

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO – BICOCCA

Facoltà di Psicologia

Corso di Laurea in Psicologia Clinica, dello Sviluppo e Neuropsicologia



**LA COGNIZIONE NUMERICA NELLA NEGLIGENZA SPAZIALE UNILATERALE:
EFFETTI DI RI-ORIENTAMENTO ATTENTIVO DATI DALLE INFORMAZIONI DI
QUANTITÀ NUMERICA.**

Relatore: Chiar.mo Prof. Giuseppe VALLAR

Correlatore: Prof.ssa Luisa GIRELLI

Tesi di Laurea di:

ELVIO A. BLINI

Matricola:

703703

Anno Accademico 2010/2011

*Ringrazio il Prof. Giuseppe Vallar
e la Prof.ssa Luisa Girelli per
avermi seguito nel corso di tutta
la ricerca; ringrazio il Dott.
Samuel Di Luca per averla resa
possibile, e per avermi fornito
innumerevoli feedback e consigli;
ringrazio la Dott.ssa Roberta
Ronchi e la Dott.ssa Elisabetta
Banco per gli utilissimi
suggerimenti pratici, oltre che per
l'assistenza al reclutamento dei
pazienti; ringrazio, ultime ma
certamente non ultime, tutte le
persone che hanno partecipato ai
miei noiosissimi esperimenti.*

Elvio A. Blini

Abstract

According to the “Triple Code” model proposed by Stanislas Dehaene (1992), numbers can be represented into an analogue format of magnitude, as portions of activation of an hypothetical mental number line (MNL). An increasing amount of data in the literature indicates that numerical and spatial representations are, indeed, strictly connected, and one type may influence the other (see de Hevia, Vallar & Girelli, 2008a). The SNARC effect (Spatial Numerical Association of Response Codes; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993), for example, consisting of an advantage in response to small numbers with the left hand and an advantage in response to large numbers with the right hand, has often been reported as an evidence supporting the notion of a spatially ordered arrangement of numbers in the mind (and in the brain). Other, highly suggestive, evidences comes from the study of patients with unilateral spatial neglect (USN) - a disorder consisting of the lack of attention to the contralateral side of lesional space (contralesional), sometimes extended to mental representations (Vallar, 2007b) - that, when asked to perform a mental number bisection task, systematically misplace the midpoint of the numerical interval towards larger numbers, in a way similar to the typical error of these patients in the bisection tasks of physical lines (Zorzi, Umiltà & Priftis, 2002). The deficit of these patients is considered, more specifically, a deficit in accessing the explicit representations of the MNL, while the MNL itself would not be defective (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009).

In this study we investigated the numerical cognition in USN.

In the first experiment (exp. 1), we assessed Siegler’s test (Siegler & Opfer, 2003) to investigate eventual anomalies in the distribution of numbers on the MNL. In the second experiment (exp.2) we assessed the Unilateral SNARC Paradigm (Priftis et al., 2006) with two different tasks (parity judgments and magnitude judgments) to investigate the structure of the MNL and the ability to explicitly consult its representations. In the third experiment (exp. 3) we

assessed bisection tasks of physical lines with flanker-numbers, a task associated with a bisection error towards the highest number of the couple (Fischer, 2001). In the fourth experiment (exp. 4), the original part of the research, we have added different numerical information in a cancellation test commonly used for the diagnosis of USN, looking for possible dissociations in the performance with more or less direct conditions, namely conditions requiring or not an explicit access to the MNL.

The results of 8 patients with USN were compared to those of 8 neurologically unimpaired controls and 8 right brain-damaged patients without USN.

Preliminary results suggest that there may be some anomalies in the MNL of patients with USN, but not necessarily in the access to its representation (exp. 1 and 2). The effect of attentional shift seems to be, in these patients, at least partially preserved, but it also seems necessary a higher salience of numerical information (exp. 3 and 4); an attentional shift, in fact, was only observed in conditions that allowed a better processing of the entered numbers.

Riassunto

Secondo il modello del "Triplo Codice" proposto da Stanislas Dehaene (1992), i numeri possono essere rappresentati in un formato analogico di grandezza, come porzioni di attivazione lungo un'ipotetica linea numerica mentale (LNM). Una mole di dati sempre più consistente in letteratura indica che le rappresentazioni numeriche e quelle spaziali sono, in effetti, strettamente collegate, e possono influenzarsi a vicenda (cfr. de Hevia, Vallar & Girelli, 2008a). L'effetto SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes; Dehaene, Bossini e Giraux, 1993), per esempio, che consiste in un vantaggio nella risposta a numeri piccoli con la mano sinistra e in un vantaggio nella risposta a numeri grandi con la mano destra (in termini di accuratezza e velocità), è stato spesso indicato come una prova a sostegno dell'esistenza di una rappresentazione dei numeri nella mente (e nel cervello) spazialmente ordinata. Altre importanti evidenze derivano dallo studio di pazienti con negligenza spaziale unilaterale (NSU), un disturbo consistente nella mancanza di attenzione verso il lato controlesionale dello spazio, a volte esteso sino all'ambito delle rappresentazioni mentali (Vallar, 2007b); questi pazienti, quando impegnati in compiti di bisezione numerica mentale, spostano sistematicamente il centro soggettivo dell'intervallo numerico verso numeri più grandi, in modo simile al loro tipico errore nei compiti di bisezione di linee fisiche (Zorzi, Umiltà e Priftis, 2002). Il deficit di questi pazienti è considerato, più specificamente, un deficit nell'accesso diretto alle rappresentazioni veicolate dalla LNM, mentre la LNM non sarebbe in sé difettosa (Umiltà, Priftis e Zorzi, 2009).

In questo studio abbiamo indagato più diffusamente la cognizione numerica nella NSU.

Nel primo esperimento (esp. 1), abbiamo somministrato il test di Siegler (Siegler & Opfer, 2003) per indagare eventuali anomalie nell'organizzazione e nella distribuzione dei numeri sulla LNM. Nel secondo esperimento (esp. 2), abbiamo utilizzato l'Unilateral SNARC Paradigm (Priftis et al., 2006) con due compiti diversi (giudizi di parità e di grandezza) per indagare la struttura

della LNM e la possibilità, per i pazienti NSU, di consultarla in modo esplicito. Nel terzo esperimento (esp. 3) abbiamo somministrato un compito di bisezione di segmenti con numeri flankers ai loro lati, un compito solitamente associato ad uno spiccato errore di bisezione verso il numero più grande della coppia (Fischer, 2001). Nel quarto esperimento (esp. 4), la parte originale della ricerca, abbiamo aggiunto dei numeri di diversa grandezza in un test di cancellazione molto diffuso nella pratica clinica per la diagnosi di NSU; abbiamo creato, inoltre, due diverse condizioni, caratterizzate da un accesso alla LNM implicito o esplicito. E' possibile che, date le peculiarità della patologia, i pazienti con NSU riportino delle dissociazioni nelle prestazioni a queste due diverse condizioni.

Le prestazioni di 8 pazienti con NSU sono state paragonate a quelle di 8 controlli neurologicamente indenni e a quelle di 8 pazienti cerebrolesi destri senza NSU.

I risultati preliminari suggeriscono che possano effettivamente essere presenti alcune anomalie nella LNM dei pazienti con NSU, ma non necessariamente nell'accesso al suo contenuto (esp. 1 e 2). L'effetto di ri-orientamento attentivo sembra essere, in questi pazienti, almeno parzialmente preservato, ma sembra altresì necessaria una maggiore rilevanza e salienza delle informazioni di quantità numerica (esp. 3 e 4); uno *shift* attenzionale, infatti, è stato osservato solo nelle condizioni che permettevano una migliore elaborazione dei numeri inseriti.

Indice

Capitolo I – introduzione teorica	1
Numeri e spazio	1
La Negligenza Spaziale Unilaterale (NSU)	11
Introduzione alla ricerca	18
Capitolo II – metodi, analisi e risultati	31
Partecipanti	32
Esperimento 1: il test di Siegler	34
Esperimento 2: l'effetto SNARC	42
Esperimento 3: bisezione di flankers	48
Esperimento 4: i compiti di cancellazione	53
Capitolo III – discussione generale	67
Discussione generale	67
Limiti e prospettive future	74
Bibliografia	77

Capitolo I

Numeri e spazio

Una mole di dati sempre più consistente in letteratura indica che le rappresentazioni numeriche e quelle spaziali sono strettamente connesse fra loro, e si influenzano reciprocamente (cfr. de Hevia, Vallar & Girelli, 2008a).

Storicamente possiamo far risalire questa intuizione già a Galton (1880), secondo cui la rievocazione delle rappresentazioni interne dei numeri darebbe vita ad uno spazio stabile e lineare, la cosiddetta “forma del numero”. Dopo quasi un secolo e mezzo le proprietà visuo-spaziali proprie dei numeri non solo sono state riconosciute dalla comunità scientifica, ma esercitano un ruolo di primaria importanza all'interno dei più recenti modelli cognitivi della rappresentazione e dell'elaborazione numerica.

Con il suo modello del “Triplo codice” Stanislas Dehaene (1992) ha concepito un modello cognitivo dell'elaborazione numerica fondato su evidenze provenienti da più discipline (psicologia comparata, psicologia dello sviluppo, neuropsicologia e neuroscienze). Secondo tale modello la

nostra mente opererebbe sui numeri sfruttando tre diversi formati: 1) un codice *visivo arabico*, che rappresenterebbe i numeri come stringhe di cifre (ad esempio, [235]); 2) un *codice uditivo-verbale*, che rappresenterebbe i numeri come sequenze di parole sintatticamente ordinate (nel nostro esempio, “duecentotrentacinque”); 3) un *codice analogico di grandezza*, nel quale i numeri sarebbero rappresentati come porzioni di attivazione lungo un'ipotetica linea numerica mentale (Mental Number Line; LNM). In questa prospettiva, ogni codice possiede caratteristiche e funzioni precise: nella soluzione di calcoli scritti, o nei giudizi di parità, il codice preferenziale sarebbe quello visuo-arabico; il codice uditivo-verbale sarebbe ottimale per il conteggio e per il recupero di fatti aritmetici (ovvero le conoscenze relative al calcolo cui si accede in modo automatico, come le tabelline); il terzo codice, infine, interverrebbe ogniqualvolta sia necessaria la comprensione delle quantità manipolate, come nel caso dei compiti di comparazione o di stima di grandezza (Girelli, 2007). Anche l'implementazione neuro-anatomica del modello è stata ampiamente avvalorata da dati basati su esperimenti che hanno fatto uso delle moderne tecniche di neuroimmagine, oltre che dall'analisi del comportamento di pazienti con lesioni cerebrali e deficit neuropsicologici. L'esecuzione di compiti specifici, resa possibile dall'uso dei relativi codici, è associata all'attivazione di distretti neurali ben identificati. Il formato più strettamente associato all'uso del linguaggio, quello uditivo-verbale, opererebbe nelle aree peri-silviane sinistre; a livello delle cortecce occipito-temporali opererebbe invece il codice visuo-spaziale, bilateralmente e in aree contigue a quelle per l'analisi della forma degli stimoli visivi; il codice analogico di quantità, in ultimo, avrebbe il suo correlato neurale nella parte inferiore del lobo parietale - particolarmente importante appare il solco intraparietale - bilateralmente, anche se i dati neuropsicologici, in questo caso, pongono maggiore enfasi sul ruolo dell'emisfero dominante (ad esempio Dehaene & Cohen, 1997; Dehaene et al., 1999; Dehaene et al., 2003; Girelli, 2007).

Ai fini della presente trattazione ci soffermeremo in particolare sul terzo codice individuato da Dehaene, quello analogico di quantità, l'unico a veicolare le informazioni

semantiche sulle numerosità ma anche, per sua natura, quello più impreciso ed approssimativo nel suo operare.

Quello postulato dal modello del Triplo Codice, un sistema per stimare e manipolare informazioni di quantità in modo per lo più indefinito, non esatto, con tutta probabilità, vista la sua natura estremamente adattiva e alla luce di numerosi dati sperimentali, non è frutto dello sviluppo culturale dell'individuo, quanto piuttosto un sistema innato ed “hardwired”¹. Particolarmente indicative sono le evidenze che sottolineano l'indipendenza di questo sistema da quello del linguaggio, e in particolare dal vocabolario. Il comportamento a compiti di approssimazione e stima mostrato da esponenti di tribù isolate e dotate di un lessico numerico molto povero, come è il caso dei Mundurukù o dei Pirahã in Amazzonia, non differisce da quello dei controlli di lingua francese, mentre è palesemente meno accurato per quanto riguarda le sottrazioni esatte, pur di piccole quantità (Gelman & Butterworth, 2005; Pica et al., 2004). Competenze numeriche di diverso ordine sono state identificate, nell'ambito della psicologia evolutiva e tramite i paradigmi dell'abituazione visiva o della violazione dell'aspettativa, nel bambino pre-verbale e persino nel neonato: si tratta della discriminazione di piccole numerosità (Antell & Keating, 1983; vi sono però delle critiche in Clearfield & Mix, 1999); della discriminazione di grandi numerosità, quando caratterizzate da un rapporto tra le componenti, o ratio, piuttosto elevato (Xu & Spelke, 2000); addirittura della manipolazione mentale di piccole quantità (Wynn, 1992; si vedano anche Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004 e Gelman & Butterworth, 2005). Persino nel primate non umano sono state descritte capacità di discriminazione di piccole quantità, sfruttando sia metodi osservazionali ed ecologici (Hauser, Carey & Hauser, 2000) sia registrazioni intracellulari dei neuroni della corteccia parietale posteriore (Nieder & Miller, 2004), trovando in questo caso una significativa attivazione del solco intraparietale durante lo svolgimento di giudizi numerici.

¹ Ci riferiamo, qui, ad un meccanismo di stima e quantificazione teorico, e non necessariamente a quello postulato da Dehaene nei termini di una linea numerica mentale. Vedremo poi che la MNL si è dimostrata fortemente dipendente da fattori socio-culturali e dal contesto, ma per il momento vorremmo distinguere la possibilità che un tale sistema esista (grazie ad importanti conquiste filogenetiche) dall'organizzazione cognitiva che questo può assumere.

Alcuni autori si sono spinti fino a considerare questo sistema come parte di un'organizzazione più ampia, con sede nel lobo parietale inferiore, atta alla valutazione e all'elaborazione della grandezza di alcune importanti dimensioni: temporale, spaziale e quantitativa (discreta, o numerosità, oppure continua, o magnitudo), ad esempio. Queste dimensioni condividerebbero alcune caratteristiche primarie e, soprattutto, sarebbero accomunate dalla necessità, da parte dell'individuo, di utilizzarle in trasformazioni senso-motorie, importanti per il loro contributo all'azione (Walsh, 2003). Un'azione efficace sull'ambiente, infatti, non può prescindere dalla valutazione il più possibile accurata delle variabili spazio-temporali sopra citate, né dalla loro integrazione entro ogni programma motorio. Sebbene all'apparenza queste dimensioni appaiano così diverse, si constata che la loro distribuzione, così come la loro rappresentazione a livello neurale, seguono la classica legge di Weber-Fechner. La legge di Weber-Fechner rappresenta il risultato del tentativo sistematico, ad opera dei due studiosi dai quali ha preso il nome, di descrivere le relazioni intercorrenti tra la grandezza di uno stimolo e l'intensità con cui l'essere umano lo percepisce, così da individuare il modello matematico che meglio renda conto della sua rappresentazione a livello della mente. Questa relazione, nello specifico, è stata descritta, sulla base di accurati esperimenti psicofisici di discriminazione, come proporzionale al logaritmo della grandezza dello stimolo (Dehaene, 2003). La distribuzione logaritmica rende in effetti conto di due effetti psicofisici, l'effetto "distanza" e l'effetto "grandezza", che caratterizzano tanto i giudizi di grandezza numerica quanto quelli relativi alla luminosità di uno stimolo, al suo peso, al trascorrere del tempo, alla lunghezza di un segmento e via dicendo. L'effetto distanza si riferisce, precisamente, al vantaggio che i soggetti sperimentano quando viene loro richiesto di paragonare due numeri tra loro relativamente distanti, e si esprime in una maggiore accuratezza e velocità per questa condizione rispetto a quella in cui i numeri da paragonare sono tra loro vicini o contigui; l'effetto grandezza, invece, prevede che, a parità di distanza tra due numeri, i soggetti siano più veloci e precisi nell'operare su piccole numerosità piuttosto che su numerosità più elevate. E' esattamente alla luce di questi effetti che Dehaene

ipotizzò che, all'interno della LNM, le numerosità si distribuissero in modo da costituire un continuum logaritmicamente compresso, ovvero un continuum entro il quale la definizione, la ricchezza di dettagli e l'accuratezza nella rappresentazione sono massime per le numerosità più piccole mentre tendono a deteriorarsi per quelle maggiori. Il fatto che l'effetto distanza e l'effetto grandezza siano stati descritti anche per numerosità non simboliche, come per pattern di punti colorati (Buckley & Gillman, 1974; Temple & Posner, 1998), è, inoltre, coerente con l'ipotesi della presenza, all'interno della LNM, di un meccanismo per la rappresentazione astratta della quantità, ovvero il possibile responsabile della sua comprensione semantica (de Hevia, Vallar & Girelli, 2008a).

Un fenomeno che per molto tempo è stato ritenuto la prova diretta del collegamento tra il dominio numerico e quello spaziale è il cosiddetto effetto SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993). Alcuni autori hanno inserito questo fenomeno all'interno del più generale effetto Simon (Simon, 1969), che descrive il beneficio, in termini di tempi di reazione, che i soggetti manifestano quando, in un compito in cui a diversi effettori sono associate specifiche risposte, lo stimolo target appare nella zona dello spazio più prossima all'effettore a questo associato. Analogamente, i soggetti si dimostrano più veloci nella risposta a numeri piccoli se viene loro richiesto di utilizzare la mano sinistra, mentre con la destra sono i numeri grandi ad essere privilegiati: questo suggerisce che la rappresentazione numerica che viene suscitata in questi compiti, tipicamente di classificazione², contenga informazioni spaziali, e, in particolare, che l'ordine assunto da questi sia diretto da sinistra verso destra, dai numeri più piccoli a quelli più grandi. Vi sarebbe, in altre parole, una sovrapposizione dimensionale tra la posizione relativa della zona di attivazione della LNM e la posizione dell'arto effettore nello spazio fisico peripersonale. L'effetto SNARC è stato più volte replicato, e si è dimostrato indipendente da fattori quali la preferenza manuale (non differisce qualitativamente nei

² La richiesta può essere, ad esempio, quella di indicare se il numero presentato è maggiore o minore di quello di riferimento, oppure se questo è pari o dispari.

mancini, piuttosto che nei destrimani, e inoltre non scompare se viene chiesto ai partecipanti di incrociare le mani; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993), la modalità di presentazione dei numeri (in formato verbale: Flas, 2001; con numerosità non simboliche: Nuerk, Wood & Willmes, 2005), la modalità di somministrazione degli stimoli (uditiva piuttosto che visiva: Nuerk et al., *ibidem*) e l'effettore scelto per il compito (piedi: Schwarz & Müller, 2006; dita: Priftis et al., 2006; occhi: Fischer et al., 2004); tuttavia sembra ormai chiaro come il mappaggio dei numeri su specifiche posizioni spaziali sia flessibile e possa dipendere fortemente dal contesto. La direzione con cui i numeri si dispongono sulla LNM, innanzitutto, sembra essere determinata da fattori culturali, in primis dalle specifiche modalità di lettura: Zebian (2005) ha trovato un effetto SNARC inverso in soggetti di nazionalità libanese e lingua araba, suggerendo che in quel caso sia più coerente ipotizzare che i numeri si susseguano mentalmente da sinistra verso destra partendo dal più grande e muovendosi via via verso il più piccolo³ (coerente a questi risultati è lo studio di Dehaene, Bossini & Giraux, 1993, condotto su un gruppo di partecipanti iraniani; vi sono, invece, risultati contrastanti in Ito & Hatta, 2004); lo studio di Hung et al. (2008) mostra, poi, che questo orientamento può differire a seconda delle diverse notazioni utilizzate nell'esperimento, accade così che in soggetti cinesi possano coesistere due diverse direzioni della LNM, orizzontale per il formato arabo e verticale per quello verbale (con i numeri piccoli codificati spazialmente in alto, e quelli grandi in basso). Pongono molti più interrogativi, in ogni caso, quelle considerazioni che sottolineano come il formato e la codifica spaziale dei numeri siano, in ultima analisi, fortemente connessi alle richieste del compito: mentre non sorprende che sia necessario considerare la grandezza relativa dei numeri, e non quella assoluta, poiché è possibile che un numero venga considerato grande e piccolo alternativamente, a seconda del suo termine di paragone (e, di conseguenza, è possibile che venga di volta in volta processato meglio da diversi effettori, quelli pertinenti; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993), sono problematici studi come quelli di Bächtold,

³ Più precisamente: la portata dell'effetto era, nello studio, inversamente proporzionale al numero di anni di permanenza in Francia.

Baumüller & Brugger (1998) dove la richiesta esplicita di collegare i numeri visualizzati alla loro posizione sul quadrante di un orologio è sufficiente ad ottenere un effetto SNARC inverso, con gli effettori posti a sinistra più rapidi nella risposta a numeri grandi e con gli effettori posti a destra che elaborano preferenzialmente i numeri minori. Una delle più recenti ipotesi alternative postula, diversamente dalle classiche spiegazioni date all'effetto SNARC, che la LNM sia solo una tra le tante rappresentazioni dei numeri che possono essere utilizzate per sostenere compiti numerici: con paradigmi e condizioni peculiari, strategie di altro tipo, come quelle basate sul conteggio digitale e la conseguente mappatura dei numeri sulle relative aree dello spazio, potrebbero rivelarsi più economiche, più vantaggiose, in quanto richiedono un minore utilizzo della memoria a breve termine (Di Luca et al., 2006; Di Luca & Pesenti, 2008; vedi anche Gevers et al., 2006a). Effettivamente il dibattito sull'argomento, alimentato da ricerche come quelle sopra citate, non si è ancora esaurito, e non è al momento possibile escludere neppure l'ipotesi alternativa che l'effetto sia dato dal raggruppamento delle rappresentazioni in entità ordinate: sono infatti stati descritti effetti simili allo SNARC per compiti di classificazione di giorni della settimana, mesi dell'anno o lettere dell'alfabeto (Gevers, Reynvoet & Fias 2003 e 2004) e di sequenze di brevi parole, ordinate in modo casuale, apprese al momento del test (Previtali, de Hevia & Girelli, 2010), tutti elementi privi di aspetti quantitativi.

Abbiamo finora considerato l'influenza che le informazioni spaziali esercitano in compiti numerici, ma sono presenti, in letteratura, anche indicazioni sull'effetto reciproco, ovvero quello riguardante l'influenza dell'informazione (di quantità) numerica in compiti visuo-spaziali. Esempio paradigmatico è il compito di bisezione manuale di un segmento con l'aggiunta di numeri *flankers*: ai soggetti viene richiesto di individuare il centro di una linea agli estremi della quale vengono poste varie coppie di cifre, tra loro uguali oppure no; quello che si riscontra dall'analisi degli studi sul compito è, a parità di lunghezza del segmento (e quindi con la medesima immagine proiettata sulla retina), un errore sistematico non casuale verso il numero più grande della coppia, ovvero uno spostamento del centro soggettivo verso la quantità maggiore.

Sebbene le prime interpretazioni al fenomeno abbiano chiamato in causa la LNM (Fischer, 2001), e l'abbiano ricondotto all'attivazione di sue specifiche porzioni, delimitate da numeri differenti, l'osservazione che il bias sembri emergere da un'elaborazione dicotomica delle cifre, che verrebbero raggruppate in entità dicotomiche del tipo “piccolo”-“grande”, ha portato alcuni autori (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006) a considerare il fenomeno come una vera e propria illusione cognitiva, ottica: lo spostamento del centro percepito da quello geometrico, infatti, non aumenta di pari passo con la distanza tra i due numeri usati come flankers, come vorrebbe l'ipotesi della LNM, ma è costante per ogni coppia di cifre non uguali (l'errore nella bisezione di un segmento delimitato da [1]-[2], ad esempio, non differisce statisticamente da quello in [1]-[9]). La percezione di un'estensione, quindi, sarebbe, secondo gli autori sopra citati, modulata dall'informazione di grandezza tramite un'espansione illusoria dello spazio adiacente al numero maggiore e/o da una compressione illusoria dello spazio adiacente al numero minore, se vogliamo in modo analogo a quanto accade in illusioni visivo-percettive, come nella figura di Müller-Lyer-Brentano (Daini et al., 2001). E', in ogni caso, degno di nota che l'effetto emerga a prescindere dall'effettiva rilevanza che i numeri rivestono nel compito, e che questi possano influenzare i giudizi visuo-spaziali dell'individuo senza una loro elaborazione esplicita. Ad esempio, lo studio di Fischer et al. (2003), anche se diverso dal punto di vista metodologico, metteva in luce come la presentazione di un numero irrilevante al centro dello schermo avesse come effetto una facilitazione attenzionale verso il lato sinistro dello spazio con numeri piccoli, e verso quello destro con numeri grandi; i soggetti, impegnati in compiti di detezione visiva, mostravano una migliore prestazione quando gli stimoli target si trovavano, coerentemente alle previsioni formulabili dal modello di Dehaene, dimensionalmente sovrapposti alla porzione di spazio attivata dal numero precedentemente mostrato.

Anche la pianificazione e l'esecuzione dei movimenti risultano influenzate da una grandezza numerica elaborata contestualmente. Ishihara e colleghi (2006) hanno infatti riscontrato - tramite un paradigma di puntamento, che si avvaleva di indici quali tempi di reazione, tempi di

movimento, accuratezza del gesto e pressione esercitata dall'effettore sul target - dati modulati sia dall'influenza diretta dell'informazione di quantità, sia dall'effetto della congruenza o della mancata congruenza tra la posizione del numero bersaglio nello spazio e la sua posizione sulla LNM; ad esempio, non solo i tempi di reazione erano globalmente minori per i numeri piccoli, a prescindere dall'effettore utilizzato, ma erano anche, nell'esperimento, più rapidi quando il numero bersaglio si trovava in una posizione nello spazio congruente alla sua posizione sulla LNM. Anche la pianificazione e gli atti motori necessari alla scrittura sembrano influenzati dall'elaborazione di grandezze numeriche, e, in particolare, queste possono agire tramite la dislocazione degli elementi lungo tutta la superficie disponibile; accade così che numeri di piccola dimensione vengano spontaneamente trascritti più a sinistra dei numeri maggiori, e viceversa (Perrone et al., 2010). Risultati ancora più indicativi sono emersi dal lavoro di Andres et al. (2004), dove emergono differenze qualitative tra i movimenti di apertura e chiusura della mano (misurati tramite registrazioni elettromiografiche), se svolti dopo aver elaborato un'informazione numerica; sembra, in particolare, che l'elaborazione di piccole quantità acceleri il movimento di chiusura della mano, mentre l'elaborazione di quantità maggiori accelererebbe quello di apertura. Tutte queste evidenze sono coerenti con l'esistenza di un unico, generale, sistema dedicato all'analisi e alla computazione delle grandezze ai fini dell'azione, così come postulato da Walsh (2003).

I paradigmi della psicologia sperimentale non sono l'unico metodo d'indagine possibile per esplorare questo argomento; altrettanto rilevanti ed affascinanti sono le evidenze offerte dalla neuropsicologia, clinica e sperimentale.

L'idea che la cognizione spaziale e quella numerica siano intimamente legate trova una fonte di supporto negli studi neuropsicologici che hanno come focus d'indagine le lesioni al lobo parietale e le relative ripercussioni sulle funzioni cognitive superiori. Il lobo parietale è notoriamente un'area cerebrale dove vengono elaborate informazioni e rappresentazioni spaziali,

ma lesioni in questa zona sono frequentemente associate anche ad acalculia, un deficit della cognizione numerica la cui indipendenza funzionale da altri disordini superiori è stata ampiamente dimostrata (a partire da Henschen, 1919). Lesioni al lobulo parietale inferiore dell'emisfero sinistro, e più precisamente al giro angolare, sono, inoltre, tipicamente associati all'insorgenza di una sindrome peculiare, la sindrome di Gerstmann (1940), caratterizzata da una tetradе di sintomi che appaiono, nel contesto della nostra trattazione, molto evocativi: acalculia, agafia, agnosia digitale e disorientamento destra-sinistra. In realtà la constatazione dell'indipendenza delle quattro patologie che costituiscono la sindrome, che possono presentarsi isolate, ha reso sin dall'inizio poco probabili le ipotesi che postulavano, come responsabile del disordine, un unico, comune, meccanismo disfunzionale. Se alla base della patologia vi fosse, infatti, l'alterazione di un'unica funzione, i sintomi che la descrivono non potrebbero, in nessun caso, presentarsi in modo indipendente. La sindrome di Gerstmann, quindi, è da considerarsi anatomica, e non funzionale. Questo significa che la tetradе di sintomi che costituisce il disordine è, con molta probabilità, determinata dalla localizzazione di diverse funzioni in aree cerebrali vicine, contigue, e dunque molto frequentemente lese contemporaneamente (Benton, 1961; Vallar, 2007a; Rusconi et al., 2010). Mantenendoci saldi a queste considerazioni, dobbiamo comunque riportare che non sono mancati, anche recentemente, suggerimenti diretti nel senso contrario: secondo alcuni autori la sindrome potrebbe, infatti, essere bene inquadrata se ricondotta a disturbi di natura visuo-spaziale, come la difficoltà a derivare la posizione relativa di un oggetto lungo l'asse orizzontale (Gold et al., 1995) oppure quella ad effettuare la rotazione mentale delle immagini (Mayer et al., 1999; cfr. Vallar, 2007b).

Un altro filone d'indagine molto prolifico, infine, è quello che ha studiato il rapporto tra numeri e spazio in pazienti affetti da negligenza spaziale unilaterale (NSU).

La Negligenza Spaziale Unilaterale

La NSU può essere operativamente definita come l'incapacità o la difficoltà del paziente di riferire, verbalmente o tramite altre modalità di comunicazione esplicita, la presenza di stimoli visivi, somato-sensoriali oppure uditivi siti nello spazio controlesionale, oppure come l'incapacità o la difficoltà ad eseguire azioni dirette verso la medesima parte dello spazio, che, di conseguenza, non viene esplorata (Vallar, 2007c).

La sua fenomenologia è assolutamente peculiare: nella fase acuta della malattia - che nella fase immediatamente successiva ad un ictus si presenterebbe, secondo alcune stime, in due pazienti cerebrolesi destri ogni tre - è possibile osservare che i pazienti tendono a mantenere una postura leggermente rotata verso destra, testa ed occhi; nel caso in cui l'esaminatore si avvicini dalla parte dello spazio compromessa è possibile che il paziente non risponda, oppure che lo ricerchi dalla parte opposta (allochiria); nel caso in cui alla NSU non si sovrappongano deficit motori, così che la deambulazione risulti preservata, è probabile che questi soggetti si perdano di frequente nell'ambiente, non considerando i percorsi che si trovano nella parte controlesionale dello spazio; nei compiti di lettura di singole parole sono evidenti soprattutto gli errori nella parte iniziale delle stesse, per lo più con omissioni o sostituzioni di una o più lettere, mentre, analogamente, in una frase possono essere ignorate intere parole. Al fine della diagnosi i test standardizzati di più frequente uso sono prove carta e matita, di facile somministrazione, raggruppabili in tre categorie: a) test di esplorazione visuo-motoria dello spazio, in cui potrebbe venir richiesta, ad esempio, la cancellazione di specifici target, sparsi lungo tutta la superficie di un foglio (A3 o A4) posto sul piano medio sagittale del paziente; b) test di bisezione di segmenti, nei quali lo spostamento del centro soggettivo, rispetto a quello geometrico, può rivelarsi indice di una sottostima dell'estensione del segmento in una delle sue parti; c) test di disegno a memoria o di copia di modelli, nei quali la patologia emerge dall'omissione delle figure rappresentate nella parte controlesionale dello spazio, oppure dalla mancanza di particolari rilevanti situati nella zona

negletta dei singoli elementi del disegno. Tali dissociazioni vengono interpretate come una serie di compromissioni specifiche, a carico, rispettivamente, delle rappresentazioni dello spazio egocentrico e di quello allocentrico (Vallar, 2007c).

Alla base del disordine, associato a lesioni corticali e sotto-corticali di un solo emisfero, vi sono diverse patologie in grado di determinare danni cerebrali unilaterali: malattie cerebrovascolari, tumori e, seppur in misura minore, traumi e malattie degenerative. Nella stragrande maggioranza di questi pazienti l'emisfero maggiormente colpito è quello destro, di conseguenza la parte dello spazio dove l'esplorazione non è ottimale risulta quella sinistra (negligenza spaziale sinistra); sono state descritte anche manifestazioni di negligenza spaziale destra, ma queste sono decisamente meno frequenti e meno gravi, anche se presentano caratteristiche qualitative comparabili alle più diffuse forme sinistre. Questa asimmetria, unita all'osservazione dell'indipendenza della NSU da deficit sensoriali o motori primari (che pure possono influenzarne le manifestazioni), suggeriscono che alla base della tipica sintomatologia vi sia un deficit cognitivo di livello superiore, piuttosto che un problema senso-motorio elementare. Le ipotesi che riconducono la negligenza spaziale ad un difetto basilare dell'elaborazione sensoriale visiva, acustica, propriocettiva o vestibolare, in voga negli anni '50-'60, sono state successivamente smentite dall'osservazione che, molto frequentemente, alcune manifestazioni della malattia si estendono fino al coinvolgere ricordi immagazzinati nella memoria a lungo termine, rievocati in un sistema di riferimento spaziale (Vallar, 2007c). Nel celebre esperimento di Bisiach e Luzzatti (1978) a due pazienti con negligenza sinistra venne richiesta la descrizione particolareggiata di un luogo a loro familiare, la piazza del Duomo di Milano, da due diverse prospettive: i dettagli omessi dai pazienti si trovavano sempre alla sinistra della prospettiva d'osservazione, qualunque essa fosse. La natura della risposta ad un compito simile, prettamente verbale, l'assenza di stimoli sensoriali e il collegamento tra parte del campo rappresentazionale negletta e prospettiva d'osservazione rendono insostenibili le teorie che riconducono la NSU ad un deficit di analisi sensoriale degli stimoli. Le teorie più recenti, fiorite a partire dagli anni '70,

concettualizzano la negligenza come un disordine centrale, disordine che può riguardare un deficit a carico dei processi di orientamento dell'attenzione spaziale oppure un danno alla rappresentazione interna dello spazio egocentrico nella sua parte controlesionale. All'interno delle cosiddette ipotesi attenzionali, una lesione cerebrale può dar luogo ad un deficit di orientamento dell'attenzione verso lo spazio controlesionale, ad un deficit di disancoraggio dallo spazio ipsilesionale, oppure ad uno sbilanciamento di vettori attenzionali. Esisterebbero, entro quest'ultima teoria, due vettori attenzionali, uno per ogni emisfero e rivolti verso la zona dello spazio controlaterale; una lesione cerebrale determinerebbe la prevalenza del vettore situato nell'emisfero indenne, col conseguente e costante mantenimento delle risorse attentive entro lo spazio ipsilesionale. Nelle interpretazioni rappresentazionali, invece, l'enfasi è posta su un danno alla rappresentazione interna dello spazio, codificato con coordinate egocentriche, che verrebbe seriamente danneggiata nella sua parte controlesionale. Sebbene le discussioni tra i sostenitori delle due ipotesi siano state lunghe ed accese il dibattito è oggi superato, vista l'ampia sovrapponibilità mostrata dalle previsioni di ciascun modello: l'orientamento dell'attenzione può, in effetti, essere visto come uno stato di maggiore o minore attivazione di porzioni di rappresentazioni interne dello spazio egocentrico. Quanto emerge dal grande numero di osservazioni in letteratura, ad ogni modo, è che la NSU non è da intendersi come un disordine unitario, monolitico, quanto piuttosto come un deficit multicomponentiale, che può manifestarsi con deficit selettivi e specifici: la compromissione può riguardare diverse regioni dello spazio, personale o extrapersonale, o diversi sistemi di coordinate, egocentriche o allocentriche, può dipendere da diversi fattori, di natura percettiva, premotoria o un misto delle due, fino ad estendersi all'ambito immaginativo (Vallar, 2007c; Husain, 2008; Bisiach & Vallar, 1988; Bisiach & Vallar, 2000).

Classicamente la negligenza spaziale unilaterale è stata associata a lesioni del lobo parietale posteriore destro - area che rimane quella più comunemente associata alla malattia - osservazioni successive hanno però individuato altre strutture il cui danneggiamento può dar

luogo a NSU: mentre è confermato il ruolo del lobulo parietale inferiore (giro angolare, BA 39; giro sopramarginale, BA40) sono considerate rilevanti anche le regioni frontali premotorie (BA44 e BA6) e, con più controversie, il giro temporale superiore (BA22), sempre nell'emisfero destro. Per quanto riguarda le strutture sottocorticali, sembrano rivestire particolare importanza i nuclei posteriori del talamo, i gangli della base (nucleo caudato e nucleo lenticolare) e alcuni fasci di sostanza bianca (particolarmente coinvolte le connessioni fronto-parietali e la capsula interna, che connette i nuclei posteriori del talamo al lobulo parietale inferiore; Vallar, 2001; Verdon et al., 2010). Coerenti con le indicazioni ottenute dal tradizionale metodo della correlazione anatomo-clinica, numerosi studi di stimolazione magnetica transcranica (TMS), assieme alle moderne tecniche di neuroimmagine, hanno confermato il coinvolgimento delle aree sopra citate. Fierro et al. (2000), ad esempio, confermano il ruolo della corteccia parietale posteriore mostrando che un'interferenza con TMS ripetitiva (rTMS) su quest'area dell'emisfero destro induce, in soggetti sani, un errore sistematico verso destra in compiti di giudizio di simmetria (Landmark test), errore analogo a quello tipico dei pazienti eminegligenti nei compiti di bisezione. Il merito degli studi di neuroimmagine è stato, invece, quello di aver dimostrato come una lesione cerebrale localizzata possa determinare rilevanti alterazioni del funzionamento cerebrale (misurato analizzando il flusso o il metabolismo cerebrale regionale) in aree distanti ma collegate a quella compromessa, nello stesso emisfero o in quello opposto (Halligan et al., 2003). Tutti questi dati, nel loro complesso, suggeriscono che le basi neurali della NSU, come quelle della cognizione spaziale, comprendano un complesso network di circuiti corticali e sottocorticali connessi tra loro: lesioni in più parti di questi circuiti possono causare negligenza (Halligan et al., 2003; Vallar, 2007c).

E' stato lo studio di questi pazienti a fornire, ad ora, alcune tra le prove più forti e convincenti a proposito dell'esistenza di un sistema di rappresentazione dei numeri, la mental number line, orientato da sinistra verso destra (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009, per una rassegna) e connotato da forti componenti spaziali.

Consapevoli della possibilità che la negligenza si estenda all'ambito rappresentazionale, Zorzi, Priftis & Umiltà (2002) hanno indagato i possibili effetti che la malattia potrebbe esercitare sulla cognizione numerica, particolarmente intaccando la LNM. Gli autori chiesero a quattro pazienti di stabilire quale numero si trovasse al centro di un intervallo, suggerito dallo sperimentatore, formato da numeri più o meno distanti tra loro (di 3, 5, 7 o 9 unità) e con la richiesta esplicita di non far ricorso a strategie ed algoritmi matematici, ma di fornire semplicemente una rapida stima: ebbene, differentemente dai controlli neuroindenni e dai controlli cerebrolesi destri senza NSU, i pazienti negligenti tendevano, in generale, a spostare il centro soggettivo dell'intervallo verso numeri più grandi, posti più a destra sulla linea numerica mentale; l'unica eccezione era costituita dagli intervalli più limitati, quelli di tre unità, dove si osservava uno spostamento verso i numeri più piccoli, e quindi verso sinistra, analogo al ben noto effetto *crossover* (Marshall & Halligan, 1989). Pia et al. (2009) hanno, in aggiunta, riportato un comportamento perfettamente speculare (uno spostamento del centro soggettivo verso sinistra, verso numeri più piccoli) in un paziente cerebroleso sinistro con eminegligenza destra. In entrambi i casi il comportamento dei pazienti era, dunque, sovrapponibile a quello da loro tipicamente adottato nei classici compiti di bisezione di linee, tanto da spingere gli autori dello studio a sostenere che la mental number line sia a queste isomorfa, che ne condivida la metrica, e che dunque rappresenti qualcosa di più concreto di una metafora. In linea con queste conclusioni, Göbel e colleghi (2006) riportano che, dopo una seduta di rTMS applicata al lobo parietale posteriore destro, soggetti neuroindenni impegnati in un compito di bisezione di intervalli numerici mostravano uno spostamento del centro stimato verso numeri maggiori, in modo analogo sia al comportamento di pazienti eminegligenti nello stesso compito sia a quello di soggetti neuroindenni impegnati in giudizi di simmetria con linee fisiche, reali, e sottoposti allo stesso trattamento (Fierro et al., 2000). L'unica avvertenza, sottolineata in Doricchi et al. (2005), riguarda la possibilità di una doppia dissociazione⁴ nelle prestazioni in compiti di bisezione

4 Cfr. Vallar, 2000.

numerica o visiva, che dunque non andrebbero sempre di pari passo: le difficoltà e gli errori grossolani dei pazienti negligenti in compiti di bisezione numerica sarebbero, secondo questi autori, meglio compresi alla luce di un concomitante deficit di memoria di lavoro spaziale, dovuto al coinvolgimento delle relative strutture prefrontali. Tuttavia, non solo è lecito aspettarsi una doppia dissociazione tra compiti immaginativi e compiti percettivi, coerentemente alla concezione del neglect come patologia altamente eterogenea e composita, ma si hanno anche notizie di pazienti, inclusi in studi successivi, privi di compromissioni prefrontali e che mostrano lo stesso bias (Priftis et al., 2006; Zorzi et al., 2006). L'assunzione secondo cui le due tipologie di linee sarebbero funzionalmente isomorfe, inoltre, non implica che la LNM venga rappresentata a livello neurale esattamente come una linea fisica, percettiva, ma semplicemente che condivida con queste alcune proprietà metriche e/o spaziali, e perché ciò accada non sono necessari identici meccanismi neurali (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009). Vi sono, poi, altri, forti, argomenti che possono essere adottati per confutare il ruolo della memoria di lavoro visuo-spaziale e per supportare quello delle componenti puramente spaziali. In uno studio di Vuilleumier, Ortigue & Brugger (2004) è stato adottato un paradigma differente, basato sulla misurazione cronometrica dei tempi di reazione, nel quale ai pazienti con NSU veniva richiesto di classificare un numero come minore o maggiore di un valore di riferimento, in questo caso sia il [5] che il [7]. Indipendentemente da quale fosse la cifra usata come metro di giudizio, i partecipanti mostravano un vistoso rallentamento nella comparazione dei numeri alla sua immediata sinistra, confermando che l'attenzione spaziale non verrebbe distribuita sulla LNM in termini assoluti ma, piuttosto, lungo dimensioni relative e dipendenti dal valore di riferimento. E' difficile, in ogni caso, che in un compito del genere la memoria di lavoro visuo-spaziale abbia un ruolo tanto rilevante, vista la relativa semplicità delle consegne. La prova forse più incisiva viene, però, da Rossetti e colleghi (2004): in questa ricerca due pazienti eminegligenti, sottoposti allo stesso paradigma sperimentale impiegato da Zorzi et al., ottengono significativi miglioramenti, nei termini di una performance più accurata nella bisezione di un intervallo numerico, dopo una breve seduta di adattamento prismatico, e, dunque,

dopo una procedura che sfrutta l'adattamento delle strutture neurali dedicate ad una distorsione puramente visuo-spaziale (Rossetti et al., 1998).

Le diverse manifestazioni della NSU riguardano un livello elevato di elaborazione delle informazioni, caratterizzato dalla consapevolezza percettiva degli stimoli. Sono numerosi gli studi che dimostrano come questi pazienti, incapaci di riferire della presenza di elementi siti nella parte negletta dello spazio, possano spesso elaborare questi stessi elementi fino al livello del significato (Vallar, 2007c). Se, ad esempio, ai soggetti vengono presentati dei semplici disegni raffiguranti due case, una delle quali caratterizzata dalla presenza di fumo e fiamme nella sua parte sinistra, e se questi disegni vengono presentati l'uno sopra l'altro, allineati al piano medio sagittale, è possibile che il paziente, pur dichiarando di non notare alcuna differenza tra i due, affermi spesso, e con una frequenza ben lontana dal caso, di considerare più vivibile la casa dove non v'è un incendio in atto, quando interrogato a tal proposito e forzato a rispondere (Marshall & Halligan, 1988). In Berti & Rizzolatti (1992) immagini presentate nell'emicampo negletto influenzavano la prestazione dei partecipanti in un semplice compito di categorizzazione semantica: i sette pazienti coinvolti avevano il compito di discriminare, premendo l'apposito tasto, le immagini raffiguranti dei frutti da quelle raffiguranti degli animali, presentate nell'emicampo intatto; quello che si osservò fu un effetto priming nelle condizioni di congruenza concettuale delle due immagini, che mostravano, quindi, tempi di reazione più bassi indipendentemente dalla grandezza fisica dell'immagine proiettata a sinistra.

Dunque, sinteticamente, la NSU si riferisce ad un deficit selettivo della consapevolezza, dell'accesso esplicito e intenzionale ad informazioni caratterizzate spazialmente, anche se nulla sembra impedire a queste stesse informazioni di venire elaborate fino ad un livello appena precedente e, importante nel contesto degli argomenti portati in questa trattazione, di interagire direttamente con il comportamento osservabile dei pazienti. All'interno del problema del rapporto tra spazio e numeri questo significa ipotizzare che non vi sia una vera e propria compromissione della mental number line, ma che vi sia piuttosto un difettoso sistema per la distribuzione delle

risorse attentive lungo una LNM intatta (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009) e, soprattutto, ancora potenzialmente in grado di influenzare compiti di natura spaziale. Questa interferenza è stata messa in luce nello studio di Priftis et al. (2006). Gli stessi pazienti che eseguivano una performance scadente nel compito di bisezione numerica, considerato un compito che si avvale pesantemente della linea numerica mentale, mostravano un effetto SNARC comparabile a quello riscontrato nei controlli. Quest'ultimo risultato è stato ottenuto nonostante il paradigma utilizzato, denominato Unilateral SNARC Paradigm (USP), differisca dalla maggior parte di quelli rintracciabili nella letteratura sull'argomento in quanto adattato alle specifiche esigenze dei pazienti neglienti, ovvero progettato per essere somministrato nell'emicampo destro, quello intatto, e con la richiesta di usare, come effettori, due dita della mano ipsilesionale, visto che la mano sinistra è molto spesso affetta da disturbi motori. La classificazione dei numeri presentati ai partecipanti, poi, è preferibilmente quella basata sulla dicotomia pari-dispari, visto che anche in questo caso il coinvolgimento della LNM è implicito. Un effetto dato dalla grandezza numerica in compiti di natura spaziale è stato trovato anche nei compiti di bisezione di linee affiancate da numeri flankers (Bonato et al., 2008), ma solo per coppie di numeri identici: mentre le coppie di numeri piccoli, nell'esperimento [1]-[1], modulavano significativamente il classico spostamento erroneo verso destra dei pazienti, e differivano dalla condizione [9]-[9], le coppie eterogenee ([1]-[9] e [9]-[1]) non producevano alcun effetto, sebbene il trend fosse quello atteso. Anche in questo caso l'interferenza avviene ad un livello implicito, lontano dalla consapevolezza, anche se, abbiamo visto, alcuni autori non riconducono questo fenomeno all'attivazione della mental number line.

Introduzione alla ricerca

La possibilità che anche i pazienti con NSU siano sensibili agli effetti comportamentali che un'informazione di quantità numerica può esercitare in compiti di natura spaziale è al centro

della presente ricerca. Coerentemente ai dati presenti in letteratura, esposti nel paragrafo precedente, è possibile che questo effetto emerga, nei pazienti con NSU, solo in specifiche condizioni, ovvero quelle che non richiedono un accesso esplicito alla linea numerica mentale, di conseguenza indagheremo anche l'integrità e la struttura di quest'ultima, così da verificare la sua piena funzionalità nei casi in cui l'accesso è implicito, indiretto. Per confermare, poi, che questo eventuale e atteso pattern di effetti sia dovuto alle peculiarità della NSU, e non ad un aspecifico danneggiamento dei medesimi circuiti neurali, paragoneremo le prestazioni dei pazienti eminegligenti (gruppo N+) a quelle di un gruppo di controllo, costituito da pazienti cerebrolesi destri senza negligenza (gruppo N-). Altre, possibili, alterazioni qualitative del fenomeno, sia in pazienti eminegligenti che in pazienti cerebrolesi destri senza NSU, potranno essere evinte dal confronto con un gruppo di soggetti neuroindenni (gruppo C).

Per indagare tutti gli aspetti di nostro interesse abbiamo suddiviso la ricerca in quattro sezioni, ognuna contraddistinta da uno specifico esperimento. Gli esperimenti sono tra di loro relativamente indipendenti, e sono volti ad indagare aspetti diversi del problema del rapporto tra numeri e spazio: forma, struttura, orientamento ed integrità funzionale della LNM e presenza di effetti comportamentali legati alla numerosità in compiti di natura spaziale.

1. La struttura della mental number line: il test di Siegler

Nella prima parte approfondiremo il tema della forma e della struttura della mental number line. A tal fine somministreremo il test di Siegler (Siegler & Opfer, 2003), che consiste nell'apporre - su un segmento delimitato dai numeri [0] e [100] - alcuni numeri, letti ad alta voce dallo sperimentatore. Ai partecipanti viene richiesto, nel test, di barrare la linea con un tratto verticale dove, secondo loro, i numeri bersaglio potrebbero, date le dovute proporzioni, trovarsi.

E' proprio grazie all'analisi delle proporzioni adottate dai partecipanti che potremo inferire quale struttura sia propria della loro LNM, e secondo quale formato i numeri vi si dispongano.

Sebbene la LNM sia stata originariamente descritta come dotata di una distribuzione logaritmica, ovvero una distribuzione entro la quale i numeri più piccoli sono maggiormente rappresentati di quelli più grandi, questo assunto è stato messo in discussione da più autori (a partire da Gibbon & Church, 1981). Una possibilità alternativa è, infatti, quella che la distribuzione dei numeri segua un andamento lineare, ma che i numeri maggiori siano localizzati in posizioni più vaghe, e siano quindi soggetti, in compiti di stima, ad un errore più elevato (Brannon et al., 2001). Secondo altri ricercatori, infine, le due ipotesi non si escludono necessariamente a vicenda: Siegler & Opfer (2003) sostengono che vi sia una predominanza della rappresentazione logaritmica fino a 8 anni d'età circa, ma che successivamente la sua distribuzione, con il passare degli anni e la sempre maggiore familiarità con i numeri, diventi sempre più sovrapponibile a quella di una rappresentazione lineare; gli stessi autori hanno sottolineato, in ogni caso, che ad ogni età sarebbero disponibili rappresentazioni multiple dei numeri, e il loro utilizzo differenziale sarebbe giustificato dal contesto. Anche Berteletti et al. (2010) hanno confermato le osservazioni di questi autori, suggerendo che le abilità di stima siano inizialmente basate su una codifica dei numeri nel formato logaritmico, per poi essere raffinate dalle acquisizioni culturali.

Somministrando il medesimo test che Siegler & Opfer (2003) hanno utilizzato nel loro studio avremo la possibilità di indagare lo stesso problema nei soggetti anziani. Un confronto con le prestazioni di pazienti cerebrolesi destri, con o senza negligenza, potrebbe inoltre suggerire che lesioni nelle aree parietali posteriori siano relate ad anomalie nella struttura della mental number line, o, in generale, nella rappresentazione mentale delle numerosità. L'assenza, in letteratura, di indicazioni riguardanti questo problema non ci permette, tuttavia, di formulare delle ipotesi più specifiche a tal proposito.

2. Struttura e possibilità di accesso alla mental number line: l'effetto SNARC

La seconda parte della ricerca prevede dei test volti a quantificare l'effetto SNARC nei partecipanti (neurologicamente indenni e pazienti) al nostro studio. Abbiamo visto che questo effetto, originariamente avanzato da Dehaene per avvalorare l'ipotesi della LNM, così come il collegamento tra il dominio numerico e quello spaziale, è tuttora molto controverso: non possiamo, infatti, non sottolineare l'abbondanza di ipotesi alternative presenti in letteratura, e accennate nel primo paragrafo. Nell'ottica del modello di Dehaene, tuttavia, la presenza di un tale effetto può essere addotta come dimostrazione dell'integrità e della funzionalità della mental number line, e a questa visione ci atterremo in questa ricerca.

Sottoporremo tutti i partecipanti alla ricerca all'Unilateral SNARC Paradigm (USP; Priftis et al., 2006), progettato per essere somministrato anche a pazienti con disturbi motori dell'arto sinistro. Quanto è lecito attendersi è la presenza di un effetto SNARC integro, espresso come maggiore velocità e precisione nelle risposte con l'effettore sinistro (il dito indice) per i numeri di piccole dimensioni, unito al fenomeno complementare, la maggiore velocità e precisione nella risposta a numeri grandi con l'effettore destro (il dito medio). E' lecito aspettarsi la presenza di questo effetto proprio perché non vi sarebbe nulla di disfunzionale nella LNM in sé, ad essere compromessa sarebbe solamente la possibilità di accesso diretto alle informazioni semantiche da questa veicolate (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009). Alla luce di queste ultime considerazioni, tuttavia, è necessario porre delle distinzioni più fini: i compiti più frequentemente utilizzati per indagare l'effetto, i compiti di comparazione e i giudizi di parità, non possono dirsi equivalenti per quanto riguarda il grado di attivazione della LNM a loro associato, per definizione di gran lunga maggiore nei primi. Nei compiti di comparazione, dove è necessario determinare se il numero presentato sia minore o maggiore di un valore di riferimento, è necessaria anche la comprensione semantica di entrambe le numerosità in esame, oltre al loro posizionamento relativo sulla LNM: la mappatura sulla LNM comporta una consultazione diretta della stessa, nell'esplicito tentativo di

indagare la grandezza dei numeri in gioco. Nei compiti di classificazione del tipo pari-dispari, al contrario, l'informazione semantica viene sempre veicolata, ma in modo implicito: la dimensione è, stavolta, irrilevante ai fini del compito. L'effetto SNARC osservabile in paradigmi che si basano su compiti di giudizio di parità sembra essere mediato, inoltre, per lo più da processi linguistici, verbali, mentre i compiti di comparazione impegnerebbero maggiormente le risorse della memoria visuo-spaziale. Nello studio di van Dijck, Gevers & Fias (2009), infatti, i partecipanti venivano impegnati in entrambi questi paradigmi mentre, tramite specifiche richieste aggiuntive, si limitavano fortemente le risorse della memoria di lavoro, alternativamente quella verbale e quella visuo-spaziale: gli autori videro che l'effetto SNARC scompariva, per i giudizi di parità, quando il carico cognitivo era posto sulla memoria di lavoro verbale e, per i giudizi di grandezza, quando era posto sulle sue componenti visuo-spaziali, ma non per le combinazioni opposte. Ricordiamo, ora, che è propria della NSU la possibilità di potersi estendere all'ambito immaginativo - quando le rappresentazioni sono evocate in coordinate visuo-spaziali, come è il caso della rappresentazione dei numeri sulla LNM - e che sono particolarmente frequenti, in questa tipologia di pazienti, deficit di memoria visuo-spaziale di varia entità. Tutte queste indicazioni, nel loro complesso, suggeriscono la possibilità che la prestazione a questi due compiti possa essere in qualche modo differente nei pazienti con NSU, e che, nello specifico, l'effetto SNARC possa non palesarsi nei compiti in cui è necessario un giudizio di grandezza.

Schematicamente, le nostre ipotesi di ricerca possono essere riassunte in tre punti:

- riteniamo che l'USP, esattamente come nello studio di Priftis e colleghi (2006), possa essere adatto ad individuare la presenza di un effetto SNARC, tanto nei soggetti neuroindenni quanto nei pazienti cerebrolesi.
- riteniamo che tutti e tre i gruppi partecipanti alla ricerca presentino un effetto SNARC integro nei compiti di classificazione dei numeri in pari e dispari. Come abbiamo detto, infatti, questo compito non richiede una consultazione diretta della LNM, e dovrebbe essere svolto agilmente anche dai pazienti con NSU (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009).

- riteniamo che, nei compiti di comparazione numerica, sia possibile individuare un effetto SNARC nei partecipanti neurologicamente indenni e nei pazienti cerebrolesi destri senza NSU, ma non nei pazienti con NSU, considerate le peculiarità della patologia che li contraddistingue. In un compito del genere, infatti, è richiesta una consultazione esplicita della LNM, e abbiamo visto che è proprio a questo livello che si trova la specifica anomalia della NSU (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009).

3. Effetto della numerosità in compiti visuo-spaziali: la bisezione di segmenti con numeri flankers

Nella terza sezione somministreremo, a tutti i partecipanti alla ricerca, un test in cui è necessario bisecare manualmente dei segmenti fiancheggiati da cifre, tra loro identiche oppure eterogenee e, in quest'ultimo caso, orientate dalla più piccola alla più grande oppure dalla più grande alla più piccola. Sin dai primi studi di Fischer (2001) è accertato che queste condizioni generano, nei soggetti, errori di bisezione non casuali, ma strettamente legati alla grandezza dei numeri che fianleggiano le linee. Criterio necessario per indurre bias spaziali, secondo l'autore, sarebbe la percezione dei due flankers come delimitanti punti separati sulla mental number line, indipendentemente dalla loro direzione: la dislocazione del centro soggettivo rispetto a quello geometrico avveniva sempre nella direzione del numero maggiore, in qualsiasi lato esso fosse posizionato, e, inoltre, non si osservarono effetti quando le due cifre erano identiche fra loro (Fischer, 2001; de Hevia, Girelli & Vallar, 2006). Più precisamente, concettualizzare la LNM come un continuum logaritmicamente compresso, all'interno del quale i numeri più piccoli godono di una maggiore rappresentazione⁵, porta a concludere che la lunghezza della linea vicina al numero più piccolo potrebbe essere sovrastimata, e, contemporaneamente, la porzione di linea

⁵ Una maggiore rappresentazione, risoluzione e ricchezza di dettagli per i numeri piccoli equivale, all'interno della metafora avanzata da Dehaene, ad una maggiore lunghezza del segmento [1]-[2] rispetto al segmento [8]-[9], entrambi siti sulla LNM.

vicina al numero più grande potrebbe essere sottostimata: l'interazione di questi effetti - dovuti, in ultima analisi, all'interferenza che la LNM, con le sue connotazioni spaziali, esercita su un compito dove le valutazioni visuo-spaziali sono primarie - darebbe ragione della dislocazione del centro percepito verso i numeri maggiori.

De Hevia, Girelli & Vallar (2006) hanno replicato questi dati sia in compiti di bisezione di linee con numeri flankers, come nell'esperimento originale di Fischer, sia in compiti di bisezione di spazi vuoti, anch'essi definiti da cifre di diversa grandezza, tuttavia hanno interpretato questo fenomeno in maniera del tutto differente, non riconducibile all'intervento della LNM. Gli autori, ampliando il ragionamento di Fischer, suggeriscono che sarebbe lecito attendersi delle significative differenze nella prestazione a questo compito in funzione della distanza che separa le due cifre usate come flankers⁶, ma ciò non è stato confermato (vedi anche de Hevia et al., 2008b). Una proposta alternativa considera il bias spaziale come una sorta di illusione cognitiva, un'illusione di lunghezza: la differenza tra i numeri - elaborata, in maniera dicotomica, con la suddivisione delle cifre in categorie quali "piccolo" e "grande", e quindi prive di sfumature - darebbe luogo all'errore spaziale per via di un meccanismo di compensazione. Più precisamente, la compensazione sarebbe dovuta ad una espansione illusoria dello spazio adiacente al numero maggiore e/o ad una compressione illusoria dello spazio adiacente al numero minore (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006). Coerentemente a queste conclusioni, alcuni esperimenti mostrano che, in compiti di riproduzione differita di segmenti dove vengono manipolate le variabili numeriche, si assiste, all'interno di una globale sovrastima della loro lunghezza, ad un effetto per cui gli spazi delimitati da numeri di piccole dimensioni vengono, nel complesso, sottostimati rispetto agli spazi delimitati da numeri grandi (de Hevia et al., 2008b).

A quanto ci risulta un solo studio, nella letteratura, ha indagato il fenomeno nei pazienti eminegligenti, e questo non ha riportato significative correlazioni tra l'errore di bisezione e la

⁶ I fenomeni di sovrastima e sottostima della lunghezza della porzione del segmento vicina, rispettivamente, ai numeri piccoli e a quelli grandi, infatti, dovrebbero portare ad un errore di bisezione più ampio in [1]-[9] rispetto a [1]-[2], ad esempio.

disposizione delle cifre ai lati del segmento, pur trovando un trend nella stessa direzione dei controlli (Bonato et al., 2008); la presenza di un effetto per le cifre identiche, tuttavia, per cui le linee delimitate da [9] e [9] presentavano un errore verso destra più marcato delle linee con [1] e [1], ha portato gli autori ad attribuire tale shift all'intervento della LNM. Ad ogni modo, qualunque sia l'ipotesi esplicativa che meglio rende conto dell'effetto, non abbiamo motivo di ritenere che questi pazienti debbano costituire delle eccezioni. Il compito, infatti, non richiede un'elaborazione diretta delle numerosità, e ciò consentirebbe alla LNM dei pazienti di attivarsi normalmente e di esercitare le influenze che le sono proprie. Nell'ottica dell'ipotesi dell'illusione cognitiva, parimenti, non vi sono indicazioni relative ad una possibile sospensione dell'effetto illusorio a causa alle specifiche conseguenze della patologia.

Riassumendo, possiamo formulare, relativamente a questa sezione, altre tre ipotesi:

- riteniamo che, sottoposti i partecipanti ad un paradigma di bisezione di segmenti con flankers, tutti i soggetti coinvolti nella ricerca, indipendentemente dal loro gruppo di appartenenza, presentino errori significativamente relati alla differente disposizione delle numerosità ai lati della linea.
- riteniamo che questi errori, intesi nei termini di dislocazione dal centro soggettivo da quello geometrico del segmento, siano diretti sistematicamente verso il numero maggiore della coppia, indipendentemente dalla sua posizione (Fischer, 2001; de Hevia, Girelli & Vallar, 2006).
- nel caso in cui a fiancheggiare le linee siano cifre identiche, nessuna interazione tra la loro grandezza e la dislocazione del centro soggettivo è attesa (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006).

4. Effetto della numerosità in compiti visuo-spaziali: i compiti di cancellazione

La quarta, ed ultima, sezione della ricerca è anche quella principale, in quanto volta ad indagare possibili effetti della numerosità in compiti visuo-spaziali più complessi di quelli descritti finora, per di più senza beneficiare di indicazioni dalla letteratura.

Alcuni degli strumenti più utili e diffusi per la diagnosi e la valutazione della NSU sono i test di cancellazione, reattivi nei quali è necessario depennare simboli specifici sparsi lungo tutta la superficie di un foglio. Gli stimoli bersaglio sono distribuiti, più o meno omogeneamente, da sinistra a destra del foglio, inframezzati da distrattori di varia natura: viene considerata patologica una prestazione nella quale un certo numero di questi simboli viene omesso in una determinata regione dello spazio (quella sinistra, per quanto riguarda la più diffusa forma di NSU). I test vengono tipicamente posizionati sul piano medio sagittale del paziente, il quale è libero di muovere la testa e gli occhi in ogni direzione; questo permette di escludere che le eventuali prestazioni patologiche siano meglio inquadrabili nei termini di un semplice deficit sensoriale. I test di cancellazione richiedono, in effetti, molteplici operazioni mentali e, dunque, risorse cognitive. Per una loro risoluzione ottimale è infatti necessario discriminare i simboli-bersaglio dai distrattori, impiegando così risorse attentive, formulare e mantenere strategie funzionali ad un'adeguata esplorazione dello spazio ed attuare efficaci operazioni di esplorazione visuo-spaziale. Non stupisce, quindi, che questa tipologia di test si sia dimostrata altamente sensibile alla NSU, al contrario: è assodato che un compito di cancellazione sia tanto più sensibile quanto maggiori sono le richieste cognitivo-attenzionali che pone al paziente (Kaplan et al., 1991).

E' possibile che anche all'interno di compiti così complessi emerga un effetto dell'informazione numerica sui processi visuo-spaziali? Gli studi che hanno evidenziato tali effetti sono basati su paradigmi relativamente semplici, nei quali non è necessario un massiccio

dispiegamento di risorse cognitivo-attentionali⁷, e non è certo che impianti sperimentali più sofisticati siano in grado di replicarli. E se anche così fosse: sotto quali condizioni i pazienti eminegligenti ne sarebbero influenzati? Posto che alcuni dati preliminari sembrano fornire una risposta affermativa alla prima domanda (Di Luca et al., in preparazione) non ci resta che stabilire un impianto sperimentale che permetta di approfondire anche la seconda parte.

Per rispondere a questi quesiti abbiamo incluso nella batteria un test di cancellazione, modificato in modo da veicolare informazioni numeriche. La nostra scelta è caduta sullo Star Cancellation Test (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987), uno dei test più diffusi ed utilizzati nella pratica clinica come nella ricerca (**Fig. 1.1**). Lungo tutta la superficie di un foglio in formato A4 sono sparse 52 stelle di grandi

dimensioni, 13 lettere dell'alfabeto anglosassone e 10 brevi parole - che anche nella versione italiana sono rimaste in lingua inglese - oltre a 56 stelle più piccole, che costituiscono gli item da depennare. Nella versione del test da noi modificata ad alcuni di questi simboli sono stati sostituiti dei numeri.



Fig. 1.1: lo Star Cancellation Test.

E' possibile ipotizzare, considerando quanto detto finora e vista la letteratura in merito, che l'esplorazione visuo-spaziale dell'intera area del test possa venire attuata in modo qualitativamente e quantitativamente differente in funzione delle diverse numerosità rappresentate, pur con qualche riserva relativa alla maggior complessità del compito e al maggior dispiego di risorse cognitive. Secondo le nostre ipotesi dovremmo assistere ad un'esplorazione più efficace, e quantitativamente più massiccia, dell'emispazio sinistro nel caso in cui l'individuo si trovi ad elaborare piccole quantità numeriche (rappresentate, qui, dal numero [2]) e, viceversa, è lecito attendersi una

⁷ Ci riferiamo, qui, ai compiti di detezione di stimoli, di bisezione, di puntamento ecc..

migliore esplorazione dell'emispazio destro con numeri più grandi (il numero [8], in particolare). Operazionalizzando queste ipotesi, quanto detto significa attendersi, ad esempio, un minor numero di omissioni, rispetto alla condizione di base, nell'emispazio in cui l'esplorazione verrebbe incrementata grazie all'azione delle informazioni quantitative. Un secondo, utile, indice, che riflette le dinamiche e gli equilibri dell'esplorazione lungo tutta la superficie del test, può essere ricavato dalla media matematica delle coordinate spaziali di ogni singolo tratto eseguito dal volontario; si tratta di un indice del baricentro geometrico delle depennate, caratterizzato da un valore che è lecito attendersi inferiore quando la zona dello spazio che è stata maggiormente esplorata, e sulla quale il soggetto ha agito maggiormente, è stata quella sinistra, e maggiore

quando lo stesso vale per la zona destra.

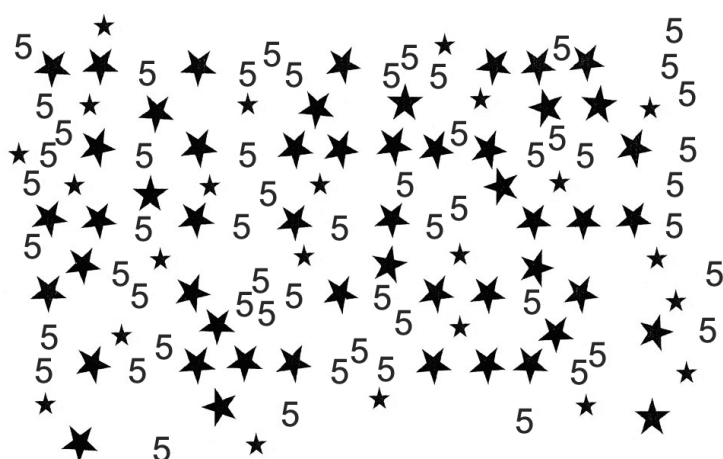


Fig. 1.2a: la condizione diretta del test.

Per ogni versione del test, dunque, dovremmo assistere a variazioni sistematiche di queste due misure in funzione del numero elaborato: il numero [2] sarebbe associato a meno omissioni nella parte sinistra del test e/o a più omissioni nella parte destra,

rispetto ad una condizione neutra e, soprattutto, rispetto alla condizione che richiede l'elaborazione di numeri maggiori (l'[8]); parallelamente, il numero [2] sarebbe anche associato ad un baricentro delle depennate posto più a sinistra (caratterizzato da valori minori) di quello proprio del numero [8] e della condizione di partenza.

La possibilità di sostituire, alternativamente, i simboli bersaglio e quelli distrattori, ha, inoltre, permesso di creare due differenti condizioni. Nella prima di queste due condizioni le stelle di piccole dimensioni sono state sostituite da numeri, alternativamente il [2] e l'[8], i quali, nelle consegne al compito, hanno assunto lo status di simboli bersaglio, da individuare e depennare; in secondo luogo, per garantire ai test modificati una certa somiglianza grafica, e quindi percettiva,

abbiamo deciso di eliminare le lettere e le brevi parole, inserendo al loro posto delle nuove stelle di piccole dimensioni (che tuttavia, in questo caso, considereremo al pari di elementi distrattori). Nella seconda condizione, invece, gli stessi numeri sono stati sostituiti alle lettere e alle brevi parole, ma la consegna, consistente nella cancellazione delle stelle piccole, non è stata alterata: questa modifica ha inserito, quindi, un'informazione numerica irrilevante ai fini del compito. Riassumendo, abbiamo creato un test contenente 56 numeri bersaglio, 52 stelle di grandi dimensioni e 23 stelle più piccole (**Fig. 1.2a**), accanto ad un test contenente 56 stelle di piccole dimensioni, che in questo caso costituiscono i simboli target, 52 stelle più grandi e 23 numeri in qualità di distrattori (**Fig. 1.2b**); ognuna di queste versioni dello Star Cancellation Test ha due varianti, una per i numeri piccoli e una

per quelli maggiori. In entrambe le forme i target da cancellare sono, quindi, 56, localizzati esattamente nella stessa posizione sul foglio, ma in un caso i simboli che li rappresentano sono costituiti dai numeri, nell'altro dalle stelle piccole. E' probabile che

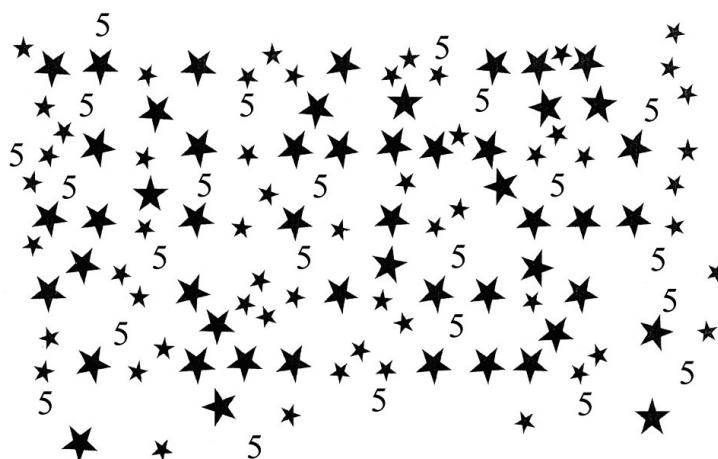


Fig. 1.2b: la condizione indiretta.

queste due condizioni non sollecitino la LNM in egual misura e che, nello specifico, la variante del test in cui ai soggetti si richiede l'individuazione dei numeri comporti una sua maggiore attivazione, e, soprattutto, un tentativo esplicito di accedere alle informazioni semantiche da questa veicolate. Alla luce di queste considerazioni abbiamo definito compiti diretti quelli in cui i partecipanti alla ricerca avrebbero dovuto barrare i numeri, e compiti indiretti quelli in cui gli stessi non rivestivano alcun ruolo nelle consegne.

La seconda domanda che avevamo posto concerneva le condizioni sotto le quali anche i pazienti affetti da NSU avrebbero potuto essere influenzati dalle grandezze numeriche in gioco. E' possibile ipotizzare che le due condizioni da noi create possano portare a prestazioni almeno in

parte differenti, per quanto riguarda il numero di omissioni e il valore assunto dal baricentro delle depennate. Se consideriamo l'effetto in esame come proprio della LNM e delle sue caratteristiche spaziali - che porterebbero all'accresciuta esplorazione delle regioni dello spazio sovrapposte alla regione della LNM che codifica una data numerosità, quindi regioni poste più a sinistra per numeri piccoli e più a destra per numeri grandi - dobbiamo anche ammettere che le compromissioni peculiari alla NSU potrebbero alterare, nei pazienti, gli andamenti attesi nei compiti diretti. Qualora un compito richieda, infatti, una consultazione diretta della LNM, gli ostacoli posti dalla patologia potrebbero inibire questi effetti comportamentali. Una difficoltà nell'accesso alle rappresentazioni mentali dei numeri, non attivando porzioni di spazio poste sulla LNM, non produrrebbe alcun fenomeno di ri-orientamento attentivo. Compiti in cui le numerosità sono irrilevanti, al contrario, non impedirebbero alla mental number line di attivarsi implicitamente e, così, di esercitare i suoi effetti.

Le ipotesi di ricerca relative a quest'ultima sezione, concludendo, possono essere così schematizzate:

- riteniamo che anche in compiti più complessi - dal punto di vista delle operazioni cognitive che li costituiscono, come è il caso dei compiti di cancellazione - possa essere individuato un effetto della grandezza numerica sulla qualità e sulla quantità dell'esplorazione visuo-spaziale messa in atto dai partecipanti (Di Luca et al., in preparazione).
- riteniamo che questo effetto riguardi una migliore esplorazione delle regioni dello spazio poste più a sinistra per numeri piccoli, e delle regioni poste più a destra per numeri maggiori (Di Luca et al., in preparazione).
- riteniamo che tali effetti stentino ad emergere, nei pazienti eminegligenti, nelle condizioni che rimandano ad un'attivazione diretta della LNM, in considerazione delle peculiari compromissioni della malattia, e non semplicemente a causa di un danno aspecifico delle stesse regioni cerebrali (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009).

Capitolo II

La raccolta dei dati presentati in questa trattazione è iniziata nel maggio del 2010 ed è tuttora in corso. Nel progetto sono state coinvolte, in totale, 21 persone; tutte hanno aderito all'iniziativa in modo volontario. L'esperimento è stato autorizzato dal Comitato Etico dell'Università degli Studi di Milano – Bicocca. Tutti i test, descritti nel dettaglio più avanti, sono stati somministrati nelle strutture dell'Istituto Auxologico Italiano – IRCCS, e, in particolare, nel Laboratorio di Neuropsicologia. La stanza dove hanno avuto luogo gli esperimenti è dotata di illuminazione e temperatura ottimali, oltre che di tutta la tranquillità e silenziosità necessarie.

I quattro esperimenti che costituiscono la ricerca richiedono, per essere svolti adeguatamente, una seduta della durata di circa due ore. Per motivi logistici - ma anche per rispettare le esigenze dei pazienti cerebrolesi, facilmente affaticabili e con problemi di attenzione sostenuta di vario grado - sono state organizzate due sedute da circa un'ora ciascuna, disposte in due giornate nella maggior parte dei casi consecutive. La disposizione e successione delle prove all'interno delle sedute è stata stabilita con l'intento di alternare, quando possibile, compiti carta e matita a compiti svolti al computer.

Nessuno, tra i partecipanti alla ricerca, ha manifestato difficoltà o disagio apprezzabili nello svolgere i compiti assegnati.

Partecipanti

Un totale di 13 pazienti cerebrolesi destri, destrimani (Oldfield, 1971), degenti presso l'IRCCS – Istituto Auxologico Italiano e autorizzati dal medico referente a partecipare alla ricerca, hanno accettato di prendere parte agli esperimenti. Per tutti i pazienti è stata condotta una valutazione neuropsicologica standard (**Tab. 2.2**) che ha accertato, per 5 di loro, la presenza di negligenza spaziale unilaterale sinistra (N+); la presenza di NSU è stata invece esclusa in 8 pazienti cerebrolesi, che costituiranno dunque un gruppo di controllo (N-). La raccolta dei dati continuerà fino ad includere nel gruppo N+ un totale di 8 pazienti.

Tab. 2.1

Soggetto/Gruppo	Sesso/Età (aa)	Scolarità (aa)	Sito Lesionale	Eziologia	Durata della malattia (gg)	Deficit neurologici		
						Motori	Somatosensoriali	Visivi
L.C./C	M/75	18	-	-	-	-	-	-
G.C./C	F/78	8	-	-	-	-	-	-
A.F./C	M/75	5	-	-	-	-	-	-
M.P./C	F/56	18	-	-	-	-	-	-
A.C./C	F/69	2	-	-	-	-	-	-
F.N./C	M/87	5	-	-	-	-	-	-
S.C./C	F/61	8	-	-	-	-	-	-
M.F.K./C	F/66	18	-	-	-	-	-	-
<i>media</i>	70,9 ± 9,9	10,25 ± 6,7						
A.R./N+	M/60	13	P-O	Tr.	25	+++/>+++	++/>++	++/>++
G.C./N+	M/83	18	F-T-P	Isch.	39	+/>+	+/>+ (e)	n.v.
T.G./N+	M/73	5	F-T-P-Ins	Isch.	30	+++/>+++	++/>++	-/>- (e)
S.A./N+	F/82	10	F-P-Ins	Isch.	110	+++/>+++	++/>++	++/>++
I.F./N+	F/79	5	F-P	Isch.	31	++/>+++	++/>++	++/>++
<i>media</i>	75,4 ± 10	10,2 ± 5,5						
G.P./N-	F/73	18	F-P	Em.	42	+/>+	-/>-	-/>-
L.E./N-	F/78	8	P	Isch.	35	-/>-	++/>++	-/>- (e)
L.P./N-	M/56	13	T-O	Isch.	37	++/>+++	++/>++	-/>-
M.C./N-	M/69	18	F	A.N.	330	-/>-	-/>+	-/>-
B.C./N-	M/70	18	F-T-INS-Sc	Isch.	20	-/>-	+/>+	-/>-
E.P./N-	M/75	18	Sc	Isch.	85	+++/>+++	+/>+	-/>-
G.A./N-	F/75	18	F	Em.	45	+/>+	+/>+	-/>-
A.B./N-	M/65	11	F	A.N.	26	+/>-	-/>-	-/>-
<i>media</i>	70,1 ± 7	15,25 ± 4						

C: controlli; N+: pazienti con NSU; N-: pazienti cerebrolesi destri senza NSU.
M: maschile; F: femminile. Tr.: trauma; Isch.: ischemia; Em.: emorragia; A.N.: esiti asportazione neoplasia.
F: frontale; T: temporale; P: parietale; O: occipitale; Ins: insulare; Sc: sottocorticale.
Deficit neurologici relativi all'emisoma o al campo visivo controllesionale (inferiore/superiore) - e.:estinzione al doppio stimolo; n.v.:non valutabile per difficoltà nel mantenimento del contatto oculare.

Sono stati esclusi pazienti con anamnesi o evidenza di demenza, comorbidità psichiatriche e neurologiche o pregresse lesioni a carico dell'emisfero destro; un paziente N+ è stato escluso per un grave svantaggio culturale; una paziente N+ è stata esclusa per la severità dei suoi deficit di acuità visiva. Per il resto, tutti i partecipanti hanno fatto il loro ingresso nell'Istituto e sono stati dichiarati idonei alla ricerca consecutivamente. L'eziologia della loro lesione era in gran parte di natura cerebrovascolare (ischemica o emorragica), ma sono stati inclusi eventi di natura traumatica o neoplastica. Eventuali deficit motori, somatosensoriali o visivi relativi all'emispazio controlesionale sono stati rilevati per mezzo di un esame neurologico standardizzato (Bisiach, Cappa & Vallar, 1983; **Tab. 2.1**).

Paziente	Gruppo	MMSE	T.C. Linee	T.C. Lettere	T.C. Stelle	T.C. Campanelle	T. Bisezione
A.R.	N+	21*	6*(10-5)*	11*(53-40)*	8*(30-18)*	5*(18-12)*	+70%*
G.C.	N+	26	20(1-0)	97*(7-0)*	54	24*(9-2)*	-0,60%
T.G.	N+	26	14*(7-0)*	20*(53-31)*	10*	5*(18-12)*	+16,2%*
S.A.	N+	25	13*(8-0)*	9*(53-42)*	8*(30-18)*	4*(18-13)*	+37,6%*
I.F.	N+	24	15*(6-0)*	24*(53-27)*	7*(30-19)*	13*(18-4)*	-8,6%
G.P.	N-	25*	21	103(0-1)	53(2-1)	32(1-2)	-0,20%
L.E.	N-	28	21	98*(2-4)	54	29*(2-4)	-3%
L.P.	N-	27	21	103(1-0)	56	35	+2,20%
M.C.	N-	30	-	104	-	35	-1,40%
B.C.	N-	28	21	103(1-0)	56	32(3-0)	-1,60%
E.P.	N-	26*	-	104	56	-	+1,20%
G.A.	N-	30	21	103(1-0)	55(0-1)	35	-3,4%
A.B.	N-	26*	21	104	55(1-0)	32(1-2)	-3,6%

T.C.: test di cancellazione – vengono riportate le depennate totali e, tra parentesi, le omissioni nelle parti sinistra e destra del foglio.

C: controlli; N+: pazienti con NSU; N-: pazienti cerebrolesi destri senza NSU.

*: punteggio inferiore al cut-off.

Tab. 2.2

Il gruppo di controllo (C) è stato costituito da pazienti neuroindenni, ricoverati nel reparto di ortopedia dello stesso Istituto. Anche nel loro caso la partecipazione all'esperimento avveniva esclusivamente su base volontaria, previa autorizzazione del medico curante.

Le informazioni socio-demografiche di tutti i volontari sono riportate nella **Tab. 2.1**.

I tre gruppi sono di età e scolarità paragonabili. L'analisi della varianza (ANOVA) condotta sulle variabili Gruppo (N+, N- e C), Età e Scolarità non mostra, infatti, alcun effetto principale significativo ($F_{(2,18)}=0,62$ e $p=0,55$; $F_{(2,18)}=2,04$ e $p=0,16$ rispettivamente per le variabili Età e Scolarità).

Esperimento 1: il test di Siegler

Metodologia, apparato sperimentale e procedure

Il test di Siegler (Siegler & Opfer, 2003) consiste nell'apporre - su un segmento marcato dai numeri [0] e [100], posti ai suoi lati - alcuni numeri, letti ad alta voce dallo sperimentatore. Ai partecipanti viene richiesto di barrare la linea con un tratto verticale dove, secondo loro, i numeri in oggetto potrebbero, date le dovute proporzioni, essere collocati.

Ogni item viene presentato ai partecipanti singolarmente, sotto forma di un foglio grande 105x297 mm. Al centro del foglio si trova una linea nera, lunga 21 cm e spessa 1 mm, che costituisce il continuum su cui i volontari dovranno operare. A 5 mm da ogni lato della linea sono



Fig. 2.1: il test di Siegler.

state poste, perpendicolari, delle linee più spesse, larghe 2 e alte 16 mm, di colore rosso, a delimitare il nostro segmento (che risulta, quindi, lungo 20 cm). All'estremità sinistra è

stato posto il numero [0], largo 8 e alto 12 mm; all'estremità destra, invece, è stato posto il numero [100], largo 28 e alto 12 mm. Tra i numeri e le rispettive, sottostanti, linee rosse vi sono 2 mm (**Fig. 2.1**).

I 12 numeri che costituiscono il test sono stati scelti dagli autori per massimizzare la possibilità di discriminare la funzione logaritmica da quella lineare, e al contempo per ridurre al minimo l'impatto delle conoscenze specifiche relative ai numeri (come, ad esempio, la nozione che il numero [50] si trovi esattamente a metà del segmento [0]-[100]). Questi 12 numeri (sono, precisamente, i numeri: 2, 2, 3, 4, 6, 6, 18, 25, 42, 67, 71 e 86) sono stati da noi suddivisi equamente in due set distinti, e somministrati in momenti differenti lungo tutta la seduta. All'interno di ciascun set l'ordine dei 6 numeri è stato prima randomizzato, così da evitare, per quanto possibile, che i soggetti applicassero aggiustamenti progressivi durante lo svolgimento

delle diverse prove. Per tener conto, nelle nostre analisi, del possibile ruolo del bias individuale di ogni partecipante - consistente in uno spostamento sistematico del centro percepito del segmento rispetto a quello geometrico, particolarmente evidente per i pazienti N+ - abbiamo inserito altri 6 item, nei quali si richiedeva, stavolta, una bisezione il più possibile accurata al centro della linea. I 6 ulteriori item sono stati distribuiti, due a due, in coda ad ogni set, mentre una coppia è stata presentata isolatamente, lontana dalle altre somministrazioni.

Ogni foglio è stato posizionato di fronte al soggetto, in corrispondenza del suo piano medio sagittale (PMS). Nel caso dei pazienti eminegligenti abbiamo prima mostrato loro il foglio, nella sua interezza, nell'emicampo visivo destro, abbiamo indicato loro l'intera lunghezza della linea e abbiamo richiesto loro di seguirla con il dito indice per tutta la sua lunghezza; solo in seguito, dopo un istante in cui il foglio è stato nuovamente ritirato, lo si è portato sul PMS.

Tutti i volontari hanno eseguito quanto richiesto utilizzando una penna rossa a punta fine, impiegando, vista la semplicità delle consegne, non più di qualche minuto. La correzione del test è stata condotta, per ognuno dei 18 stimoli, manualmente, per mezzo di una riga graduata, approssimando il risultato al millimetro più vicino e attribuendo, in caso d'incertezza, valori intermedi (mezzi millimetri). Le operazioni successive seguono quelle utilizzate dall'autore per i suoi studi (Opfer, 2003).

Analisi statistiche

Abbiamo prima di tutto annotato la posizione, sul segmento, della bisezione (range: da 0 a 20 cm); in secondo luogo – ma questo è un accorgimento da noi adottato in considerazione del consistente errore di bisezione dei pazienti N+, ed è una procedura solitamente non contemplata nelle analisi di questo particolare test – abbiamo sottratto l'errore sistematico di bisezione riportato dai partecipanti agli item di controllo; i punteggi così ottenuti sono stati trasformati in valori rappresentanti il numero effettivamente barrato, più o meno distante da quello target, sulla base

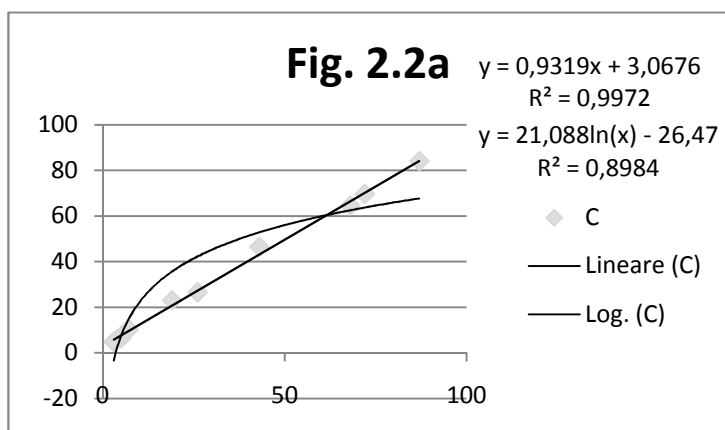
della scala adottata per definire il segmento. Abbiamo calcolato il valore mediano dei punteggi ottenuti da tutti gli 8 membri di un gruppo, così da minimizzare l'effetto di indici eccessivamente distanti dalla media; abbiamo aggiunto, infine, un'unità a questi valori e a quelli reali (quelli letti ad alta voce dal testista, a partire dai quali i volontari dovevano bisecare la linea), al fine di agevolare le analisi (Opfer, 2003).

Dopo aver stimato i parametri delle curve di tendenza - lineare o logaritmica - per ciascun gruppo, sono stati effettuati tre t-test per dati appaiati sui residui, in valore assoluto, di ciascun modello. Ricordiamo che maggiore è il valore dei residui, maggiore è la discrepanza tra i valori predetti e quelli effettivamente osservati; in quel caso la capacità esplicativa di un modello sarà minore.

Risultati

In **Fig. 2.2a** vediamo i risultati del primo gruppo di controllo, il gruppo C. La prevalenza di una struttura lineare nell'organizzazione mentale dei numeri appare netta, ed è supportata dalle analisi statistiche. Il modello lineare spiega più del 99% della varianza dei dati, mentre quello logaritmico ne spiega poco meno del 90%; anche se non sembra una differenza notevole, l'analisi del t-test è comunque statisticamente significativa con $t_{(11)}=-4,01$ e $p=0,002$.

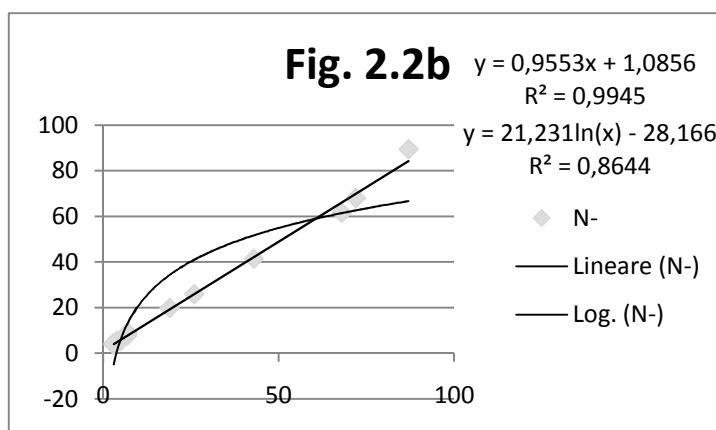
In **Fig. 2.2b** sono riportati i risultati del gruppo N-. Nel complesso non si osservano grossolane differenze, rispetto al gruppo di soggetti neuroindenni. Anche per gli N- la linea di



tendenza che meglio rende conto dei comportamenti osservati è quella lineare (99% di varianza spiegata), mentre quella logaritmica si conferma più debole (86% di varianza spiegata); la differenza

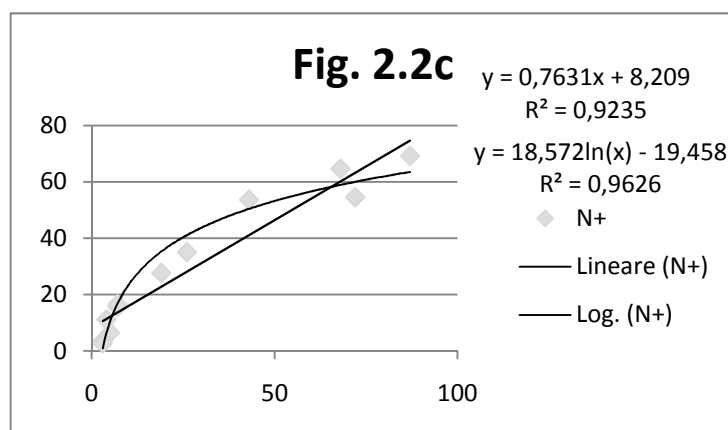
è risultata significativa al t-test con $t_{(11)}=-3,8$ e $p=0,003$.

Quanto accade nel nostro gruppo sperimentale è molto interessante (**Fig. 2.2c**). Entrambe le curve sembrano rendere ben conto dei



comportamenti osservati nella bisezione, ma il pattern sembra essersi capovolto: la tendenza lineare spiega il 92% della varianza, quella logaritmica il 96%. Ad un'analisi più approfondita scopriamo che questa differenza non è significativa ($t_{(11)}=1,54$ con $p=0,15$), ma il confronto con i gruppi di controllo pone comunque diversi interrogativi.

Per indagare meglio le differenze tra i tre gruppi abbiamo condotto due analisi della varianza (ANOVA between) sui residui, in valore assoluto, di ogni curva, lineare o logaritmica.



I risultati sono netti per quanto riguarda il modello lineare. L'ANOVA indica una differenza tra i tre gruppi ($F_{(2,33)}=16,46$ e $p<0,001$); i confronti post-hoc, svolti con il metodo del test-t protetto di Fisher (LSD), individuano tale differenza nei residui del gruppo N+, significativamente maggiori di quelli dei due gruppi di controllo (per entrambi i confronti $p<0,001$). L'ANOVA svolta sui residui della curva logaritmica, invece, non è risultata significativa ($F_{(2,33)}=2,52$ e $p=0,095$).

Discussione

I dati indicano che, effettivamente, i pazienti eminegligenti presentano un'anomalia a livello dell'organizzazione mentale dei numeri. Tale anomalia consiste in un minor ricorso, da parte dei pazienti N+, ad un'organizzazione lineare dei numeri, che contraddistingue invece i controlli neuroindenni e i pazienti cerebrolesi senza NSU.

A questo punto dobbiamo vagliare due diverse ipotesi, per interpretare la differenza riscontrata nella NSU. Possiamo, in prima battuta, interpretare le anomalie nella prestazione come derivanti dai peculiari deficit della patologia. In questo caso una possibile spiegazione potrebbe riferirsi ad una compromissione del livello rappresentazionale dei numeri, una compromissione che – come avviene nei compiti di bisezione numerica mentale (Zorzi, Priftis & Umiltà, 2002) – si ripercuoterebbe principalmente sui numeri minori, a sinistra sulla LNM, e comporterebbe uno spostamento verso numeri maggiori, più a destra sulla LNM. Visto che la curva logaritmica si differenzia da quella lineare soprattutto nella sua parte iniziale – è caratterizzata, infatti, da una maggiore/migliore rappresentazione dei numeri piccoli rispetto a quelli grandi – il test di Siegler sarebbe particolarmente sensibile ad un'anomalia a questo livello; del resto è stato costruito proprio pensando a questo importante elemento di discriminazione, ed è per questo che i numeri piccoli sono ivi molto ben rappresentati. La seconda ipotesi alternativa chiama in causa la possibilità di un artefatto metodologico. Nell'esperimento abbiamo considerato il consistente errore di bisezione verso destra dei pazienti N+, e abbiamo sottratto il valore dell'errore medio di bisezione dai dati grezzi; questa procedura è assolutamente necessaria, perché – proprio per i motivi sopra ricordati, che riguardano le caratteristiche del test di Siegler – effettuare le analisi sui dati grezzi, non corretti, fornirebbe risultati falsati, sovrastimando indebitamente il ruolo della funzione logaritmica e sottostimando quello della funzione lineare. Facciamo un esempio: chiediamo al paziente di individuare, sul segmento, il numero [2]. Se il nostro paziente seguisse una rappresentazione lineare dovrebbe bisecare la linea, più o meno, a 4 mm dal margine sinistro;

una rappresentazione logaritmica consentirebbe, invece, un margine di errore molto più ampio (il [2], secondo la funzione logaritmica, si troverebbe a 3 cm dal margine sinistro). Ne consegue che un consistente e costante errore di bisezione verso destra sovrastimerebbe nettamente la funzione logaritmica, e contemporaneamente sottostimerebbe quella lineare; per questo motivo è necessaria una correzione per questo bias. Tuttavia una correzione del genere potrebbe non essere sufficiente. E' possibile che i pazienti N+ si trovino a svolgere il compito richiesto su di un segmento, di fatto, di misura minore, considerando che una sua parte viene negletta; questo potrebbe forse comportare alterazioni nella prestazione non correggibili con la semplice sottrazione del bias di bisezione. Portiamo un altro esempio, decisamente grezzo: chiediamo ad un paziente N+, caratterizzato da un forte errore di bisezione a destra di 5 cm, di individuare il numero [2] sul segmento (lungo 20 cm) posto sul suo PMS. Abbiamo motivo di supporre che una parte di questo segmento venga negletta, indicativamente la metà a sinistra; il paziente si troverebbe, di fatto, ad operare solo su quella destra. Immaginiamo ora che la sua rappresentazione numerica segua un formato lineare: avremo probabilmente una bisezione posta a circa 2 mm a partire dal margine sinistro visibile al paziente (10,2 cm dal margine reale). Una correzione per l'errore di bisezione, in questo caso, fornirebbe un valore di 5,2 cm che, come abbiamo visto, sovrastima la rilevanza di una rappresentazione logaritmica a discapito di una rappresentazione lineare. Questo esempio presuppone, ovviamente, che l'errore di bisezione sia per lo più costante, e che lo sia anche la lunghezza della porzione di segmento effettivamente esplorata dal paziente; tutto ciò non è né assodato né verosimile. Il punto centrale della seconda interpretazione ai nostri risultati, tuttavia, riguarda la possibilità che le proporzioni adottate dal paziente per agire sul segmento effettivamente esplorato, trasposte su quello reale con il solo ausilio dell'errore di bisezione, possano fornire risultati inaccurati nel test di Siegler, non ricalcando perfettamente le strategie effettivamente utilizzate dal volontario.

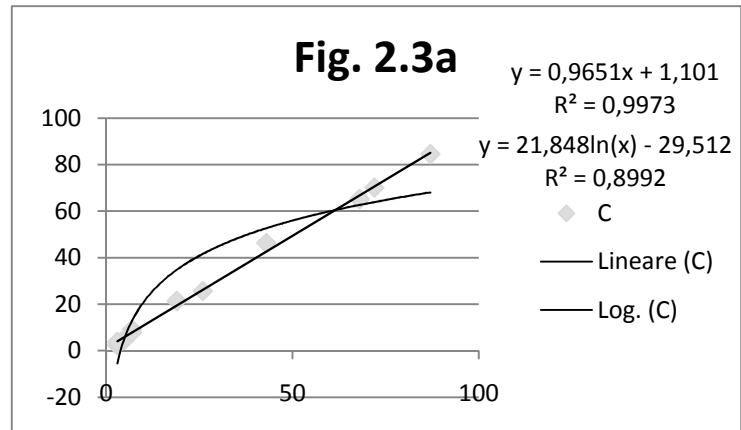
Una soluzione facilmente percorribile a questo problema potrebbe essere quella di somministrare lo stesso test non sul PMS del paziente – come previsto dal nostro esperimento -

ma sulla sua destra, così da aggirare il bias dato dalla NSU. Ovviamente avremmo bisogno, anche in quel caso, di paragonare la prestazione dei pazienti a quella di volontari che eseguano il test nella nuova condizione. Una soluzione alternativa, invece, prevede l'utilizzo di tecniche di correzione per il bias differenti, basate su procedure un poco più sofisticate: abbiamo deciso di sfruttare queste ultime per testare eventuali differenze nel pattern di risultati ottenuto.

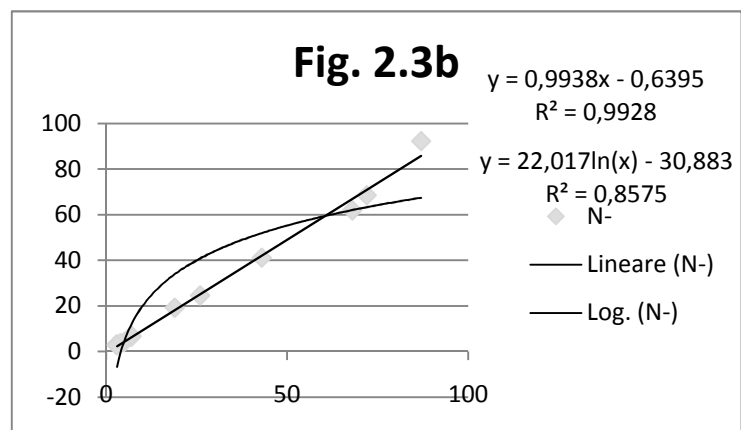
Ipotizziamo che la presenza di un bias sistematico possa fornire un indice molto grossolano, ma valido, dell'effettiva misura del segmento che un paziente ha la possibilità di esplorare, e sulla quale presumibilmente agirà. Come abbiamo accennato in un esempio, poco sopra, la richiesta di bisecare il centro del segmento presentato permette di individuare questa misura: il segmento effettivo è quel segmento che ha come centro geometrico il punto che corrisponde al centro soggettivo riportato dal paziente (ed è inferito dal valore del suo bias di bisezione); la sua lunghezza, inoltre, corrisponde al doppio della distanza tra questo punto e il margine più vicino del segmento da 20 cm. Facciamo un esempio: un paziente riporta, agli item di controllo, un errore di bisezione di 2,5 cm verso destra; ciò significa che il suo centro soggettivo si trova, *ipso facto*, proprio a 2,5 cm a destra del centro geometrico (ricordiamo che la consegna, agli item di controllo, è quella di stimare la posizione del centro del segmento presentato). La lunghezza del segmento effettivamente esplorato sarà di 15 cm, e si estenderà, sul test originale, sullo spazio tra i centimetri 5 e 20. Abbiamo trovato questi valori in ogni volontario: lo stesso procedimento, infatti, si può applicare anche ai partecipanti che mostrano un bias verso sinistra (in quel caso il segmento avrà una posizione spaziale diversa, e si estenderà a partire dal margine sinistro). Tutte le analisi successive sono state condotte considerando non più la lunghezza totale del segmento (20 cm) ma, per ogni partecipante, la lunghezza effettiva appena calcolata. Per i volontari con una bisezione a destra, inoltre, abbiamo trasposto il punteggio grezzo nel nuovo sistema di coordinate: se il paziente dell'esempio avesse bisecato a 6 cm il numero [2], quindi, nel nuovo sistema avremmo assegnato lui una bisezione ad 1 cm. In questo modo abbiamo affrontato

il problema delle diverse proporzioni tra segmento reale e segmento effettivamente percepito ed esplorato.

Arrivati a questo punto le analisi possono tornare ad essere quelle suggerite da Siegler e Opfer (2003; Opfer, 2003).

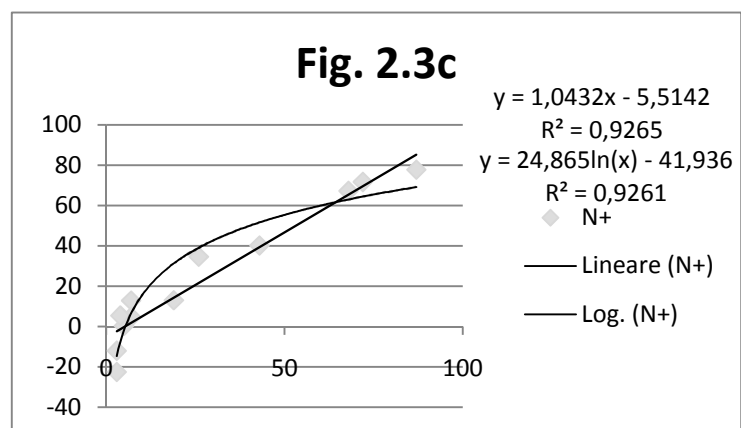


Come si evince nelle figure 2.3a, 2.3b e 2.3c, i risultati ottenuti con questo secondo metodo sono decisamente sovrapponibili a quelli presentati nel capitolo precedente. Nei C e negli N- il trend è spiccatamente lineare (99% di varianza spiegata, in entrambi i casi), ovvero le curve lineari sono significativamente più rappresentative dei dati osservati: $t_{(11)}=-4$ e $p=0,002$ per i C; $t_{(11)}=-3,8$ e $p=0,003$ per gli N-. La differenza tra i formati logaritmico e lineare, al contrario, non è significativa nel



gruppo N+ ($t_{(11)}=-0,37$ e $p>0,7$; entrambe le curve spiegano il 92% della varianza dei dati). La correzione apportata è stata evidentemente più incisiva nei volontari caratterizzati da un maggior errore di bisezione, pur senza smentire i dati ottenuti in precedenza. Anche l'ANOVA tra i gruppi conferma, infatti, che mentre la curva lineare è molto meno rappresentata nei pazienti con NSU

($F_{(2,33)}=7,3$ e $p=0,002$; confronti con LSD significativi con $p<0,003$ per ogni confronto) non vi sono differenze intergruppo per quanto riguarda la salienza della funzione logaritmica



($F_{(2,33)}=0,23$ e $p>0,79$).

Questi nuovi dati sembrano escludere l'ipotesi di un artefatto metodologico alla base dei risultati ottenuti. E' possibile concludere, dunque, che la presenza di NSU possa comportare delle anomalie nella struttura della LNM, anomalie consistenti in un chiaro deterioramento del livello di organizzazione dei numeri.

Esperimento 2: l'effetto SNARC

Metodologia, apparato sperimentale e procedure

Come descritto nell'introduzione, i compiti che indagano l'effetto SNARC richiedono la classificazione dei numeri presentati sulla base della loro grandezza o delle loro proprietà matematiche.

Al fine di indagare l'integrità della LNM nei 3 gruppi sperimentali abbiamo incluso nella batteria di test sia compiti di giudizio di grandezza (accesso diretto alla LNM) che compiti di giudizio di parità (accesso indiretto alla LNM). Per entrambi impiegheremo l'Unilateral SNARC Paradigm (Priftis et al., 2006), i cui pregi sono già stati menzionati. Ai partecipanti è stato richiesto – e ciò è cruciale per ottenere dei risultati attendibili con questo paradigma - di premere due differenti tasti a seconda che il numero sia piccolo/grande o pari/dispari, utilizzando due diversi effettori: il dito indice quando la risposta corretta era associata ad un tasto posto a sinistra e quello medio per l'associazione con un tasto posto a destra. Solo grazie all'applicazione coerente di questa contingenza è possibile che emerga, in questa situazione sperimentale, un effetto SNARC: è infatti strettamente necessario che, ad ogni sessione sperimentale, ogni chiave di risposta sia collegata univocamente ad un solo effettore, se l'obiettivo ultimo è quello di evidenziare un'interazione tra la grandezza di un numero e la posizione dell'effettore nello spazio. Per assicurare questo importante pre-requisito, durante i test lo sperimentatore è stato attento e

pronto nel correggere eventuali associazioni errate riguardanti il dito da utilizzare e/o il tasto da premere.

Un computer portatile (un tablet PC, Fujitsu Lifebook T-901, con processore Intel® Core™ i5 M520 @2,4 Ghz e RAM 4GB, con SO Microsoft Windows® 7; la frequenza di aggiornamento dello schermo di 60Hz) è stato posto a circa 50-60 cm di distanza da tutti i volontari partecipanti alla ricerca. Il tablet è stato posizionato, più precisamente, sulla scrivania, ad un'altezza ottimale e più a destra del PMS di circa 30 cm. La possibilità di ruotare lo schermo del tablet ha garantito, inoltre, un'adeguata visibilità delle istruzioni e dei numeri sul monitor; prima dell'inizio di ogni prova, in ogni caso, ai volontari si richiedeva la conferma della leggibilità degli stimoli e della comodità di tale configurazione.

Gli stimoli venivano presentati in colore nero su sfondo grigio, con un intervallo inter-stimolo di 500 ms; l'ordine di presentazione è stato randomizzato, e successivamente modificato per evitare che si susseguissero più di tre numeri identici o appartenenti alla stessa categoria. Ai partecipanti veniva richiesto di premere, a seconda del numero presentato, un tasto fra i due precedentemente introdotti, corrispondenti alle lettere [K] ed [L] di una convenzionale tastiera QWERTY. La lettera [K] (posizione sinistra) era costantemente associata al dito indice, mentre la lettera [L] (a destra) era costantemente associata al dito medio. Per facilitare il compito, i due tasti sono stati evidenziati con l'ausilio di due cartoncini adesivi, di colore diverso, sui quali erano riportate le lettere [P], [G] o [D], in riferimento alle risposte associate al relativo tasto e compito ([Piccolo/Pari], [Grande] e [Dispari]); i cartoncini, di circa 1x1 cm, erano di colore giallo e scritta rossa per la lettera [P], di colore rosa e scritta blu per la [G] e la [D]. La disposizione degli adesivi era, ovviamente, dettata dalle esigenze di randomizzazione delle prove. All'interno di ogni gruppo 4 volontari iniziavano ogni prova, sia i giudizi di grandezza che quelli di parità, rispondendo a sinistra quando i numeri presentati erano piccoli o pari, e a destra quando questi erano grandi o dispari, mentre i restanti 4 volontari seguivano la regola opposta. A metà test la contingenza veniva, per tutti i partecipanti, invertita, permettendoci così di ottenere dati per ogni combinazione

Grandezza X Effettore (non cambiava, infatti, la richiesta di rispondere a sinistra con l'indice e a destra con il medio). Questo particolare tipo di bilanciamento è stato approntato anche per controllare eventuali bias sistematici verso una zona dello spazio o una particolare classe di grandezza numerica – che, per quanto riguarda i pazienti eminegligenti, potrebbe esprimersi, ad esempio, con una più spiccata lentezza per l'effettore sinistro e/o per i numeri situati a sinistra del numero di riferimento – ma soprattutto per bilanciare gli effetti dati dal cambiamento di contingenza a metà test, che, molto verosimilmente, avrebbe potuto portare indebitamente a tempi di reazione (TR) più lunghi e/o ad errori più frequenti. Accanto a tutto ciò, abbiamo fatto sì che 4 partecipanti per gruppo eseguissero prima i compiti di giudizio di grandezza, e che gli altri 4 affrontassero prima i giudizi di parità.

Analisi statistiche

L'acquisizione e la correzione dei dati sono state piuttosto semplici, senza differenze tra le due prove. Per ogni numero, presentato un totale di 10 volte, il computer restituisce altrettanti valori in millisecondi, i tempi di reazione (TR). Ad un primo livello sono stati eliminati tutti quei valori ottenuti da una risposta errata, in cui la cifra apparsa sullo schermo è stata erroneamente ricondotta ad un'altra categoria. Successivamente sono stati esclusi dalle nostre analisi tutti quei TR eccessivamente elevati, molto spesso indici di una distrazione o di un calo della vigilanza; la correzione ha riguardato, operativamente, tutti i valori superiori a 3 deviazioni standard sopra la media dei TR del soggetto, ed è stata ripetuta, in modo dinamico, fino all'esaurimento di tali valori. E' capitato, anche se raramente, di dover escludere dei TR perché troppo rapidi, inferiori a 3 deviazioni standard sotto la media dei TR del volontario, in quanto probabili indicatori di un'anomalia nell'esecuzione del compito assegnato (ad esempio, la pressione molto prolungata di un tasto dopo una risposta potrebbe aver inficiato quella successiva). Una volta ottenuti i valori definitivi è stata calcolata la differenza, per ogni numero, tra la media dei TR ottenuta con

l'effettore destro e quella ottenuta con l'effettore sinistro ($\Delta TR = TR_{dx} - TR_{sx}$; valori in ms). Un paziente N+ (A.R.) ha mostrato un errore sistematico di attribuzione del numero [6] alla categoria corretta (quella dei numeri più grandi di [5], nel compito di giudizio di grandezza), il che non ha permesso di ottenere indici di TR validi per questo numero; il valore di ΔTR a lui attribuito per il numero [6], di conseguenza, equivale alla media dei ΔTR ottenuti dai restanti pazienti N+ allo stesso numero.

Abbiamo utilizzato, per le analisi in questa sezione, il metodo suggerito da Lorch e Meyers (1990) per le analisi di regressione con misure ripetute. Il metodo consiste nel condurre analisi di regressione lineare per ogni partecipante – nel nostro caso abbiamo usato, come variabile dipendente, il ΔTR riportato dal soggetto per ogni numero presentato, e come variabile indipendente il numero stesso –, in modo da stimarne i parametri. Una volta ottenuti i coefficienti di regressione standardizzati (beta; β) per ogni soggetto, abbiamo svolto un t-test per campioni unici per controllare che nel gruppo questi indici fossero, effettivamente, diversi da zero. Questa procedura ha lo svantaggio di non fornire un indice di r^2 affidabile, ma ha il pregio di garantire una maggiore aderenza dei risultati sulla significatività del modello statistico ai dati effettivamente raccolti. In secondo luogo abbiamo considerato, come suggerito dal lavoro di Berch e colleghi (1999), il possibile ruolo di fonti di confusione quali la maggiore o minore difficoltà, per i volontari, nell'individuare numeri pari piuttosto che dispari. Per i compiti di giudizio di parità, di conseguenza, abbiamo calcolato la media generale dei TR del volontario, dopodiché abbiamo sottratto questa media dalla categoria elaborata più lentamente e abbiamo aggiunto lo stesso valore alla categoria elaborata più velocemente; questo accorgimento non influisce sui parametri generali della retta di regressione, che rimangono invariati, ma controlla al meglio le possibili fonti di confusione derivanti da una diversa difficoltà nel ricondurre i numeri alla categoria pertinente.

Risultati

Nelle **figure 2.4a e 2.4b** riportiamo le rette di regressione, rispettivamente, dei compiti di giudizio di parità e di giudizio di grandezza per il gruppo C. Nel primo caso il modello non è risultato significativo (β medio=-0,23, $t_{(7)}=-1,62$ e $p=0,14$), indicando che la grandezza dei numeri usati non è predittiva di una diversa velocità di risposta in differenti posizioni dello spazio. Nei compiti di giudizio di grandezza, al contrario, troviamo che la grandezza dei numeri predice (β medio=-0,45, $t_{(7)}=-2,86$ e $p=0,024$) risposte più veloci a sinistra per numeri piccoli rispetto ai numeri grandi.

Fig. 2.4a

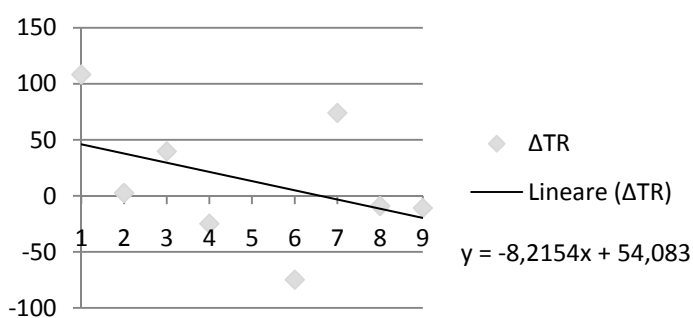
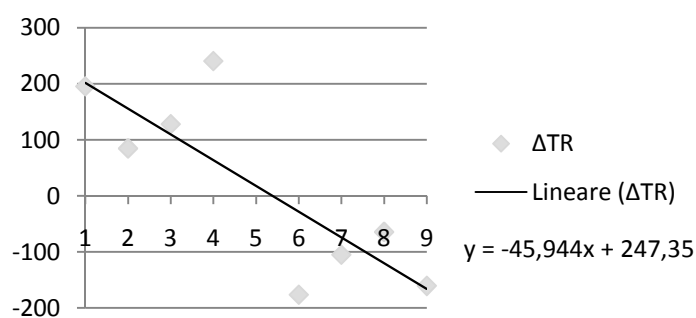


Fig. 2.4b



Nel gruppo N- il pattern sembrerebbe quasi speculare. Lo SNARC per i giudizi di parità mostra un chiaro effetto nella direzione attesa (β medio=-0,26, $t_{(7)}=-2,8$ e $p=0,027$; **Fig. 2.5a**); quello per i giudizi di grandezza mostra, invece, un certo indebolimento rispetto al gruppo C (β medio=-0,277, $t_{(7)}=-1,18$ e $p>0,27$; **Fig. 2.5b**).

Fig. 2.5a

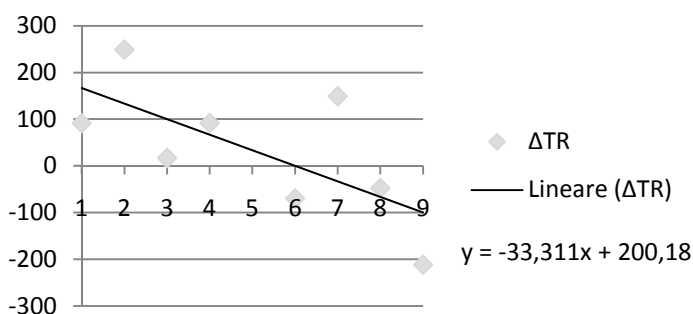
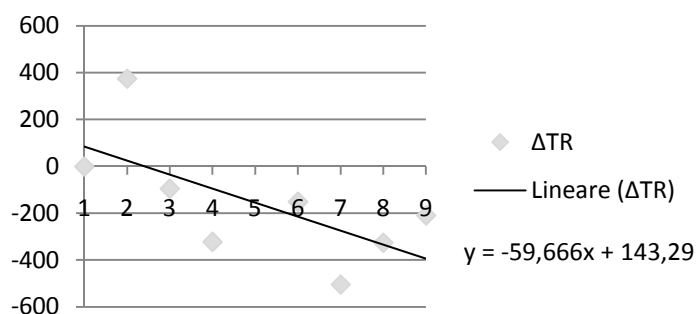
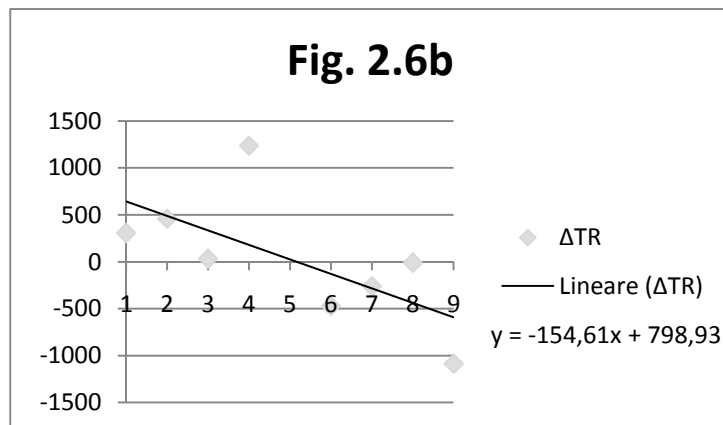
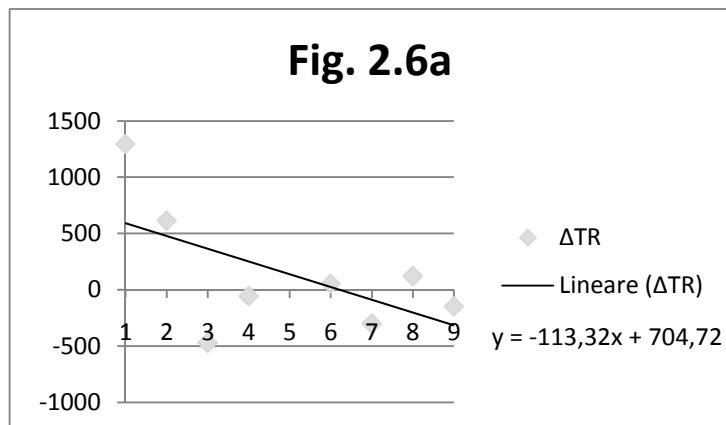


Fig. 2.5b



Il gruppo N+ mostra delle chiare pendenze in entrambi i test, ma nessuna di queste può dirsi statisticamente significativa (**Fig. 2.6a**, per i giudizi di parità: β medio=-0,22, $t_{(4)}=-1,35$ e $p>0,24$; **Fig. 2.6b**, per i giudizi di grandezza: β medio=-0,3, $t_{(4)}=-1,3$ e $p>0,26$).



Discussione

I compiti introdotti per indagare l'effetto SNARC non presentano, al momento, risultati chiari. I gruppi di controllo ottengono dei risultati inattesi: i volontari neuroindenni mostrano un chiaro effetto SNARC per i giudizi di grandezza, ma non per quelli di parità; per i pazienti cerebrolesi senza NSU, al contrario, troviamo un effetto SNARC per i giudizi di parità, ma non per quelli di grandezza. I pazienti con NSU, poi, pur con degli indici di regressione beta piuttosto alti, non ottengono risultati significativi; questo potrebbe, in realtà, essere spiegato dall'esiguità del campione (5 pazienti), è quindi necessario attendere il termine della raccolta dati per formulare interpretazioni più pertinenti.

Esperimento 3: bisezione di flankers

Metodologia, apparato sperimentale e procedure

Il test consiste nella semplice bisezione, la più accurata possibile, del centro di segmenti dalle diverse caratteristiche.

Gli stimoli sono, in questa sezione, 48. Una metà di questi è costituita da segmenti della lunghezza di 8 cm, l'altra da segmenti di 10 cm. In 40 stimoli sono stati inseriti, ai lati, numeri di diversa grandezza e ordinati in vario modo: in 8 item le cifre inserite sono le stesse sia a sinistra che a destra della linea, e sono costituite da numeri di grandezza neutra ([0]-[0] o [5]-[5];



Fig. 2.7: un esempio di segmento con numeri flankers.

condizione N); in 16 item sono rappresentati dei numeri piccoli a sinistra ([1] o [2]) e dei numeri grandi a destra ([8] o [9]; condizione PG); nei rimanenti 16 item, al contrario, sono raffigurati a sinistra i numeri maggiori e a destra quelli più piccoli (condizione GP). Tutte le possibili combinazioni sono

egualmente rappresentate. Gli 8 item che non contengono alcuna informazione numerica (condizione C) costituiscono la nostra baseline, utile per individuare un eventuale bias visuo-spaziale in condizioni standard e, dunque, per contestualizzare al meglio le prestazioni ottenute dai volontari nelle diverse condizioni che veicolano informazioni numeriche.

Ogni item è stato presentato ai soggetti singolarmente, su un foglio in formato A4 (210x297 mm) disposto orizzontalmente, con la parte più lunga rivolta verso il paziente. Il segmento da bisecare è collocato esattamente al centro del foglio, in colore nero e con uno spessore di 1 mm (la sua lunghezza, abbiamo detto, è di 8 o 10 cm). Quando gli stimoli comprendono un numero fiancheggiante la linea, questo è posto ad 1 mm dai suoi estremi, alto 13 mm e largo da 6 a 9 mm, a seconda del numero (**Fig. 2.7**).

L'ordine di presentazione dei flankers è stato pseudo-randomizzato, al fine di evitare che si succedessero troppi item appartenenti alla stessa condizione: abbiamo evitato, in particolare, di presentare consecutivamente ai volontari più di tre item della stessa misura o condizione numerica. All'interno di ogni gruppo 4 volontari hanno eseguito le bisezioni con l'ordine così ottenuto, mentre gli altri 4 hanno seguito l'ordine inverso.

Ogni stimolo è stato presentato sul PMS dei soggetti, che erano, in ogni caso, liberi di muovere testa ed occhi come ritenevano opportuno. Le bisezioni a tutti i 48 item sono state eseguite con una penna rossa a punta fine, occupando, all'incirca, da 10 a 15 minuti della seduta, a seconda del grado di rallentamento motorio mostrato dai pazienti cerebrolesi e da eventuali deficit di attenzione sostenuta. Analogamente a quanto fatto per il test di Siegler, nella prima sezione, ogni foglio è stato corretto manualmente, con l'ausilio di una riga graduata, approssimando al millimetro più vicino; tratti incerti potevano portare all'assegnazione di un punteggio intermedio alle due misurazioni più vicine, e quindi all'attribuzione di un valore arrotondato al mezzo millimetro. I punteggi associati a ciascun item sono stati espressi nei termini di uno spostamento dal centro reale del segmento, con valori negativi se la bisezione cadeva più a sinistra del centro geometrico e valori positivi per una dislocazione verso destra. La gamma di valori che questa variabile poteva assumere, dunque, spaziava da -5 cm a +5 cm per le linee maggiori, e da -4 cm a +4 cm per quelle minori.

Analisi statistiche

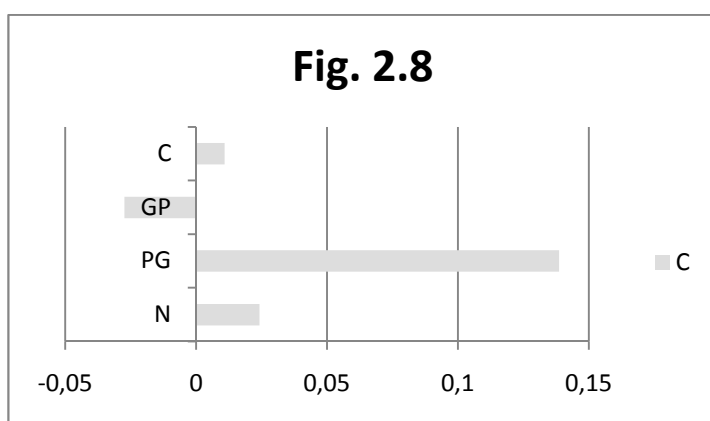
Sono state condotte tre analisi della varianza entro ciascun gruppo (ANOVA within subjects): i fattori da noi individuati sono la Misura della linea (8 o 10 cm) e la Direzione assunta dai numeri che, eventualmente, potrebbero fiancheggiarla (condizioni C, N, PG e GP). Ricordiamo infatti che, oltre a segmenti senza numeri ai loro lati (C), abbiamo somministrato

segmenti fiancheggiati da numeri identici (N) o da numeri in progressione, dal più piccolo al più grande (PG) o dal più grande al più piccolo (GP).

La variabile dipendente usata è lo Spostamento medio dal centro geometrico riportato dal soggetto per ogni combinazione Misura X Direzione (in cm). Per gli eventuali test post-hoc abbiamo svolto dei t-test per campioni appaiati con correzione di Bonferroni.

Risultati

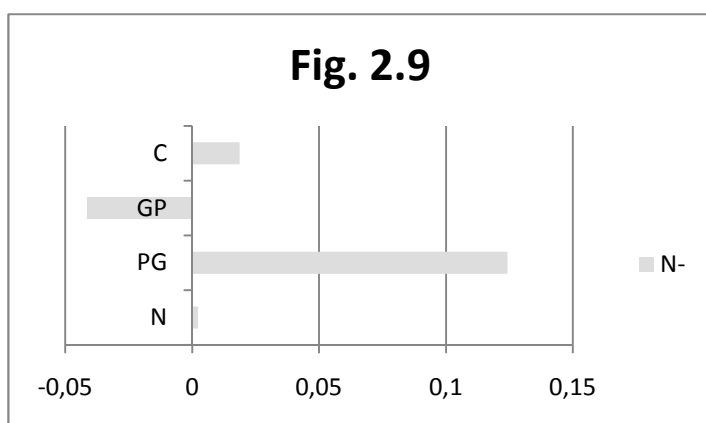
Nella **Fig. 2.8** vediamo le prestazioni dei volontari neuroindenni alle diverse condizioni numeriche. Possiamo ipotizzare che vi siano delle differenze qualitative nella bisezione quando



due numeri ai lati del segmento indicano una direzione. Effettivamente l'ANOVA conferma l'effetto principale della variabile Direzione ($F_{(3,21)}=13,57$ con $p<0,001$); in particolare è la condizione PG che sembra comportare uno

spostamento del centro stimato verso destra ($p<0,05$ per tutti i confronti). La mancanza di un effetto principale per la variabile Misura suggerisce che gli errori dei volontari non aumentino, in questo campione, in funzione della lunghezza del segmento ($F_{(1,7)}=1,37$ e $p>0,25$).

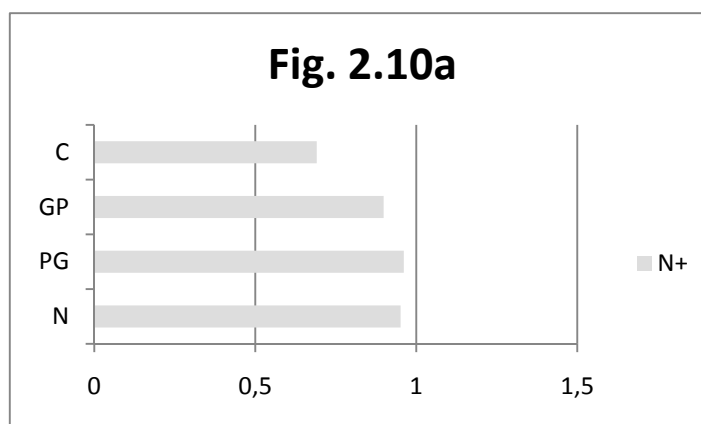
Il gruppo N- riporta dati molto sovrapponibili (**Fig. 2.9**). Anche qui non sembra sussistere



alcun effetto della Misura del segmento ($F_{(1,7)}=0,028$ con $p>0,85$), ma piuttosto un chiaro effetto della Direzione ($F_{(3,21)}=10,21$ con $p<0,001$); ancora una volta i test post-hoc individuano, come

maggior responsabile di questa differenza tra le medie delle combinazioni, la condizione PG, la quale è associata a bisezioni poste più a destra (per tutti i confronti $p < 0,05$).

Il gruppo di pazienti

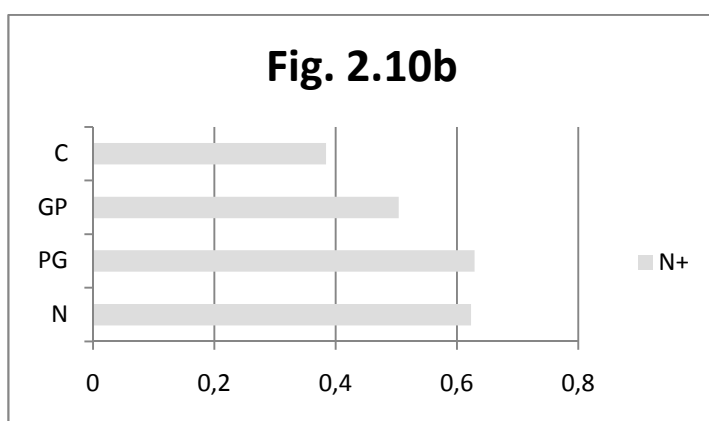


eminegligenti (**Fig. 2.10a**) ottiene, invece, risultati marcatamente differenti. Innanzitutto il bias verso destra è molto evidente: l'ANOVA (between) condotta sulle medie degli spostamenti dal baricentro, per ogni item, ottenute nei tre gruppi è risultata significativa con $F_{(2,141)}=155,74$ e $p < 0,001$; i test post hoc confermano il disegno sperimentale, evidenziando che i pazienti N+ tendono a bisecare i segmenti molto più a destra dei controlli C e N- ($p < 0,001$ con il metodo LSD). In secondo luogo, in accordo con i dati in letteratura (Marshall & Halligan, 1989), è presente un piccolo effetto della Misura del segmento, per cui maggiore è la lunghezza del segmento maggiore è l'errore di bisezione verso destra ($F_{(1,4)}=11,6$ e $p=0,027$). Non sembra esserci, invece, una differenza tra le diverse configurazioni numeriche ($F_{(3,12)}=2$ e $p=0,16$).

Discussione

Riassumendo, il gruppo C e il gruppo N- mostrano pattern di risultati sovrapponibili, e perfettamente coerenti con i dati della letteratura (Fischer, 2001; de Hevia, Girelli & Vallar, 2006). L'errore di bisezione di questi volontari è significativamente modulato dalla disposizione dei numeri ai fianchi della linea: l'errore consiste, in particolare, in una bisezione posta più a destra quando le cifre indicano una direzione crescente (PG). I pazienti con NSU, tuttavia, non sembrano sensibili alla diversa disposizione dei numeri ai lati del segmento.

Questo pattern di risultati, ad ogni modo, potrebbe derivare, oltre che dall'esiguità del campione esaminato, anche dall'inclusione di pazienti NSU con concomitanti deficit sensoriali. Abbiamo motivo di ritenere, sulla scorta di alcune evidenze presenti in letteratura (ad esempio, Daini et al., 2001), che questo sotto-insieme di pazienti dovrebbe essere considerato a parte: la presenza di deficit sensoriali potrebbe, infatti, ostacolare l'emergere dell'effetto della Direzione dei numeri flankers, in modo non ascrivibile alla presenza di NSU. Questo punto è ancora più importante se consideriamo l'effetto della Direzione come il risultato di un'illusione cognitiva, ottica, e non come un effetto comportamentale proprio della LNM e della sua struttura e organizzazione (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006). Nella figura **2.10b**, quindi, abbiamo riportato i risultati del gruppo N+ con l'esclusione del paziente A.R., caratterizzato da una lesione estesa alle



aree occipitali e dalla concomitante presenza di NSU ed emianopsia sinistra. Il cambiamento che l'esclusione del paziente A.R. ha apportato risiede principalmente in una più spiccata differenza tra le condizioni PG e GP

(riportiamo, infatti, che questo paziente è l'unico, tra tutti i partecipanti alla ricerca, che mostra una bisezione posta più a sinistra nella condizione PG, e una bisezione posta più a destra nella condizione GP). Sebbene l'ANOVA condotta non risulti significativa, per quanto riguarda l'effetto della Direzione ($F_{(3,9)}=1,26$ e $p>0,34$), è presente, nei test post-hoc, una certa tendenza verso la significatività della differenza tra PG e GP ($p=0,075$); il trend consiste in una bisezione posta più a destra per la condizione PG, in cui i numeri maggiori sono posti sulla destra del segmento, rispetto alla condizione GP, dove i numeri maggiori sono invece posti a sinistra. Questo trend - se confermato al termine della ricerca, con l'inclusione di ulteriori pazienti eminegligenti - è almeno in parte paragonabile a quello evidenziato nei gruppi di controllo e descritto in letteratura (Fischer, 2001; de Hevia, Girelli & Vallar, 2006).

Esperimento 4: i compiti di cancellazione

Metodologia, apparato sperimentale e procedure

I compiti di cancellazione richiedono l'individuazione di specifici simboli bersaglio posizionati all'interno di una serie di elementi distrattori di varia natura. Ogni bersaglio, nel nostro caso, doveva essere individuato per mezzo di un tratto eseguito con una penna ottica, quella del tablet pc sul quale si sono eseguiti tutti i test. Come abbiamo anticipato, la nostra intenzione è quella di indagare quali eventuali differenze qualitative e quantitative vi siano, nella prestazione a tali compiti, nel caso in cui da alcuni di questi simboli venisse veicolata un'informazione di quantità numerica. Nello specifico, ci aspettiamo che l'inserimento di numeri piccoli (il numero [2]) sia associato ad una maggiore esplorazione della parte sinistra del test, e quindi a indici del baricentro minori e ad una diversa disposizione delle omissioni nei test (meno omissioni a sinistra e/o più omissioni a destra); viceversa, i numeri grandi (il numero [8]) dovrebbero favorire una maggiore esplorazione dello spazio destro.

Mentre l'analisi sulla percentuale di omissioni nelle diverse condizioni potrebbe essere piuttosto agevole anche con i compiti carta e matita convenzionali, la complessità delle analisi condotte sul baricentro delle depennate – valore che, abbiamo detto, rappresenta un buon indicatore degli equilibri dell'esplorazione visuo-spaziale – ha portato alla scelta di un apparato sperimentale basato sull'implementazione dei test di cancellazione su di una tavoletta grafica, un tablet PC, in modo da rendere la raccolta dei dati e la loro analisi più rapide, semplici ed oggettive⁸. Lo strumento fornito ai volontari, infatti, consistente in una penna ottica in grado di registrare ogni contatto con lo schermo del tablet, svolgeva la stessa funzione di una normale

⁸ Un'unica avvertenza: dati alcuni limiti dello strumento, esposti tra poco, considereremo le omissioni e le perseverazioni ai test in modo piuttosto diverso da quanto faremmo con i classici compiti carta e matita.

matita - lasciando, come segno del suo passaggio, un tratto di colore rosso – ma, contemporaneamente, consentiva la rilevazione di alcuni parametri cruciali in questa ricerca: le coordinate spaziali (rispetto agli assi x-orizzontale ed y-verticale dello schermo) di ogni singola operazione effettuata entro l'area del test, il numero di queste operazioni e la loro successione temporale. L'accuratezza che un tale impianto garantisce giustifica, secondo noi, la scelta di utilizzare un metodo certamente non privo di limiti e svantaggi. In primo luogo, il compito, svolto con un'apparecchiatura tanto sofisticata, è risultato, per così dire, meno ecologico dei classici compiti carta e matita. Nessuno dei partecipanti aveva un livello di confidenza con un tablet PC paragonabile a quello raggiunto, dopo anni di pratica per mezzo della scrittura manuale, con un foglio di carta e una penna ad inchiostro. Eppure, vogliamo sottolineare, sebbene inizialmente qualche volontario abbia espresso perplessità sulla propria dimestichezza con lo strumento, la loro performance è sempre stata adeguata, probabilmente grazie alla notevole precisione della penna ottica, in grado di tracciare un segno sul test con una buona corrispondenza con l'area di effettiva sollecitazione dello schermo, alle numerose occasioni di familiarizzazione con lo strumento fornite dalle prove e alle rassicurazioni del testista in merito. Vi sono, poi, dei limiti più tecnici. Alcuni dei più frequenti problemi con lo strumento derivano da anomalie del gesto effettuato dai partecipanti per depennare uno stimolo bersaglio. E' capitato, ad esempio, che, dopo una cancellazione, i volontari non allontanassero sufficientemente la penna ottica dallo schermo; il risultato di questa evenienza consisteva in alcuni tratti rossi indesiderabili, talvolta piuttosto ampi. Fortunatamente, questa particolare tipologia di inconveniente tecnico è facilmente correggibile: è stato lo sperimentatore, a posteriori e manualmente, ad eliminare dai dati finali il contributo dei tracciati involontari, basandosi sulle loro anomale coordinate spaziali e caratteristiche temporali. Sono più problematici, perché difficilmente correggibili, difetti di altro tipo, come quei tratti così lievi da non essere registrati dal PC (pseudo-omissioni), oppure depennate plurime dello stesso simbolo, ripetute perché il tratto formatosi al primo passaggio risultava poco visibile (pseudo-perseverazioni). Di tutti questi problemi, in ogni caso, i partecipanti erano stati messi al corrente

da subito, dalla prima prova; l'invito rivolto loro, di conseguenza, era quello di non badare ai grossolani tratti rossi, visto che sarebbero stati agilmente eliminati in seguito, e, nel caso di depennate all'apparenza non andate a buon fine, di proseguire con lo stimolo successivo, dato che il computer probabilmente avrebbe comunque registrato quel tratto e raccolto quei dati (sentenza, effettivamente, vera, dato che molto spesso la registrazione di pochi pixel non risultava percettivamente individuabile). Vi è un'ulteriore considerazione, a monte di tutto ciò: non abbiamo motivo di ritenere che questi errori - che sicuramente andrebbero, per quanto possibile, evitati o ridotti al minimo – debbano inficiare i risultati dei test in modo sistematico, almeno per quanto riguarda l'effetto della numerosità. In altre parole, è verosimile attendersi che tali anomalie si localizzino, sulla superficie del test di cancellazione, lungo tutta la lunghezza del reattivo e in modo casuale. Se i risultati non fossero coerenti a questa asserzione, tuttavia, e trovassimo, ad esempio, una distribuzione delle pseudo-perseverazioni non omogenea, saremmo portati a concludere che sia proprio l'effetto della numerosità a determinare un disequilibrio simile, dato che tutte le altre variabili sono state strettamente controllate. Ad un livello di analisi più fine, in effetti, è possibile considerare questi errori come indicatori indiretti di una minore o maggiore esplorazione e/o azione su di una specifica zona dello spazio. La varianza dei dati riconducibile alle anomalie appena discusse, e in particolare la varianza dei valori dei baricentri delle depennate a queste associate, sarebbe, dunque, una fonte di varianza del tutto legittima, che, se presente, non potrebbe essere dovuta ad altro che ad un ri-orientamento attentivo, reso possibile dall'elaborazione di differenti numerosità. Nella pratica, tornando al nostro esempio sulle pseudo-perseverazioni, questo significa ammettere che, almeno secondo le nostre ipotesi di partenza, la maggiore esplorazione dell'emispazio sinistro, resa possibile dall'inserimento di numeri piccoli, possa portare ad un maggior numero di pseudo-perseverazioni a sinistra che a destra, contribuendo a ridurre il valore del baricentro delle depennate; viceversa, numeri più grandi potrebbero portare a più frequenti pseudo-perseverazioni a destra e ad un valore del baricentro più alto. Gli stessi principi si applicano, senza distinzioni, a tutti i gruppi sperimentali, in quanto

validi anche per i pazienti con NSU: ci riferiamo, infatti, alla sinistra e alla destra come dimensioni relative, e non identificabili con le metà sinistra e destra della superficie del test. E' altrettanto verosimile ritenere, in ultimo, che le fonti di varianza dei dati siano, in ogni caso, plurime. Una di queste potrebbe essere data, all'interno di ogni singola cancellazione, da una spontanea tendenza alla dislocazione dei tratti più a sinistra per i numeri piccoli, e più a destra per quelli grandi. Anche le pseudo-omissioni potrebbero avere un ruolo, in quanto indicatrici di una minore esplorazione e/o azione su una zona dello spazio: in questo caso, sempre nell'eventualità che le nostre ipotesi siano confermate, potremmo osservare più pseudo-omissioni a destra per i numeri piccoli, accompagnate a più frequenti pseudo-omissioni a sinistra per numeri grandi.

Veniamo ora ai dettagli più tecnici. Per tutti i partecipanti il tablet veniva posizionato sulla scrivania, ad un'altezza ottimale e ad una distanza di circa 40-50cm. Sebbene i volontari potessero muovere testa ed occhi liberamente, il computer non veniva spostato entro le diverse sessioni, rimanendo centrato sul loro PMS. La dimensione del test di cancellazione implementata sul PC è lievemente diversa da quella dello stesso test in formato cartaceo (i test hanno una risoluzione di 1024x768 pixel su di uno schermo da 13"); questo fa sì che i dati provenienti da queste due misure non siano direttamente confrontabili. I compiti sono stati presentati per 4 minuti, un lasso di tempo molto abbondante - tanto che nessun partecipante ha avuto problemi nel terminarli - che consente l'esclusione di vizi sistematici nelle prestazioni dovuti alle specifiche strategie adottate (ad esempio, se il tempo fosse stato esiguo avremmo potuto osservare una variazione nei valori del baricentro determinata dalla strategia scelta dal partecipante per cancellare i simboli). La durata delle prove era, invece, inferiore: 2 minuti.

Il computer era lo stesso utilizzato anche nella seconda sessione, dove abbiamo indagato l'effetto SNARC, e le sue caratteristiche tecniche sono già state descritte.

Per quanto riguarda l'ordine di somministrazione delle prove, abbiamo voluto controllare i possibili effetti che l'elaborazione dell'informazione numerica potrebbe esercitare, oltre che nel test ove è veicolata, nelle prove successive. Per ovviare a questo possibile problema e fonte di

confusione, e al contempo per raccogliere più misurazioni, abbiamo fatto sì che, all'interno di ogni gruppo sperimentale, la metà dei partecipanti svolgesse prima i test con le numerosità minori ([2]) e poi quelli con le numerosità maggiori ([8]), e che gli altri 4 partecipanti seguissero la disposizione opposta; terminate queste prove, ognuno avrebbe ripetuto i test con l'ordine inverso. Tutto questo valeva sia per i compiti diretti che per quelli indiretti, svolti sempre in due sessioni diverse (all'interno di ogni gruppo 4 partecipanti eseguivano prima i compiti diretti, mentre gli altri eseguivano prima quelli indiretti). Un così ampio numero di test, ad ogni modo, avrebbe potuto portare a fenomeni di abitudine, ad esempio con l'apprendimento, più o meno esplicito, della posizione dei simboli bersaglio e la conseguente variazione nella performance. Per evitare situazioni del genere abbiamo creato

una versione “mirror” dello Star Cancellation Test (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987) ottenuta dalla rotazione degli elementi lungo l'asse di simmetria orizzontale del foglio (versione mirror; **Fig. 2.11**). Le due

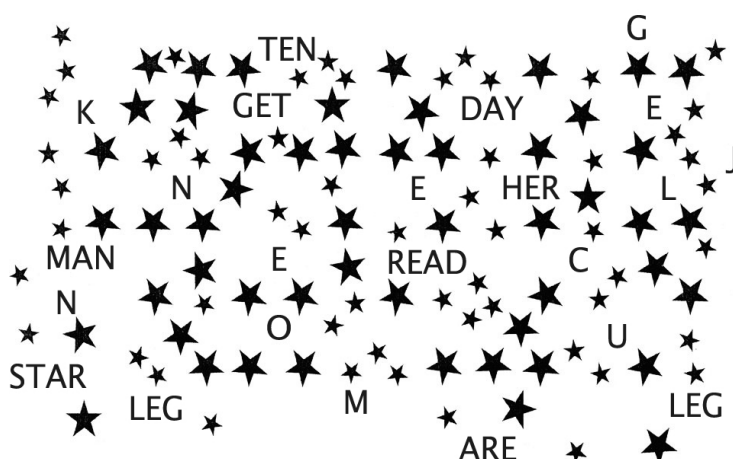


Fig. 2.11: la versione “mirror” dello Star Cancellation Test.

versioni sono, quindi, tra di loro perfettamente simmetriche; non è stato difficile, una volta effettuata la rotazione, manipolare i simboli e inserire le informazioni numeriche, così da ottenere compiti diretti ed indiretti come per la versione normale. A questo punto abbiamo fatto sì che 4 volontari eseguissero, entro le condizioni dirette ed indirette, prima i compiti mirror e poi quelli normali, mentre la seconda metà dei partecipanti seguiva l'ordine opposto. Per stabilire una baseline affidabile abbiamo somministrato anche le versioni originali del test, all'inizio e in coda alla batteria, bilanciando, entro i gruppi, le versioni normali e mirror. La durata totale dell'esperimento di cancellazione, quindi, era di 52 minuti per 16 prove, incluse le 6 prove di familiarizzazione. L'intero

esperimento, vista la quantità di tempo richiesta, è stato equamente suddiviso in due parti, somministrate in due diverse sessioni.

Analisi statistiche

Il tablet restituisce un elenco dettagliato e puntuale di tutti i pixel coinvolti nelle operazioni dei partecipanti sullo schermo, oltre che la loro successione temporale. Ogni pixel è caratterizzato da una combinazione di coordinate spaziali univoche, che ne determinano la posizione sugli assi orizzontale (asse X) e verticale (asse Y) delle immagini proiettate sullo schermo del tablet, ovvero dei nostri test di cancellazione. All'interno di ogni test la prima, semplice, analisi condotta sui dati grezzi è stata il calcolo delle medie delle coordinate spaziali di ogni depennata, definita operativamente come quell'insieme di pixel coinvolto in una singola azione del volontario; il computer, infatti, registrava automaticamente ogni allontanamento della penna ottica dal suo schermo, e quel momento costituiva il termine di ogni depennata. Il passaggio successivo è stato il calcolo delle medie di questi indici: abbiamo così ottenuto il valore del baricentro dell'esplorazione spaziale di ogni partecipante. Uno dei vantaggi di quest'indice risiede nella sua relativa indipendenza dal numero totale di pixel che costituiscono le depennate: se avessimo calcolato le medie delle coordinate spaziali di ogni punto del test attivato dal partecipante avremmo ottenuto, infatti, valori molto condizionati dall'ampiezza dei singoli tratti, così che quelli più ampi, caratterizzati da un numero maggiore di pixel, avrebbero potuto portare a fonti di variabilità indesiderabili, difficilmente controllabili e interpretabili. Tuttavia lo Star Cancellation Test non è simmetrico, ovvero i simboli target sono disposti in modo eterogeneo sulla sua superficie; ciò porta a valori del baricentro costantemente più alti nelle versioni mirror del reattivo piuttosto che in quelle originali, dato che le prime contano, nella loro parte sinistra, 26 simboli bersaglio anziché 30. Sebbene questo non comporti, considerando le analisi statistiche condotte in seguito, alcun limite teorico o pratico, abbiamo preferito individuare un indice dello spostamento

degli equilibri esplorativi riferito ad un valore costante ed oggettivo, come il baricentro effettivo, o geometrico, dei test. La differenza tra il valore del baricentro ottenuto dal partecipante e quello geometrico – equivalente, a livello operativo, a quel valore che il baricentro assumerebbe se tutti gli stimoli bersaglio venissero cancellati esattamente nella loro parte centrale – fornisce un indice facilmente confrontabile tra le due versioni del test, e in grado di restituire un'idea più intuitiva a proposito di eventuali differenze della performance nelle diverse prove dell'esperimento. In ultimo, anche considerando l'eterogeneità del gruppo N+ per quanto riguarda la severità della patologia che li contraddistingue, abbiamo deciso di effettuare un'operazione ulteriore: i dati grezzi ottenuti ai test contenenti delle informazioni numeriche - già rapportati al baricentro specifico della relativa versione, come spiegato sopra - sono stati trasformati in "indici di spostamento relativo" dal baricentro (ISR), dopo essere stati confrontati con lo stesso valore ottenuto nella condizione originale. Se un partecipante ottenesse a questi indici, ad esempio, un valore negativo con il numero [2], potremmo concludere che la sua esplorazione della superficie del test sia stata, quantitativamente parlando, maggiore nella parte sinistra; un valore positivo, al contrario, denota una maggiore esplorazione della parte destra del test; in entrambi i casi, tuttavia, sinistra e destra sono da intendersi non come posizioni dello spazio definite dalle coordinate del baricentro geometrico del test, bensì come porzioni di spazio definite dallo specifico baricentro riportato dal soggetto. La grandezza di questi valori, dunque, indica di quanti pixel, e in quale direzione, il partecipante si è discostato dalla sua prestazione alla baseline, la versione originale dei test. Adottando questo espediente di certo perdiamo un tipo di informazione molto importante - visto che perdiamo la possibilità di conoscere, nel caso di un effetto significativo, quale numero porta di fatto a prestazioni differenti da quelle della condizione di partenza – ma da un lato preserviamo quella cruciale, la presenza di un'eventuale differenza tra le condizioni [2] e [8] - e, in particolare, la direzione di questa differenza -, e dall'altro lato possiamo tutelarci dalle fuorvianti interferenze che l'inclusione di pazienti eminegligenti dalla diversa gravità potrebbero verosimilmente portare. I diversi gradi di severità della negligenza si manifestano, infatti,

inevitabilmente con indici del baricentro molto diversi fra loro; l'utilizzo degli indici relativi sopra descritti può, almeno in parte, rimediare a questa possibile fonte di confusione.

A questo punto è necessaria una rettifica. Abbiamo scritto, più sopra, che le pseudo-omissioni e le pseudo-perseverazioni potrebbero costituire a pieno titolo delle importanti fonti di varianza, per quanto riguarda l'effetto dell'elaborazione della numerosità sull'orientamento nello spazio. A livello teorico questo è certamente plausibile; a livello pratico però – e, in particolare, nel contesto dell'impianto strumentale qui adottato – vi sono delle severe limitazioni, o almeno ve ne sono state nel corso del presente studio. Un primo, già citato, limite riguarda gli errori della penna ottica: per quanto correggibili a posteriori dallo sperimentatore, molte di queste anomalie hanno influenzato le depennate successive in modo poco sistematico; le pseudo-perseverazioni che ne sono derivate, in questi casi, andrebbero più correttamente considerate come artefatti dello strumento utilizzato, piuttosto che come indici indiretti di una maggiore esplorazione di quella zona dello spazio. In secondo luogo, riportiamo la presenza di pazienti con note perseverative tanto spiccate da rendere poco percorribile la strada, appena ricordata, della completa attribuzione delle pseudo-perseverazioni ad un effetto di ri-orientamento dell'attenzione dovuto all'elaborazione di un numero. E' chiaro che in questi casi andrebbero adottate misure *ad hoc*, che il nostro studio non prevedeva.

Per tutti questi motivi, nonostante le nostre premesse, il valore del baricentro che verrà considerato sarà quello al netto delle pseudo-perseverazioni. Vista la difficoltà nel riconoscimento dei tratti ripetuti a partire dai dati grezzi, abbiamo stabilito, come criterio operativo, di considerare tali i tratti tra loro distanti fino ad un massimo di 10 pixel su entrambi gli assi (X e Y) contemporaneamente; abbiamo poi eliminato il tratto, o i tratti, effettuati in un secondo momento, confrontando i loro aspetti temporali. Parallelamente, delle utili indicazioni sono emerse dal confronto tra il numero totale di depennate e il numero di item effettivamente cancellati, così da stimare prima, e controllare poi, il numero di pseudo-perseverazioni presenti (ad esempio, la

presenza di un'omissione e di 56 depennate totali suggerisce la presenza di una pseudo-perseverazione).

Anche l'analisi sulle omissioni si è rivelata impraticabile. I due gruppi di controllo hanno riportato una percentuale molto bassa di omissioni (< dell'1% per i C; 2% per gli N-), il che non ha consentito di individuare eventuali differenze tra le diverse condizioni numeriche. Gli studi che hanno sfruttato questo indice, in letteratura, l'hanno fatto somministrando test di cancellazione con un limite temporale molto più restrittivo, tale da non consentire ai partecipanti di depennare tutti gli stimoli target (Di Luca et al., in preparazione); il tempo fornito ai partecipanti al nostro studio, al contrario, era tanto abbondante da consentire una prestazione ottimale, e una presenza di omissioni limitata a casi eccezionali. Il gruppo N+, come da disegno sperimentale, riporta invece una percentuale di omissioni del 50%, ma nel loro caso – vista la peculiarità della patologia che li contraddistingue – sarebbe necessario individuare un indice diverso dalle omissioni presenti nelle parti sinistra e destra del foglio per effettuare i calcoli. Un indice del genere potrebbe essere il baricentro delle depennate ottenuto nelle condizioni di baseline – si potrebbero, dunque, confrontare le depennate a sinistra e a destra di questo indice nelle condizioni numeriche, alla ricerca di un eventuale pattern di differenze – ma tutto ciò sarà ripreso da studi successivi.

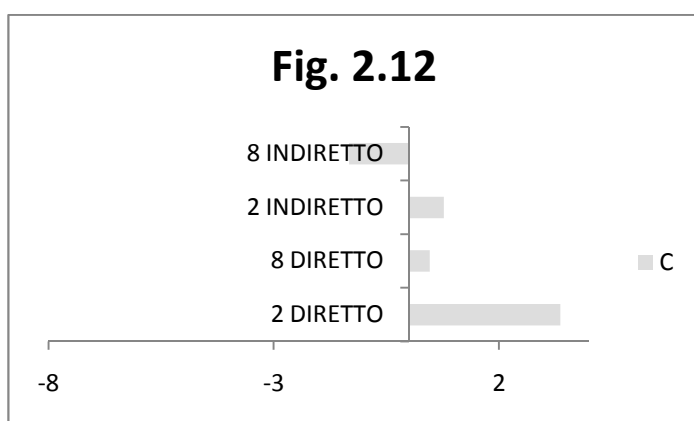
Come primo passo abbiamo condotto un'analisi della varianza tra i tre gruppi sperimentali, al fine di confermare la bontà del nostro disegno sperimentale. La variabile dipendente esaminata – che, in questa prima analisi, è lo Spostamento (in pixel), per ogni volontario, del baricentro delle depennate da quello geometrico, ottenuto in tutti i nostri test di cancellazione – differisce significativamente nei tre gruppi ($F_{(2,207)}=148,72$ con $p<0,001$); i test post-hoc suggeriscono che la differenza risieda esclusivamente nel gruppo N+, associato a indici del baricentro soggettivo costantemente più alti di quelli dei due gruppi di controllo ($p<0,001$ per tutti i confronti; metodo LSD).

Per ogni gruppo è stata successivamente eseguita un'ANOVA within subjects. Abbiamo usato, come variabile dipendente, gli indici dello Spostamento relativo dal baricentro (ISR;

misurato in pixel), al netto delle perseverazioni. Come variabili indipendenti abbiamo invece usato: la Versione della prova (normale o mirror), la Condizione (diretta o indiretta) e il Numero veicolato ([2] o [8]).

Risultati

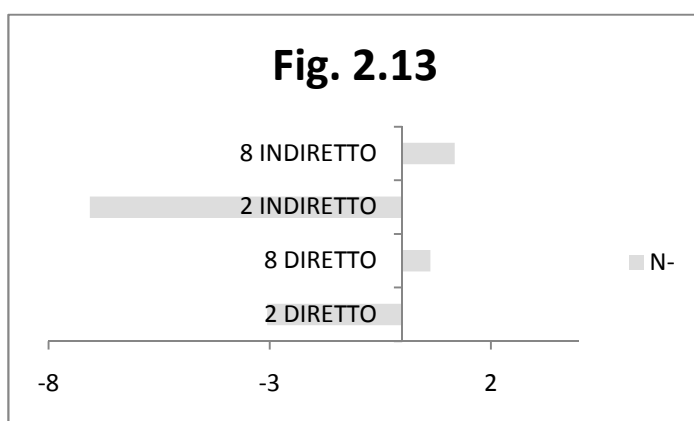
Vediamo il gruppo di controllo costituito dai partecipanti neuroindenni. Il trend sembra essere chiaro (**Fig. 2.12**); si delinea una situazione in cui al numero più piccolo si associano ISR maggiori, e al numero più grande quelli minori. E' anche possibile che, globalmente, le condizioni dirette comportino, per un qualche motivo, una maggiore esplorazione della parte destra dello



spazio. Ad un'analisi più accurata, ad ogni modo, notiamo che questi spostamenti sono nell'ordine di pochi pixel, e infatti il modello statistico non esclude che risultati simili possano essere dovuti al semplice caso. L'effetto principale del fattore

Numero, tuttavia, mostra una certa tendenza verso la significatività ($F_{(1,7)}=4,49$ con $p=0,072$), spiegando il 39% della varianza generale del modello.

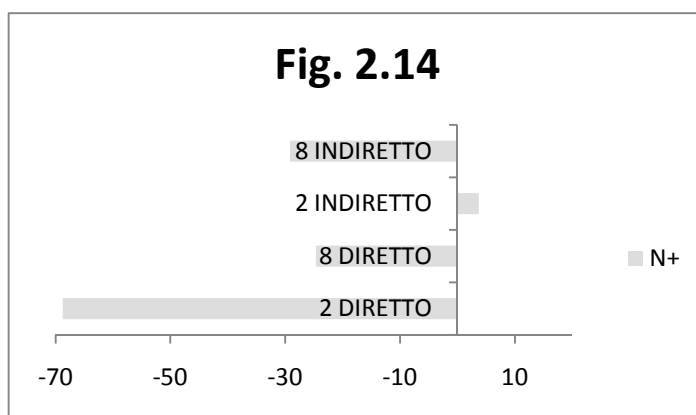
Il pattern dei risultati è del tutto diverso nel secondo gruppo di controllo, formato da pazienti cerebrolesi destri senza negligenza (**Fig. 2.13**). In questo caso i numeri piccoli sono



associati, per ogni condizione, a ISR negativi e, viceversa, i numeri più grandi sono associati a ISR positivi. L'effetto principale del Numero è, infatti, significativo con $F_{(1,7)}=7,97$ e $p=0,026$. E'

presente anche una triplice interazione Versione X Condizione X Numero, con $F_{(1,7)}=8,02$ e $p=0,025$, indicando un'interazione complessa tra le tre variabili individuate.

In ultimo, il gruppo di pazienti



con NSU (**Fig. 2.14**). I dati non sono univoci come quelli dei gruppi di controllo; nelle condizioni dirette i numeri piccoli sono relati ad una maggiore esplorazione dello spazio sinistro (e viceversa per i numeri grandi), mentre nelle condizioni indirette questo pattern si capovolge. E' probabilmente per questo motivo che non vi è alcuna significatività dell'effetto principale del Numero ($F_{(1,4)}=0,281$ con $p>0,6$). Vi è, tuttavia, un interessante trend verso la significatività dell'interazione Condizione X Numero ($F_{(1,4)}=5,18$ con $p=0,085$), interazione in grado di spiegare il 58% della varianza globale.

Per indagare meglio questa interazione, abbiamo condotto due diverse analisi della varianza: una per le condizioni dirette e una per quelle indirette. Per entrambe abbiamo usato come variabili indipendenti la Versione della prova (normale o mirror) e il Numero da questa veicolato ([2] o [8]); la variabile dipendente non è cambiata, e consiste negli ISR.

A conferma dell'interesse suscitato dal trend verso la significatività dell'interazione Condizione X Numero, ottenuto nell'analisi globale, i risultati mostrano una netta differenza nelle prestazioni alle condizioni dirette e indirette. Nelle condizioni dirette i numeri piccoli sono significativamente associati a ISR minori di quelli associati ai numeri grandi, indice di una maggiore esplorazione a sinistra per i primi rispetto ai secondi (effetto principale del Numero significativo con $F_{(1,4)}=11,61$ e $p=0,027$). Nelle condizioni indirette, invece, non vi sono differenze significative per le due classi di numeri: $F_{(1,4)}=1,73$ e $p>0,25$.

Discussione

Avevamo ipotizzato che gli effetti di ri-orientamento attentivo dovuti all'elaborazione di una numerosità avrebbero potuto palesarsi, nel nostro gruppo di pazienti eminegligenti, esclusivamente nelle condizioni indirette; chiaramente, visti i risultati, non sembra questo il caso. I dati suggeriscono, piuttosto, che vi sia un sensibile effetto della numerosità nelle condizioni dirette – dove i numeri piccoli sono associati a ISR minori, e i numeri grandi a ISR maggiori – mentre le condizioni indirette sarebbero associate ad un'anomala prestazione comportamentale, dove questo effetto sembra quasi invertito (ma non significativamente).

Analizzando la prestazione dei nostri gruppi di controllo, troviamo dei risultati alquanto discordanti dalle nostre previsioni già nel gruppo formato da volontari neurologicamente indenni, per i quali non vi è alcun effetto della numerosità inserita nel test di cancellazione. Questo dato può sorprendere, visto che, nella letteratura, questo particolare tipo di effetto è stato ben individuato (Di Luca et al., in preparazione); tuttavia il compito somministrato ai nostri soggetti differisce da quello di Di Luca e colleghi per almeno una caratteristica cruciale: il tempo lasciato ai volontari per completare il test. Di Luca e colleghi hanno lasciato ai loro volontari, infatti, un tempo esiguo, molto breve, che non consentiva una cancellazione esaustiva degli stimoli target; nelle nostre prove, al contrario, il limite di 4 minuti – stabilito pensando alle esigenze dei pazienti cerebrolesi, e applicato anche ai controlli neuroindenni per una questione puramente metodologica – si è dimostrato più che abbondante. E' plausibile ipotizzare che un'importante, ulteriore, fonte di varianza dell'effetto in esame possa emergere soltanto nel caso in cui un compito non venga terminato: in un gruppo di controllo privo di una qualsiasi compromissione cognitiva – un gruppo in cui, di conseguenza, molto raramente si osservano delle pseudo-omissioni, anche grazie ad un'efficace attività di controllo e monitoraggio della propria prestazione – questa potrebbe, anzi, costituire una fonte di variabilità fondamentale. E' anche possibile ipotizzare che i test basati sulla velocità di esecuzione inibiscano, in qualche modo, certi effetti compensatori dati delle strategie e

dei sistemi di monitoraggio della prestazione, facilitando la rilevazione dei fenomeni ricercati; questa possibilità, in ultima analisi, sarebbe riconducibile al diverso dispiegamento di risorse cognitive tra le due condizioni, molto maggiore nel caso dei compiti basati sulla velocità.

Per tutti i motivi appena esposti abbiamo progettato un esperimento collaterale (esperimento 5), in cui gli stessi test della quarta sezione sono stati somministrati ad un nuovo gruppo di controllo, formato da volontari neurologicamente indenni (C2); i test, questa volta, avevano un limite di tempo più restrittivo - 30 secondi – che non ha consentito a molti soggetti di cancellare tutti gli stimoli target presenti sul tablet.

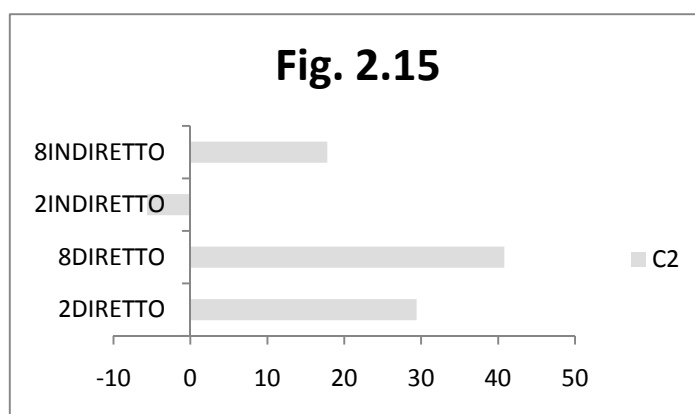
Nella tabella **2.3** sono riportati i dati socio-demografici dei volontari C2. I membri di questo nuovo gruppo di controllo - paragonabili per età e scolarità agli altri gruppi sperimentali, come dimostra l'ANOVA ($F_{(3,25)}=0,42$ e $p>0,73$ per l'Età;

Soggetto	Gruppo	Età (aa)	Scolarità (aa)	Sesso
G.G.	C2	72	5	M
P.B.	C2	57	13	F
F.N.*	C2	87	5	M
R.S.	C2	83	3	F
O.Z.	C2	64	18	M
G.G.	C2	83	18	F
A.N.	C2	48	13	F
G.N.	C2	55	13	M
media		68,625±14,7	11±5,9	

Tab. 2.3

($F_{(3,25)}=1,38$ e $p>0,27$ per la Scolarità) - sono stati reclutati con le stesse modalità utilizzate per il gruppo C, esposte all'inizio del capitolo; anche nel loro caso, quindi, la partecipazione alla ricerca avveniva esclusivamente su base volontaria.

Come possiamo osservare nella **Fig. 2.15** le prestazioni dei partecipanti neuroindenni, a queste condizioni, si discostano marcatamente da quelle del primo gruppo di controllo; anzi, i risultati sembrano quasi speculari. In entrambe le condizioni - dirette e indirette - i numeri piccoli sono associati a ISR posti più a sinistra, i numeri grandi a ISR posti più a destra. Un'altra differenza con il gruppo C consiste nell'ampiezza di questo effetto, molto più evidente in C2; l'ANOVA condotta, in effetti, individua un effetto principale



della variabile Numero con $F_{(1,7)}=5,45$ e $p=0,054$.

Consideriamo ora la diversità tra le prestazioni dei controlli neuroindenni, C, e quelle dei pazienti cerebrolesi senza negligenza, N-. Questa differenza appare molto interessante, perché a parità di tempo di somministrazione dei reattivi – un tempo di 4 minuti è risultato molto abbondante anche per i pazienti N- - abbiamo, di fatto, prestazioni speculari. Nei pazienti cerebrolesi destri senza NSU è infatti presente una chiara influenza della Numerosità, che si esplica – sia nei compiti diretti che in quelli indiretti - con una maggiore esplorazione dello spazio sinistro per il numero [2], e con una maggiore esplorazione dello spazio destro per il numero [8]. Secondo una possibile interpretazione questa evidenza sarebbe paragonabile a quella ottenuta nel gruppo C2, grazie ad una manipolazione sperimentale della variabile “tempo di somministrazione”: è possibile che una lesione cerebrale aspecifica danneggi o ostacoli, almeno in parte, quegli stessi meccanismi responsabili del controllo e del monitoraggio della performance che verrebbero inibiti in un test basato sulla velocità; l'effetto della numerosità sarebbe più evidente, in altre parole, quando un intervento sulle risorse cognitive richieste dal compito o una lesione cerebrale comportano un'alterazione delle prestazioni di un meccanismo di controllo fine. In ogni caso, è indubbio che il gruppo di riferimento più adeguato per valutare la prestazione dei pazienti con NSU debba essere il gruppo N-.

A fronte di una prestazione nei compiti diretti paragonabile a quella dei pazienti N-, i pazienti con NSU mostrano di non essere sensibili alla numerosità nei compiti indiretti. Questo sembra contrastare con l'idea che il peculiare deficit della patologia consista – per quanto riguarda la cognizione numerica - in un problema di accesso esplicito alla rappresentazione mentale dei numeri, alla LNM, di per sé integra (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009). Esiste, però, almeno una spiegazione alternativa che potrebbe risolvere questa incongruenza; approfondiremo la questione nel terzo capitolo.

Capitolo III

Discussione generale

Alla luce dei dati, e tenendo conto del numero ridotto dei soggetti finora testati, possiamo trarre qualche conclusione.

Cosa possiamo dire a proposito della struttura e dell'integrità della linea numerica mentale dei pazienti con negligenza spaziale unilaterale?

Una prima differenza qualitativa tra le prestazioni dei pazienti N+ e quelle dei due gruppi di controllo (C ed N-) emerge già nel test di Siegler (Siegler & Opfer, 2003), e consiste in un'anomala struttura della LNM (come valutata da questo test). L'organizzazione dei numeri sulla LNM sembra, in questa patologia, meno sofisticata. Molti studi hanno trovato che con l'età, l'esperienza scolastica e tutte le precoci acquisizioni culturali dell'individuo, le abilità di stima e codifica dei numeri assumono sempre più un formato lineare (Siegler & Opfer, 2003; Berteletti et al., 2010), sebbene le più imprecise rappresentazioni logaritmiche non vengano del tutto superate. Possiamo confermare tutto ciò con i risultati ottenuti nei nostri soggetti di controllo e, per di più,

possiamo sostenere che una lesione aspecifica dell'emisfero destro non comporta una sostanziale alterazione di questo pattern: negli N-, come nei C, il formato dominante è nettamente quello lineare. Nella NSU, invece - nonostante tutte le correzioni attuabili, apportate per eliminare il possibile ruolo confondente del caratteristico errore di bisezione verso destra – il formato lineare sembra perdere la sua predominanza. Come abbiamo suggerito nel secondo capitolo, un modo per verificare ulteriormente questa evidenza potrebbe consistere nella somministrazione del test nell'emispazio destro dei pazienti; questo accorgimento consentirebbe, a monte, di aggirare il problema metodologico sopra descritto. Qualora anche sotto queste condizioni i pazienti con NSU presentassero delle anomalie nell'organizzazione mentale dei numeri, dovremmo riconsiderare l'assunto secondo cui la loro LNM non sarebbe, in realtà, difettosa (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009). Il difetto consisterebbe, appunto, nella minor raffinatezza delle rappresentazioni numeriche della LNM, anche se le sue funzioni più basilari non verrebbero intaccate (ad esempio, la comprensione, anche grossolana, delle quantità elaborate) né verrebbero intaccati alcuni suoi effetti secondari, come l'effetto di ri-orientamento spaziale (perlomeno sotto certe condizioni, v. sotto).

E' possibile, inoltre, che vi siano delle anomalie anche ad altri livelli, ma ogni conclusione in merito sarebbe prematura. I compiti che hanno indagato l'effetto SNARC non forniscono, al momento, indicazioni chiare.

Innanzitutto abbiamo ottenuto dei risultati inattesi con i nostri gruppi di controllo: i volontari neuroindenni mostrano un chiaro effetto SNARC per i giudizi di grandezza, ma non per quelli di parità; per i pazienti cerebrolesi senza NSU, al contrario, troviamo un effetto SNARC per i giudizi di parità, ma non per quelli di grandezza. E' riportato, in letteratura, che i giudizi di parità costituiscono un compito relativamente più difficile, con il quale non sempre si riesce ad evocare un effetto SNARC, e questo potrebbe aiutarci a comprendere la prestazione del gruppo C; il pattern ottenuto con gli N-, invece, risulta di difficile spiegazione. Possiamo considerare l'ipotesi che la dissociazione ottenuta sia dovuta alle conseguenze della lesione cerebrale, ma è altrettanto

verosimile che vi sia un problema a monte – un problema di sensibilità del paradigma usato, ad esempio. In quest’ultimo caso è possibile che le anomalie riscontrate si risolvano con l’inclusione, nella ricerca, di più volontari.

Un argomento simile può essere utilizzato per interpretare i risultati dei pazienti con NSU: è assolutamente necessario, nel loro caso, attendere il completamento della raccolta dati, per trarre inferenze valide. Al momento, considerando l’esiguo numero di 5 pazienti, nessuna delle due condizioni sembra confermare la presenza di un effetto SNARC integro; la presenza di indici di β negativi e piuttosto alti, ad ogni modo, sembra suggerire la possibilità che in entrambe le condizioni possa emergere un buon effetto SNARC. Anche questo, del resto, sarebbe un risultato inatteso. Secondo le nostre previsioni avremmo potuto aspettarci una prestazione ottimale nei giudizi di parità, e una prestazione in qualche modo compromessa nei giudizi di grandezza; a ben vedere, invece, la prestazione nei compiti di comparazione sembra migliore. Se tutto ciò fosse confermato, dunque, dovremmo ripensare seriamente all’ipotesi di un deficit nell’accesso esplicito alla LNM come tratto distintivo della NSU (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009) e limitare questa peculiarità a quel sottogruppo di pazienti caratterizzati da un’estensione della patologia sino all’ambito immaginativo. Oppure, in alternativa, dovremmo considerare la possibilità che i pazienti abbiano usato rappresentazioni o strategie di altro tipo, oltre a quelle basate sulla LNM. Secondo alcuni autori l’effetto SNARC non può, in realtà, essere considerato una prova dell’esistenza della LNM, e il suo emergere andrebbe attribuito a fasi di categorizzazione intermedie alla codifica del numero e all’emissione dell’output motorio; una volta categorizzati i numeri in due gruppi distinti (ad esempio, numeri piccoli o numeri grandi; numeri pari o dispari), si instaurerebbe un collegamento tra questi due gruppi e le corrispondenti alternative nell’ambito del possibile output (sinistra o destra, prossimale o distale, ecc.; Santens & Gevers, 2008). Alcune prove a sostegno di questa visione derivano dagli studi elettrofisiologici, che hanno trovato modificazioni dei potenziali di prontezza motoria ma non delle P300 quando ai soggetti venivano presentate delle condizioni incompatibili con l’effetto SNARC per giudizi di parità (risposta a

sinistra per i numeri grandi e risposte a destra per quelli piccoli); i potenziali di prontezza motoria hanno un'insorgenza più tardiva rispetto alla P300 - che rappresenta una fase di risoluzione dell'ambiguità, di decisione e, quindi, di classificazione del numero presentato nella corrispondente categoria (Sutton et al., 1967) -, e ciò suggerisce che il luogo del conflitto possa risiedere in fasi successive a quella decisionale (Gevers et al., 2006b).

Gli esperimenti 3 e 4 sono volti ad individuare eventuali effetti dell'elaborazione di informazioni di quantità numerica in compiti visuo-spaziali più o meno complessi.

Nel terzo esperimento abbiamo somministrato ai partecipanti un compito di bisezione di linee fiancheggiate da numeri-flankers. I risultati nei due gruppi di controllo sono perfettamente coerenti con quelli presenti nella letteratura (Fischer, 2001; de Hevia, Girelli & Vallar, 2006), dove è stata descritta una netta tendenza alla modulazione dell'errore di bisezione verso sinistra dei partecipanti (pseudo-neglect) nel caso in cui il segmento da bisecare presenti, ai lati, delle cifre disposte in senso crescente. Nel nostro esperimento, infatti, le condizioni PG (numeri piccoli a sinistra e numeri grandi a destra) sono significativamente associate a bisezioni poste più a destra di quelle delle rimanenti condizioni. Non vi sono differenze qualitative o quantitative in questo pattern tra i due gruppi sperimentali, mostrando che una lesione aspecifica dell'emisfero destro non altera in alcun modo l'effetto descritto.

Per il gruppo di pazienti eminegligenti abbiamo, invece, risultati più complessi. L'analisi della varianza non ha riscontrato alcuna differenza tra le condizioni, sebbene sia presente un modesto trend verso la significatività per i contrasti PG-GP; differenza ottenuta solo a patto di escludere dalle analisi il paziente N+ con concomitante deficit sensoriale. E' certamente necessario ampliare il campione esaminato, per ottenere dati più indicativi e certi. Per ora possiamo suggerire che, almeno in parte, l'effetto di ri-orientamento attentivo reso possibile dall'elaborazione di informazioni numeriche – nello specifico quelle che indicano un contrasto, una direzione ben definita dei numeri – potrebbe essere conservato nella NSU, a patto che la direzione assunta dai numeri sia ben codificata; un deficit sensoriale aggiuntivo potrebbe, infatti,

ostacolare la categorizzazione dei numeri in categorie dicotomiche (numeri piccoli-numeri grandi), operazione che alcuni autori ritengono necessaria all'emergere dell'effetto (de Hevia, Girelli & Vallar, 2006). Queste conclusioni non sembrano in linea con quelle di Bonato e colleghi (2008), che non hanno trovato alcun effetto simile. Tuttavia nello studio di questi autori il trend trovato nelle condizioni PG e GP era, in realtà, molto compatibile con quello trovato nella presente ricerca, pur non raggiungendo la soglia della significatività. E' possibile che questo possa essere dovuto all'eventuale inclusione, nello studio di Bonato e colleghi, di pazienti emianoptici, oppure all'esiguo numero di item utilizzati (10 per ogni condizione). In ogni caso, conclusioni più pertinenti andrebbero formulate al termine della raccolta dati.

Veniamo ora al quarto esperimento, la parte originale della ricerca. Il primo gruppo di controllo (C) non ha evidenziato l'effetto atteso, mentre il gruppo C2, invece, riportava risultati molto coerenti con le nostre ipotesi iniziali: gli indici di spostamento relativo dal baricentro (ISR) erano, nel secondo gruppo, minori per i numeri piccoli e maggiori per i numeri grandi. Abbiamo visto che l'unica differenza tra i due gruppi era il tempo concesso ai partecipanti per terminare il compito, e abbiamo suggerito che un test basato sulla velocità – proprio perché più dispendioso dal punto di vista delle risorse cognitive richieste, e perché in grado di ostacolare i normali meccanismi di controllo della prestazione – potrebbe essere l'unico modo per evidenziare un effetto del genere in persone neuroindenni, dotate di sufficienti risorse cognitive e ottimali meccanismi di controllo e compensazione. Abbiamo trovato, d'altra parte, che in un gruppo dotato di meno risorse cognitive, o di un meccanismo di controllo in qualche misura inficiato da una lesione cerebrale, l'effetto della numerosità sull'esplorazione spaziale potrebbe emergere anche quando i test prevedono dei tempi molto abbondanti; questo giustifica il chiaro effetto della numerosità nei pazienti N-, caratterizzati, in ogni condizione, da una maggiore esplorazione a sinistra per numeri piccoli e a destra per numeri grandi. Tutto ciò dovrebbe valere anche per il gruppo di pazienti con NSU, eppure le prestazioni appaiono molto diverse. A fronte di una prestazione nei compiti diretti paragonabile a quella dei pazienti N-, i pazienti con NSU mostrano

di non essere sensibili alla numerosità nei compiti indiretti. Questo sembra fortemente in disaccordo con l'idea che il caratteristico deficit della patologia consista – per quanto riguarda la cognizione numerica - in un problema di accesso diretto alla rappresentazione mentale dei numeri, alla LNM, di per sé integra (Umiltà, Priftis & Zorzi, 2009). Esiste, però, almeno una spiegazione alternativa che potrebbe risolvere questa incongruenza.

Abbiamo distinto le varie condizioni dei test in dirette e indirette sulla base del simbolo da depennare, un numero nelle prime e una stellina nelle seconde; ora, utilizzare un numero come target è sufficiente per attivare esplicitamente la LNM? La rappresentazione semantica della numerosità, la LNM, viene *attivata* e *consultata* al solo atto di barrare un numero? Sembra che la risposta a questa domanda sia negativa, dopotutto, e che le operazioni necessarie a questo compito non includano necessariamente un'attivazione automatica della linea numerica mentale. Avremmo, in quest'ottica, creato in realtà due condizioni indirette, caratterizzate però da una differente salienza degli stimoli numerici: da una parte una condizione che richiede l'inserimento del numero nel sistema della memoria di lavoro e l'esplorazione dello spazio alla ricerca dello stesso – la condizione che avevamo definito “diretta”; dall'altra parte una condizione dove il numero è un distrattore a tutti gli effetti, ininfluente rispetto alle consegne – ed è, questa, una condizione più propriamente definibile come “indiretta”. In nessun caso, però, sembra necessaria l'attivazione automatica di una porzione della LNM. Inoltre, a livello aneddotico: molti pazienti hanno suggerito che il compito più “difficile” – tra le due condizioni – era la ricerca delle stelle di piccole dimensioni, piuttosto che quella dei numeri. Effettivamente vi è un'ulteriore differenza tra le due tipologie di test, una differenza che risiede nelle diverse operazioni cognitive richieste: nelle condizioni indirette è necessaria una classificazione dei simboli in due categorie (stelle di piccole o di grandi dimensioni), sulla base delle loro proprietà grafiche, e quindi una costante attività di discriminazione percettiva, con tutto il dispendio di risorse cognitive – soprattutto relative al mantenimento dell'attenzione – che ne deriva. E' possibile che anche questa situazione concorra a determinare una minore elaborazione delle informazioni di quantità numerica. Di certo

andrebbe scartata l'ipotesi che questi risultati dipendano da un artefatto, per così dire, tecnico o metodologico: è vero che i numeri erano leggermente più grandi delle stelline, ma sono stati posizionati con accuratezza nella loro stessa posizione sul test di cancellazione; peraltro, in nessuno dei nostri quattro gruppi sperimentali è presente un effetto principale della condizione, permettendoci di concludere che la rappresentazione grafica dei test fosse adeguata.

Riassumendo: entrambe le condizioni somministrate attiverrebbero la LNM solo implicitamente, ma una di queste – quella che avevamo definito, in modo non del tutto corretto, “diretta” - permetterebbe una maggiore elaborazione delle numerosità veicolate, così che il corrispettivo comportamentale di questa elaborazione risulterebbe più evidente. Adottando questo punto di vista i risultati potrebbero essere interpretati sulla base della diversa salienza dei numeri inseriti, piuttosto che nei termini di una differenza qualitativa tra le due condizioni. Ne consegue che, in uno studio del genere, non potrebbe essere dimostrato un deficit nell'accesso esplicito alla LNM; le differenze riscontrate nelle due condizioni, tuttavia, potrebbero fornire alcuni spunti interessanti.

Che vi sia un deficit nell'accesso alla LNM oppure no, è chiaro che le prestazioni ai compiti indiretti sono, nei pazienti N+, anomale. Ci aspetteremmo, infatti, che in un compito indiretto gli effetti della numerosità possano, in ogni caso, esprimersi liberamente, così come si sono espressi nei pazienti N-. Non è questo il caso: l'effetto, nei compiti indiretti, è molto limitato (tanto da non essere statisticamente significativo) e presenta una direzione anomala. Qual è, dunque, la variabile responsabile di questo fenomeno? Riteniamo che una possibile spiegazione potrebbe essere proprio la diversa salienza delle numerosità nelle due condizioni, molto più spiccata nelle condizioni “dirette”. Vi sarebbe forse una soglia oltre la quale la numerosità può produrre i suoi effetti sull'esplorazione spaziale⁹, soglia – per un qualche motivo – molto più alta

⁹ O, meglio, è possibile che l'effetto della numerosità sia graduale e continuo, ma che sia rilevato dalle statistiche come non casuale solo al raggiungimento di una certa soglia di stimolazione.

nella negligenza. Se accettassimo questa ipotesi potremmo spiegare la caduta dei pazienti N+ nei compiti indiretti postulando un'insufficiente rilevanza delle informazioni numeriche; tale rilevanza, al contrario, sarebbe garantita nelle condizioni “dirette”, dove i pazienti mostrano comportamenti analoghi a quelli dei controlli.

Vi è un terzo aspetto per cui le due versioni differiscono in termini di salienza dell'informazione numerica: mentre nelle condizioni “dirette” vi sono 56 numeri target, in quelle indirette abbiamo solo 23 numeri distrattori. Quest'ultimo aspetto – che, a differenza dei precedenti, è più quantitativo che qualitativo – è facilmente manipolabile, e, in quanto tale, potrebbe essere sfruttato per indagare meglio le ipotesi esposte sopra. Approfondiremo questo discorso nel paragrafo successivo.

Limiti e prospettive future

Il limite più evidente della ricerca, al momento, consiste nell'esiguo numero di partecipanti con negligenza spaziale unilaterale. E' indubbio che tutte le conclusioni finora esposte debbano essere considerate provvisorie, e soggette ad eventuali modifiche una volta terminata la raccolta dei dati.

Le maggiori “criticità” si sono presentate nei compiti di cancellazione, la quarta sezione della ricerca.

I principali difetti della strumentazione usata – il tablet PC e la penna ottica – sono già stati menzionati. Le anomalie nelle depennate causate da un impreciso uso della penna sono state l'ostacolo più evidente; per quanto correggibili, nella maggior parte dei casi, è possibile che le informazioni perse fossero rilevanti per la ricerca. Anche i criteri usati per discriminare le pseudo-perseverazioni dai tratti validi non sono del tutto soddisfacenti, e presentano un certo margine di errore. Nonostante tutti questi aspetti negativi, tuttavia, questo studio non sarebbe stato possibile senza un'apparecchiatura tanto sofisticata e precisa; qualora si volesse indagare più a fondo il

problema dell'interazione tra numeri e spazio, e qualora lo si volesse fare attraverso la modifica di un test di cancellazione, di certo non si potrebbe prescindere da una strumentazione del genere. Appare dunque auspicabile, in futuro, lo sviluppo di nuovi accorgimenti, volti ad aumentare la sensibilità e la precisione della penna ottica e a facilitare la correzione dei dati.

Vi sono, poi, alcuni limiti teorici. I compiti di cancellazione sono stati pensati per testare l'ipotesi di un deficit dell'accesso esplicito alla LNM nella NSU, ma, abbiamo visto, non possono in realtà assolvere questo compito: entrambe le condizioni da noi usate richiedono, con tutta probabilità, un accesso implicito e indiretto alla LNM. Una possibile proposta, volta a superare questo ostacolo, potrebbe suggerire l'inserzione, entro i test di cancellazione, di due numeri simultaneamente (ad esempio, [2] e [5] oppure [8] e [5]); la consegna potrebbe consistere nel depennare il numero più piccolo o quello più grande della coppia, oppure nel depennare il numero pari. Sulla scorta dei compiti di classificazione tipicamente utilizzati per indagare l'effetto SNARC, quindi, questa situazione richiederebbe dei giudizi di grandezza nelle condizioni dirette, e dei giudizi di parità in quelle indirette. Come abbiamo visto parlando dello SNARC, è plausibile pensare che un giudizio di grandezza solleciti maggiormente la LNM e che richieda un accesso esplicito alle informazioni che questa veicola; per i giudizi di parità, al contrario, tutto ciò non sarebbe necessario. L'utilizzo di paradigmi completamente diversi richiede, tuttavia, molte cautele. In linea di principio non è possibile escludere che i volontari applichino strategie di altro tipo, strategie che, forse, potrebbero in qualche modo evitare un pieno coinvolgimento della LNM anche nei giudizi di grandezza. Ci ritroveremmo, in quel caso, al punto di partenza, e ancora una volta non avremmo fatto alcuna luce sulla questione. Un indiscutibile pregio di una tale configurazione degli stimoli, ad ogni modo, consiste nella possibilità di creare test graficamente identici, che differiscono esclusivamente per le consegne date al volontario. Questa possibilità andrebbe sfruttata. Abbiamo scritto, più sopra, che la presente ricerca ha fornito sì degli spunti interessanti, ma legati alla salienza della stimolazione numerica piuttosto che alla diversa natura dell'accesso alla LNM; ebbene, quella di inserire nei reattivi due numeri contemporaneamente è

un'opportunità che potrebbe fornire informazioni complementari, ovvero non influenzate dalla salienza numerica – identica nelle due condizioni che si verrebbero a creare – ma, eventualmente, dalla sola modalità di accesso alla LNM.

Bisogna aggiungere, infine, che l'ipotesi da noi postulata – relativa alla gradualità dell'effetto di ri-orientamento dell'attenzione spaziale, che sarebbe proporzionale all'effettiva rilevanza, in termini quantitativi, della stimolazione numerica - rimane altamente speculativa. Le due condizioni somministrate nella presente ricerca non sono certo sufficienti per accettare tale tesi senza riserve. Il motivo è semplice: abbiamo usato due condizioni relativamente estreme, con una bassa e un'alta salienza degli stimoli numerici, e non possiamo, di conseguenza, fare inferenze sugli stati di stimolazione intermedi. Suggeriamo, tuttavia, un modo relativamente agile per risolvere il problema: è possibile creare tali condizioni intermedie manipolando il numero di numeri distrattori sparsi sulla superficie del test di cancellazione, ad esempio. Non è scontato che tale modifica porti effettivamente ad un diverso effetto di dislocazione nello spazio, proporzionale alla quantità di numeri distrattori, ma una verifica empirica della nostra ipotesi può, secondo noi, essere ottenuta solo in questo modo.

Bibliografia

- Andres, M., Davare, M., Pesenti, M., Olivier, E. & Seron, X. (2004). Number magnitude and grip aperture interaction. *Neuroreport*, 15, 2773–2777.
- Antell, S.E. & Keating, D.P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Dev*, 54, 695-701.
- Bächtold, D., Baumüller, M. & Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36, 731-735.
- Benton, A. (1961). The fiction of the “Gerstmann syndrome”. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 24, 176-181.
- Berch, B.D., Foley, J.E., Hill, J.R. & Ryan, McD.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. & Zorzi, M. (2010). Numerical estimation in preschoolers. *Dev Psychol*, 46, 545-551.
- Bisiach, E., Cappa, S.F. & Vallar, G. (1983). *Guida all’esame neuropsicologico*. Milano: Raffaello Cortina.
- Bisiach, E. & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, 14, 129-133.
- Bisiach, E., & Vallar, G. (1988). Hemineglect in humans. In Boller, F. & Grafman, J. (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 1, pp. 195-222). Amsterdam: Elsevier.

Bisiach, E., & Vallar, G. (2000). Unilateral neglect in humans. In Boller, F., Grafman, J. & Rizzolatti, G. (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (2 ed., Vol. 1, pp. 459-502). Amsterdam: Elsevier Science, B.V.

Bonato, M., Priftis, K., Marenzi, R. & Zorzi, M. (2008). Modulation of hemispatial neglect by directional and numerical cues in the line bisection task. *Neuropsychologia*, 46, 423–433.

Brannon, E.M., Wusthoff, C.J., Gallistel, C.R. & Gibbon, J. (2001). Numerical subtraction in the pigeon: Evidence for a linear subjective number scale. *Psychological Science*, 12, 238–243.

Buckley, P.B. & Gillman, C.B. (1974). Comparisons of digits and dot patterns. *J Exp Psychol*, 103, 1131-1136.

Clearfield, M.W. & Mix, K.S. (1999). Number Versus Contour Length in Infants' Discrimination of Small Visual Sets. *Psychological Science*, 10, 408-411.

Daini, R., Angelelli, P., Antonucci, G., Cappa, S.F. & Vallar, G. (2001). Illusions of length in spatial unilateral neglect. *Cortex*, 37, 710–714.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.

Dehaene, S., Bossini, S. & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *J Exp Psychol Gen*, 122, 371–396.

Dehaene, S. & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33, 219-250.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284, 970-974.

Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber-Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends Cogn Sci*, 7, 145-147.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cogn Neuropsychol*, 20, 487-506.

de Hevia, M.D., Girelli, L. & Vallar, G. (2006). Numbers and space: a cognitive illusion? *Experimental Brain Research*, 168, 254–264.

de Hevia, M.D., Vallar, G. & Girelli, L. (2008a). Visualizing numbers in the mind's eye: the role of visuo-spatial processes in numerical abilities. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 1361-1372.

de Hevia, M.D., Girelli, L., Bricolo, E. & Vallar, G. (2008b). The representational space of numerical magnitude: illusions of length. *Q J Exp Psychol*, 61, 1496-1514.

Di Luca, S., Granà, A., Semenza, C., Seron, X. & Pesenti, M. (2006). Finger-digit compatibility in Arabic numeral processing. *Q J Exp Psychol*, 59, 1648-1663.

Di Luca, S. & Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Exp Brain Res*, 185, 27-39.

Di Luca, S., Pesenti, M., Vallar, G. & Girelli, L. (in preparazione). Using numerical information to induce visuo/spatial shiftings during cancellation tasks.

Doricchi, F., Guariglia, P., Gasparini, M. & Tomaiuolo, F. (2005). Dissociation between physical and mental number line bisection in right hemisphere brain damage. *Nature Neuroscience*, 8, 1663–1666.

Feigenson, L., Dehaene, S. & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8, 307-314.

Fierro, B., Brighina, F., Olivieri, M., Piazza, A., La Bua, V., Buffa, D. & Bisiach, E. (2000). Contralateral neglect induced by right posterior parietal rTMS in healthy subjects. *Neuroreport*, 11, 1519-1521.

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

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

Fischer, M.H., Warlop, N., Hill, R.L. & Fias, W. (2004). Oculomotor bias induced by number perception. *Experimental Psychology*, 51, 91–97.

Flas, W. (2001). Two routes for the processing of verbal numbers: evidence from the SNARC effect. *Psychological research*, 65, 250-259.

Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, 21, 252-256.

Gelman, R., Butterworth, B. (2005). Number and language: how are they related? *Trends in cognitive sciences*, 9, 6-10.

Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398–408.

Gevers, W., Reynvoet, B. & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87, B87–B95.

Gevers, W., Reynvoet, B. & Fias, W. (2004). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized: evidence from days of the week. *Cortex*, 40, 171–172.

Gevers, W., Lammertyn, J., Notebaert, W., Verguts, T. & Fias, W. (2006a). Automatic response activation of implicit spatial information: Evidence from the SNARC effect. *Acta Psychol*, 122, 221-33.

Gevers, W., Ratinckx, E., De Baene, W. & Fias, W. (2006b). Further evidence that the SNARC effect is processed along a dual-route architecture: Evidence from the lateralized readiness potential. *Exp Psychol*, 53, 58-68.

Gibbon, J. & Church, R.M. (1981). Time left: Linear versus logarithmic subjective time. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 7, 87–107.

Girelli, L. (2007). I disturbi dell'elaborazione dei numeri e del calcolo. In Vallar, G. & Papagno, C. (a cura di), *Manuale di neuropsicologia* (pag. 133-149). Bologna: il Mulino.

Göbel, S.M., Calabria, M., Farnè, A. & Rossetti, Y. (2006). Parietal rTMS distorts the mental number line: simulating 'spatial' neglect in healthy subjects. *Neuropsychologia*, 44, 860-868.

Gold, M., Adair, J.C., Jacobs, D.H. & Heilman, K.M. (1995). Right-left confusion in Gerstmann's syndrome: a model of body centered spatial orientation. *Cortex*, 31, 267-283.

Halligan, P.W., Fink, G.R., Marshall, J.C. & Vallar, G. (2003). Spatial cognition: evidence from visual neglect. *Trends in cognitive sciences*, 7, 125-133.

Hauser, M.D., Carey, S. & Hauser, L.B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proc Biol Sci*, 267, 829-833.

Henschen, S.E. (1919). Ueber sprach- musik- und rechen-. Mechanismen und ihre lokalisationen im grosshirn. *Zeitschrift fur die gesamte Neurologie und Psychiatrie*, 52, 273-298.

Hung, Y.-h., Hung, D.I., Tzeng, O.J.-L. & Wu, D.H. (2008). Flexible spatial mapping of different notations of numbers in Chinese readers. *Cognition*, 106, 1441-1450.

Ishihara, M., Jacquin-Courtois, S., Flory, V., Salemme, R., Imanaka, K. & Rossetti, Y. (2006). Interaction between space and number representations during motor preparation in manual aiming. *Neuropsychologia*, 44, 1009-1016.

Ito, Y. & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: evidence from the SNARC effect. *Mem Cognit*, 32, 662-673.

Kaplan, R.F., Verfaellie, M., Meadows, M.E., Caplan, L.R., Pessin, M.S. & DeWitt, L.D. (1991). Changing attentional demands in left hemispatial neglect. *Arch Neurol*, 48, 1263-1266.

Lorch, R.F. Jr & Myers, J.L. (1990). Regression analyses of repeated measures data in cognitive research. *J Exp Psychol*, 16, 149-57.

Marshall, J.C. & Halligan, P.W. (1988). Blindsight and insight in visuospatial neglect. *Nature*, 336, 766-767.

Marshall, J.C. & Halligan, P.W. (1989). When right goes left: an investigation of line bisection in a case of visual neglect. *Cortex*, 25, 503-515.

Mayer, E., Martory, M.D., Pegna, A.J., Landis, T., Delavelle, J. & Annoni, J.M. (1999). A pure case of Gerstmann syndrome with a subangular lesion. *Brain*, 122, 1107-1120.

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

Nuerk, H.C., Wood, G. & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect: the association between number magnitude and space is amodal. *Exp Psychol*, 52, 187-194.

Husain, M. (2008). Hemispatial neglect. In Goldenberg, G. & Miller, B.L. (Eds.), *Handbook of clinical neurology* (Vol. 88, pp. 359-372). Amsterdam: Elsevier, B. V.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

Opfer, J.E. (2003). "Analyzing the number-line task: a tutorial". Versione consultata il 16/12/2010. Disponibile on-line al sito: <http://www.psy.cmu.edu/~siegler/SiegOpfer03Tut.pdf>

Pia, L., Corazzino, L.L., Folegatti, A., Gindri, P. & Cauda, F. (2009). Mental number line disruption in a right-neglect patient after left-hemisphere stroke. *Brain Cogn*, 69, 81-88.

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

Perrone, G., de Hevia, M.D., Bricolo, E. & Girelli, L. (2010). Numbers can move our hands: a spatial representation effect in digits handwriting. *Exp Brain Res*, 205, 479-487.

Previtali, P., De Hevia, M.D. & Girelli, L. (2010). Placing order in space: the SNARC effect in serial learning. *Exp Brain Res*, 201, 599-605.

Priftis, K., Zorzi, M., Meneghello, F., Marenzi, R., & Umiltà, C. (2006). Explicit versus implicit processing of representational space in neglect: Dissociations in accessing the mental number line. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 680-688.

Rossetti, Y., Rode, G., Pisella, L., Farnè, A., Li, L., Boisson, D. & Perenin, M.T. (1998). Prism adaptation to rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature*, 395, 166-169.

Rossetti, Y., Jacquin-Courtois, S., Rode, G., Ota, H., Michel, C. & Boisson, D. (2004). Does action make the link between number and space representation? *Psychol Sci*, 15, 426-430.

Rusconi, E., Pinel, P., Dehaene, S. & Kleinschmidt, A. (2010). The enigma of Gerstmann's syndrome revisited: a telling tale of the vicissitudes of neuropsychology. *Brain*, 133, 320-332.

Santens, S. & Gevers, W. (2008). The SNARC effect does not imply a mental number line. *Cognition*, 108, 263-270.

Schwarz, W. & Müller, D. (2006). Spatial associations in number-related tasks: A comparison of manual and pedal responses. *Exp Psychol*, 53, 4-15.

Siegler, R.S. & Opfer, J.E. (2003). The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychol Sci*, 14, 237-243.

Simon, J.R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *J Exp Psychol*, 81, 174-176.

Sutton, S., Tueting, P., Zubin, J. & John, E.R. (1967). Information delivery and the sensory evoked potential. *Science*, 155, 1436-1439.

Temple, E. & Posner, M.I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95, 7836-7841.

Umiltà, C., Priftis, K. & Zorzi, M. (2009). The spatial representation of numbers: evidence from neglect and pseudoneglect. *Exp Brain Res*, 192, 561-569.

Vallar, G. (2000). The methodological foundations of human neuropsychology: studies in brain-damaged patients. In Boller, F., Grafman, J. & Rizzolatti, G. (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (2 ed., Vol. 1, pp. 305-344). Amsterdam: Elsevier.

Vallar, G. (2001). Extrapersonal visual unilateral spatial neglect and its neuroanatomy. *NeuroImage*, 14, S52-S58.

Vallar, G. (2007a). Introduzione alla neuropsicologia. In Vallar, G. & Papagno, C. (a cura di), *Manuale di neuropsicologia* (pag. 9-20). Bologna: il Mulino.

Vallar, G. (2007b). Spatial neglect, Balint-Holmes' and Gerstmann's syndrome, and other spatial disorders. *CNS Spectrum*, 12, 527-536.

Vallar, G. (2007c). I disturbi visuo-spaziali. In Vallar, G. & Papagno, C. (a cura di), *Manuale di neuropsicologia* (pag. 269-302). Bologna: il Mulino.

van Dijck, J.P., Gevers, W. & Fias, W. (2009). Numbers are associated with different types of spatial information depending on the task. *Cognition*, 113, 248-253.

Verdon, V., Schwartz, S., Lovblad, K. O., Hauert, C. A. & Vuilleumier, P. (2010). Neuroanatomy of hemispatial neglect and its functional components: a study using voxel-based lesion-symptom mapping. *Brain*, 133, 880-894.

Vuilleumier, P., Ortigue, S. & Brugger, P. (2004). The number space and neglect. *Cortex*, 40, 399-410.

Xu, F., Spelke, E.S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74, B1-B11.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in cognitive sciences*, 7, 483-488.

Wilson, B., Cockburn, J. & Halligan, P.W. (1987). *Behavioural Inattention Test*. Thames Valley Test Company, Titchfield, Hants.

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.

Zebian, S. (2005). Linkages between Number Concepts, Spatial Thinking, and Directionality of Writing: The SNARC Effect and the REVERSE SNARC Effect in English and Arabic Monoliterates, Biliterates, and Illiterate Arabic Speakers. *Journal of Cognition and Culture*, 5, 165-190.

Zorzi, M., Priftis, K. & Umiltà, C. (2002). Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417, 138-139.

Zorzi, M., Priftis, K., Meneghello, F., Marenzi, R. & Umiltà, C. (2006). The spatial representation of numerical and non-numerical sequences: evidence from neglect. *Neuropsychologia*, 44, 1061–1067.