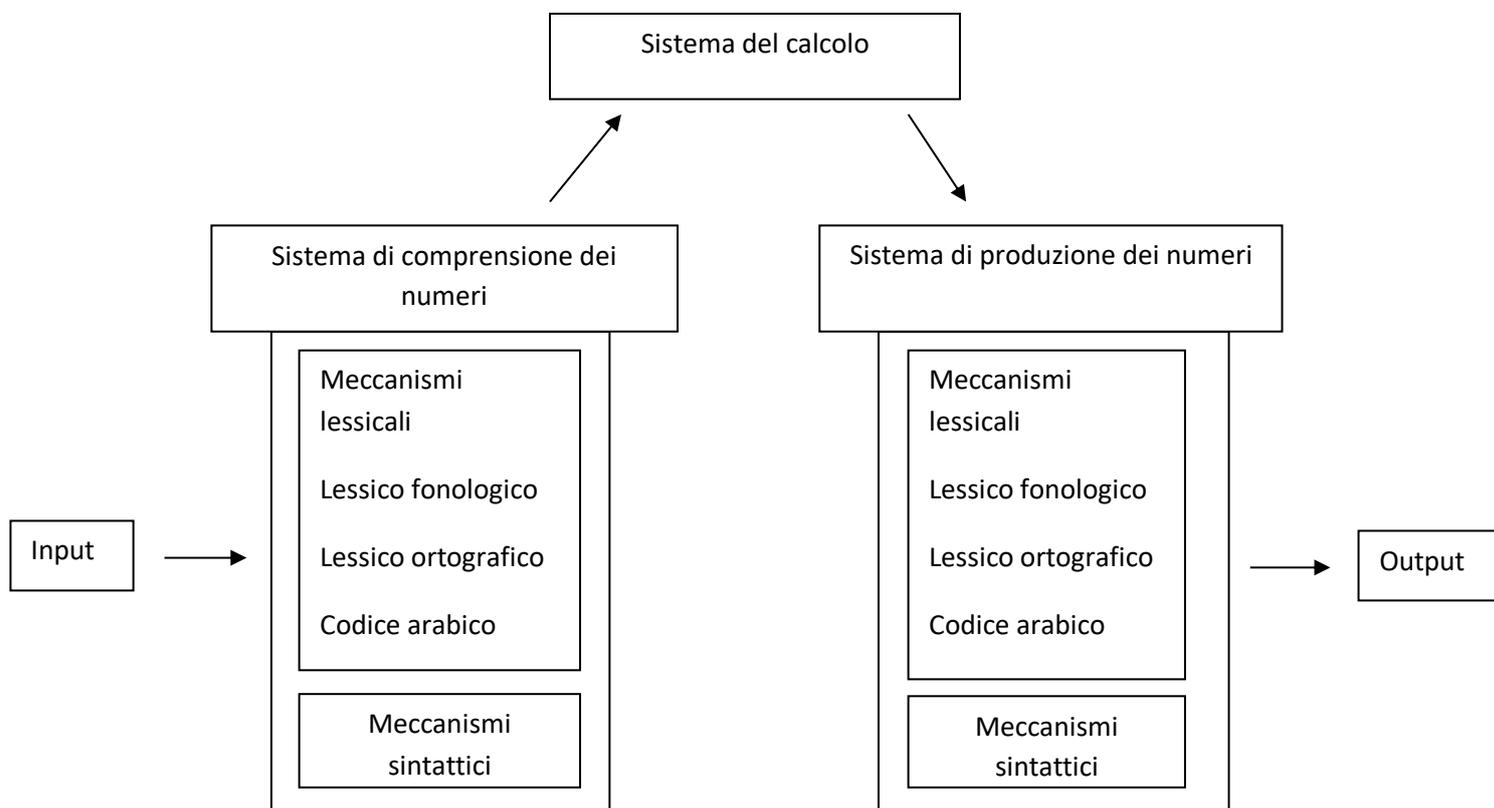


Dal libro di M. Orsolini (2011) Quando imparare è più difficile. Roma: Carocci

1.4.5 Discalculia: un modello dalla neuropsicologia dell'adulto

Figura 5 – Componenti del sistema dei numeri nel modello di McCloskey



Il modello di McCloskey e colleghi, illustrato nella figura 5, è stato molto utilizzato sia per la discalculia acquisita negli adulti in seguito a lesioni neurologiche sia per la comprensione della discalculia evolutiva. Questo modello assume una prima distinzione tra sistema dei numeri e sistema del calcolo. Il primo sistema permette la comprensione e produzione dei numeri in forma verbale (orale o scritta, come quando diciamo [uno] o scriviamo *uno*) e in codice arabo (scriviamo 1). Il sistema di comprensione numerica trasforma la struttura superficiale dei numeri (che cambia in relazione al codice, verbale o arabo) in una rappresentazione astratta di quantità numerica (codifica semantica); questa rappresentazione è quindi disponibile per ulteriori elaborazioni, ad esempio per calcoli. Il sistema di produzione traduce un'astratta rappresentazione della quantità numerica in un output verbale o in codice arabo.

Quando un soggetto deve indicare quale di due numeri è più grande (*è più grande 7 o 9?*) si trova impegnato in un problema di comprensione che coinvolge la rappresentazione semantica del numero ma non impegna il sistema di produzione del numero che è invece coinvolto dalla richiesta di contare. Quando un soggetto ascolta numerali in forma linguistica (ad esempio, [otto]) e deve scriverli in codice arabo (8) compie un processo di transcodifica, vale a dire di traduzione da un codice all'altro.

Sia il sistema di comprensione sia quello di produzione compiono elaborazioni che possono essere di tipo lessicale (ogni volta che le cifre o le parole vengono elaborate producendo un nome) oppure sintattica (quando i rapporti tra cifre vengono elaborati derivandone un ordine di grandezza). In un compito di transcodifica, ascoltare [sei] e scrivere 9 è un errore lessicale (una sostituzione che non cambia l'ordine di grandezza del numero); ascoltare [centouno] e scrivere 1001 è invece un errore sintattico (un errore di composizione delle cifre che cambia l'ordine di grandezza del numero).

Il sistema del calcolo include tre sotto-componenti: la conoscenza dei segni delle operazioni, i fatti aritmetici, le procedure di calcolo. Se proponiamo l'operazione $152+87$, una volta riconosciuti i numeri su cui operare (elaborazione attraverso il sistema di comprensione del numero) e identificata l'operazione da compiere attraverso il riconoscimento del segno +, si attivano procedure di calcolo (incolonnamento, regola del riporto) e infine una risposta, attraverso il sistema di produzione dei numeri.

Secondo il modello di McCloskey l'accesso alla codifica semantica -ossia ad una rappresentazione astratta di quantità- è la via obbligata perché il sistema possa svolgere qualsiasi tipo di compito. Ricordiamo che altri modelli non concordano su questo punto e sono stati delineati nel tentativo di spiegare evidenze neuropsicologiche non interpretabili alla luce del modello di McCloskey. Il

modello del Triplo Codice di Dehaene e colleghi (Dehaene, 1992; Dehaene e Cohen, 1995) ha un'architettura con tre componenti corrispondenti a tre differenti codici di rappresentazione numerica e basati su correlati neuroanatomici distinti: il codice visuo-arabico (aree occipito-temporali inferiori ventrali di entrambi gli emisferi), il codice verbale (giro angolare dell'emisfero sinistro), il codice analogico di quantità (solco intraparietale di entrambi gli emisferi). Per ciascun componente del modello sono previsti specifici processi di input-output, sono implicate abilità numeriche specifiche (per esempio, i compiti di comprensione semantica del numero sono mediati dal codice analogico di quantità) e, infine, collegamenti bidirezionali tra i codici che rendono possibili processi di transcodifica da una formato rappresentazionale all'altro.

1.4.6 La discalculia evolutiva in un approccio modularista

Temple (1997) descrive vari casi di discalculia evolutiva in cui si verifica un deficit selettivo in ognuna delle singole componenti della conoscenza numerica, così come è stata concettualizzata nel modello di McCloskey esposto nel precedente paragrafo.

La discalculia del ragazzo Paul, ad esempio, è caratterizzata da un deficit nel sistema di elaborazione del numero nella componente di elaborazione lessicale. Un numero in codice arabo come 9172 veniva ad esempio letto da Paul come seimilaseicentottantadue, 34 diventava sessantasei, 153 era centoventitre. Paul dimostrava così di saper elaborare la struttura sintattica dei numeri (l'ordine di grandezza non veniva cambiato) ma di avere una seria difficoltà di elaborazione lessicale che si presentava anche quando doveva scrivere numeri sotto dettatura o quando leggeva parole-numero. Paul aveva queste difficoltà nel sistema numerico ma aveva ottime capacità nella lettura di parole. Temple nota che Paul aveva serie difficoltà di memoria a breve termine e tuttavia non attribuisce a questo deficit un ruolo causale nel deficit di elaborazione numerica.

La discalculia per i fatti numerici è caratterizzata da un deficit nella memorizzazione e nel recupero di semplici calcoli (ad esempio, alla domanda *quanto fa cinque più due?*, si risponde *otto* oppure *sette* dopo un lunghissimo intervallo di tempo) o delle tabelline. Temple (1997) descrive il caso di due gemelli di 12 anni che hanno ambedue difficoltà ad usare regole fonologiche nella scrittura. Vengono valutati con una serie di test che analizzano il sistema di elaborazione del numero, la conoscenza semantica dei numeri (per una serie di coppie di numeri dire quale dei due è più grande), la conoscenza delle procedure del calcolo (eseguire addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni), il recupero dei fatti aritmetici. Soltanto in quest'ultima parte della valutazione emerge il loro deficit che consiste sia in una scarsa accuratezza sia in tempi di reazione molto più lenti di un gruppo di

controllo. In alcuni items i ragazzi compensavano con strategie di calcolo a mente la difficoltà di ritrovare in memoria la risposta. Ad esempio, alla domanda *quanto fa sei per sei?* Uno dei due ragazzi impiega 24 secondi prima di dare la risposta corretta e poi dice di aver calcolato mentalmente che “ 2×6 fa 12, 12×2 fa 24 e poi ho aggiunto 12”. Si comprende da questo come fosse buona la comprensione sia del numero sia della moltiplicazione. Era invece la memorizzazione del risultato del calcolo, e il suo recupero, ad essere carente. Temple si chiede se questo deficit possa considerarsi selettivo e riguardare uno specifico modulo della conoscenza del calcolo, oppure essere il prodotto di una più generale difficoltà a memorizzare associazioni arbitrarie, una difficoltà che potrebbe essere alla base anche della deficitaria acquisizione –mostrata dai gemelli- delle regole di conversione grafema-fonema nella scrittura. In uno studio con 10 casi di bambini con disturbo nei fatti aritmetici confrontati con un gruppo di controllo (Temple e Sherwood, 2002) si conferma che il disturbo nei fatti aritmetici può verificarsi in assenza di un deficit di memoria verbale, oltre che in assenza di un deficit nel sistema di elaborazione del numero. Si trova tuttavia che i bambini con disturbo nei fatti aritmetici sono molto più lenti del gruppo di controllo in un compito di denominazione rapida di colori e di oggetti. Questa lentezza di accesso lessicale viene considerata da Temple in qualche modo accessoria e si esclude che la difficoltà a recuperare fatti aritmetici possa essere spiegata da una generale lentezza di accesso lessicale.

Un terzo tipo di discalculia riguarda la conoscenza di procedure di calcolo. Il calcolo scritto implica una procedura, un piano di esecuzione, e una sua esecuzione. I numeri vanno scritti considerando il valore posizionale delle cifre; il riporto o il prestito richiedono specifiche procedure che si aggiungono al calcolo. Per questo tipo di discalculia Temple (2007) riconosce il ruolo importante delle funzioni esecutive e riporta il caso di SW, un ragazzo di 17 anni che presentava alcune anomalie neurologiche nei lobi frontali. Il ragazzo non aveva difficoltà con il sistema di elaborazione dei numeri o con il recupero dei fatti aritmetici ma presentava marcate difficoltà nel calcolo scritto. Ad esempio, dovendo dividere 168 per 2, SW scrive zero sopra al numero uno e poi otto sopra al numero sei. Poi si ferma credendo di aver concluso l'operazione. Temple considera la possibilità che la difficoltà mostrata da SW possa non essere specifica del sistema del calcolo ma derivare dalle più generali difficoltà di pianificazione e di controllo esecutivo. Il ragazzo SW ha tuttavia una prestazione normale (anche se più lenta) nel test della Torre di Londra, che è un test molto sensibile a un deficit esecutivo nella pianificazione. Questo dato induce Temple a concludere che un collegamento tra deficit esecutivi e procedure aritmetiche è comunque selettivo per il modulo aritmetico e non si generalizza ad altri domini.

1.4.7 Discalculia e processo di neurocostruzione delle conoscenze numeriche

Butterworth (2005) ipotizza che la discalculia evolutiva abbia a che fare con “*the lack of an intuitive grasp of numbers*” (Butterworth, 2005, p.12) e rifletta un disturbo primario nella comprensione della numerosità. Alcune ricerche hanno analizzato le prestazioni dei bambini con discalculia evolutiva in compiti estremamente semplici che chiedono ad esempio di indicare quale dei due numeri mostrati allo schermo del computer sia più grande. I cosiddetti compiti di confronto di numerosità possono sfruttare differenti stimoli, sia di tipo simbolico (è maggiore 5 o 7?), sia insiemi di *dots* (è maggiore $\circ\circ\circ$ oppure $\circ\circ\circ\circ$?), sia un confronto simbolo-punti (5 è il numero che corrisponde a $\circ\circ\circ\circ\circ$?). Landerl, Bevan e Butterworth (2004) hanno dimostrato che i bambini con discalculia evolutiva sono meno abili dei loro coetanei nei confronti che utilizzano i *dots*. Presentano tempi di reazione più lunghi e in maniera sorprendente anche quando gli elementi sono pochi (3) usano il conteggio al posto del *subitizing*. Verrebbe così corroborata l’ipotesi di un deficit primario all’accesso della numerosità che poi avrebbe ripercussioni negative sul processo di sviluppo delle abilità aritmetiche.

La questione del rapporto tra deficit in un innato modulo numerico e discalculia evolutiva è stato riaffrontato in uno studio recente (Iuculano et al. 2008) utilizzando il programma *Dyscalculia Screener* (Butterworth, 2003). Questo software è composto da due test che valutano la capacità numerica e da un test che valuta l’apprendimento aritmetico. Nel primo test di capacità numerica (enumerazione) il partecipante vede un insieme di punti da un lato dello schermo del computer, li conta e confronta il risultato con un numero scritto in codice arabo nell’altra metà; gli si chiede di premere un bottone se il numero e i punti hanno la stessa quantità (ad esempio, tre punti e numero 3). Un secondo test di capacità numerica propone invece un confronto di grandezza tra due numeri scritti in codice arabo (è maggiore 5 o 7?). Nel test sull’apprendimento aritmetico si propone un’addizione e il suo risultato (ad esempio, $5 + 3 = 7$?) e si chiede se il risultato è corretto o no.

Sulla base dei risultati a questo test oltre che sulla base di una segnalazione degli insegnanti gli autori dividono un gruppo di 36 bambini tra gli 8 e i 9 anni (QI nella norma) in tre sottogruppi: 1) bambini nella norma nella capacità numerica e nell’apprendimento aritmetico; 2) bambini con capacità numerica nella norma ma basse abilità aritmetiche; 3) bambini con discalculia (prestazione deficitaria sia in almeno un test sulle capacità numeriche sia nelle abilità aritmetiche). Un compito sperimentale valutava l’abilità dei bambini di percepire *a livello non-simbolico* la numerosità proponendo due pannelli con quadrati blu di diversa grandezza e chiedendo di scegliere il pannello con “più quadrati”.

I risultati di questo studio mostrano che quando si confrontano bambini nella norma e bambini con basse abilità aritmetiche (sottogruppo 2) non c’è una differenza nell’abilità di percepire la

numerosità a livello sub-simbolico (compito: scegliere il pannello con “più quadrati”) né nell’abilità di enumerare i punti (primo compito che valuta la capacità numerica). Differenze ci sono solo nell’abilità di confrontare numerosità dei punti e grandezza numerica di un *simbolo* in codice arabo (secondo compito che valuta la capacità numerica). Tra i due casi di bambini con discalculia, uno presenta il profilo del sottogruppo 2, un altro presenta un deficit nell’abilità di confrontare numerosità anche a livello non-simbolico (difficoltà nell’enumerazione dei punti, e nel compito sperimentale che chiede di scegliere il pannello con “più quadrati”).

Questo studio suggerisce quindi che la difficoltà con cui i bambini stabiliscono una rappresentazione semantico-concettuale dei *simboli numerici* può essere sia alla base di generiche difficoltà nell’apprendimento aritmetico sia di casi di discalculia evolutiva. Questo risultato modifica in parte le conclusioni degli studi di Temple precisando nella discalculia evolutiva possono esserci due tipi di difficoltà di elaborazione semantica del numero: una difficoltà a livello simbolico (confrontare 5 e 8) oppure una a livello sub-simbolico (difficoltà con l’enumerazione e la percezione della numerosità).

1.4.8 Traiettorie evolutive nei disturbi del calcolo

In una visione neurocostruttivista dello sviluppo cognitivo una piena comprensione delle difficoltà d’apprendimento richiede una considerazione delle traiettorie di sviluppo in un determinato dominio (linguistico, o aritmetico, ecc.). Paterson e collaboratori (2006) hanno indagato sul livello di apprendimento numerico in adulti con sindrome di Down e con sindrome di Williams. Gli autori hanno usato una batteria che comprende vari tipi di compiti: dire la sequenza dei numeri da 1 a 25 (prima in avanti e poi all’indietro), ordinare dal più grande al più piccolo alcune serie di numerali (numeri scritti in codice arabo come 15, 24, 12, 35), dire quale numero viene prima o dopo un numero target, ordinare per numerosità (dalla carta che ha meno pallini a quella che ne ha di più) alcune carte con pallini che variano per grandezza e numero, abbinare quantità di pallini a numerali, leggere numerali a due e tre cifre. Infine la batteria comprende domande che chiedono di risolvere semplici addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni. Gli adulti con sindrome di Down e con sindrome di Williams, come si poteva prevedere dato il loro ritardo in molteplici funzioni cognitive, hanno una prestazione più bassa di quella che ci si aspetterebbe considerando la loro età cronologica. Se il loro sviluppo delle conoscenze numeriche fosse avvenuto con modalità “tipiche” ci aspetteremo tuttavia che la loro prestazione fosse simile a quella di individui a sviluppo tipico e con pari età mentale (dunque di età cronologica inferiore). Confrontando i due gruppi di adulti (con sindrome di Down e con sindrome di Williams) con un gruppo di bambini di circa 6 anni (questa era la media dell’“età mentale” degli adulti) si nota invece che solo gli adulti con sindrome di Down presentano uno

sviluppo confrontabile al gruppo di controllo di pari età mentale. Dunque gli adulti con sindrome di Down hanno uno sviluppo tipico ma ritardato delle abilità aritmetiche. Gli adulti con sindrome di Williams hanno invece una prestazione atipica, più bassa rispetto al gruppo con pari età mentale. Solo la procedura automatica del contare da 1 a 25 era completata con successo dagli adulti con sindrome di Williams. In tutti gli altri compiti gli adulti con sindrome di Williams mostravano notevoli difficoltà nell'accedere in maniera flessibile alla sequenza dei numeri. Ad esempio, nel compito che chiedeva di dire quale numero viene prima o dopo un numero target (es., che numero viene prima di 18?) si verificavano moltissimi errori. Anche abbinare quantità di pallini a numerali scritti in codice arabo (es., una carta con disegnati 6 pallini deve essere abbinata con i numeri 7 o 10 o 6) dà luogo a numerosi errori.

Come spiegare la differente prestazione degli adulti con sindrome di Down e con sindrome di Williams? Forse gli individui con sindrome di Williams hanno, per ragioni genetiche, un danno a quelle conoscenze numeriche innate che fondano l'apprendimento aritmetico? Ad esempio, il bambino molto piccolo con sindrome di Williams sa discriminare "a vista" (senza contare) la numerosità di piccoli insiemi di oggetti? Un esame delle prestazioni di bambini piccoli conduce a verificare quest'ipotesi. Paterson et al. (2006) hanno esaminato bambini di 30 mesi con sindrome di Down e con sindrome di Williams, confrontandoli a bambini con sviluppo tipico che avevano la stessa età cronologica oppure la stessa età mentale. Utilizzando un paradigma di "preferential looking" mostravano al bambino coppie di stimoli in cui erano dipinti, in diverse configurazioni, insiemi di 2 oggetti. Quando il bambino si era abituato agli stimoli, mostravano due cartelli, uno in cui erano dipinti gli stessi oggetti della fase di abituação, ma con numerosità differente, e un altro in cui la numerosità era la stessa della fase di abituação ma gli oggetti erano nuovi. Se il bambino fissava più a lungo lo stimolo con cambiamento di numerosità, si poteva desumere che il bambino avesse colto la novità e fosse stato in grado di discriminare la numerosità dei nuovi e dei vecchi stimoli. Con questo esperimento gli autori trovano che i bambini con sindrome di Williams hanno una prestazione simile a quella dei bambini con sviluppo tipico: riescono bene a discriminare la differente numerosità dei vecchi e dei nuovi stimoli. Al contrario, i bambini con sindrome di Down falliscono in questo tipo di discriminazione. Dunque le iniziali abilità di discriminazione della numerosità non sono danneggiate nei bambini con sindrome di Williams. Se gli adulti con sindrome di Williams hanno abilità aritmetiche non solo ritardate, ma anche atipiche, questo non è dovuto ad un danno delle iniziali conoscenze numeriche ma ad un atipico percorso di sviluppo che da queste iniziali abilità porta ad acquisire più articolate conoscenze numeriche.

Per comprendere meglio quali fattori possono determinare un atipico sviluppo delle conoscenze aritmetiche negli individui con sindrome di Williams dobbiamo dedicare una riflessione al “principio di cardinalità”. Per chi ha sviluppato basilari conoscenze sul numero, cinque non è solo una parola che viene dopo il quattro e prima del sei. E' anche una parola che designa una quantità numerica, che ha una unità più del quattro e un'unità meno del sei. E' possibile che per costruire una rappresentazione di quantità numerica abbinata alle parole-numero i bambini utilizzino molto le abilità di memoria di lavoro sia verbale sia visuo-spaziale per coordinare due diversi processi: recuperare in maniera flessibile la posizione di una parola-numero nella sequenza (ad esempio, il bambino sa dire che dopo il cinque viene il sei senza dover iniziare a contare dall'uno), analizzare le relazioni visuo-spaziali tra insiemi di diversa numerosità (ad esempio, la differenza visuo-spaziale tra cinque e sei dita). Ritornando agli individui con sindrome di Williams, è noto che la loro memoria di lavoro visuo-spaziale sia piuttosto compromessa. In effetti, Ansari e collaboratori (Ansari et al., 2003) trovano che una piena comprensione del principio di cardinalità è ritardata nei bambini con sindrome di Williams e che le variazioni individuali nella comprensione di questo principio sono predette dalle abilità linguistiche invece che dalle abilità visuo-spaziali come avviene nei bambini con sviluppo tipico. I bambini con sindrome di Williams compensano dunque il loro deficit visuo-spaziale usando strategie linguistiche per costruire iniziali concetti sulla numerosità. E tuttavia questa strategia compensatoria non permette loro di sviluppare in maniera tipica una piena comprensione del principio di cardinalità. Nei bambini con sviluppo tipico le iniziali abilità numeriche sono invece molto alimentate da abilità visuo-spaziali (Rourke, 1993) oltre che dalla memoria di lavoro (Geary et al., 2004).

Anche un'inefficiente rappresentazione delle dita sembrerebbe avere effetti sull'acquisizione sia del *counting*, sia delle prime strategie di calcolo (Fayol et al., 1998; Marinthe et al., 2001). L'identificazione dei sintomi della sindrome di Gerstmann (acalculia, agrafia, disorientamento sinistra-destra, agnosia digitale) in alcuni bambini con disturbi dell'apprendimento ha suggerito l'esistenza di una relazione tra la gnosis digitale e le abilità numeriche iniziali. In effetti quando un bambino impara a contare tocca concretamente con le dita gli elementi di una collezione oppure si rappresenta con le dita la quantità di un insieme o, ancora, mantiene una traccia con le dita del conteggio verbale che sta eseguendo. Noel (2005) ha trovato che nello sviluppo tipico, a 5 anni, i test che valutano la gnosis digitale (discriminazione e identificazione delle dita) sono predittivi a 7 anni delle abilità numeriche, oltre che delle altre capacità collegate alla sindrome di Gerstmann.

Consideriamo come la memoria di lavoro interagisca con le strategie di calcolo anche nel sostenere la memorizzazione dei fatti aritmetici. Secondo Geary (1993) la memoria di lavoro permette di

mantenere attive due rappresentazioni: per esempio nel caso di “3+4”, la rappresentazione delle parole /tre/ /più/ /quattro/ e quella del risultato /sette/. Varie cause possono ostacolare questa attivazione simultanea e compromettere così la memorizzazione e il recupero dei fatti aritmetici. Ad esempio, un bambino che utilizza ancora la strategia del *contare tutto* piuttosto che la più rapida strategia del *contare oltre* può arrivare alla soluzione del problema quando ormai la traccia delle parole è decaduta dal magazzino fonologico: il bambino usa le dita contando fino a /tre/ e poi prosegue contando fino a /sette/; quando è arrivato al risultato ha già dimenticato che si è partiti da tre/ /più/ /quattro/. In questo caso, la memoria di lavoro potrebbe essere efficiente ma non riuscire ad operare perché la lentezza e le strategie del calcolo hanno fatto dimenticare le parole di partenza. In altri casi può essere invece la scarsa efficienza della memoria di lavoro a ostacolare lo svolgersi in parallelo di due processi: l’elaborazione del calcolo e la memorizzazione sia dei numeri di partenza sia del risultato.

1.4.9 Strumenti di rappresentazione simbolica e linea mentale dei numeri

Una considerazione del ruolo della cultura e dello strumento di “mediazione” costituito dal linguaggio e da altri codici (come quello arabo per i numeri) ci riporta all’approccio di Luria e Vygotskij. Il concetto di mediazione, cioè di struttura che si frappone tra input e un output, suggerisce che il cervello, nell’apprendere uno strumento simbolico, utilizza poi il codice di questo strumento per ristrutturare alcune funzioni cognitive che possono svolgersi così in maniera nuova, attivate da un processo “mediato” dal codice. Nel dominio numerico un esempio di “mediazione” è costituito dalla linea mentale dei numeri.

Secondo Gallistel e Gelman (1992, libro Butterworth) le grandezze dei numeri sono rappresentate come segmenti di una singola linea mentale di numeri. Se immaginiamo un segmento che va da 1 a 5 e uno che va da 5 a 20 (vedere un esempio di linea mentale dei numeri nella Tabella 1), avremo segmenti la cui lunghezza dipende dalla dimensione della quantità numerica. Dehaene e collaboratori (1993) hanno utilizzato questa ipotesi dimostrando con una tecnica sperimentale che le persone (specialmente quelle che hanno appreso un sistema di scrittura orientato da sinistra a destra) tendono a rappresentare i numeri più piccoli in uno spazio mentale a sinistra, e quelli più grandi a destra. In un compito in cui dovevano premere un bottone con la mano sinistra e uno con la mano destra a seconda se il numero fosse pari o dispari, Dehaene e collaboratori (1993) hanno osservato che i tempi di reazione erano molto più veloci con la mano sinistra se il numero era piccolo e molto più veloci con la destra se il numero era grande. Questo risultato, denominato *effetto SNARC*

(Spatial-numerical Association of Response Codes) supporta l'ipotesi che la linea dei numeri sia spazialmente ordinata, con i numeri più piccoli a sinistra e i numeri più grandi a destra.

La questione affrontata da alcuni studiosi è, di nuovo, se uno sviluppo e apprendimento della linea mentale dei numeri si basi fondamentalmente su un'innata capacità numerica (come quella evidenziata dal riconoscere a vista che in un pannello con tre piccoli quadrati ci sono meno quadrati che nel pannello con due grandi quadrati) oppure richieda anche l'apprendimento di un codice simbolico e il contributo di abilità non specifiche del dominio aritmetico.

In uno studio longitudinale Von Aster e collaboratori (2007) hanno esaminato un vasto campione di 378 bambini caratterizzato da un QI entro la norma. La prima valutazione è stata effettuata ad un'età media di 6 anni e 6 mesi nella scuola dell'infanzia e la seconda valutazione ha avuto luogo alla fine della seconda elementare, all'età media di 8 anni e 8 mesi. In ambedue le occasioni sono state valutate le abilità numeriche e di calcolo, oltre che abilità di lettura e scrittura. Gli insegnanti hanno inoltre compilato un questionario per ogni bambino riportando eventuali problemi comportamentali o emotivi o sintomi di disattenzione. I ricercatori hanno trovato che circa il 6% dei bambini poteva definirsi discalculico in base alla prestazione nei test sulle abilità numeriche e di calcolo. Di questi, l'1,8% poteva considerarsi un tipo di *discalculia pura* mentre circa il 4,2% aveva una co-morbilità con dislessia oltre che una più alta incidenza di sintomi di disattenzione e iperattività. Il gruppo con *discalculia mista* a dislessia aveva prestazioni molto più basse del gruppo puro nei test sulle abilità numeriche e di calcolo ma ambedue i gruppi erano caratterizzati da difficoltà con la linea dei numeri.

Tabella 1 – Un modello evolutivo dell'elaborazione numerica e della sua influenza sulle capacità di calcolo (adattamento da von Aster e Shalev, 2007)				
	Fase 1	Fase 2 – Età prescolare	Fase 3 – Età scolare	Fase 4 – Età scolare e adulti
Rappresentazione cognitiva del numero	<p>Predisposizioni innate</p> <p>Rappresentazioni approssimative della numerosità e di configurazioni quantitative di singoli oggetti</p>	<p>Sistema verbale del numero</p> <p>/uno/ /due/ /tre/</p>	<p>Codice arabico e segni delle operazioni</p> <p>1, 2, 3</p>	<p>Linea mentale dei numeri</p> 
				
Abilità	<p>Confronto di grandezze numeriche</p> <p>Subitizing</p>	<p>Conteggio</p> <p>Memorizzazione di alcuni fatti aritmetici</p>	<p>Calcolo scritto</p>	<p>Calcolo per approssimazione</p> <p>Pensiero aritmetico</p>

Gli autori propongono due possibili profili di sviluppo per la discalculia. Un primo profilo è caratterizzato da una predisposizione genetica piuttosto specifica che compromette un'innata capacità di subitizing piccole quantità e di operare confronti analogici (quantità confrontate a livello sub-simbolico e talvolta senza un'esatta elaborazione numerica). Se consideriamo la Tabella 1, un deficit nel senso innato del numero fa sì che il sistema numerico verbale e successivamente quello arabo abbiano una *carente rappresentazione semantica*, siano simboli a cui non corrisponde una precisa rappresentazione della quantità numerica. Un secondo profilo, che si presenta più frequentemente, è caratterizzato invece da compromissioni in meccanismi non specificamente numerici (difficoltà di linguaggio, deficit di attenzione e nelle funzioni esecutive) che possono contribuire sia alla dislessia sia a disturbi di attenzione e iperattività. Questi meccanismi non specifici del dominio numerico (ad esempio, deficit della memoria di lavoro verbale e visuo-spaziale, difficoltà a stabilire codifiche tra etichette fonologiche e simboli visivi) contribuiscono a ostacolare una rappresentazione semantica dei *simboli* numerici (ad esempio, decidere rapidamente se 5 è maggiore di 7). In ambedue i profili di cui abbiamo parlato può esserci –per ragioni diverse– una deficitaria rappresentazione mentale della linea dei numeri.

Ci sono anche evidenze neuropsicologiche a suggerire che in una fase dell'apprendimento numerico e aritmetico sono coinvolte risorse del cervello che non sono “dominio specifiche”.

Mentre gli adulti, affrontando semplici compiti aritmetici, mostrano un'attività *prevalente* nel solco inferiore intraparietale del cervello (l'area cerebrale che nei pazienti con discalculia acquisita risulta danneggiata), i bambini di 8-12 anni di età e con un tipico-normale sviluppo delle abilità aritmetiche differiscono dagli adulti mostrando una minore attivazione dei circuiti parietali e una maggiore attivazione di circuiti frontali, specialmente nel circuito del cingolato anteriore, vale a dire di un'area corticale particolarmente coinvolta nell'attenzione e nelle funzioni esecutive (Kucian et al., 2005). Con l'aumentare dell'età il coinvolgimento delle aree frontali diminuisce, mentre aumenta quello dei circuiti parietali (Ansari et al., 2005; Rivera et al., 2005).

Bambini di 8-12 anni con discalculia evolutiva tendono ad avere un deficit nella memoria di lavoro visuo-spaziale (Rotzer et al., 2009), non mostrano l'effetto SNARC (Bachot et al., 2005) e hanno una minore attivazione, rispetto ad un gruppo di controllo, sia nei circuiti parietali sia in quelli frontali (Kucian et al., 2005; Rotzer et al., 2009). Questi risultati suggeriscono che i bambini con discalculia potrebbero avere deficit sia nell'attenzione e nelle funzioni esecutive (in particolare nella memoria di lavoro) sia in componenti cerebrali più specificamente coinvolte con la manipolazione del numero, come il solco intraparietale (Molco et al., 2003).

I risultati delle ricerche non portano tuttavia a conclusioni univoche. Il recente studio di Piazza e colleghi (2010) in bambini con discalculia di 10 anni riporta infatti in primo piano il ruolo di una componente dominio-specifica mostrando che una ridotta “acuità numerica”, cioè un “senso del numero” compromesso, è stata osservata in bambini con disturbo del calcolo. Dovendo svolgere un compito di comparazione di quantità (dots) essi manifestavano competenze comparabili a quelle di bambini di 5 anni a sviluppo tipico.

1.4.10 Dislessia e discalculia: meccanismi sottostanti in parte comuni?

Se la discalculia è in parte generata da deficit in meccanismi cognitivi *non specifici del dominio numerico* è possibile che alcuni di questi meccanismi siano comuni a quelli sottostanti alla dislessia evolutiva?

Lo studio di Landerl et al. (2009) seleziona quattro gruppi di partecipanti da un ampio campione di 130 bambini con qualche difficoltà d'apprendimento : a) un gruppo che ha soltanto un disturbo di lettura (almeno 1 deviazione standard sotto la media in un test di lettura) e ha tipiche abilità aritmetiche; b) un gruppo con discalculia (almeno 1 deviazione standard sotto la media in un test di aritmetica ma con abilità di lettura nella norma); c) un gruppo con disturbo misto (discalculia e dislessia); d) un gruppo di controllo con abilità aritmetiche e di lettura nella norma. In questo studio gli autori trovano che i due gruppi a) e b) che hanno un disturbo “puro” (o con dislessia o con discalculia) sono caratterizzati da deficit diversi. Il gruppo con dislessia ha un deficit in compiti di consapevolezza fonemica, di fluency fonologica, di denominazione rapida. Il gruppo con discalculia ha un deficit di memoria a breve termine visuo-spaziale, oltre che difficoltà sia in un compito di confronto non-simbolico di quantità numeriche sia in un compito che valuta la linea mentale dei numeri.

Notiamo che la formazione dei sottogruppi con disturbo in questo studio include bambini che hanno una prestazione di 1 deviazione standard sotto la media e non è dunque conforme a criteri clinici che qualificano come dislessico o discalculico un soggetto con una prestazione di 1,5 o 2 deviazioni standard sotto la media. Nonostante questo limite metodologico, lo studio ha un risultato importante: possono esserci gruppi di bambini con difficoltà di lettura le cui abilità numeriche e aritmetiche sono nella norma e bambini con difficoltà numeriche e aritmetiche che hanno un normale apprendimento della lettura. Difficoltà di lettura e di aritmetica possono essere nettamente separate.

Quando si considerano bambini la cui prestazione si qualifica per una diagnosi di discalculia il quadro appare tuttavia un po' differente. Nello studio di Rosselli et al. (2006) per esempio, su 30 bambini di 11-12 anni con discalculia (prestazione di almeno 2 deviazioni standard dalla media in

un test di abilità aritmetiche), 13 (quasi la metà) hanno anche una dislessia associata. Sia il sottogruppo con discalculia “pura” sia quello con discalculia associata a dislessia mostra deficit nei test di memoria di lavoro verbale.

La tendenza mostrata dallo studio di Lewis et al. (1994), di Von Aster e collaboratori (2007), di Rosselli et al. (2006) è che l’incidenza di un’associazione discalculia-dislessia è piuttosto alta e che la memoria di lavoro, verbale e/o visuo-spaziale è un meccanismo cognitivo deficitario in ambedue i disturbi.

Se c’è una tendenza ad un’associazione (o co-morbidità) tra dislessia e discalculia questo vuol dire anche che c’è una comune base neurobiologica? In altri termini, ci sono alterazioni genetiche comuni ai due tipi di disturbi?