008;44:588–96.
- Wood G, Nuerk H-C, Moeller K, Geppert B, Schnitker R, Weber J, et al. All for one but not one for all: how multiple number representations are recruited in one numerical task. *Brain Research* 2008; 1187:154–66.
- Yeo, D. (2003). *Dyslexia, dyspraxia and mathematics*. London: Whurr.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare la professoressa Luisa Girelli, relatrice di questa tesi, per la disponibilità e la cortesia dimostratemi durante la progettazione e la stesura di questo lavoro.

Un ringraziamento speciale lo rivolgo alla mia famiglia, che mi ha sostenuto economicamente e moralmente durante l'intero periodo universitario e a mio fratello Francesco, che mi ha dato i consigli più indicati per gestire al meglio le diverse situazioni.

Un ringraziamento particolare lo rivolgo al mio fidanzato Nico, che mi è sempre stato vicino, sostenendomi nelle scelte e nei progressi.

Ringrazio anche tutti gli amici che, con modalità diverse, mi hanno aiutata nei momenti più difficili.