

## **Lo sviluppo della rappresentazione dei numeri**

Daniela Lucangeli <sup>1</sup>, Marco Zorzi <sup>2</sup>, Silvia Cabrele <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione, Università di Padova*

<sup>2</sup> *Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova*

### **RIASSUNTO**

Le ricerche sulla cognizione numerica negli adulti hanno dato importanti indicazioni riguardo alla natura e al formato della rappresentazione mentale dei numeri. In questo studio viene indagato lo sviluppo delle rappresentazioni numeriche in bambini di 5, 6 e 8 anni utilizzando un compito di confronto di grandezza con numeri arabi. I risultati mostrano una modulazione dell'effetto distanza e dell'effetto grandezza in funzione dall'età dei soggetti, suggerendo un'evoluzione nell'*esattezza* della rappresentazione dei numeri.

### **NOTA DEGLI AUTORI**

Questo studio è stato finanziato dalla Commissione Europea (Marie Curie Network “Numeracy and Brain Development”; MRTN-CT-2003-504927 NUMBRA) e dal MIUR (PRIN 2004). La corrispondenza riguardante questo articolo va inviata a Prof. Marco Zorzi, Dipartimento di Psicologia Generale, via Venezia 8, 35131 Padova (Italy), email: [marco.zorzi@unipd.it](mailto:marco.zorzi@unipd.it), web: <http://ccnl.psy.unipd.it>

## INTRODUZIONE

L'ipotesi che i numeri siano rappresentati nella mente in un formato visuo-spaziale, disposti su di una linea mentale spazialmente orientata, trova oggi un largo consenso tra i ricercatori che si occupano di cognizione numerica (per delle recenti rassegne, si vedano Zorzi, 2004 e Hubbard, Piazza, Pinel e Dehaene, 2005). L'idea di una stretta relazione tra spazio e numeri può essere fatta risalire alle ricerche di Galton (1880), con le prime descrizioni introspettive di una "*linea dei numeri*", e a quelle di Gerstmann (1924) per quanto riguarda gli aspetti anatomo-funzionali di questa relazione. Inoltre, abilità numeriche fondamentali, come la stima di numerosità e la capacità di giudicare il più grande tra due numeri, si conformano alle leggi della psicofisica che governano l'elaborazione di varie dimensioni sensoriali come il peso, la lunghezza, la luminosità, ecc. (Dehaene, 2003, per una rassegna). Gallistel e Gelman (2000) descrivono la rappresentazione mentale dei numeri come una linea, nella quale a ciascun numero corrisponde un segmento la cui lunghezza dipende dal valore numerico rappresentato.

L'orientamento spaziale della linea numerica mentale, pur se riportata come esperienza introspettiva solo da una minoranza di adulti scolarizzati (circa il 14%; Seron, Presenti, Noel, Deloche e Cornet, 1992), è suggerito da numerose evidenze sperimentali. Lo studio di Dehaene, Bossini e Giraux (1993) è stato il primo a dimostrare che i soggetti rispondono più rapidamente a numeri piccoli usando la mano sinistra, mentre i tempi di reazione sono più veloci con la mano destra in risposta a numeri grandi. Questo fenomeno, noto come effetto SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes), è spiegato nei termini di un'associazione tra spazio e numeri che influenza le risposte manuali. Se i numeri più piccoli sono rappresentati a sinistra, dovrebbe essere più facile e immediato associarli ad un movimento della mano sinistra, mentre accadrà l'opposto con i numeri più grandi. Una prova ancora più forte dell'orientamento spaziale della linea numerica mentale viene dallo studio di pazienti con neglect, un disturbo di attenzione per lo spazio di sinistra in seguito a una lesione cerebrale al lobo parietale destro (Zorzi, Priftis e Umiltà, 2002). Gli errori commessi dai pazienti in un compito di bisezione numerica (individuare il numero che si trova nel mezzo fra due numeri pronunciati a voce alta dall'esaminatore) sono molto simili a quelli commessi nella bisezione di una linea tracciata su un foglio. La linea numerica mentale ha quindi delle caratteristiche spaziali molto simili, se non identiche, a quelle di una linea reale (si veda anche Priftis, Zorzi, Meneghello, Marenzi e Umiltà, in corso di stampa).

Gli aspetti evolutivi della linea dei numeri sono ancora poco studiati. Berch, Foley, Hill e Ryan (1999) hanno condotto una ricerca sull'effetto SNARC con bambini di sette anni. I loro risultati non

hanno rivelato la presenza dell'effetto SNARC prima dei nove anni di età. Gli autori hanno suggerito che questo fatto non deve essere interpretato come una prova della non esistenza della linea dei numeri prima dei nove anni, in quanto i tempi di reazione lenti dei bambini piccoli e la grande variabilità tra le diverse prove di ciascun soggetto e tra le prove di soggetti diversi potrebbe aver oscurato l'associazione tra numeri e spazio. Ciò potrebbe anche essere attribuito alla difficile associazione tra la grandezza ed una risposta arbitraria nei bambini piccoli, come ha proposto Kail (1991) nel suo studio sullo sviluppo dei processi automatici.

Schaffer, Eggleston e Scott (1974) e Siegler e Robinson (1982) ritengono che lo sviluppo della linea dei numeri avvenga attraverso un processo orientato ad una maggiore differenziazione tra i numeri stessi. Secondo Siegler e Robinson i bambini imparerebbero a differenziare prima i numeri piccoli da quelli grandi, per esempio, i numeri inferiori a 5 da quelli maggiori di 5, per poi arrivare, in un secondo stadio, ad una più dettagliata differenziazione tra i numeri piccoli (da 0 a 5), seguita da una maggiore differenziazione tra i numeri grandi (da 6 a 9).

Due fenomeni sperimentali di particolare importanza teorica per i modelli della rappresentazione dei numeri sono l'effetto della distanza e l'effetto della grandezza numerica, perché considerati già dai primi studi come una prova dell'esistenza di una linea numerica mentale. L'effetto distanza, descritto per la prima volta da Moyer e Landauer (1967), indica che i tempi di reazione in un confronto di grandezza numerica aumentano quando la distanza tra i due numeri diminuisce. L'effetto distanza è presente anche nel confronto di grandezza con numeri a più cifre (Dehaene, Dupoux e Mehler, 1990; Reynvoet e Brysbaert, 1999), nei giudizi di numerosità su insiemi di punti (Buckley e Gillman, 1974) e nella comparazione della grandezza di oggetti (Moyer, 1973). Nei bambini piccoli l'effetto distanza è stato trovato presentando insiemi di punti (Brannon, 2002; Xu e Spelke, 2000). Sekuler e Mierkiewicz (1977) trovarono l'effetto distanza in un compito di confronto somministrato a bambini della scuola materna. I loro dati mostrano che la pendenza della funzione che descrive la relazione tra i tempi di reazione e la distanza tra gli stimoli decresce con l'aumentare dell'età. Questo significa che l'effetto distanza tende ad attenuarsi con l'aumentare dell'età (Duncan e McFarland, 1980; Girelli, Lucangeli e Butterworth, 2000).

L'effetto grandezza si riferisce invece al fatto che, per una distanza numerica costante, la difficoltà a discriminare due numeri aumenta all'aumentare della loro grandezza (Buckley e Gillman, 1974; Moyer e Landauer, 1967). Ciò significa che è più facile distinguere il numero 1 dal numero 2 piuttosto che l'8 dal 9 o il 93 dal 94. L'effetto grandezza si trova anche nel confronto di numerosità tra due insiemi di punti (Van Oefelen e Vos, 1982). Tuttavia, l'effetto distanza e l'effetto grandezza si influenzano l'un l'altro: la loro interazione può essere vista come una variante della legge di Weber-Fechner (Dehaene, 2003; Gallistel e Gelman, 2000; Whalen, Gallistel e

Gelman 1999). Questa legge stabilisce che la possibilità di discriminare due quantità (peso, luminosità, dimensione, ecc) dipende dalla differenza tra le due quantità rapportata alla loro grandezza. In altre parole, la capacità di distinguere due quantità è costante quando la differenza tra le due quantità è proporzionale alla grandezza delle quantità stesse. Come avviene in psicofisica nella comparazione di varie dimensioni dello stimolo, in un compito di confronto numerico la miglior descrizione dei tempi di reazione è fornita da una funzione logaritmica che esprime la relazione tra la distanza tra i due numeri rapportata alla loro grandezza.

## **STUDIO SPERIMENTALE**

Lo studio utilizza un compito di confronto di numeri per indagare se l'effetto distanza e l'effetto grandezza sono influenzati dalla variabile età, ricavando quindi maggiori informazioni sul modo in cui i numeri vengono rappresentati nella memoria dei bambini e sul modo in cui questa rappresentazione si sviluppa durante i primi anni della scuola elementare. La presenza dell'effetto distanza può darci utili informazioni sulla relazione ordinale tra numeri e sulla capacità di discriminazione numerica. La presenza dell'effetto grandezza e la sua variazione rispetto all'età possono, invece, aiutarci a comprendere l'*esattezza* delle rappresentazioni numeriche e il modo in cui si sviluppa la linea dei numeri.

## **METODO**

Soggetti. Tutti i partecipanti sono bambini che frequentano la scuola materna o la scuola elementare. Venti bambini frequentanti l'ultimo anno della scuola materna (10 femmine e 10 maschi di 5 anni), ventuno bambini frequentanti il primo anno della scuola elementare (8 femmine e 13 maschi di 6 anni) e venti bambini frequentanti il terzo anno della scuola elementare (9 femmine e 11 maschi di 8 anni) hanno partecipato a questo esperimento come volontari. Il compito di confronto si è rivelato troppo difficile per i bambini di 5 anni. Solo 3 di loro sono stati capaci di comprendere e di eseguire il compito.

Materiali. Gli stimoli appaiono su uno schermo LCD a colori (14,1 pollici). I tempi di reazione sono stati misurati attraverso la pressione del pulsante destro o sinistro di una tastiera (response box modello 200A) connessa alla porta seriale di un laptop Toshiba (Pentium 3 a 500 Mhz).

Stimoli e procedura. Gli stimoli consistono in numeri arabi dall'1 al 9. In ogni prova appaiono simultaneamente sullo schermo due diversi numeri. Ogni possibile combinazione di numeri viene presentata due volte scambiando le posizioni dei due numeri (es. '3 9' e '9 3'). In totale le prove sono 72. Gli stimoli vengono proiettati al centro dello schermo. Ogni numero misura 9 millimetri di altezza e 6 millimetri di larghezza. I due numeri sono separati tra loro da una distanza pari a 3.5 centimetri. Ciascun soggetto deve completare 3 blocchi di 72 prove. Le istruzioni per il primo e il terzo blocco differiscono dalle istruzioni per il secondo. Metà dei soggetti deve premere, nel primo e nel terzo blocco di prove, il tasto destro o sinistro della tastiera corrispondente al lato dello schermo in cui appare il numero più grande. Nel secondo blocco, invece, i soggetti devono premere il pulsante destro o sinistro della tastiera corrispondente al lato dello schermo in cui appare il numero più piccolo. L'altra metà dei soggetti, al contrario, deve scegliere il numero più piccolo nel primo e nel terzo blocco di prove e il più grande nel secondo blocco. Gli stimoli rimangono proiettati sullo schermo finché la risposta non viene registrata. Prima di iniziare ognuno dei tre blocchi di prove, i soggetti vengono sottoposti a 5 prove di allenamento per familiarizzare con gli strumenti sperimentali e per verificare la comprensione delle istruzioni impartite.

Prima dell'inizio degli esperimenti è stato svolto un compito di controllo con il gruppo di 5 e quello di 6 anni per testare la loro conoscenza dei numeri arabi. Tale compito consiste nella presentazione in ordine casuale di 9 cartoncini in cui sono stati scritti i numeri arabi (dall'1 al 9, come nell'esperimento) che i soggetti devono leggere ad alta voce.

## RISULTATI

La percentuale maggiore di errori è stata commessa dai bambini di 5 anni (18%). La quantità di risposte sbagliate dei soggetti di 6 e di 8 anni corrisponde rispettivamente al 12% e al 9%. È importante notare che solo 3 soggetti del gruppo di 5 anni sono stati in grado di svolgere l'esperimento, pertanto i risultati di questo gruppo dovrebbero essere considerati con prudenza.

### Effetto distanza

Per studiare come la distanza tra i due stimoli influisce sui tempi di reazione (TR), è stata svolta una analisi della regressione per ciascun soggetto nei vari gruppi di età con la distanza come predittore e il tempo di reazione come variabile dipendente (vedi fig. 1). Questa procedura è raccomandata da Lorch e Myers (1993) per l'analisi della regressione su dati a misure ripetute. Così facendo è stata trovata una pendenza e una intercetta per ogni gruppo di età. Una ANOVA con l'età come variabile indipendente e l'intercetta come variabile dipendente rivela un significativo effetto dell'età,

$F(2,41)=22.37, p<.000$ . I confronti pianificati mostrano una significativa differenza tra i 5 e i 6 anni,  $F(1,41)=6.07, p<.05$ , e tra i 6 e gli 8 anni,  $F(1,41)=29.35, p<.000$ . Il valore medio per le intercette è 2279.62, 1774.34, e 1211.78, rispettivamente per il gruppo di 5 anni, 6 anni e 8 anni.

Una ANOVA con l'età come variabile indipendente e la pendenza come variabile dipendente rivela un significativo effetto dell'età,  $F(2,41)=12.13, p<.000$ . I confronti pianificati mostrano una significativa differenza tra il gruppo dei 5 e il gruppo dei 6 anni,  $F(1,41)=6.06, p<.05$ , come tra il gruppo di 6 e 8 anni,  $F(1,41)=12.25, p<.005$ . I valori medi per le pendenze sono  $-87.83, -58.47$  e  $-37.34$  rispettivamente per il gruppo di 5 anni, 6 anni e 8 anni di età.

#### FIGURA 1 CIRCA QUI

##### Effetto grandezza

Un primo modo di esaminare questo effetto è di osservare la variazione dei tempi di reazione quando la grandezza numerica aumenta mantenendo le distanze fisse. La figura 2 mostra tale variazione per ciascun gruppo e per ogni possibile distanza.

#### FIGURA 2 CIRCA QUI

Tuttavia, il modo più appropriato di osservare l'influenza della grandezza degli stimoli sui tempi di reazione è quello di considerare l'interazione tra effetto distanza ed effetto grandezza. Un modo per osservare l'interazione tra la grandezza degli stimoli e la loro distanza è quello di utilizzare una funzione logaritmica che esprime il rapporto tra la distanza e la grandezza totale (valore da qui in poi indicato con  $W$ ), dove  $L$  indica il numero più grande e  $S$  il numero più piccolo della coppia :

$$W = \log \frac{L - S}{L + S}$$

E' stata eseguita un'analisi della regressione per ciascun gruppo di età sulle mediane dei tempi di reazione di ogni possibile combinazione degli stimoli usando  $W$  come predittore. La regressione è significativa per il gruppo di 5 anni,  $t(34)=23.08, p<.000, R\text{-quadrato} = 0.63$ , per il gruppo di 6 anni,  $t(34) = 47.11, p<.000, R\text{-quadrato} = 0.81$ , e per il gruppo di 8 anni,  $t(34)=29.94, p<.000, R\text{-quadrato} = 0.52$ . Inoltre, è stata eseguita l'analisi della regressione per ogni soggetto con  $W$  come predittore e il tempo di reazione come variabile dipendente. Utilizzando l'intercetta media e la pendenza media, l'equazione della regressione risulta la seguente:

$RT = 1663 - 611*W$ , per il gruppo di 5 anni;

$RT = 1327 - 480*W$ , per il gruppo di 6 anni;

$RT = 932 - 284*W$ , e per il gruppo di 8 anni.

Una ANOVA con l'età come variabile indipendente sulle pendenze mostra un significativo effetto dell'età,  $F(2,41)=11.63$ ,  $p<.0001$ . I confronti pianificati mostrano solo una differenza significativa tra il gruppo di 6 anni e quello di 8,  $F(1,41)=17.03$ ,  $p<.0005$ .

## DISCUSSIONE

Una prima analisi della regressione mostra un effetto distanza. All'aumentare della distanza tra i due stimoli il tempo di reazione diminuisce. Questo effetto è presente in tutte le età, ma sono state trovate differenze tra i diversi gruppi di età. La differenza significativa tra le intercette dimostra che i tempi di reazione in generale diminuiscono all'aumentare dell'età. La differenza significativa tra le pendenze medie dei diversi gruppi mostra invece che l'influenza della distanza tra gli stimoli è maggiore per i gruppi più giovani. Sebbene l'effetto distanza sia presente anche nel gruppo di 8 anni, l'aumento dei tempi di reazione è meno accentuato nei bambini più grandi.

La figura 2 mostra chiaramente un aumento dei tempi di reazione all'aumentare della grandezza degli stimoli. Questo indica la presenza dell'effetto grandezza: è più difficile per i soggetti distinguere gli stimoli più grandi. Questo effetto grandezza è presente in ognuno dei tre gruppi di età, ma è più evidente nel gruppo più giovane. L'influenza della grandezza degli stimoli sulla distanza viene dimostrata nell'analisi eseguita utilizzando il valore  $W$  che esprime il logaritmo del rapporto tra distanza e grandezza dei numeri confrontati. L'analisi della regressione mostra che il valore  $W$  è un buon predittore per la variazione dei tempi di reazione. E' stata trovata anche una significativa differenza tra le pendenze delle diverse età: l'effetto della grandezza degli stimoli decresce quando l'età aumenta.

## DISCUSSIONE GENERALE

I risultati di questo studio forniscono informazioni importanti sul modo in cui la rappresentazione dei numeri si manifesta nei bambini durante diversi stadi di sviluppo. Il compito di confronto mostra un generale aumento dei tempi di reazione con il decrescere dell'età. I bambini più piccoli impiegano più tempo a comparare i numeri. Rubistein, Henik, Berger e Shahar-Shalev (2002) nel

loro recente studio sostengono che il valore numerico dei numeri arabi viene elaborato più velocemente con l'aumentare dell'età.

Per eseguire il compito di confronto i soggetti devono servirsi del significato dei numeri perché la decisione che devono prendere riguarda il valore numerico. Una prima osservazione è che solo tre soggetti del gruppo di 5 anni sono stati in grado di completare il compito, nonostante il fatto che tutti sapessero riconoscere e denominare correttamente i numeri. I bambini di 5 anni sembrano non capire il significato di "più piccolo di" o "più grande di". Ciò che è stato osservato durante l'esecuzione del compito di confronto è che bambini di 5 anni premevano i pulsanti a caso. Alcuni di loro premevano alternativamente il tasto destro e il sinistro (sinistro-destro-sinistro-...), mentre altri premevano sempre lo stesso pulsante (il destro o il sinistro).

La presenza dell'effetto distanza dà credito ad una rappresentazione mentale nella forma di una linea dei numeri. Analogamente ai risultati di Sekuler e Mierkiewicz (1977), Duncan e McFarland (1980) e Girelli et al. (2000), la pendenza della funzione che descrive la relazione tra i tempi di reazione e la distanza tra i due stimoli decresce con l'aumentare dell'età. Una possibile spiegazione di questo è che le distanze tra le rappresentazioni mentali dei numeri sono più brevi nei bambini più piccoli, come se la linea dei numeri fosse più compressa. Un'altra spiegazione può essere che la rappresentazione è più "rumorosa" nei bambini più piccoli. Questo rende più ampia la diffusione dell'attivazione, in modo tale che è più difficile distinguere tra diversi numeri. Si noti che le due ipotesi possono anche essere combinate (Sekuler e Mierkiewicz, 1977).

E' stato inoltre riscontrato l'effetto grandezza per ogni gruppo di età. La distinzione tra i due stimoli diviene più difficile quando aumenta la grandezza degli stimoli. Il grado di influenza della grandezza sui tempi di reazione diminuisce con l'aumentare dell'età (vedi figura 2). L'aver trovato l'effetto grandezza porta una sfumatura alle precedenti spiegazioni sull'effetto distanza. A causa dell'aumento della difficoltà nella differenziazione tra numeri all'aumentare della grandezza dei numeri, è possibile sostenere che la compressione dei numeri (Dehaene, 2003) o la rumorosità della rappresentazione (Gallistel e Gelman, 2000) è maggiore nei numeri più grandi.

La presenza dell'effetto distanza e dell'effetto grandezza, in accordo con i risultati delle ricerche precedenti sia su soggetti adulti che su bambini, è compatibile con l'ipotesi di una rappresentazione mentale nella forma di una linea di numeri. Inoltre, il trend evolutivo va nella direzione di una diminuzione della "rumorosità" della rappresentazione all'aumentare dell'età, in altre parole la rappresentazione mentale sembra diventare più esatta quando i soggetti crescono. Quindi, la linea dei numeri si sviluppa attraverso un aumento della differenziazione dei numeri (Shaffer, Eggleston, Scott, 1974; Siegler e Robinson, 1982). Tuttavia non è possibile sostenere che questo avviene inizialmente discriminando i numeri più piccoli o più grandi di 5 e poi differenziando più

dettagliatamente i numeri piccoli e poi i grandi. Al contrario, dai risultati di questa ricerca sembra che la differenziazione, e quindi l'esattezza con cui la rappresentazione viene costruita, è graduale.

Gli sviluppi futuri di questa ricerca procederanno in due direzioni. In primo luogo, raccogliendo dati su bambini di 7, 9 e 10 anni sarà possibile completare la gamma delle età considerate e ottenere quindi una mappatura completa dello sviluppo delle rappresentazioni numeriche. In secondo luogo, è prevista una prosecuzione di questa ricerca con un disegno longitudinale per documentare i cambiamenti a livello dei singoli soggetti.

## **BIBLIOGRAFIA**

Berch, B.D., Foley, J.F., Hill, R.J., & Ryan, P.M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 286-308.

Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83, 223-240.

Brysbaert, M. (1995). Arabic number reading: on the nature of the numerical scale and the origin of phonological coding. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(4), 434-452.

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

Butterworth, B., Zorzi, M., Girelli, L., & Jonckheere, A.R. (2001). Storage and retrieval of addition facts: The role of number comparison. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A, 1005-1029.

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

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

Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolical effects in two-digits number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626-641.

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

Gallistel, C. R., & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition: from reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 59-65.

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

Gerstman, J. (1940). Syndrome of Finger Agnosia: Disorientation for right and left, agrafia and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398-408.

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

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

Koechlin, E., Naccache, L., Block, E., & Dehaene, S. (1999). Primed numbers: exploring the modularity of numerical representations with masked and unmasked semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1882-1905.

Lorch, R.F., & Myers, J.L. (1990). Regression analyses of repeated measures data in cognitive research. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1, 149-157.

Moyer, R. S. (1973). Comparing objects in memory: evidence suggesting an internal psychophysics. *Perception & Psychophysics*, 13, 180-184.

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

Priftis, K., Zorzi, M., Meneghello, F., Marenzi, R., & Umiltà, C. (in press). Explicit vs. implicit processing of representational space in neglect: dissociations in accessing the mental number line. *Journal of Cognitive Neuroscience*.

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

Sekuler, R., & Mierkiewicz, D. (1977). Children's judgements of numerical inequality. *Child Development*, *48*, 630-633.

Seron, X., Pesenti, M., Noël, M.-P., Deloche, G., & Cornet, J.-A. (1992). Images of numbers, or "When 98 is upper left and 6 sky blue", *Cognition*, *44*, 159-196

Schaffer, B., Eggleston, V. H., & Scott, J. L. (1974). Number development in young children. *Cognitive Development*, *6*, 357-379.

Siegler, R., & Robinson, M. (1982). Numerical understanding. In H. W. Reese & L. P. Lipsitt (Eds). *Advances in child development and behaviour*. (Vol. 16). New York: Academic Press.

Van Oefelen, M. P., & Vos, P. G. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception & Psychophysics*, *32*, 163-170.

Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Nonverbal counting in humans. *Psychological Science*, *10*(2), 130-137.

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

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

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

Zorzi, M., Stoianov, I., & Umiltà, C. (2004). Computational modeling of numerical cognition. In J. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition*. New York: Psychology Press.

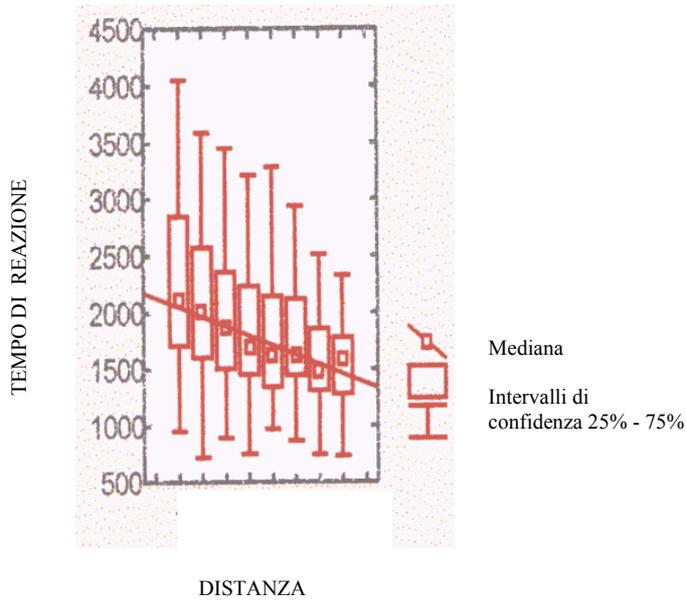
## **LEGENDA DELLE FIGURE**

Figura 1. Tempi di reazione in funzione della distanza per i tre gruppi di età. Il grafico mostra anche le risultanti rette di regressione.

Figura 2. Il grafico di ogni gruppo di età riporta i tempi di reazione (TR in ms) in funzione della grandezza numerica con distanze fisse.

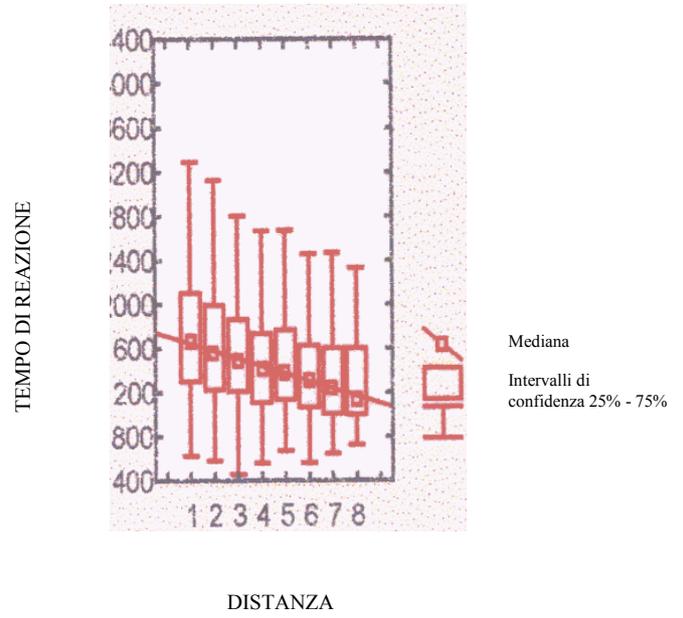
### 5 anni

Mediana = 2279,62 - 87,83 \* distanza



### 6 anni

Mediana = 1774,34 - 58,47 \* distanza



### 8 anni

Mediana TR = 1211,78 - 37,34 \* distanza

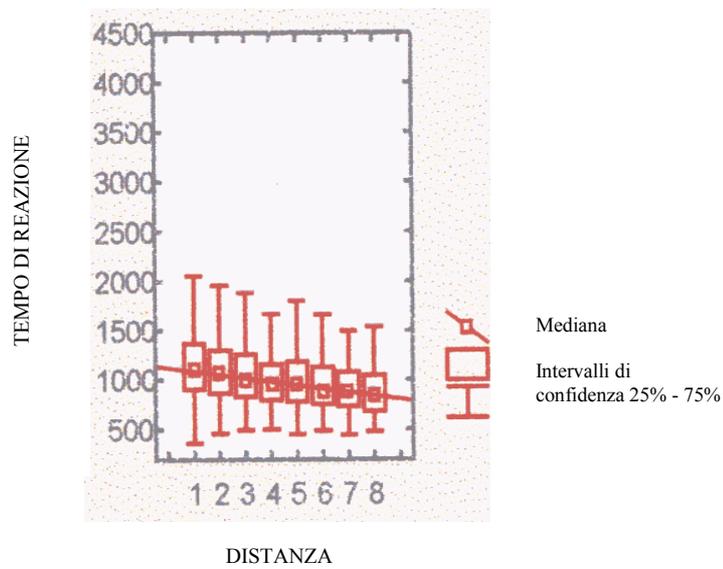
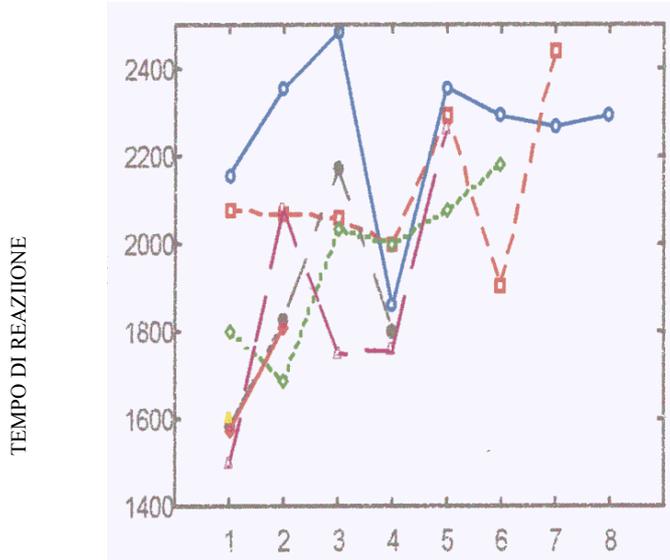


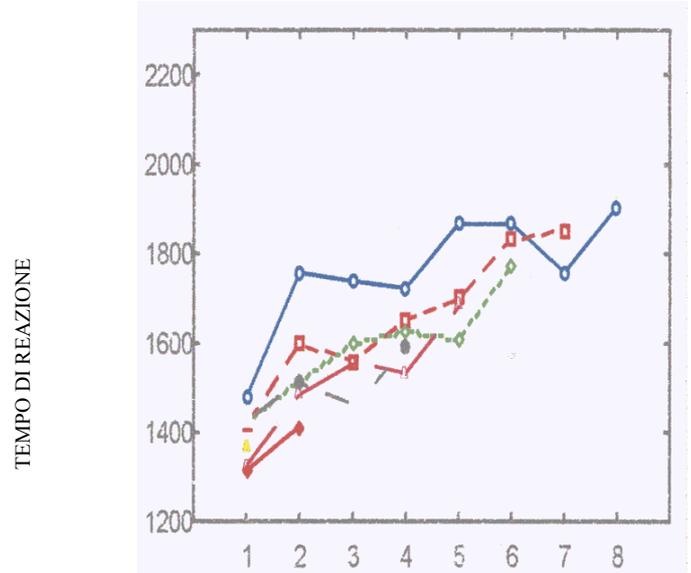
Figura 1

### 5 anni



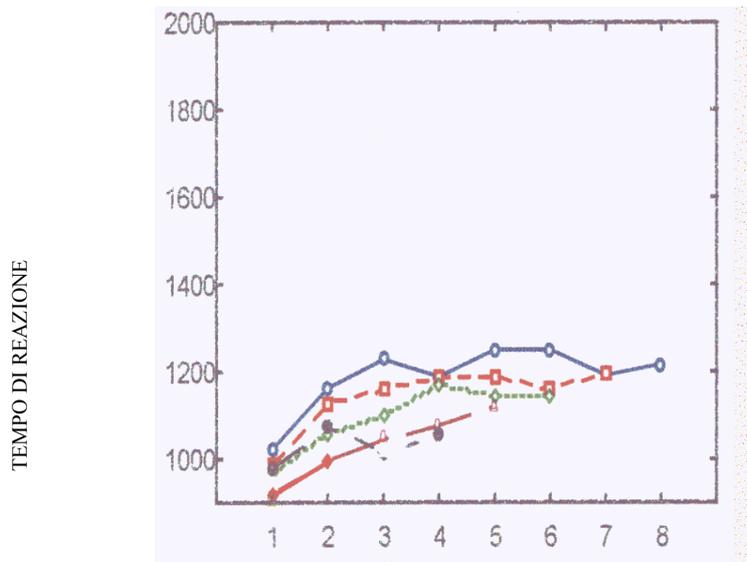
GRANDEZZA

### 6 anni



GRANDEZZA

### 8 anni



GRANDEZZA

**Figura 2**