

## **Acalculia, modularità e studi neuropsicologici.**

Mario Graziano<sup>1</sup>

### **Sommario**

L'abilità di calcolo rappresenta un processo cognitivo estremamente complesso. In letteratura, infatti, l'abilità di calcolo è stata classificata da diversi autori come una capacità multifattoriale comprendente diverse funzioni quali, ad esempio, funzioni di capacità verbali, spaziali, di memoria e le abilità di esecuzione. L'acalculia è frequentemente menzionata negli studi di neurologia ed in clinica neuropsicologica, nonostante la ricerca indirizzata specificatamente ad un'analisi dell'acalculia sia piuttosto rara: test per le capacità di calcolo sono sempre incluse, infatti, nella valutazione psicologica o neuropsicologica della cognizione, ma un esame specifico indirizzato esclusivamente per l'acalculia è difficilmente riscontrabile nella letteratura scientifica. Nonostante questo vi è una sorta di accordo generale che la capacità di calcolo è una funzione cognitiva estremamente importante.

### **Abstract**

Calculation ability represents an extremely complex cognitive process. It has been understood to represent a multifactor skill, including verbal, spatial, memory, and executive function abilities. Acalculia is frequently mentioned in neurological and neuropsychological clinical reports, but research directed specifically to the analysis of acalculia is rather limited: tests for calculation abilities are always included in the psychological or neuropsychological evaluation of cognition, but a specific standardized test battery with norms for acalculia is hardly found. Thus, acalculia is in a somewhat peculiar position amid the cognitive disturbances encountered in cases of brain pathology. Although there is a general consensus that calculation ability represents an extremely important type of cognition.

### **Résumé**

La capacité de calcul représente un processus cognitif extrêmement complexe. En littérature, en effet, la capacité de calcul a été classifiée divergés d'auteurs comme une capacité multifactorielle comprenant des différentes fonctions quels, par exemple, des fonctions de capacités verbales, spatiales, de mémoire et des adresses d'exécution. L'acalculia est fréquemment mentionnée dans les études de neurologie et en la clinique neuropsicologica, malgré la recherche adressée spécifiéement à des analisi de l'acalculia soit plus plutôt rare : test pour les capacités de calcul sont toujours inclus, en effet, en évaluation psychologique ou neuropsicologica de la cognition, mais un examen spécifique adressé exclusivement pour l'acalculia est difficilement contrôlable dans la littérature scientifique. Ainsi, l'acalculia se trouve dans une position plus plutôt singulière au milieu des dérangements cognitifs rencontrés en cas de pathologie cérébrale. Malgré celle-ci vous est une sorte d'accord général que la capacité de calcul représente un type de cognition extrêmement importante.

---

<sup>1</sup> Università degli studi di Palermo, dipartimento di Scienze Cognitive di Messina.

## Introduzione

Malgrado l'onnipresenza delle cifre nel nostro mondo, i processi cognitivi sottostanti al calcolo e gli eventuali deficit sono ancora oggi poco conosciuti. Lo testimonia la diversità degli approcci concettuali nella letteratura scientifica. Storicamente, l'individuazione dell'acalculia come capacità cognitiva scientificamente riconosciuta, emerge nel periodo della neuropsicologia classica con la questione della localizzazione cerebrale delle funzioni cognitive.

Da allora, l'individuazione lenta dell'acalculia sul piano terminologico è rivelatrice della complessità dei fenomeni che si effettuano nell'atto di svolgere un calcolo. Questa complessità deriva dal potenziale contributo che viene dato al calcolo da diverse funzioni cognitive, individuate proprio dall'analisi neuropsicologica classica. Infatti, il calcolo mobilita altrettanti elementi costitutivi quali, ad esempio, l'attenzione, la rappresentazione simbolica, la lingua parlata e scritta, le facoltà visive e spaziali, la percezione, la motivazione, la volontà e altre facoltà ancora. La partecipazione di queste differenti funzioni solleva la questione della possibilità del primato di una funzione cognitiva su un'altra nella produzione di un calcolo (a questo proposito, è bene ricordare che inizialmente la ricerca sui deficit di calcolo è parte integrante della ricerca sui deficit del linguaggio: soltanto con lo studio di Lewandowsky e Stadelman [Lewandowsky e Stadelman, 1908] si effettua per la prima volta una differenza fra la psicopatologia del calcolo e l'afasia).

Per questi motivi (per l'estrema variabilità dei deficit di calcolo e delle dissociazioni osservate in seguito ad un deficit di una o più componenti), si rimanda, anche in questo caso, la spiegazione alla questione relativa all'organizzazione modulare. Questo problema teorico era già implicito nell'interrogazione della neuropsicologia classica e trova la sua piena espressione nelle concezioni d'ispirazione modulare, secondo la quale, una funzione strumentale ha la priorità su un'altra funzione in termini d'importanza. Un modello modulare recente delle spiegazioni della capacità di calcolo è quello di McCloskey e Caramazza [McCloskey ed altri, 1985] che presentano un modello del trattamento delle informazioni del calcolo che differenzia due componenti principali: il sistema del trattamento dei numeri (*number processing*) ed il sistema del calcolo (*calculation system*).

La neuropsicologia classica e la neuropsicologia cognitiva hanno, quindi, in comune un approccio analitico che tenta di scomporre le capacità cognitive, come ad esempio il calcolo, in delle sotto-componenti funzionali, capaci di trattare delle informazioni specifiche e ristrette all'interno del sistema globale del trattamento dell'informazione. Contrariamente però all'approccio cognitivo, la neuropsicologia classica si preoccupava anche della possibile localizzazione delle funzioni, tentando di attribuire loro una geografia cerebrale ben definita. Conviene, tuttavia, notare che l'aspetto della localizzazione identificabile nel cervello è praticamente corollario della nozione di modulo, ma non si tratta di un attributo *sine qua non* dei moduli. Riprendendo le parole di Kahn e Witaker [Kahn e Witaker, 1991], il punto di vista morfologico e geografico non permette affatto di decidere tra argomentazioni pro e contro la modularità. A questo proposito, alcuni psicologi dello sviluppo [Karmiloff-Smith, 2000], ritengono che i moduli non sono presenti nel fenotipo alla nascita bensì si sviluppano durante la vita e, inoltre, che i moduli sono solo in piccola parte codificati nel genoma mentre sono il risultato di complesse interazioni tra informazione genetica, sviluppo ed esperienza.

Il punto di vista opposto a quello modulare è quello di Clark e Campbell [Clark e Campbell, 1991] che ritengono che i diversi meccanismi associativi, semantici e linguistici implicati nel processo del calcolo sono talmente interconnessi che una forma qualsiasi di modularità sembra improbabile. Questa teoria (detta “la teoria della codifica complessa”) postula, quindi, una spiegazione di tipo equipotenziale fra le diverse funzioni. In altri termini, secondo questi autori, non sarebbe possibile scomporre il calcolo in categorie funzionali e/o anatomiche.

La proposta della teoria della codifica complessa corrisponde ad una semplificazione teorica rispetto al modello modulare. Questa teoria ha il vantaggio, infatti, di rappresentare un substrato teorico semplice grazie al quale molti fenomeni osservati in clinica ed in sperimentazione possono trovare spiegazione ma, purtroppo, questo avviene solamente in apparenza: infatti, il

loro modello è troppo generale e sembra avere, come evidenziato da Deloche e Seron [Deloche e Seron, 1994], il grande svantaggio di non essere falsificabile (qui inteso popperianamente). Di conseguenza, bisognerà ritornare ad una concezione modulare, benché occorranò certamente alcuni adattamenti che si avvicinano parzialmente all'idea della codifica complessa. Il problema di ridefinire la nozione forte di modulo si è configurato come un tentativo di stabilire quali dei tratti definitivi classici fossero indispensabili: in altri termini, si è trattato di formulare una definizione di isolabilità, non altrettanto selettiva e al contempo non banale. Infatti, ciò che va garantito è che l'assunzione di criteri meno forti non precluda la possibilità di isolare sistemi: il rischio opposto ad una definizione troppo rigida è, infatti, quella di una definizione troppo debole, incapace di far emergere distinzioni e di conseguenza ancor meno rilevante sul piano euristico della prima. L'esigenza comune - che emerge tanto in sede neuroscientifica quanto in sede neuropsicologica - di rendere conto delle interazioni fra i vari componenti, senza pregiudicarne la specificità computazionale, è stata colta in modo particolarmente felice dalla concezione di “sistema quasi scomponibile” formulata da Simon [Simon, 1969]: egli definisce quasi scomponibile un sistema che, ad un livello di analisi superficiale, risulti costituito da sottocomponenti che operano in maniera indipendente l'uno dall'altro e le cui interazioni sono relativamente deboli. L'efficacia descrittiva di una simile nozione sta nel fatto che un'analisi di un sistema in termini di componenti debolmente modulari (analisi indispensabile per la comprensione dell'architettura funzionale di tale sistema) non esclude la possibilità di rendere conto, a livelli di analisi più fini, di interazioni tra componenti il cui effetto non emerge al livello sistematico complessivo [Shallice, 1988]. È interessante rilevare, infatti, che una delle caratteristiche che vengono meno da uno indebolimento della nozione di modulo è quella della possibilità di far corrispondere specifici schemi di deficit a lesioni circoscritte di area corticale: è chiaro cioè che, se la specializzazione funzionale non è da considerarsi prerogativa di singole regioni, ma è una proprietà condivisa da un insieme di aree, l'effetto sul comportamento di lesioni cerebrali sarà molto diverso e potrà dare luogo a deficit meno selettivi di quelli ipotizzabili nel caso contrario. Il risultato è che il ruolo sistematicamente e normalmente attribuito ad un componente in un modello architettonico risulta distribuito dal punto di vista neurale fra diverse aree cerebrali. L'importanza di questa distinzione sta, a nostro avviso, nel fatto che una definizione architettonica di modulo deve essere scevra da ingerenze relative alla sua realizzazione neurale: da questa distinzione dipende il rigore di ipotesi di correlazione e la possibilità di applicare vincoli comportamentali all'identificazione di aree cerebrali e viceversa. D'altronde, le conoscenze complessive di come le strutture macroscopiche del cervello siano in relazione con gli aspetti del comportamento cognitivo, sono ancora ad uno stadio embrionale.

A questo proposito, le scienze cognitive non dispongono che di informazioni locali provenienti da diversi paradigmi sperimentali: dati circa la risposta di particolari regioni cerebrali a classi di stimoli sensoriali (evidenza elettrofisiologia), nozioni relative ai percorsi principali all'interno della corteccia (studi anatomo-fisiologici sulla connettività), evidenza clinica e comportamentale relativa a disfunzioni selettive indotte da lesioni localizzate (evidenza neuropsicologica), conoscenze comparative sull'organizzazione cerebrale di specie filogeneticamente affini all'uomo (studi su primati) oppure informazioni globali sul coinvolgimento di varie regioni e sulle variazioni di parametri metabolici in corrispondenza di determinati compiti (studi elettrofisiologici su larga scala e metodologie di *brain imaging*).

Il problema cardine della modellizzazione dei sistemi cerebrali su larga scala è quello di come impiegare contestualmente e confrontare reciprocamente questa massa eterogenea di dati sperimentali. Infatti, lo scarto che intercorre nel rapporto teoria/osservazione fra la neuropsicologia e le neuroscienze non comporta difficoltà rilevanti finché si resta ad un livello strettamente intrametodologico. Nel momento stesso in cui, però, si passa ad un livello di confronto interdisciplinare in mancanza di un tessuto teorico comune, diventa fondamentale l'individuazione di criteri espliciti per il confronto fra teorie ed osservazioni di natura eterogenea. In realtà, se lasciamo cadere alcune delle assunzioni che governano i singoli metodi di indagine, assunzioni non sempre universalmente accettate (si pensi, ad esempio, all'assunzione di trasparenza nel caso della neuropsicologia, o alla pura additività nel caso del

*brain imaging*), vengono automaticamente a cadere quei vincoli da cui, singolarmente presi, essi dipendono.

### **Le classificazioni dell'acalculia**

In letteratura, l'abilità di calcolo è stata classificata da diversi autori come una capacità multifattoriale comprendente diverse funzioni quali, ad esempio, funzioni di capacità verbali, spaziali, di memoria e le abilità di esecuzione [Ardila ed altri, 1998]. La capacità di calcolo è frequentemente alterata in casi di specifiche patologie cerebrali [Ardila e Rosselli, 1992; Grafman, 1988; Harvey ed altri, 1993; Hecaen ed altri, 1961] o demenza [Deloche ed altri, 1995; Grafman ed altri, 1989; Rosselli e Ardila, 1998]. La perdita della capacità di eseguire compiti di calcolo, derivante da una patologia cerebrale è nota come “acalculia” o “discalculia acquisita”. Il primo a proporre il termine acalculia fu Henschen nel 1925 [Henschen, 1925], definendola come il deterioramento delle capacità di calcolo risultante da una lesione cerebrale. Prima di Henschen si erano trovati in letteratura parecchie citazioni sui disturbi di calcolo, anche se furono interpretati, in molti di questi casi, come conseguenze di deficit della facoltà di linguaggio (afasia). Henschen esaminò 305 casi riscontrando che alcuni pazienti presentavano disturbi di calcolo senza evidenti disturbi lessicali, propose così un substrato anatomico per le operazioni aritmetiche differente (anche se vicino) al substrato anatomico del linguaggio e delle abilità musicali (identificherà, infatti, la terza circonvoluzione frontale per rappresentare il centro per la pronuncia dei numeri; di contro, la circonvoluzione cerebrale angolare e la scissura intraparietale come le zone del cervello che partecipano alla lettura del numero ed il giro angolare fu considerato la struttura cerebrale responsabile della scrittura dei numeri).

Berger nel 1926 [Berger, 1926] introdusse la distinzione tra acalculia primaria e secondaria. L'acalculia primaria o “pura” corrispondeva alla perdita di concetti numerici ed alla incapacità di capire o eseguire operazioni aritmetiche. L'acalculia secondaria, invece, si riferiva all'imperfezione del calcolo derivante da altri deficit cognitivi (ad esempio, memoria, linguaggio ecc.). Questa distinzione divenne, in seguito, particolarmente influente poiché vi era un accordo generale tra gli studiosi che i disturbi di calcolo potessero essere associate ad altri deficit cognitivi come, ad esempio, afasia, alessia e disgrafia. La polemica, comunque, è ruotata intorno alla possibile esistenza di una acalculia primaria, poiché alcuni autori hanno dubitato dell'esistenza di una acalculia come deficit cognitivo indipendente [Collington ed altri, 1997; Goldstein, 1948].

Gerstmann nel 1940 [Gerstmann, 1940] avanzò la tesi che l'acalculia primaria fosse sempre associata a disgrafia, disorientamento destra-sinistra ed agnosia, dando vita ad una sindrome cerebrale che da allora è conosciuta con il suo nome: la sindrome di Gerstmann (i metodi di *neuroimaging* hanno mostrato una correlazione tra la sindrome di Gerstmann e danni parietali posteriori di sinistra [Mazzoni ed altri, 1990]).

Lindquist nel 1936 [Lindquist, 1936] distinse diversi tipi di acalculia associata a lesioni in diverse aree cerebrali. L'autore, propose, che i disturbi di calcolo non erano omogenei e, di conseguenza, si potessero per questo motivo distinguere diversi sottogruppi di acalculia. Come risultato, sono state presentate diverse classificazioni [Grafman, 1988; Grafman e altri, 1982; Luria, 1973] e differenti modelli di errori sono stati descritti in pazienti con danni all'emisfero destro e sinistro [Levin ed altri, 1993; Rosselli e Ardila, 1989].

Boller e Grafman nel 1983 [Boller e Grafman, 1983] avanzarono l'ipotesi che le capacità di calcolo potessero essere danneggiate come risultato di diversi tipi di deficit. Le capacità di calcolo, infatti, potevano risultare alterati come conseguenza di (1) incapacità di capire i nomi dei numeri, (2) deficit visuo-spaziali che inibivano l'organizzazione spaziale dei numeri e gli aspetti meccanici delle operazioni, (3) incapacità di ricordare fattori matematici e di usarli appropriatamente, (4) incapacità di pensieri matematici e dei funzionamenti di base. Danni al cervello, quindi, secondo l'autore, potevano provocare disordini limitati relativi ad un particolare funzionamento aritmetico senza per questo causare disordini di calcolo supplementari (ad esempio, un deficit specifico per le procedure aritmetiche [Semenza, 1988]).

Luria nel 1976 [Luria, 1976] distinse tra una acalculia ottica (visual-percettiva), una acalculia frontale ed una acalculia primaria, mettendo in questo modo in evidenza che i disturbi di calcolo potessero derivare da diverse patologie cerebrali. Tuttavia, la classificazione più largamente accettata dagli studiosi fu quella che nel 1961 propose Hecaen [Hecaen ed altri, 1961]. Sulla base di uno studio condotto su 183 pazienti, l'autore distinse tre principali tipi di deficit legati al calcolo:

- a) dislessia e disgrafia per numeri
- b) acalculia spaziale
- c) anaritmetia (acalculia primaria)

La dislessia e la disgrafia per i numeri causerebbe evidentemente problemi di calcolo. Essa poteva o non poteva essere associata a dislessia e disgrafia per le parole. L'acalculia spaziale si riferiva ad un deficit di organizzazione spaziale in cui le regole per sistemare le cifre scritte nel loro giusto ordine e posizione risultavano disorganizzate (in questo deficit si trovano frequentemente inversioni numeriche). L'anaritmetia (o altrimenti detta acalculia primaria), implicava un deficit fondamentale della capacità di calcolo. I pazienti affetti da anaritmetia, infatti, presentavano una totale incapacità nella comprensione delle quantità, difficoltà nell'uso delle regole sintattiche del calcolo insieme a deficit nella comprensione dei simboli aritmetici. Tuttavia, questi pazienti, potevano essere in grado di contare ad alta voce e realizzare certi compiti legati al calcolo numerico (ad esempio, continuare ad utilizzare la tabella delle moltiplicazioni). Essi potevano, inoltre, possedere delle conoscenze numeriche, ma non erano più in grado di effettuare confronti tra i numeri (stime di grandezza) [Ardila e Rosselli, 1995].

Tuttavia, non è facile nella letteratura trovare casi puri di anaritmetia. Di solito, i pazienti (come nei casi precedenti) presentavano un deterioramento cognitivo generale; pertanto, l'anaritmetia poteva facilmente essere correlata ad altri deficit neurologici e neuropsicologici. Lo stesso Hecaen descrisse casi di sovrapposizione tra anaritmetia e disgrafia per i numeri. Nel campione di 73 pazienti con anaritmetia, l'autore notò, infatti, che il 62% soffriva anche di afasia, il 61% faceva errori di costruzione, il 54% presentava deficit del campo visivo, il 50% presentava deficit cognitivi generali, il 39% aveva anche problemi di alessia, il 33% deficit oculomotori.

Anche nel modello neuropsicologico modulare di McCloskey [McCloskey ed altri, 1985] le competenze di elaborazione numerica dipendono da componenti cognitive diversi quali la comprensione, la produzione e il calcolo, ma in questo caso, secondo l'autore, la rappresentazione mentale della conoscenza numerica risulta essere indipendente da altri sistemi cognitivi e strutturata in tre moduli distinti per funzioni quali:

- 1) *il sistema di comprensione*, che trasforma la struttura superficiale dei numeri in una rappresentazione astratta di quantità (scomposto nei diversi codici in cui le entità numeriche sono rappresentabili: verbale, cifre arabe, ecc.) ;
- 2) *il sistema del calcolo*, che assume tale rappresentazione come input e la manipola attraverso i segni delle operazioni, i fatti aritmetici e le procedure di calcolo;
- 3) *i meccanismi di produzione*, l'output del sistema di calcolo, le risposte numeriche.



*Fig.1 Il modello modulare di McCloskey [McCloskey ed altri, 1985]*

Secondo l'autore, quindi, i processi di comprensione e di produzione dei numeri sono indipendenti tra di loro. Le unità preposte all'elaborazione dei numeri nei diversi formati, a loro volta sono indipendenti, sia all'interno dei meccanismi di comprensione sia all'interno dei meccanismi di produzione. Il sistema di riconoscimento/compressione è composto da una serie di meccanismi indipendenti, preposto all'elaborazione dei numeri, ad esempio, nel formato cifra araba "4", nel formato verbale visivo "QUATTRO" e nel formato verbale uditivo "quattro". Anche il sistema di produzione ha una struttura interna complessa, che include i meccanismi responsabili della produzione dei numeri arabi "4", della produzione orale di numeri "quattro" e della produzione scritta di parole-numero "QUATTRO", che sono anch'essi indipendenti. Ciascuna delle sottocomponenti dei processi di riconoscimento e di produzione, a sua volta, contiene meccanismi lessicali e sintattici, fra loro indipendenti, responsabili rispettivamente dell'elaborazione delle singole cifre contenute nel numero e dell'elaborazione dei rapporti tra le cifre che costituiscono i numeri.

La distinzione tra meccanismi di comprensione e meccanismi di produzione viene mostrata in alcuni studi di Benson e Denckla [Benson e Denckla, 1969] e dello stesso McCloskey [McCloskey e altri, 1985]. I pazienti descritti nei primi due lavori ed il paziente V.O. di McCloskey mostrano, infatti, di avere una comprensione intatta dei numeri o dei calcoli presentati nel codice verbale e sottoforma di cifre arabe (riescono senza difficoltà ad indicare il più grande tra due numeri ed ad indicare il numero corrispondente alla soluzione esatta di una operazione) ma, al contrario, nelle prove che richiedono la capacità di produrre un numero in risposta ad uno stimolo, le loro prestazioni risultano essere gravemente compromesse (questi pazienti, infatti, commettono errori banali nel risolvere calcoli mentali e scritti, nello scrivere un numero sotto dettatura e nel leggere ad alta voce un numero); facendo emergere in questo modo una dissociazione tra la comprensione dei numeri (intatta) e la produzione dei numeri (compromessa).

Per quanto riguarda i deficit di comprensione, McCloskey ha anche riportato il caso di pazienti che presentano una doppia dissociazione tra codice verbale e codice numerico. Infatti, in un test che richiedeva la capacità di individuare il più grande tra due numeri, presentati visivamente, il paziente H.Y. non aveva nessuna difficoltà ad indicare il più grande quando i numeri venivano presentati sottoforma di cifra araba (ad esempio, 8-5; 27305-27350), ma dava risposte casuali quando i due numeri erano presentati sottoforma di parole (OTTO-CINQUE, ecc.). Sempre nello stesso articolo, il paziente K., presentava il comportamento opposto: nessuna difficoltà quando i numeri venivano presentati nel codice verbale e risposte casuali quando i numeri erano presentati sottoforma di cifre. Questa doppia dissociazione è stata successivamente confermata da altri studi. Ad esempio, il paziente S.F di Cipollotti [Cipollotti, 1995] leggeva correttamente il 95% dei numeri (da 1 a 7 cifre) scritte sottoforma di parole numeriche, ma solo il 45% degli stessi numeri scritti sottoforma di cifre arabe. Un caso simile,

anche se in un contesto di un deficit molto più grave di quello di S.F., è quello di BAL [Cipollotti ed altri, 1995]. Questo paziente leggeva correttamente le parole corrispondenti ai numeri da 1 a 9 ma, quando questi numeri venivano presentati come cifre arabe, dava risposte del tutto sbagliate. Un quadro opposto a quello finora descritto è stato riportato da Anderson nel 1990 [Anderson, 1990], il cui paziente riusciva a leggere correttamente i numeri ma aveva difficoltà con le parole numeriche.

Riassumendo, possiamo affermare che la soluzione appropriata di un problema numerico necessita di capacità verbali, spaziali e concettuali che, molto probabilmente, richiedono la partecipazione attiva di numerose strutture cerebrali. Tuttavia, i meccanismi neurali centrali, implicati nel riconoscimento dei numeri, sembrano essere diversi da quelli che partecipano alla soluzione dei problemi aritmetici. Un paziente, pertanto, può avere difficoltà nel riconoscimento dei numeri e, al contrario, non averne nell'eseguire operazioni aritmetiche.

### **Dati neuropsicologici**

I dati neuropsicologici mostrano, inoltre, una dissociazione tra il sistema dedicato al trattamento delle informazioni numeriche e gli altri sistemi semantici. Thiaux ed i suoi colleghi [Thiaux ed altri, 1998] descrivono un paziente affetto da una anomia massiva riguardante diverse categorie di parole (animali, piante, oggetti, veicoli). Su queste stesse categorie, gli autori riscontrano anche problemi di comprensione. Di contro, il paziente riusciva a dare il numero totale di elementi contenuti in una immagine ed a realizzare senza problemi alcune manipolazioni semplici su dei numeri, come ad esempio citare di un numero il suo predecessore ed il suo successore.

Qualche anno più tardi, viene pubblicato un lavoro simile, in cui un secondo paziente presenta una dissociazione simile a quella già descritta [Butterworth ed altri, 2001; Cappelletti ed altri, 2001]. Di contro, Cipollotti, Butterworth e Denes [Cipollotti ed altri, 1991] hanno riportato il caso di un paziente che era divenuto totalmente incapace di realizzare qualsiasi compito con i numeri, nonostante il suo linguaggio e le sue capacità semantiche risultassero intatte. Le prestazioni di quest'ultimo peggioravano però drasticamente quando i numeri da considerare superavano il 4.

In altri studi, vengono riportati, tuttavia, casi di pazienti con deficit semantici specifici per i numeri, in generale ristretti a un compito in particolare. Questi deficit verranno interpretati come delle dissociazioni tra compiti approssimativi e compiti esatti. Il caso più celebre è quello del signor NAU [Dehaene e Cohen, 1991]. Questo paziente, in seguito ad una lesione estesa dell'emisfero sinistro, presenta dei deficit moderati del linguaggio parlato, ma non riesce più a leggere né a scrivere. In un test riguardante diverse categorie di parole, le sole che riusciva a leggere ad a scrivere erano dei numeri. Inoltre, pur non riuscendo a scrivere delle lettere sotto dettato, perveniva nelle condizioni appena descritte a scrivere 7, 43, 198 e 1985 in risposta agli stimoli 7, 42, 193 e 1865. Si noti, quindi, come i numeri scritti non siano molto distanti dagli stimoli dettati. In particolare, ciò che è più rilevante nell'insieme delle prestazioni del signor NAU, è che il paziente riesce ad eseguire solo i compiti approssimativi: egli riesce facilmente a rifiutare i risultati falsi di una addizione (per esempio  $2+2=9$ ) ma accetta quelli che deviano dal vero risultato solo per alcune unità ( $2+2=5$ ). Quando gli si chiede di ripetere una successione di cifre (6, 7, 9, 8), riesce a recitare la lista solo per qualche minuto; inoltre non sa se un numero si trova vicino a quelli presenti nella lista (ad esempio 5), ma se il numero presentato è molto lontano da tutti gli elementi della lista (ad esempio 2), riesce a riconoscere che quel numero non ne fa parte. Le prestazioni del signor NAU sono, quindi, sensibili alla distanza numerica tra gli stimoli; gli stimoli troppi vicini erano divenuti indistinguibili: ciascuna cifra evoca in lui una impressione vaga di quantità.

Dopo il signor NAU, altri pazienti approssimativi, in seguito ad una lesione più o meno estesa dell'emisfero sinistro, sono stati descritti nella letteratura [Dehaene e Cohen, 1997; Grafman ed altri, 1989; Cohen ed altri, 1994; Warrington, 1982; Pesenti e altri, 1994]. Inoltre, si ritrova lo stesso tipo di prestazione in seguito ad una lesione nel corpo calloso, soprattutto

quando gli stimoli vengono presentati all'emisfero destro [Gazzaniga e Hillard, 1971; Gazzaniga e Smylie, 1984; Cohen e Dehaene, 1996; Seymour ed altri, 1994].

In uno studio recente, Lemer ed i suoi colleghi [Lemer ed altri, 2003] hanno elaborato tutta una lista dei compiti in cui i pazienti approssimativi presentano deficit caratteristici. Ad esempio, in seguito ad una lesione frontale e temporale dell'emisfero sinistro, il loro paziente BRI presenta delle difficoltà in aritmetica. I test rivelano come le difficoltà maggiori riguardino principalmente le moltiplicazioni e le divisioni (il paziente, di contro, non presenta particolari problemi nelle addizioni e sottrazioni. I pochi errori che BRI compie nelle addizioni e nelle sottrazioni concernono i numeri più grandi e la sua risposta è comunque sempre vicina al risultato giusto). Dopo questa prove riguardanti le differenti operazioni aritmetiche, gli autori pongono BRI ad altri test: anzitutto, un test d'addizione esatta e approssimativa, nella quale egli mostra molte difficoltà nei problemi esatti sui grandi numeri; un test di quantificazione di gruppi di punti, in cui le prestazioni del paziente non presentano problemi particolari; infine, un test di confronto e di addizione di gruppi di punti, in cui le sue prestazioni sembrano molto simili a quelli dei soggetti di controllo (eccezion fatta per un rallentamento generale dovuto ad i suoi comandi esecutivi). BRI è dunque capace di risolvere dei problemi aritmetici concreti e approssimativi. Egli riesce ugualmente ad effettuare dei compiti di addizione e sottrazione su degli stimoli simbolici, ma solamente in maniera approssimativa. Di contro, BRI non riesce a gestire le quantità nelle operazioni di moltiplicazione e divisioni.

Inversamente, si trovano dei pazienti che hanno perso tutto il senso della quantità. È il caso, ad esempio, di LEC, un paziente descritto nello stesso articolo di BRI. In seguito ad una lesione nella zona intraparietale sinistra, LEC mostra delle difficoltà in aritmetica. In un test classico di risoluzione d'operazioni elementari, LEC mostra dei deficit che riguardano solamente la sottrazione e la divisione. Gli errori effettuati (ad esempio  $7-1=8$ ;  $9-1=9$ ) mostrano una comprensione limitata del concetto di sottrazione. Le sue prestazioni sono buone nei compiti di addizione esatta ed approssimativa, al contrario, i compiti riguardanti dei gruppi di punti rivelano l'estensione dei suoi deficit. Quando, infatti, gli si chiede di confrontare due gruppi di punti, LEC risponde completamente a caso. In maniera generale, sono proprio i compiti di confronto a creare a LEC i maggiori problemi poiché egli ha difficoltà anche nel confrontare dei numeri, compresi tra 20 e 100, scritti in cifre arabe.

Altri pazienti presentano lo stesso deficit selettivo della sottrazione di LEC. È il caso in particolare di JG, esaminato da Delazer e Benke [Delazer e Benke, 1997] che è molto capace nelle moltiplicazioni (8% d'errori sui fatti elementari) ma allo stesso tempo sembra incapace di comprendere il significato dei numeri e delle operazioni effettuate. Anche Dehaene e Cohen [Dehaene e Cohen, 1997] hanno presentato il caso di un paziente (MAR) che era in grado di moltiplicare ma non riusciva a confrontare, ad approssimare il risultato di una operazione e a trovare la metà di un segmento numerico. Infine, Delazer ed i suoi colleghi, hanno recentemente presentato un paziente con dei deficit simili a quelli di LEC [Delazer ed altri, 2005]: questo paziente riesce ad eseguire moltiplicazioni e addizioni ma presenta problemi nelle sottrazioni; in generale le sue prestazioni sono molto scarse in tutti quei compiti che richiedono un trattamento semantico della quantità (bisezione d'intervallo numerico, approssimazione, stima, piazzamenti dei numeri su una linea fisica).

Riassumendo, l'aritmetica risulta essere una capacità composita, in cui ogni operazione è trattata differentemente. In quei casi in cui i pazienti mostrano di aver perso l'intuizione della quantità (ad esempio, il signor NAU e BRI) è la sottrazione ed il confronto fra i numeri a venire meno. Questo a ulteriore conferma del fatto che il sistema analogico, se è il solo a funzionare, pur essendo limitato e poco preciso, risulta essere indispensabile nei compiti semplici e puramente simbolici (come, appunto, la sottrazione ed il semplice confronto).

## Conclusioni

Abbiamo esposto, nel paragrafo precedente, un insieme di dati sulla dissociazione tra calcoli esatti ed approssimativi. In particolare, certi pazienti perdono la capacità d'effettuare dei calcoli esatti. È il caso, ad esempio, del signor NAU e d'altri pazienti che soffrono come lui di lesioni all'emisfero sinistro [Dehaene e Cohen, 1997; Grafman ed altri, 1989; Cohen ed altri, 1994; Warrington, 1982; Pesenti e altri, 1994]. Ritroviamo, inoltre, lo stesso comportamento in quei pazienti con deficit a livello del corpo calloso, quando gli stimoli vengono presentati esclusivamente all'emisfero destro [Gazzaniga e Hillard, 1971; Gazzaniga e Smylie, 1984; Cohen e Dehaene, 1996; Seymour e altri, 1994].

Ad eccezione di quest'ultimi, tutti gli altri sopra citati presentano una forma d'afasia, che potrebbe suggerirci che la perdita d'esattezza nelle risposte numeriche potrebbe essere collegata alla perdita del linguaggio. Quanto ai pazienti con problemi di disconnessione nel corpo calloso, il loro comportamento è stato spiegato in termini di rottura di connessioni: le cifre identificate solamente dall'emisfero destro, non arrivano ad accedere all'emisfero sinistro in cui si trovano i centri responsabili del linguaggio.

Qual è, dunque, il ruolo del linguaggio in queste operazioni?

Una spiegazione plausibile potrebbe essere quella che il linguaggio procura un codice efficace, quando le rappresentazioni approssimative non permettono di risolvere il compito. Contrariamente alle rappresentazioni analogiche, infatti, il codice verbale dei numeri fornisce una lista di simboli precisi dell'unità presa. Sembra, dunque, naturale pensare che i compiti esatti non possono essere risolti che facendo appello ad un codice verbale. L'esperimento di Spelke e Tsivkin in dei soggetti bilingue [Spelke e Tsivkin, 2001] ne costituirebbe una prova. Questo esperimento rivela infatti una differenza di codifica tra dei problemi esatti (ritrovare il risultato esatto di una addizione) e dei problemi approssimativi (scegliere il numero che si avvicina di più al risultato di una addizione), mettendo in luce che, contrariamente ai problemi approssimativi, i problemi esatti sono codificati in un formato specifico nella lingua di apprendimento.

Fra le operazioni aritmetiche, le moltiplicazioni, sembrano poggiare più delle altre su un codice di natura verbale. Per metterlo in evidenza, Lee e Kang [Lee e Kang, 2002] hanno utilizzato un paradigma di doppio compito: i soggetti, mentre effettuavano delle moltiplicazioni, dovevano eseguire un secondo compito che consisteva nel memorizzare una non-parola (compito fonologico) o una figura geometrica (compito visuo-spaziale). Il compito fonologico rallentava l'esecuzione delle moltiplicazioni, mentre il compito visuo-spaziale non turbava la loro esecuzione. Al contrario, quando si sostituivano le moltiplicazioni con delle sottrazioni, queste risultavano rallentate dal compito visuo-spaziale, mentre quello fonologico non provocava alcun rallentamento. Le moltiplicazioni richiedono una manipolazione, dunque, del codice verbale.

In neuropsicologia, la dissociazione tra sottrazioni e moltiplicazione è stata riportata a diverse riprese. Si trovano a volte dei pazienti che sono migliori nelle moltiplicazioni rispetto alle sottrazioni [Dehaene e Cohen 1997; Lemer ed altri, 2003; Delazer e Benke, 1997; Van Harskamp e Cipollotti, 2001], e altri che, al contrario, presentano la dissociazione inversa [Cohen e Dehaene, 2000; Dagenbach e McCloskey, 1992; Dehaene e Cohen, 1997; Lampl ed altri, 1994; Lee, 2000; Pesenti e altri, 1994; Van Harskamp e Cipollotti, 2001; Lemer ed altri, 2003; Jefferies ed altri, 2005].

Dal modello precedente, si può estrarre fuori una ipotesi di previsione molto chiara: un paziente che non riesce a manipolare dei numeri nel formato verbale deve essere incapace d'effettuare delle moltiplicazioni. Tuttavia, in letteratura si riscontrano diversi casi di pazienti, con seri problemi nella lettura dei numeri, ma capaci di eseguire moltiplicazioni (così come le altre operazioni) [Cipollotti e Butterworth, 1995; Whalen, 2002; Garcia-Orza ed altri, 2003]. Il paziente studiato da Garcia-Orza, Leon-Carrion e Vega, riesce a dare il risultato corretto di  $7 \times 3$  (“ventuno”) anche se legge il problema “4 volte 3”. Nella lettura delle parole, è stata diagnosticata una dislessia fonologica: è incapace di leggere delle non parole o, in generale, non riesce a leggere nessuna parola in cui si richiede d'utilizzare la regola di conversione grafema-

fonema. È possibile che questo deficit, diagnosticato per quel che concerne la semplice lettura delle parole, rifletta in realtà la perdita di un senso molto generale, che si presenta ogni qual volta bisogna convertire dei simboli visivi in forma fonologica. In ogni caso rimane da spiegare la discordanza dei dati fra la semplice lettura e la comprensione (produzione) dei numeri, a meno che non postuliamo l'esistenza di una via diretta e separata di conversione dei simboli numerici (tale che quindi possa risultare selettivamente lesionata).

Possiamo concludere riassumendo in questo modo: si è avanzata l'ipotesi che i calcoli esatti facciano appello ad un formato numerico verbale. Le moltiplicazioni, contrariamente alle sottrazioni, utilizzano un formato verbale poiché le tabelle delle moltiplicazioni vengono apprese proprio in virtù della loro ripetizione sottoforma verbale e, pertanto, verranno memorizzate in questa forma. A questo si aggiunga che la moltiplicazione è un'operazione esatta. Tuttavia, i dati sperimentali non sembrano confermare del tutto queste conclusioni; anzi pongono altre due questioni: cioè come si possono risolvere delle sottrazioni esatte senza fare appello al linguaggio? Allo stesso modo, come possiamo effettuare dei confronti tra cifre arabe quando il compito poggia su un codice analogico-approssimativo?

Nel loro modello della rete dei neuroni, Verguts e Fias [Verguts e Fias, 2004] introducono un'idea interessante che può risolvere questo paradosso. Partendo dallo studio delle registrazioni elettrofisiologiche effettuati sulle scimmie [Nieder e Miller, 2004] in cui viene mostrato che i neuroni si assegnano su una numerosità preferita e rispondono in maniera approssimativa alle numerosità vicine, gli autori avanzano l'ipotesi che nell'uomo la stessa popolazione di neuroni possiede delle caratteristiche differenti a secondo il tipo di stimolo. Pertanto, i neuroni, secondo Verguts e Fias, rispondono in maniera approssimativa per gli stimoli non simbolici ed in senso esatto per gli stimoli simbolici. I neuroni, quindi, preferibilmente codificherebbero i simboli in maniera precisa, ma fuorvierebbero spesso: ecco perché le sottrazioni esatte possono venire risolte facendo appello ad una rappresentazione analogica di natura semantica.

Certo tutto questo rimane ancora da verificare.

## Bibliografia

- [Anderson, 1990] Anderson, J. R. (1990). *Cognitive Psychology and Its Implications* (2<sup>nd</sup> Ed.), Freeman, New York.
- [Ardila e Rosselli, 1995] Ardila, A., Rosselli, M. (1995). *Spatial acalculia*. Int. J. Neurosci. 78: 177–184.
- [Ardila e Rosselli, 1992] Ardila, A., Rosselli, M. (1992). *Clinical neuropsychology*, Prensa Creativa, Medellin (Colombia).
- [Ardila ed altri, 1998] Ardila, A., Galeano, L. M., Rosselli, M. (1998). *Toward a model of neuropsychological activity*. Neuropsychol. Rev.
- [Benson e Denckla, 1969] Benson, D. F., Denckla, M. B. (1969). *Verbal paraphasias as a source of calculations disturbances*. Arch. Neurol. 21: 96–102.
- [Berger, 1926] Berger, H. (1926). *Über Rechenstörungen bei Herderkrankungen des Grosshirns*. Arch. Psychiatr. Nervenkr. 78: 236–263.
- [Boller e Grafman, 1983] Boller, F., Grafman, J. (1983). *Acalculia: Historical development and current significance*. Brain Cogn. 2, 205–223.
- [Butterworth ed altri, 2001] Butterworth, B., Cappelletti, M., Kopelman, M. (2001). *Category specificity in reading and writing : The case of number words*. Nature Neuroscience, 4 :784-786.
- [Cappelletti ed altri, 2001] Cappelletti, M., Butterworth, B., Kopelman, M. (2001). *Spared numerical abilities in a case of semantic dementia*. Neuropsychologia, 39 :1224-1239.
- [Cipollotti e Butterworth, 1995] Cipollotti, L., Butterworth, B. (1995). *Toward a multiroute of number processing : Impaired number transcoding with preserved calculation skills*. J. Exp. Psych. : General, 124(4): 375-390.
- [Cipollotti ed altri, 1991] Cipollotti, L., Butterworth, B., Denes, G. (1991). *A specific deficit for numbers in a case of dense acalculia*. Brain, 114: 2619-2637.
- [Clark e Campbell, 1991] Clark JM, Campbell JID (1991). *Integrated versus modular theories of number skills and acalculia*. Brain Cogn ;17
- [Cohen e Dehaene, 1996] Cohen, L., Dehaene, S. (1996). *Cerebral networks for number processing Evidence from a case of posterior callosal lesion*. Neurocase, 2: 155-174.
- [Cohen e Dehaene, 2000] Cohen, L., Dehaene, S. (2000). *Calculating without reading : Unsuspected residual abilities in pure alexia*. Cognitive Neuropsychology, 17: 563-583.
- [Cohen ed altri, 1994] Cohen, L., Dehaene, S., Verstichel, P. (1994). *Number words and number nonwords: A case of deep dyslexia extending to arabic numerals*. Brain, 117: 267-279.
- [Collington ed altri, 1997] Collington, R., LeClerq, C., Mahy, J. (1977). *Etude de la semologie des troubles du calcul observes au cours des lesions corticales*. Acta Neurol. Belg. 77,257–275.
- [Dagenbach e McCloskey, 1992] Dagenbach, D., McCloskey, M. (1992). *The organization of numberfacts in memory: Evidence from a brain-damaged patient*. Brain and Cognition, 20:345-366.
- [Dehaene e Cohen 1997] Dehaene, S. , Cohen, L. (1997). *Cerebral pathways for calculation: Double dissociations between gerstmann's acalculia and subcortical acalculia*. Cortex, 33: 219-250
- [Dehaene e Cohen, 1991] Dehaene, S., Cohen, L. (1991). *Two mental calculation systems: a case study of severe acalculia with preserved approximation*. Neuropsychologia, 29(11): 1045-1074

- [Delazer e Benke, 1997] Delazer, M., Benke, T. (1997). *Arithmetic facts without meaning*. Cortex, 33: 697-710.
- [Delazer ed altri, 2005] Delazer, M., Karner, E., Zamarian, L., Donnemiller, E., Benke, T. (2005). *Number processing in posterior cortical atrophy - a neuropsychological case study*.
- [Deloche e Seron, 1994] Deloche, G., Seron, X. (1994). *Calculation and number. Processing: Assessment Battery Role of Demographic factors*. J. Clin. Exp. Neuropsychol. 16: 195–208.
- [Deloche ed altri, 1995] Deloche, G., Hannequin, D., Carlomagno, S., Agniel, A., Dordain, M., Pasquier, F. (1995). *Calculation and number processing in mild Alzheimer’s disease*. J. Clin. Exp. Neuropsychol. 17: 634–639.
- [Garcia-Orza ed altri, 2003] Garcia-Orza, J., Leon-Carrion, J., Vega, O. (2003). *Dissociating arabic numeral reading and basic calculation : A case study*. Neurocase, 9 (2) :129-139.
- [Gazzaniga e Hillard, 1971] Gazzaniga, M. S., Hillyard, S. A. (1971). *Language and speech capacity in the right hemisphere*. Neuropsychologia, 9: 273-280.
- [Gazzaniga e Smylie, 1984] Gazzaniga, M. S., Smylie, C. E. (1984). *Dissociation of language and cognition: a psychological profile of two disconnected hemispheres*. Brain, 107: 145-153.
- [Gerstmann, 1940] Gerstmann, J. (1940). *The syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia*. Archives of Neurology and Psychiatry 44: 398–408.
- [Goldstein, 1948] Goldstein, K. (1948). *Language and Language Disturbances*, Grune and Stratton, New York.
- [Grafman e altri, 1982] Grafman J, Passafiume D, Faglione P, Boller F. (1982) *Calculation disturbances in adults with focal hemispheric damage*. Cortex;18:37–50.
- [Grafman ed altri, 1989] Grafman, J., Kampen, D., Rosenberg, J., Salazar, A. M., Boller, F. (1989). *The progressive breakdown of number processing and calculation ability: A case study*. Cortex 25: 121–133.
- [Grafman, 1988] Grafman, J. (1988). *Acalculia*. In: Boller, F., Grafman, J., Rizzolatti, G., Goodglass, H. (eds.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 1), Elsevier, Amsterdam, pp. 121–136.
- [Harvey ed altri, 1993] Harvey, S. L., Goldstein, F. C., Spiers, P. A. (1993). *Acalculia*. In: Heilman, K. M., and Valenstein, E. (eds.), *Clinical Neuropsychology* (3rd Ed.), Oxford University Press, New York, pp. 91–122.
- [Hecaen ed altri, 1961] Hecaen, H., Angelerges, T., Houllier, S. (1961). *Les varietes cliniques des acalculies au cours des lesions retrorolandiques*. Rev. Neurol. (Paris) 105: 85–103.
- [Henschen, 1925] Henschen, S. E. (1925). *Clinical and anatomical contributions on brain pathology*. Arch. Neurol. Psychiatry 13: 226–249.
- [Jefferies ed altri, 2005] Jefferies, E., Bateman, D., Lambon-Ralph, M. A. (2005). *The role of the temporal lobe semantic system in number knowledge: evidence from late-stage semantic dementia*. Neuropsychologia, 43(6): 887-905.
- [Kahn e Witaker, 1991] Kahn HJ, Whitaker HA (1991). *Acalculia: a historical review of localization*. Brain Cogn .17
- [Karmiloff-Smith, 2000] Karmiloff-Smith, A. (2000), *Why babies’ brains are not Swiss army knives*, in *Alas, poor Darwin*, a cura di H. Rose and S. Rose, London, Jonathan Cape.

- [Lampl ed altri, 1994] Lampl, Y., Eshel, Y., Gilad, R., Sarova-Pinhas, I. (1994). *Selective acalculia with sparing of the subtraction process in a patient with left parietotemporal hemorrhage*. *Neurology*, 44: 1759-1761.
- [Lee e Kang, 2002] Lee, K. M. , Kang, S. Y. (2002). *Arithmetic operation and working memory : Differential suppression in dual tasks*. *Cognition*, 83: B63-B68.
- [Lee, 2000] Lee, K. M. (2000). *Cortical areas differentially involved in multiplication and subtraction : A functional magnetic resonance imaging study and correlation with a case of selective acalculia*. *Annals of Neurology*, 48: 657-661.
- [Lemer ed altri, 2003] Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E. S., Cohen, L. (2003). *Approximate quantities and exact number words : dissociable systems*. *Neuropsychologia*, 41: 1942-1958
- [Levin ed altri, 1993] Levin, H., Goldstein, F. C., Spiers, P. A. (1993). *Acalculia*. In: Heilman, K. M., and Valenstein, E. (eds.), *Clinical Neuropsychology* (3rd Ed.), Oxford University Press, New York
- [Lewandowsky e Stadelman, 1908] Lewandowsky, M., Stadelmann, E. (1908). *Ueber einen bemerkenswerten Fall von Himblutung und uber Rechenstorungen bei Herderkrankung des Gehirns*. *J. Psychol. Neurol.* 11: 249–265.
- [Lindquist, 1936] Lindquist, T. (1936). *De L’acalculie*. *Acta Med. Scand.* 38.
- [Luria, 1973] Luria, A. R. (1973). *The Working Brain*, Basic Books, New York
- [Luria, 1976] Luria, A. R. (1976). *Basic Problems in Neurolinguistics*, Mouton, New York.
- [Mazzoni ed altri, 1990] Mazzoni, M., Pardossi, L., Cantini, R., Giornetti, V., Arena, R. (1990). *Gerstmann syndrome: A case report*. *Cortex* 25: 459–468.
- [McCloskey ed altri, 1985] McCloskey, M., Caramazza, A., Basili, A. (1985). *Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia*. *Brain Cogn.* 4.
- [Nieder e Miller, 2004] Nieder, A., Miller, E. (2004). *A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey*. *PNAS*, 101(19): 7457-7462.
- [Pesenti ed altri, 1994] Pesenti, M., Seron, X., van den Linden, M. (1994). *Selective impairment as evidence for mental organisation of number facts : Bb, a case of preserved subtraction ?* *Cortex*, 30 : 661-671.
- [Rosselli e Ardila, 1989] Rosselli, M., Ardila, A. (1989). *Calculation deficits in patients with right and left hemisphere damage*. *Neuropsychologia* 27: 607–618.
- [Rosselli e Ardila, 1998] Rosselli, M., Ardila, A. (1998). *Acalculia*. In: Neurobase, Arbor Publishing Corporation, San Diego, CA.
- [Seymour ed altri, 1994] Seymour, S. E., Reuter-Lorenz, P. A., Gazzaniga, M. S. (1994). *The disconnection syndrome: basic findings confirmed*. *Brain*, 117: 105-115.
- [Shallice, 1988] Shallice, T (1988)- *From Neuropsychology To Mental Structure*. Cambridge, Cambridge University Press.
- [Simon, 1969] Simon, H.A. (1969). *The Sciences of the Artificial*, Cambridge (MA), MITPress.
- [Spelke e Tsivkin, 2001] Spelke, E. S., Tsivkin, S. (2001). *Language and the brain: a bilingual training study*. *Cognition*, 78: 45-88.
- [Thiaux ed altri, 1998] Thioux, M., Pillon, A., Samson, D., de Pratz, M. P., Noël, M.-P., Seron, X. (1998). *The isolation of numerals at the semantic level*. *Neurocase*, 4: 371-389.

[Van Harskamp e Cipollotti, 2001] van Harskamp, N. J., Cipolotti, L. (2001). *Selective impairments for addition, subtraction and multiplication. implication for the organisation of arithmetical facts*. Cortex, 37: 363-388.

[Verguts e Fias, 2004] Verguts, T., Fias, W. (2004). *Representation of number in animals and humans : a neural model*. Journal of Cognitive Neuroscience, 16(9): 1493-1504.

[Warrington, 1982] Warrington, E. K. (1982). *The fractionation of arithmetical skills : A single case study*. Quaterly Journal of Experimental Psychology, 34(A): 31-51.

[Whalen, 2002] Whalen, J. (2002). *Representing arithmetic table facts in memory: evidence from acquired impairments*. Cognitive Neuropsychology, 19: 505-522.