

<http://ccnl.psy.unipd.it>



Basi cognitive e neurali della discalculia evolutiva

Marco Zorzi

Dipartimento di Psicologia Generale

Centro interdipartimentale di Scienze Cognitive



Università di Padova

I numeri: un dominio specifico nel sistema cognitivo

1. Gli animali, anche senza alcun addestramento, hanno la capacità di riconoscere la numerosità e di manipolarla internamente (*senso dei numeri*)
2. Capacità elementari simili a quelle animali si riscontrano a stadi precoci dello sviluppo umano, già a poche ore dalla nascita (e quindi molto prima dello sviluppo di capacità linguistiche e dell'inizio dell'educazione formale)
3. L'elaborazione dei numeri dipende da circuiti neurali specializzati, la cui disfunzione/lesione è correlata ai deficit di elaborazione numerica e di calcolo (discalculia)

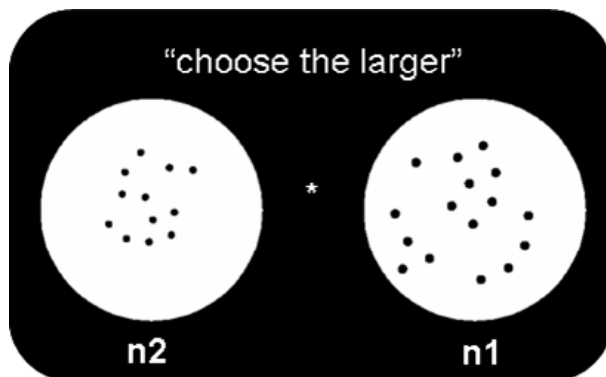
Discalculia evolutiva secondo il DSM-IV:

- abilità di calcolo o di ragionamento matematico significativamente al di sotto di quanto previsto in base all'età cronologica del soggetto, alla valutazione psicometrica dell'intelligenza e ad un'istruzione adeguata all'età;
- il disturbo interferisce in modo significativo con l'apprendimento scolastico o con le attività quotidiane che richiedano abilità di calcolo;
- in presenza di un deficit sensoriale, le difficoltà numeriche ed aritmetiche devono andare al di là di quelle solitamente associate al deficit sensoriale in questione.

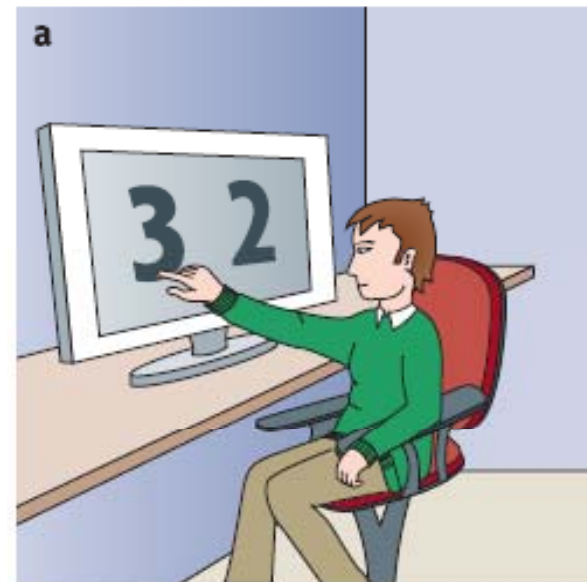
La messa a punto di procedure diagnostiche e di intervento efficaci (e precoci) richiede l'individuazione di disfunzioni a meccanismi neurocognitivi di base su cui poggia l'apprendimento di abilità matematiche (NB: in analogia alla ricerca sulla dislessia evolutiva)

Il confronto di quantità numeriche

- La capacità di confrontare due numeri per grandezza è una delle capacità numeriche fondamentali
- Due fenomeni sperimentali hanno particolare importanza teorica per i modelli della rappresentazione dei numeri:
 - **effetto distanza**
 - **effetto grandezza**



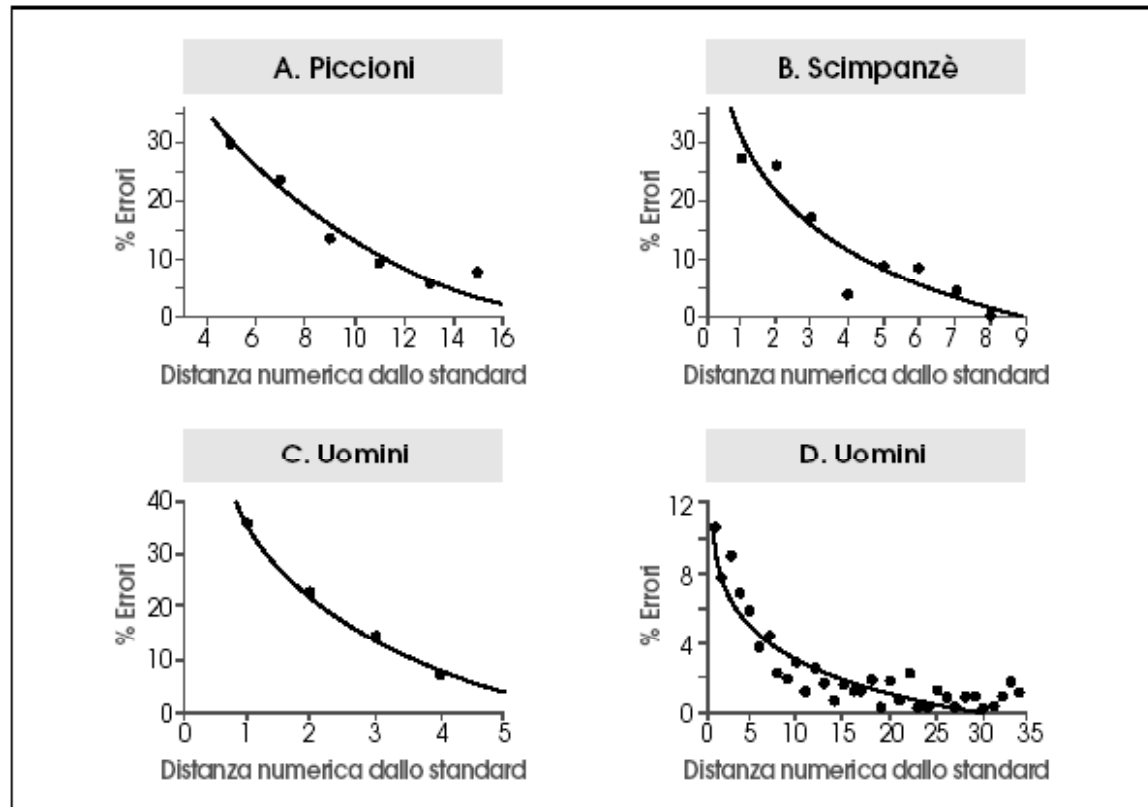
Confronto non-simbolico



Confronto simbolico (numeri Arabi)

L'effetto distanza

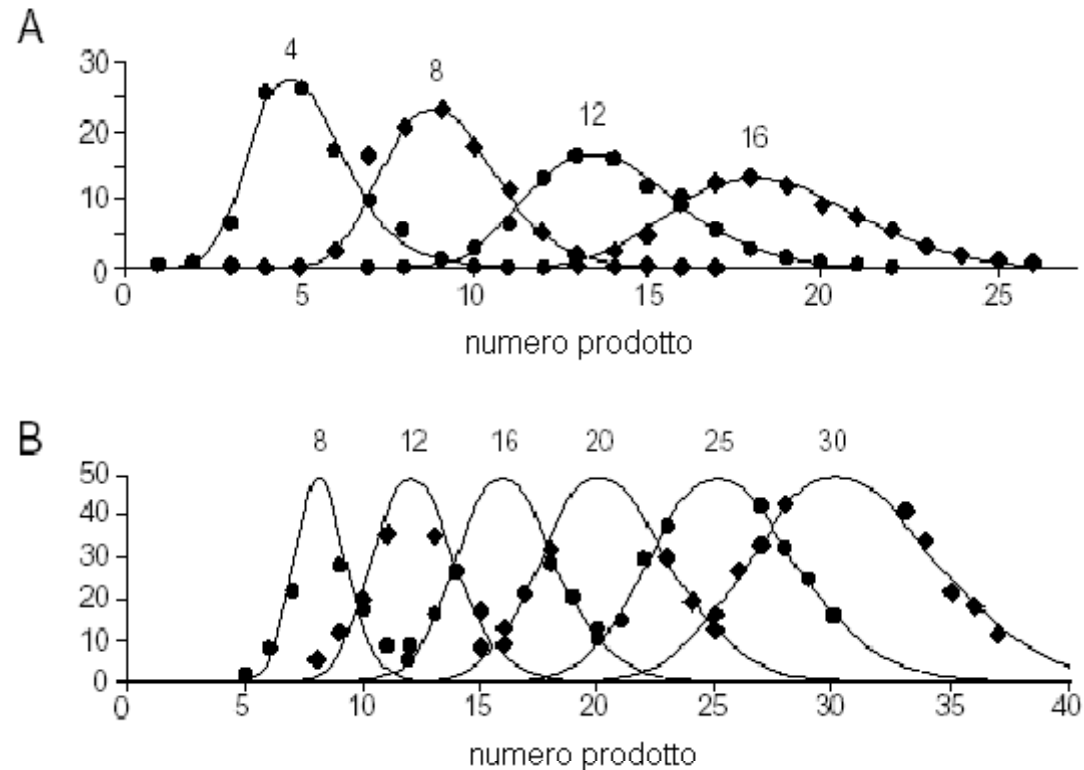
i tempi di reazione e gli errori in un confronto di grandezza numerica aumentano quando la distanza tra i due numeri diminuisce



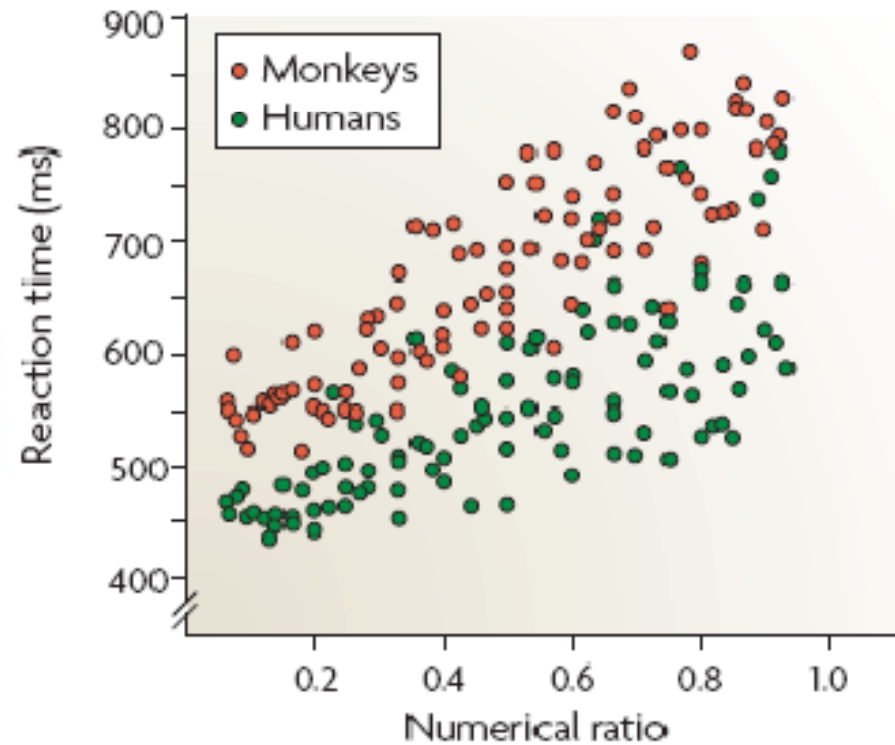
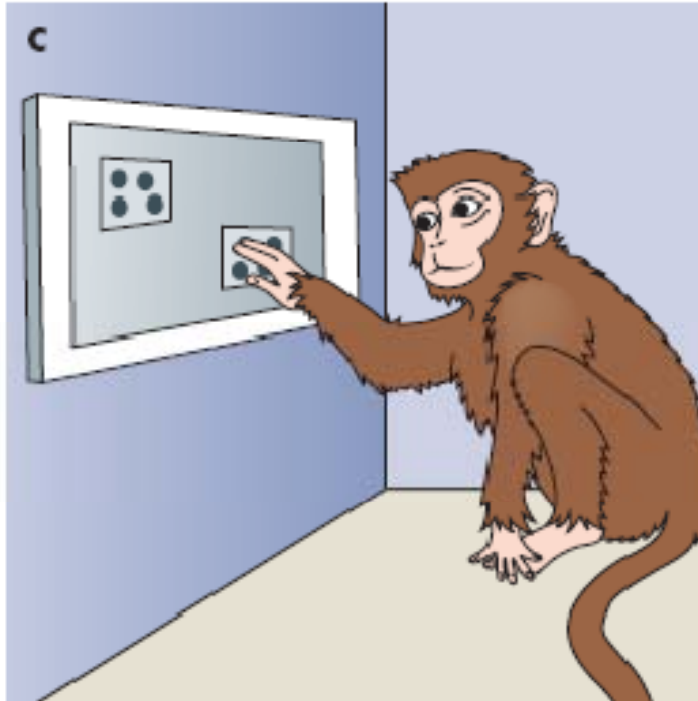
L'effetto distanza nell'uomo, nel piccione e nello scimpanzè. I piccioni (riquadro in alto a sinistra) dovevano paragonare il numero di beccate eseguite in una prova a un numero di beccate standard di 50. Gli scimpanzè (riquadro in alto a destra) dovevano scegliere il mucchietto con il minor numero di pezzetti di cioccolata. Gli uomini dovevano decidere se i punti di un insieme erano o no esattamente 12 (riquadro in basso a sinistra) oppure decidere se un numero arabo di due cifre era o no più grande di 65 (riquadro in basso a destra). In tutti i grafici si può notare che la percentuale di errori diminuisce all'aumentare della differenza fra i due numeri da confrontare.

L'effetto grandezza

per una distanza numerica costante, la difficoltà a discriminare due numeri aumenta all'aumentare della loro grandezza. E' più facile distinguere 1 da 2 piuttosto che 8 da 9.



L'effetto grandezza nell'uomo e nel ratto. Dovendo valutare a colpo d'occhio il numero di punti presenti su una superficie, la dispersione delle risposte fornite (*grafico in basso*) aumenta rapidamente con il crescere del numero di punti (qui da 8 a 30). La prestazione, per quanto ovviamente migliore di quella di un ratto che debba valutare il numero di volte che è necessario premere una leva per avere un compenso (*in alto*), segue un andamento analogo.



La somiglianza nella prestazione di scimmie ed umani suggerisce una continuità filogenetica nella rappresentazione della quantità numerica.

(Cantlon & Brannon, 2006, *Psych. Science*)

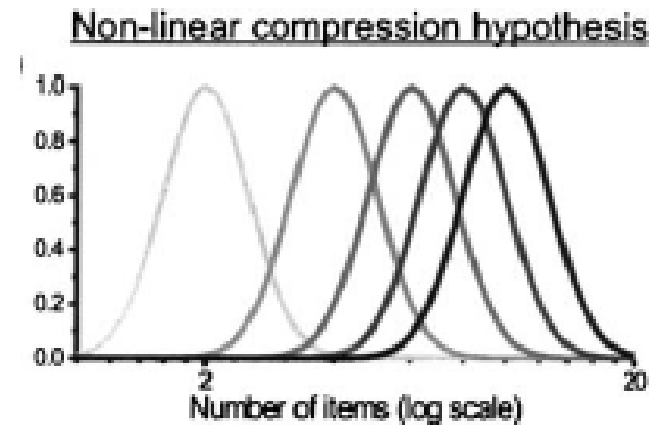
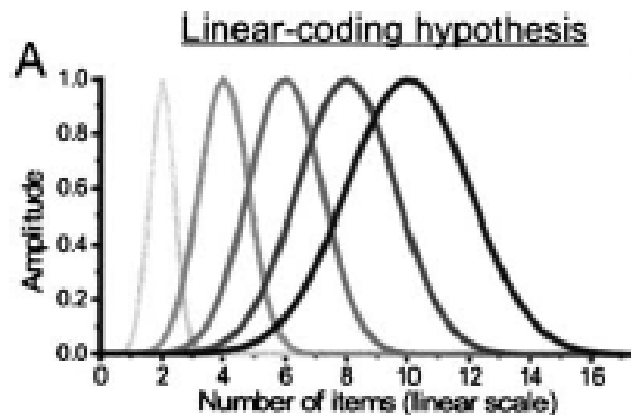
Modelli della rappresentazione della grandezza numerica

La linea numerica è **rumorosa**:

la discriminabilità tra due numeri diminuisce all'aumentare di N perchè il rumore aumenta in modo proporzionale (Gallistel & Gelman, 2000)

La linea numerica è **compressa**:

la distanza tra N e $N+1$ sulla linea diminuisce all'aumentare di N (Dehaene, 2003)

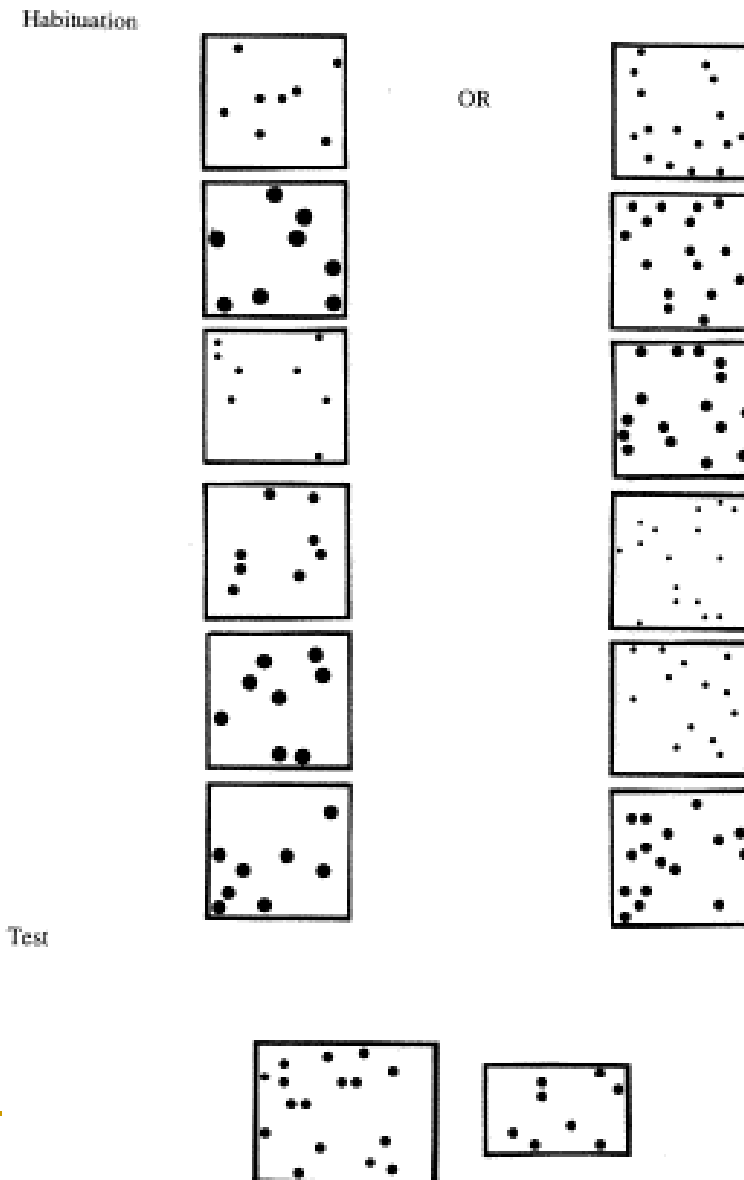


Rapporto numerico e discriminazione di numerosità

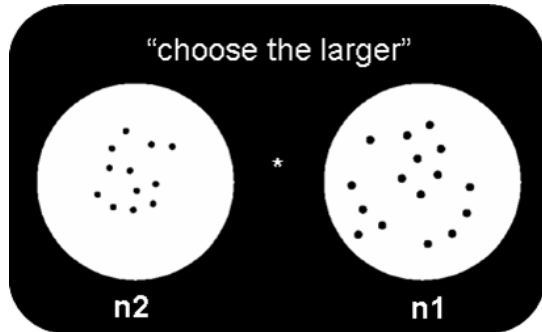
- Neonati discriminano tra insiemi se il rapporto numerico è di 1:3 (es: 6 vs. 18)
(Izard et al., 2009, *PNAS*)

- Bambini di 6 mesi discriminano se il rapporto è 1:2 (es: 8 vs 16)
(Xu & Spelke, 2000, *Cognition*)

- Bambini di 9 mesi discriminano se il rapporto è 1:3 (es. 8 vs. 12)
(Lipton & Spelke, 2003, *Cognition*)



Sviluppo tipico dell'*acuità numerica*

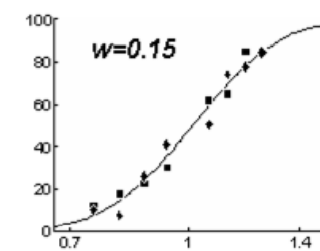
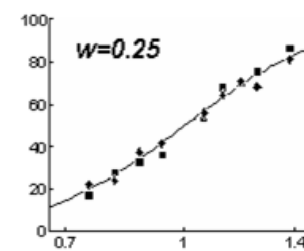
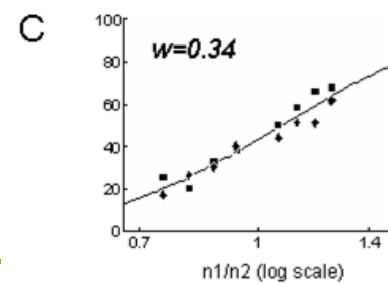
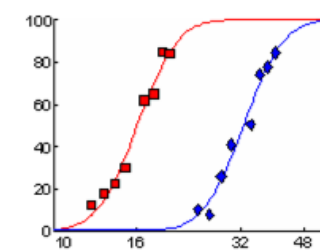
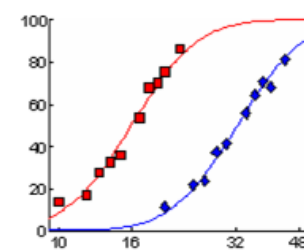
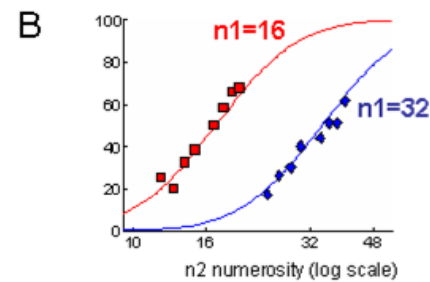
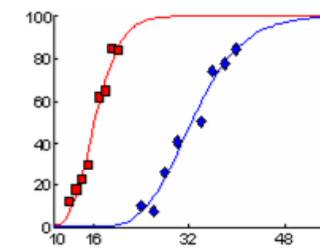
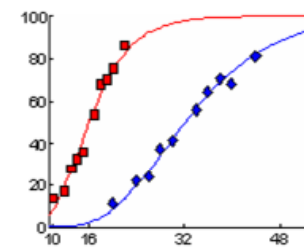
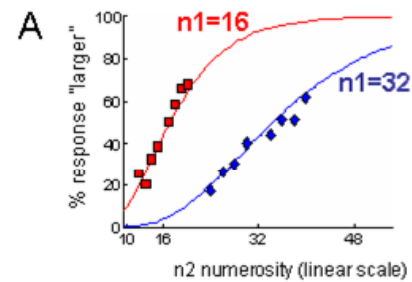


La frazione di Weber (w) nel confronto di numerosità

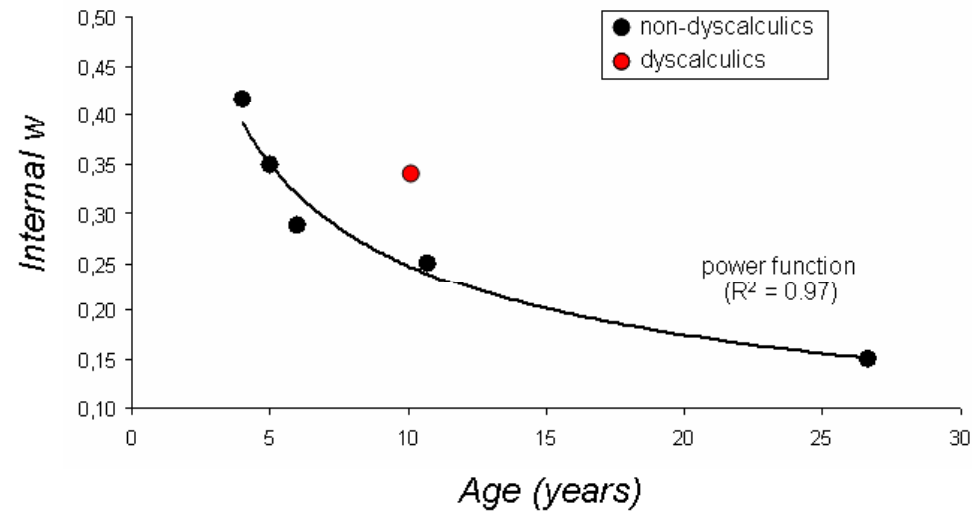
Preschoolers

10 years-old

Adults

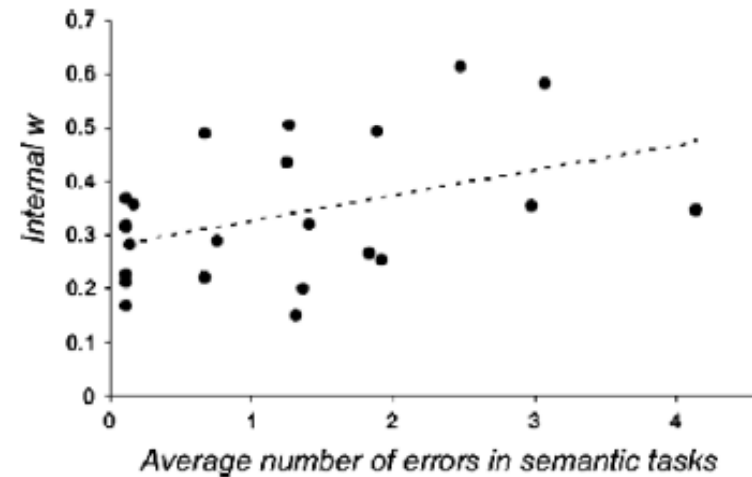
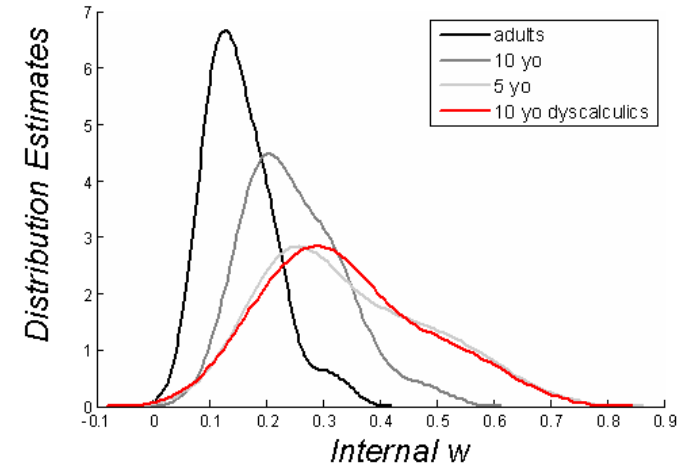


Deficit di *acuità numerica* nella discalculia evolutiva

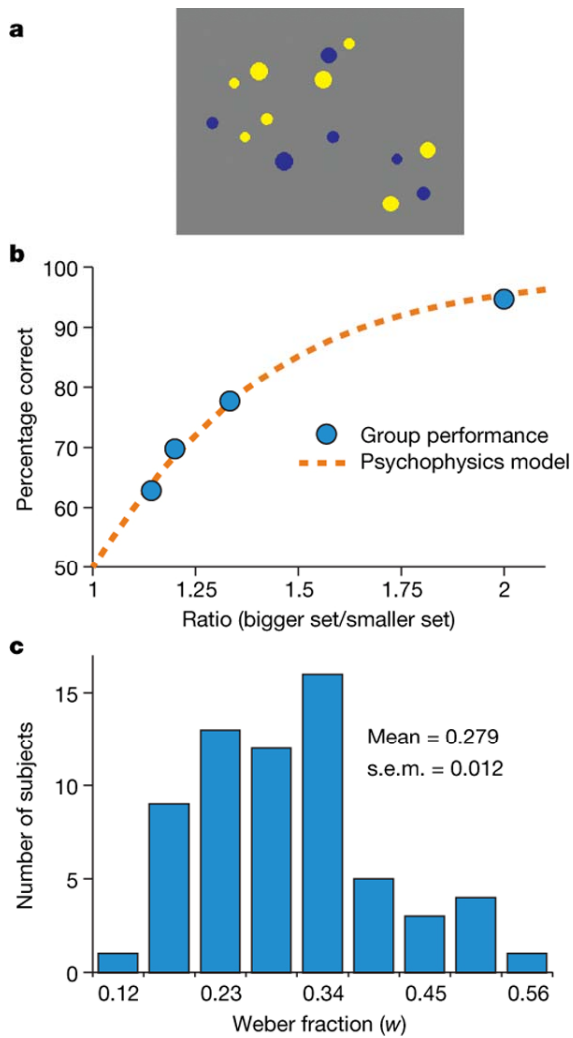


Traiettoria evolutiva di w: sviluppo normale vs discalculia

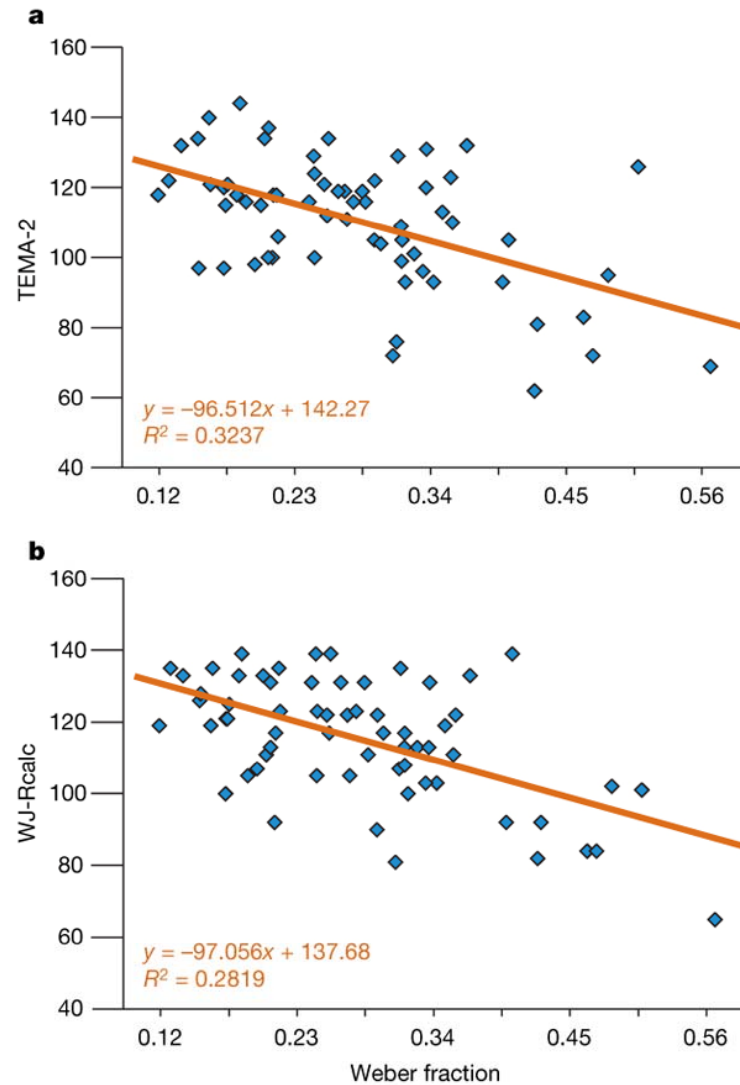
w: un semplice indice per il “senso del numero” ?



L'acuità numerica predice le abilità matematiche



64 bambini di 14-15 anni

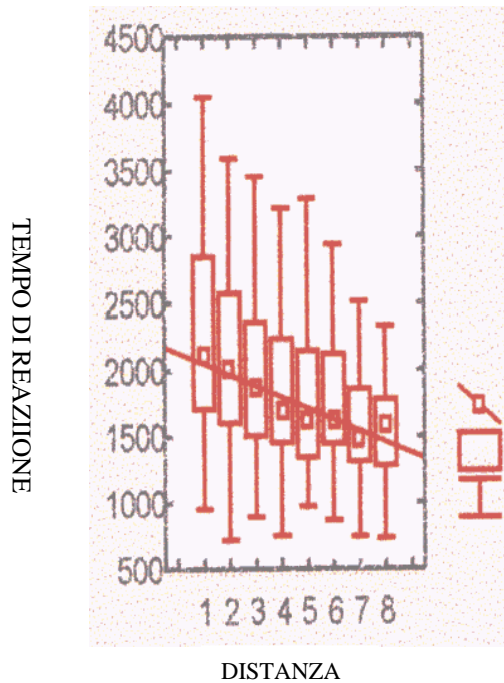


Correlazioni con test di abilità matematiche a 8 anni

L'effetto distanza nel confronto simbolico di grandezza

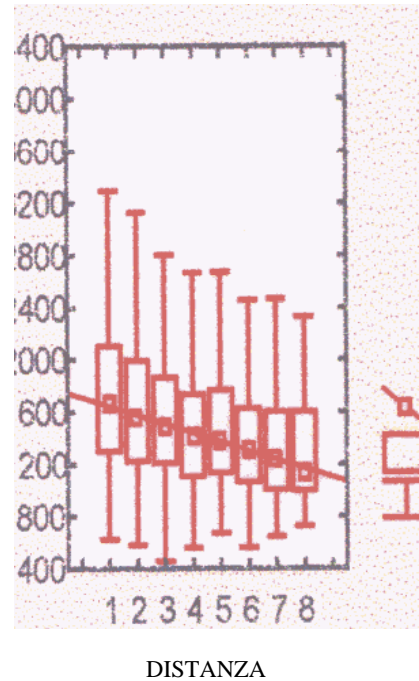
5 anni

$$TR = 2279,62 - 87,83 * \text{distanza}$$



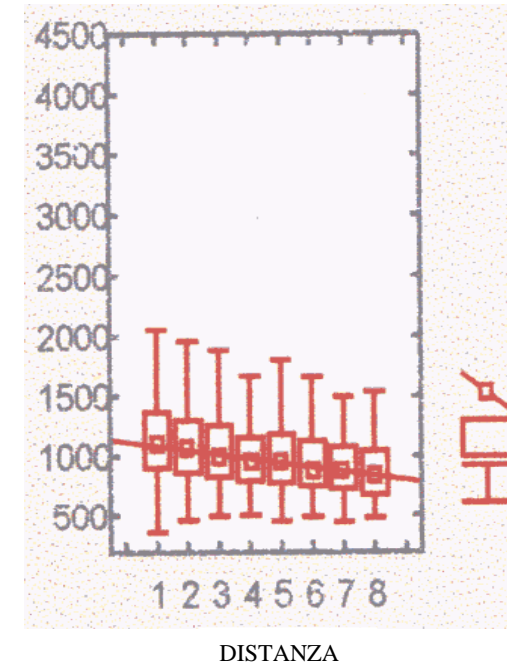
6 anni

$$TR = 1774,34 - 58,47 * \text{distanza}$$



8 anni

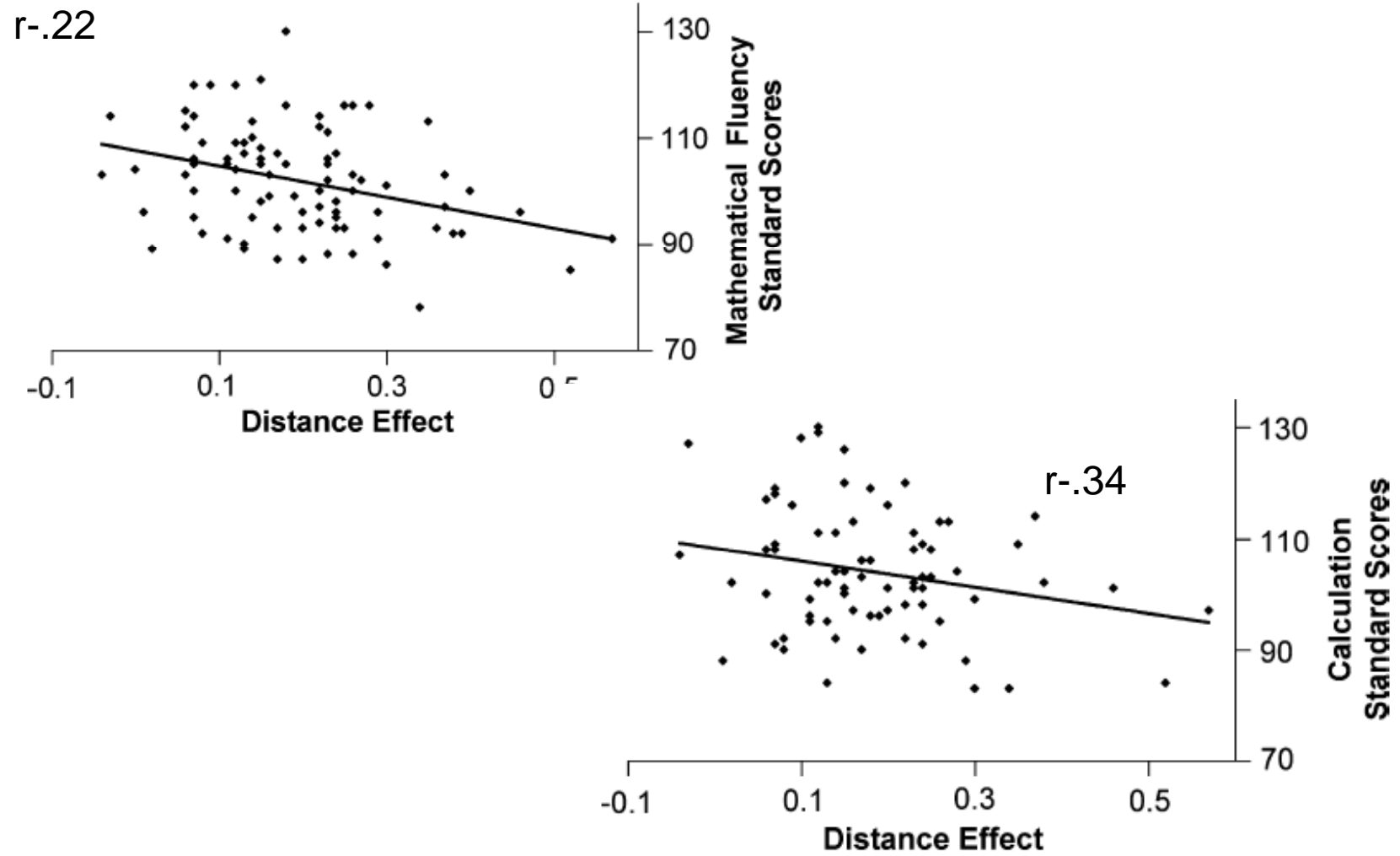
$$TR = 1211,78 - 37,34 * \text{distanza}$$



La pendenza della funzione decresce con l'aumentare dell'età. La rappresentazione dei numeri sembra diventare più precisa

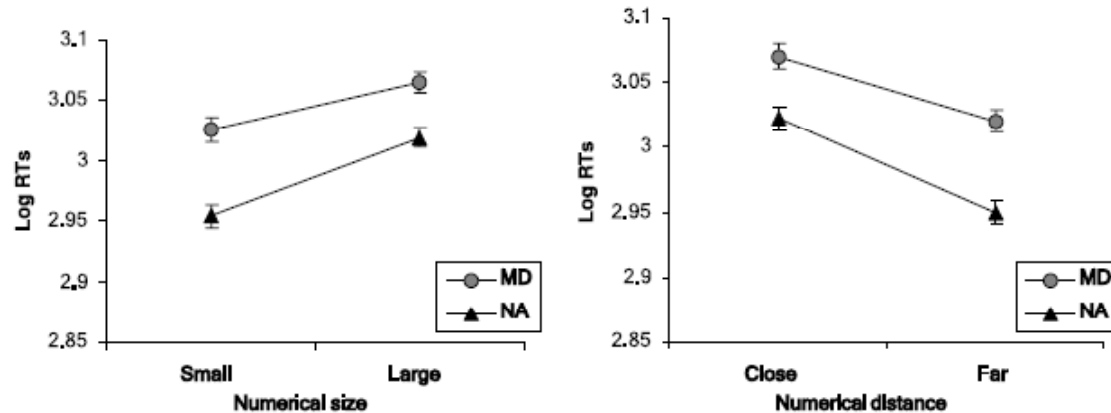
(Lucangeli, Zorzi, Cabele, 2006, *Età Evolutiva*)

Effetto distanza e abilità matematiche



Confronto di grandezza nella discalculia evolutiva: deficit di accesso?

Rouselle e Noel, 2006, *Cognition*



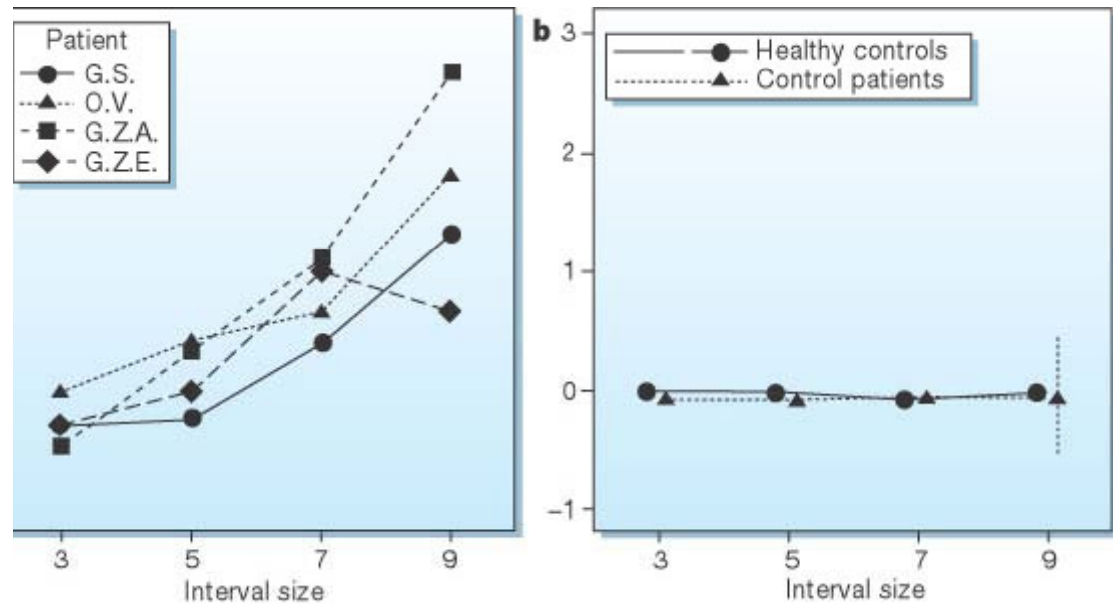
- Discalculici più lenti e inaccurati nel confronto di numeri Arabi. Riduzione dell'effetto distanza e grandezza nei discalculici
- Nessuna differenza tra discalculici e controlli nel confronto non-simbolico

R&N concludono che la difficoltà prevalente è quella di accedere alla grandezza numerica dai simboli (**deficit di accesso**); la rappresentazione analogica della numerosità sarebbe invece intatta. Conclusioni simili in Luculano et al. (2008, *Developmental Science*).

Problemi: i) sensibilità del test non-simbolico, enfasi sui TR, ii) selezione dei soggetti

Numeri, spazio: la linea numerica mentale

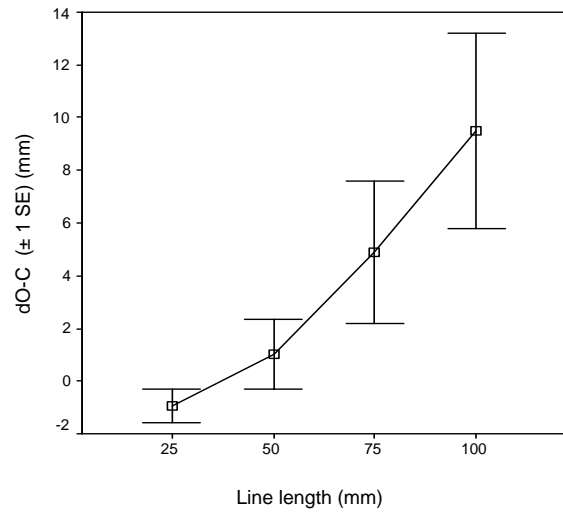
Compito di bisezione numerica



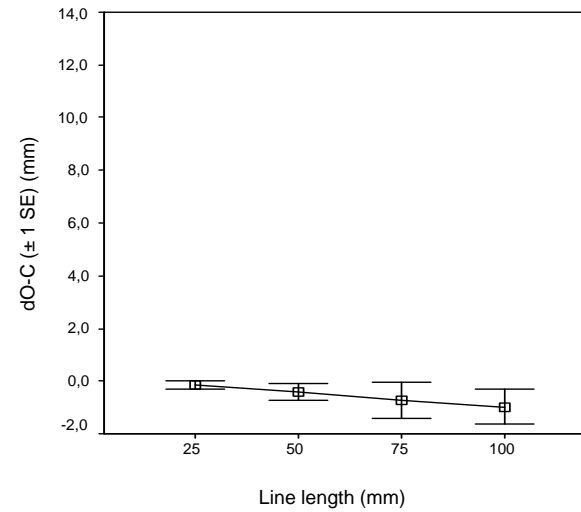
Y axis: 0 = midpoint. Positive values indicate "right" shifts, negative values indicate "left" shifts.

La linea numerica mentale ha una natura spaziale che determina un *isomorfismo funzionale* con reali linee fisiche.

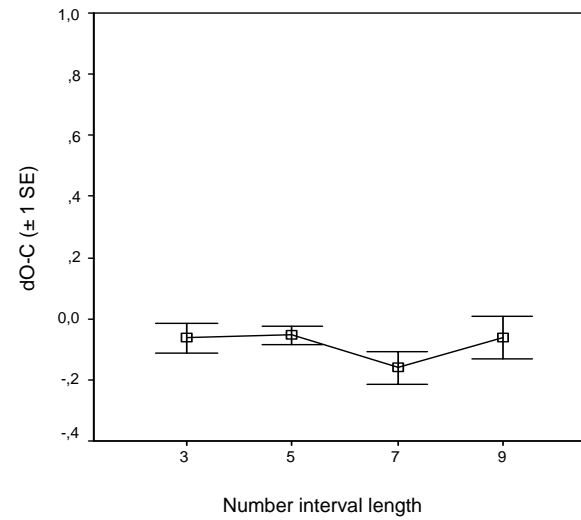
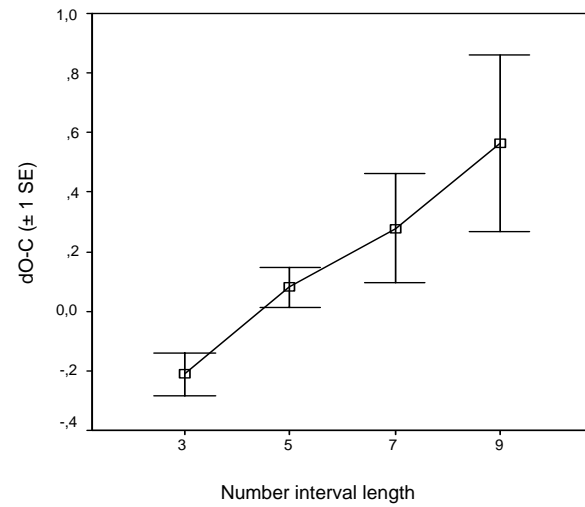
Pazienti



Controlli



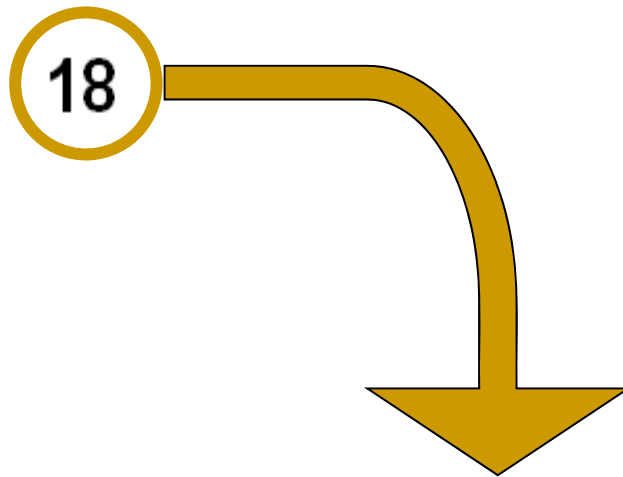
**Bisezione linee
visive**



**Bisezione intervalli
numerici**

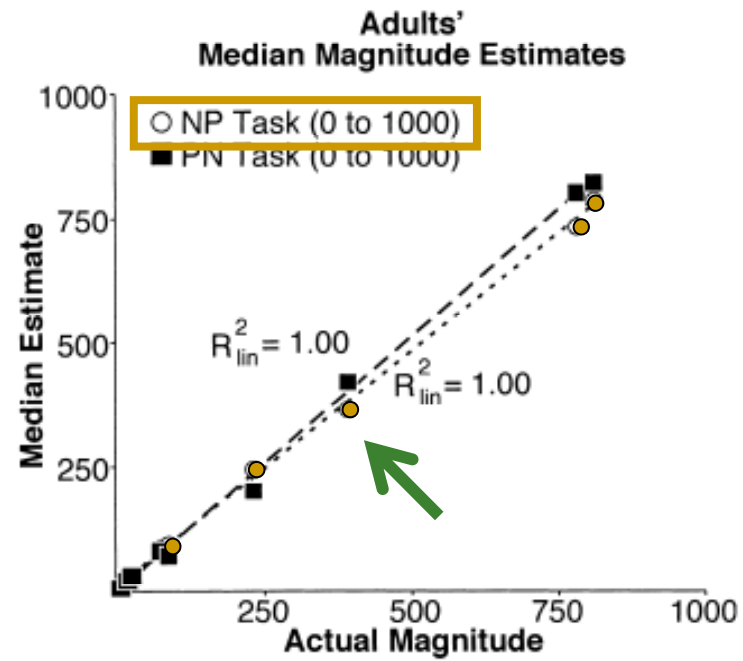
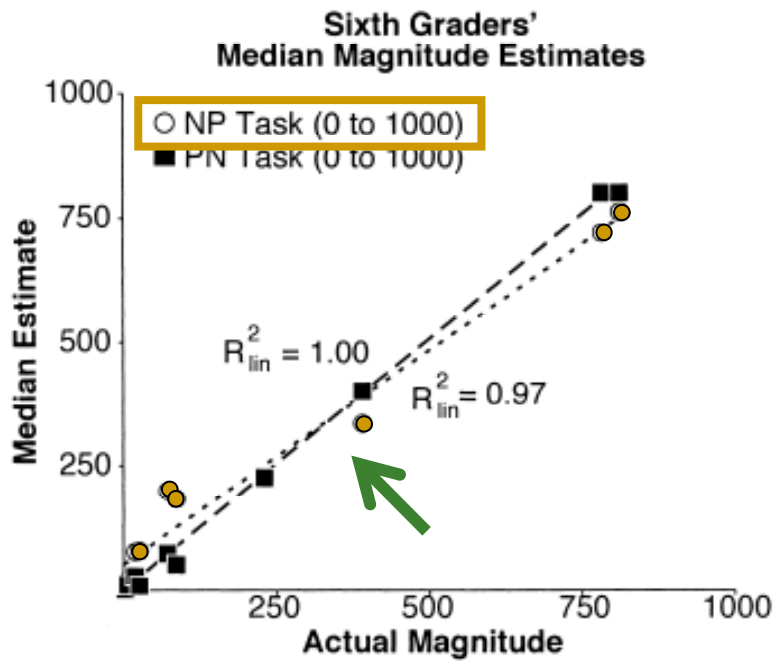
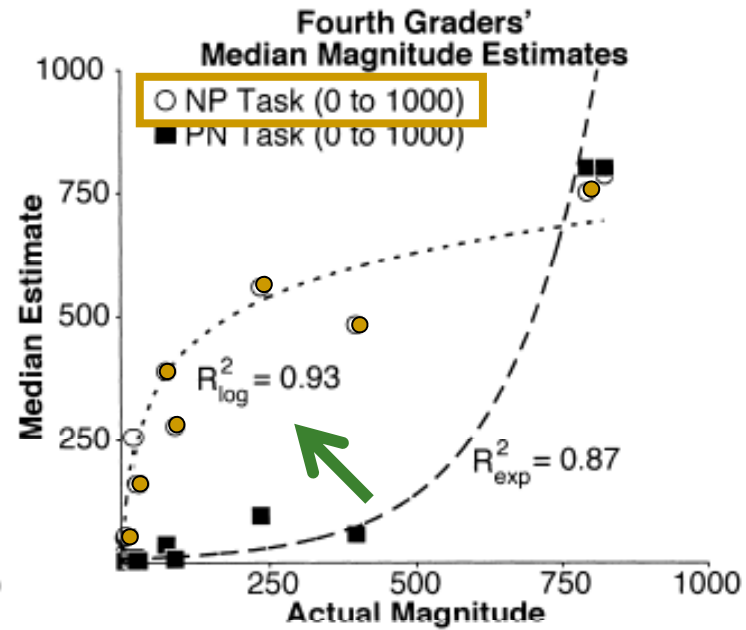
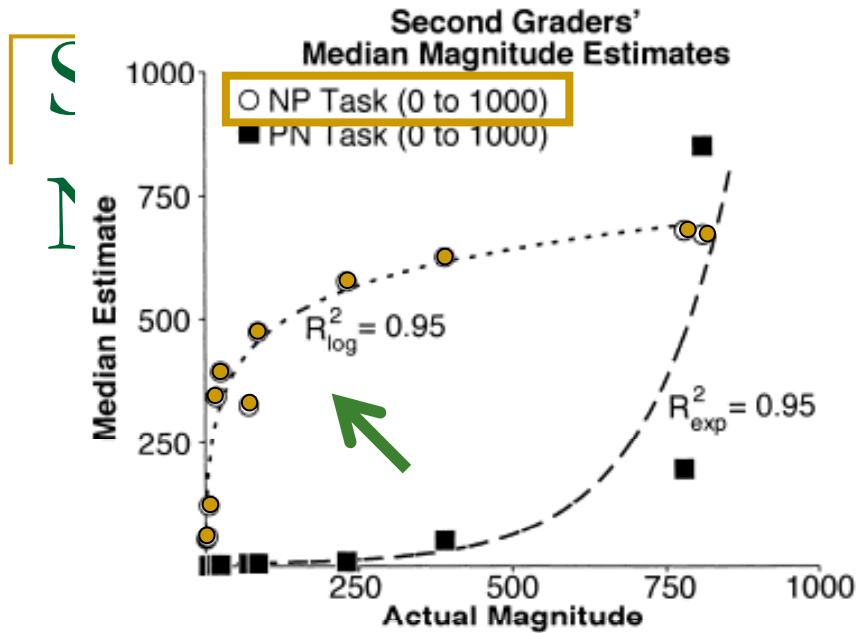
La linea numerica mentale nei bambini: Il compito Numero-Posizione

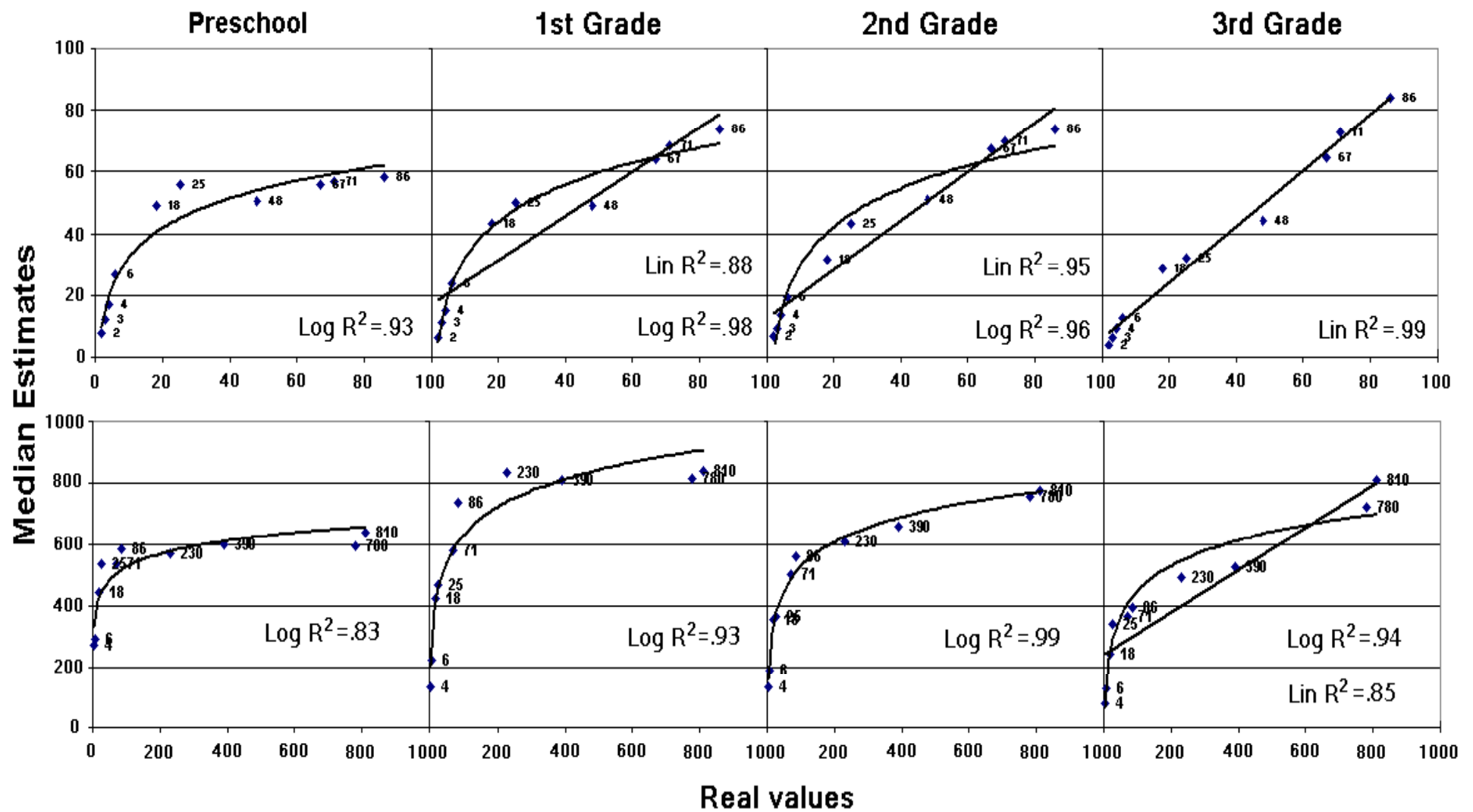
(Siegler & Opfer, 2003, Psych Science)



0

100





Dati su 136 bambini italiani

Rappresentazioni numeriche in bambini prescolari

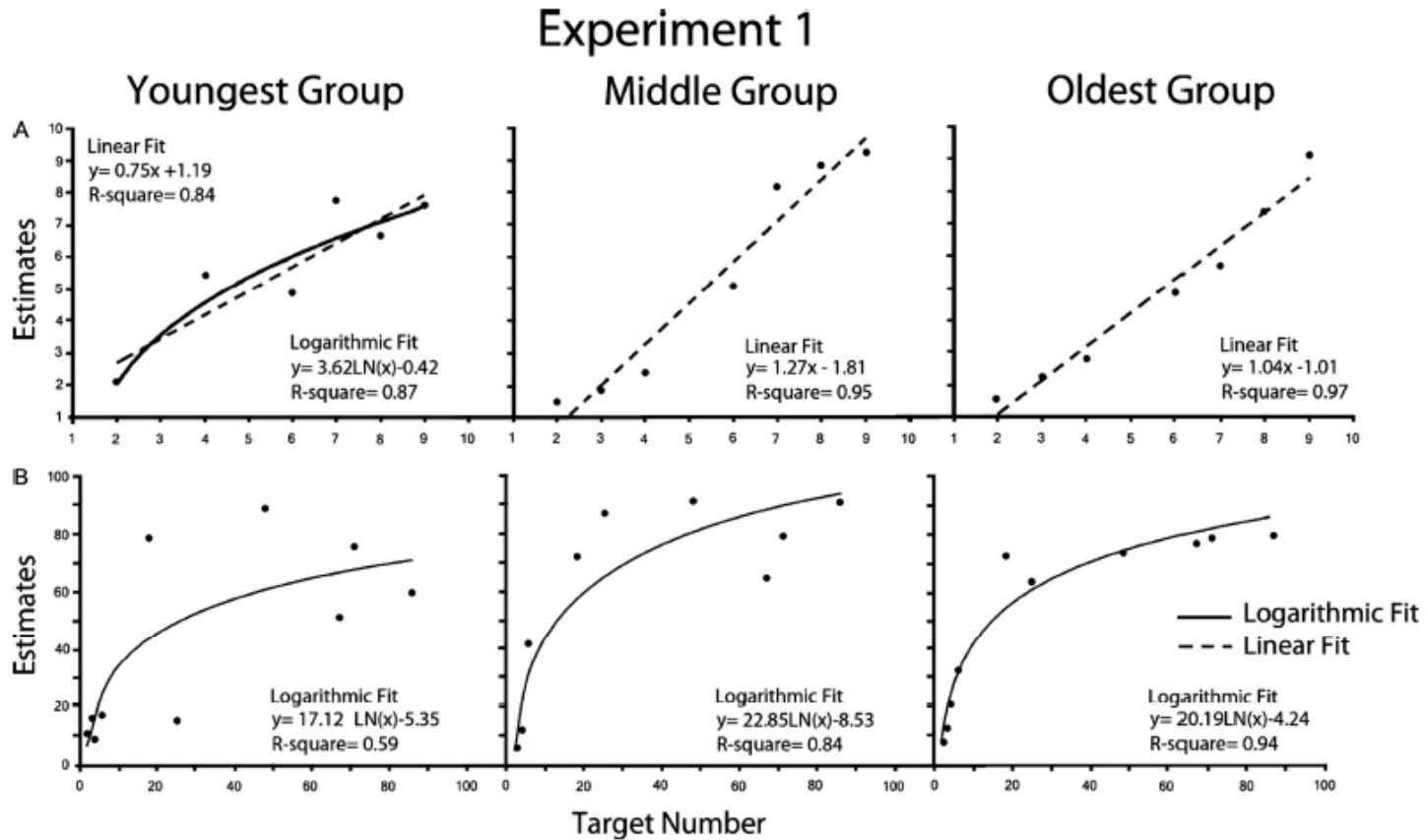


Figure 1. Children estimates and best fitting models in Experiment 1 as a function of age group for 1–10 (A) and 0–100 (B) number lines.

Rappresentazioni numeriche in bambini prescolari

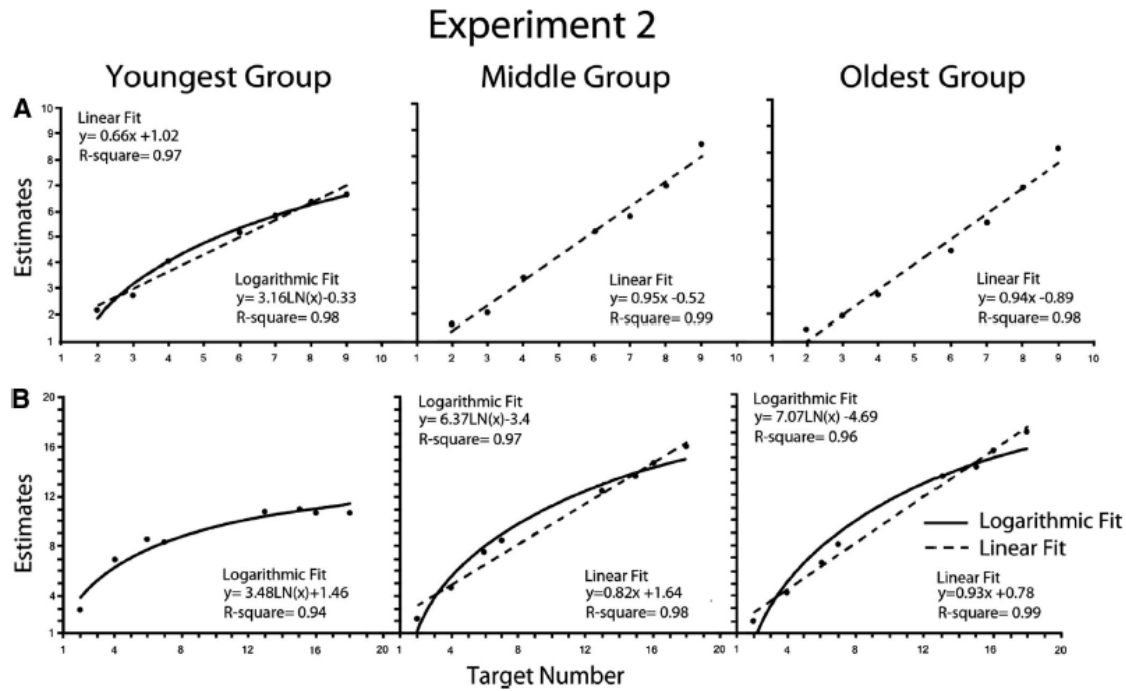


Figure 2. Children estimates and best fitting models in Experiment 2 as a function of age group for 1–10 (A) and 1–20 (B) number lines.

Dati su 373 bambini italiani

Type of Representation as a Function of Group and Task in Experiment 2

Task	Type of representation		
	None	Logarithmic	Linear
1-10 Interval			
Youngest (n = 75)	52	21	27
Intermediate (n = 130)	38	17	45
Oldest (n = 168)	15	14	71
1-20 Interval			
Youngest (n = 75)	66	15	19
Intermediate (n = 130)	38	28	34
Oldest (n = 168)	16	31	53

Rappresentazioni numeriche in bambini discalculici

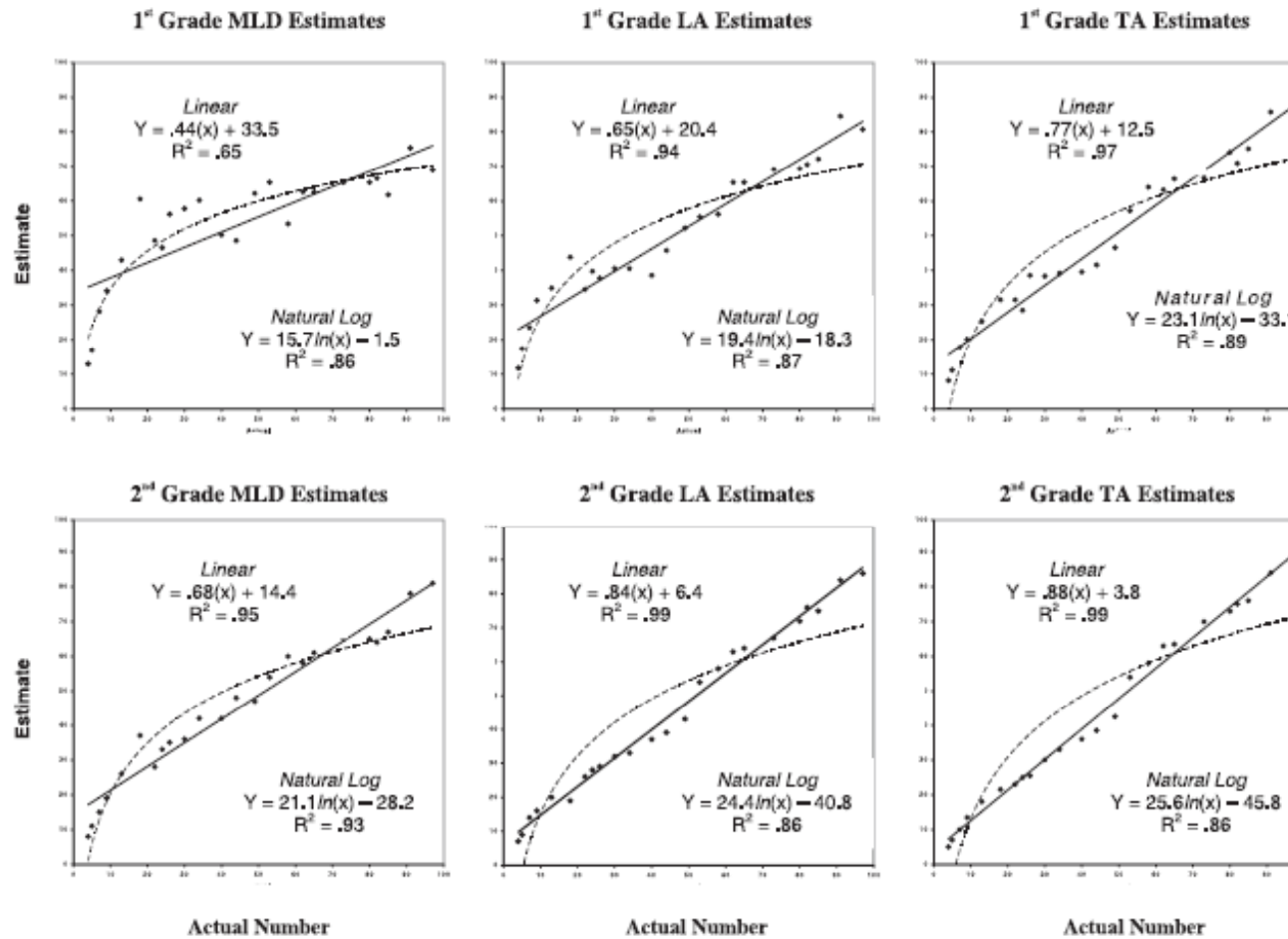


FIGURE 1 Linear and logarithmic fits to median number line placements in 1st (top) and 2nd (bottom) grades. MLD = math disabled, LA = low achieving, and TA = typically achieving.

TABLE 3
Percentage of Children Using Linear and Logarithmic Strategies
for Number Line Placements

	<i>1st Grade Strategy</i>			<i>2nd Grade Strategy</i>		
	<i>Linear M</i>	<i>Log M</i>	<i>Ambiguous M</i>	<i>Linear M</i>	<i>Log M</i>	<i>Ambiguous M</i>
MLD	24	69	7	37	52	11
LA	36	55	9	56	31	13
TA	42	47	11	64	23	13

Note. MLD = math disabled, LA = low achieving, and TA = typically achieving.

- i DE usano meno spesso la strategia lineare
- quando la usano, fanno più errori di posizionamento

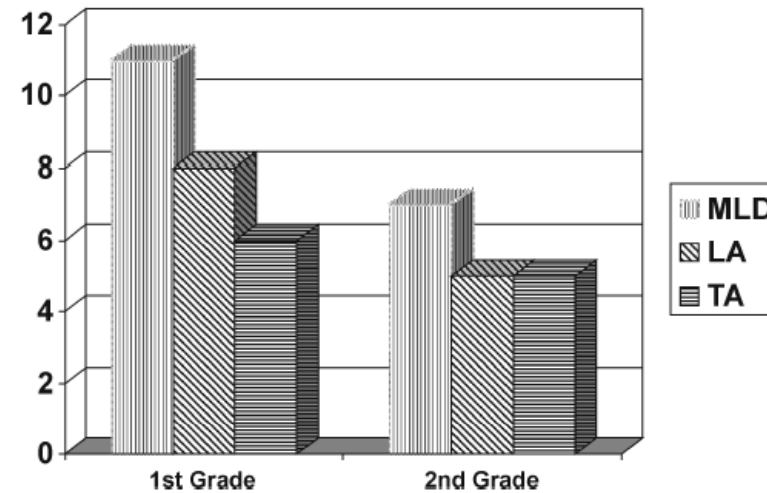
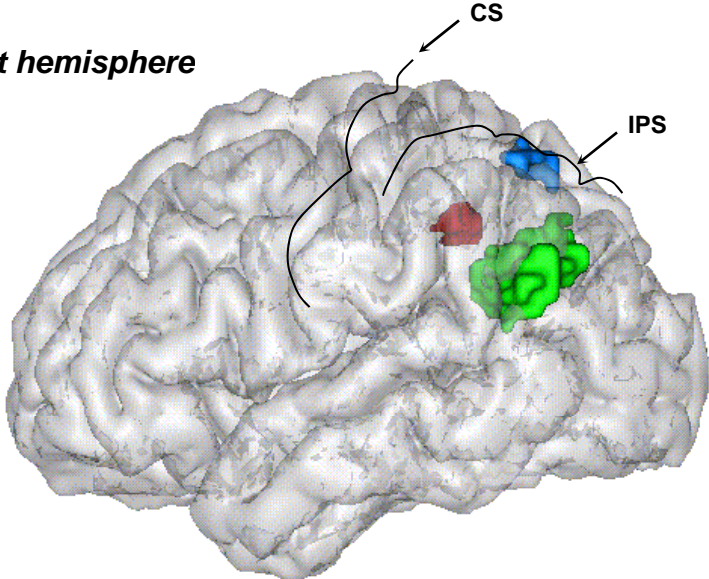


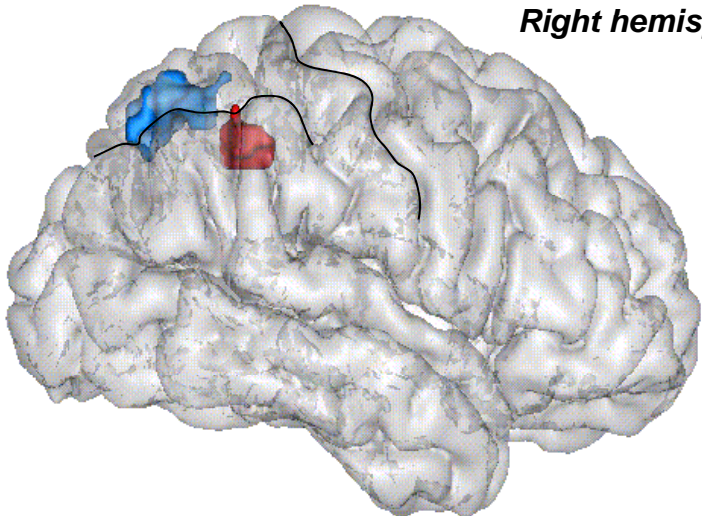
FIGURE 2 Mean degree of error when the linear representation was used to make the number line placements. MLD = math disabled, LA = low achieving, and TA = typically achieving.

Elaborazione numerica nella corteccia parietale

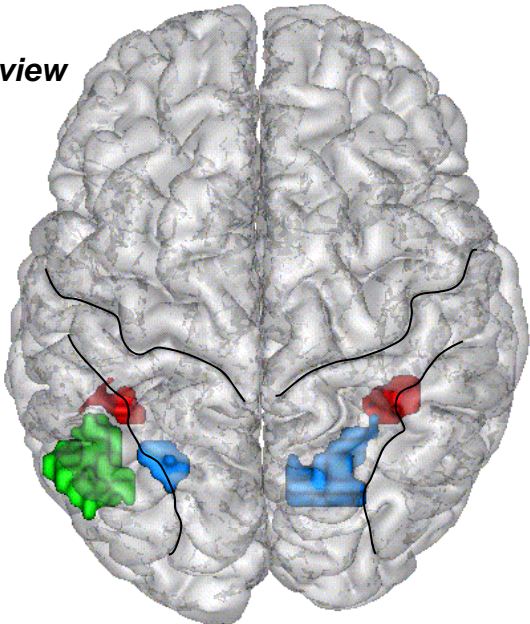
Left hemisphere






Right hemisphere




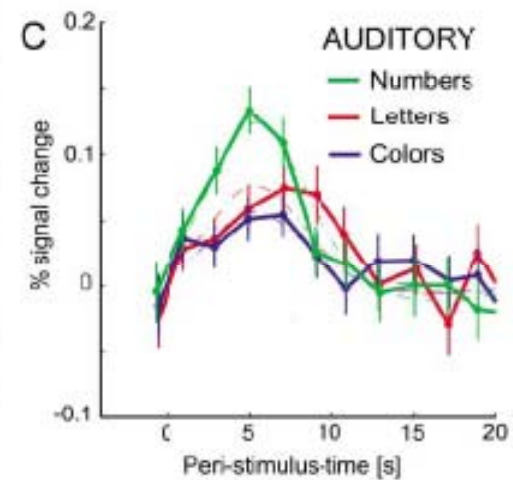
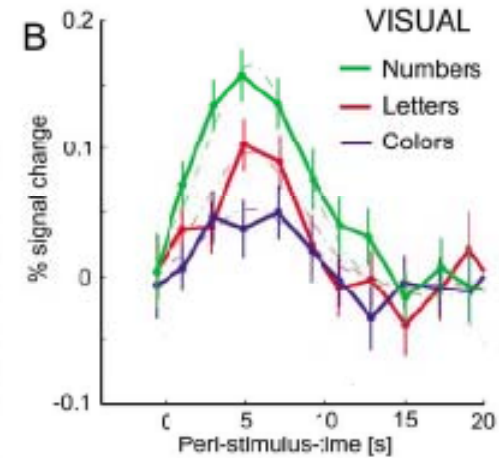
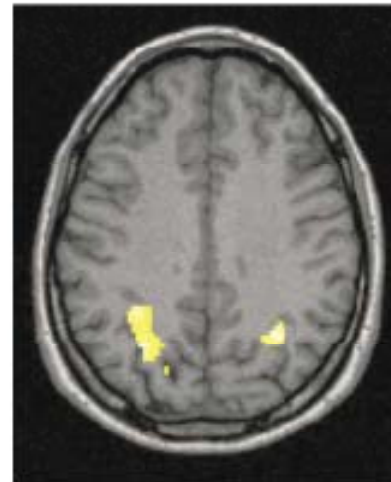
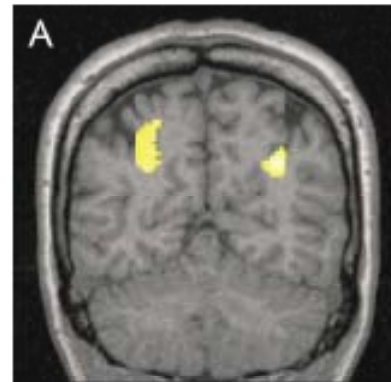
Top view



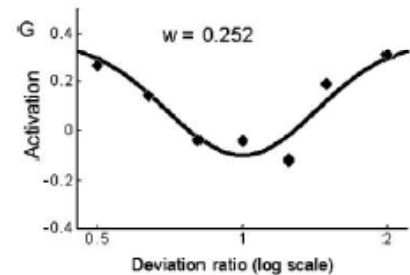
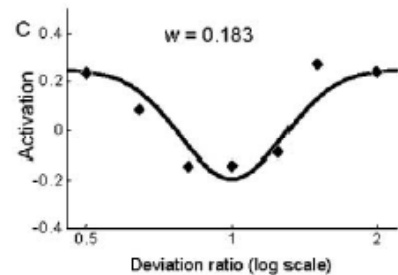
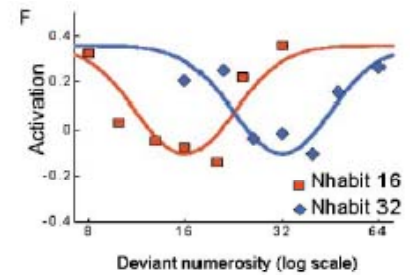
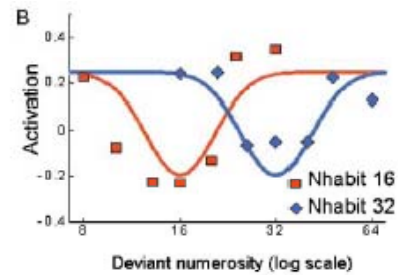
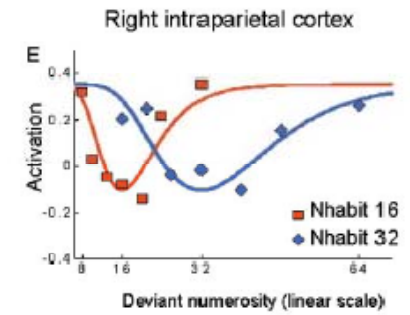
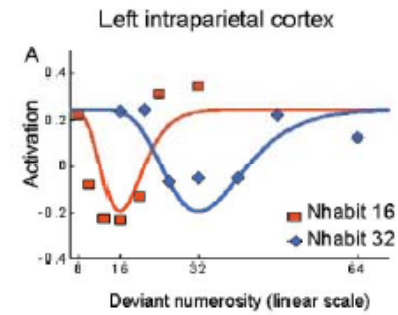
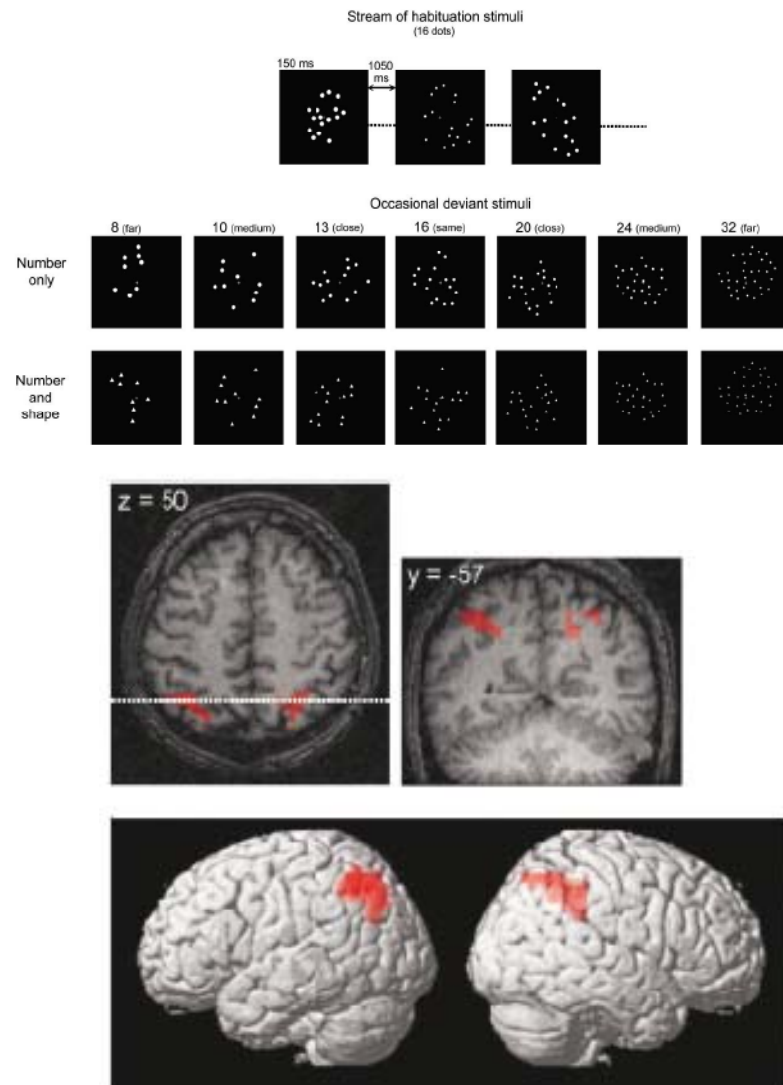
-  bilateral horizontal segment of intraparietal sulcus (hIPS)
-  left angular gyrus (AG)
-  bilateral posterior superior parietal lobe (PSPL)

IPS rappresenta i numeri in modo supramodale

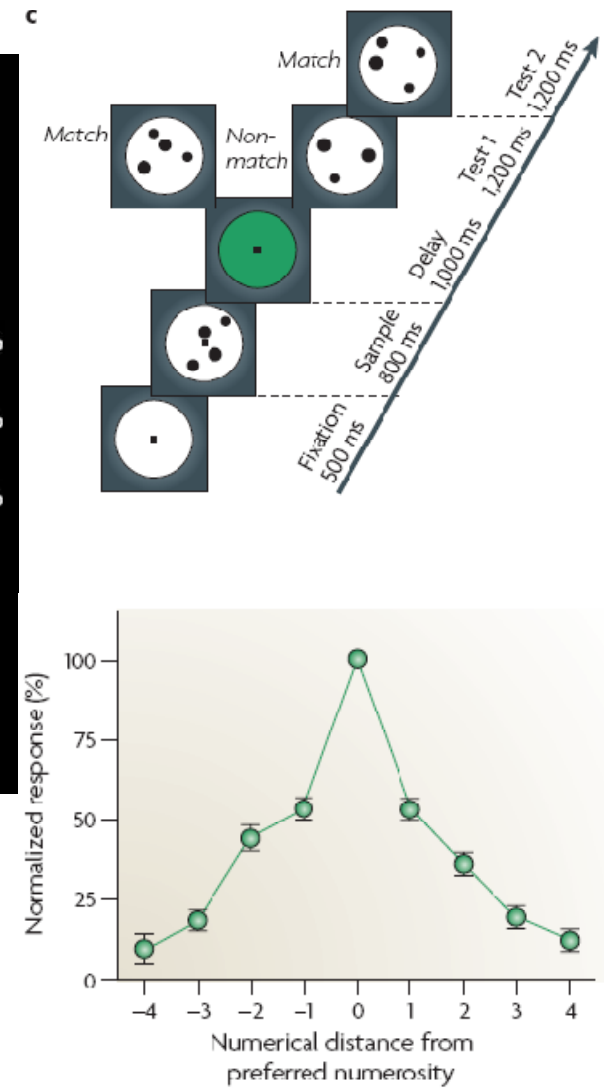
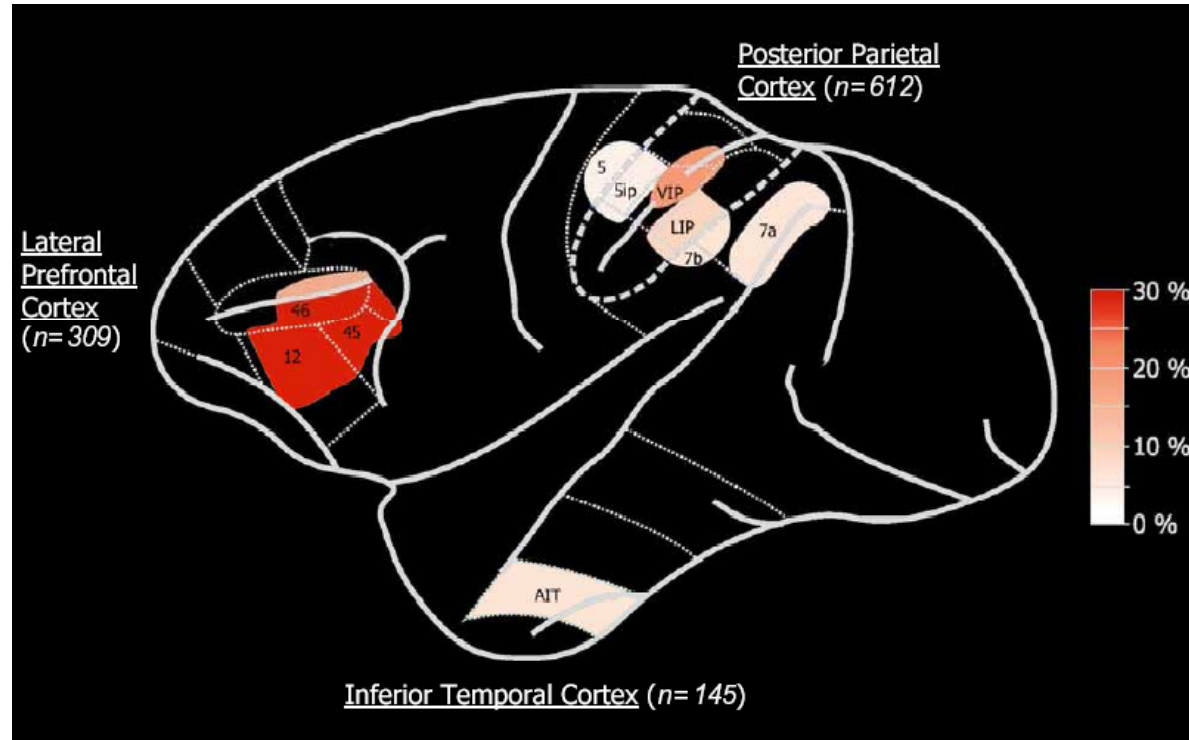
		CATEGORY		
		numbers	letters	colors
MODALITY	visual	2	B	
	auditory	"Two"	"Be"	"Red"



IPS risponde alla numerosità non-simbolica: fMRI adaptation

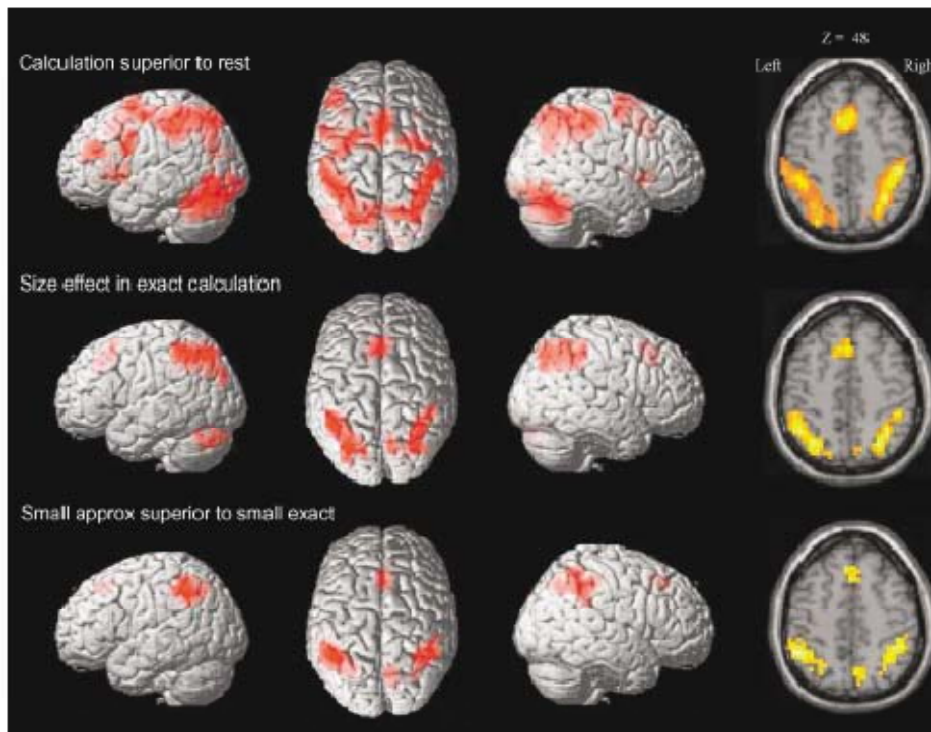
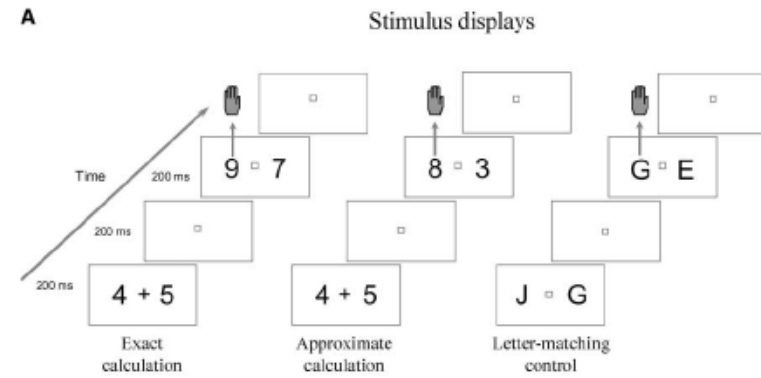
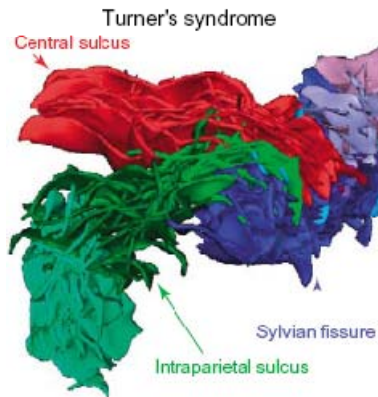


“Neuroni numerici” nel cervello della scimmia



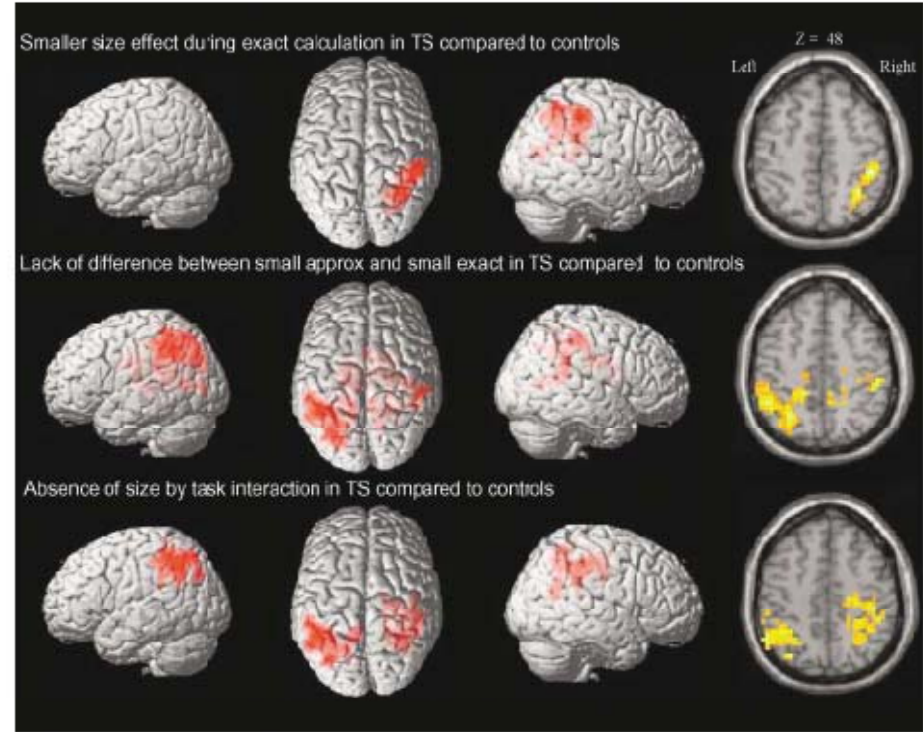
Nieder, 2005, *Nature Reviews Neuroscience*

Alterazioni funzionali e strutturali di IPS nella discalculia



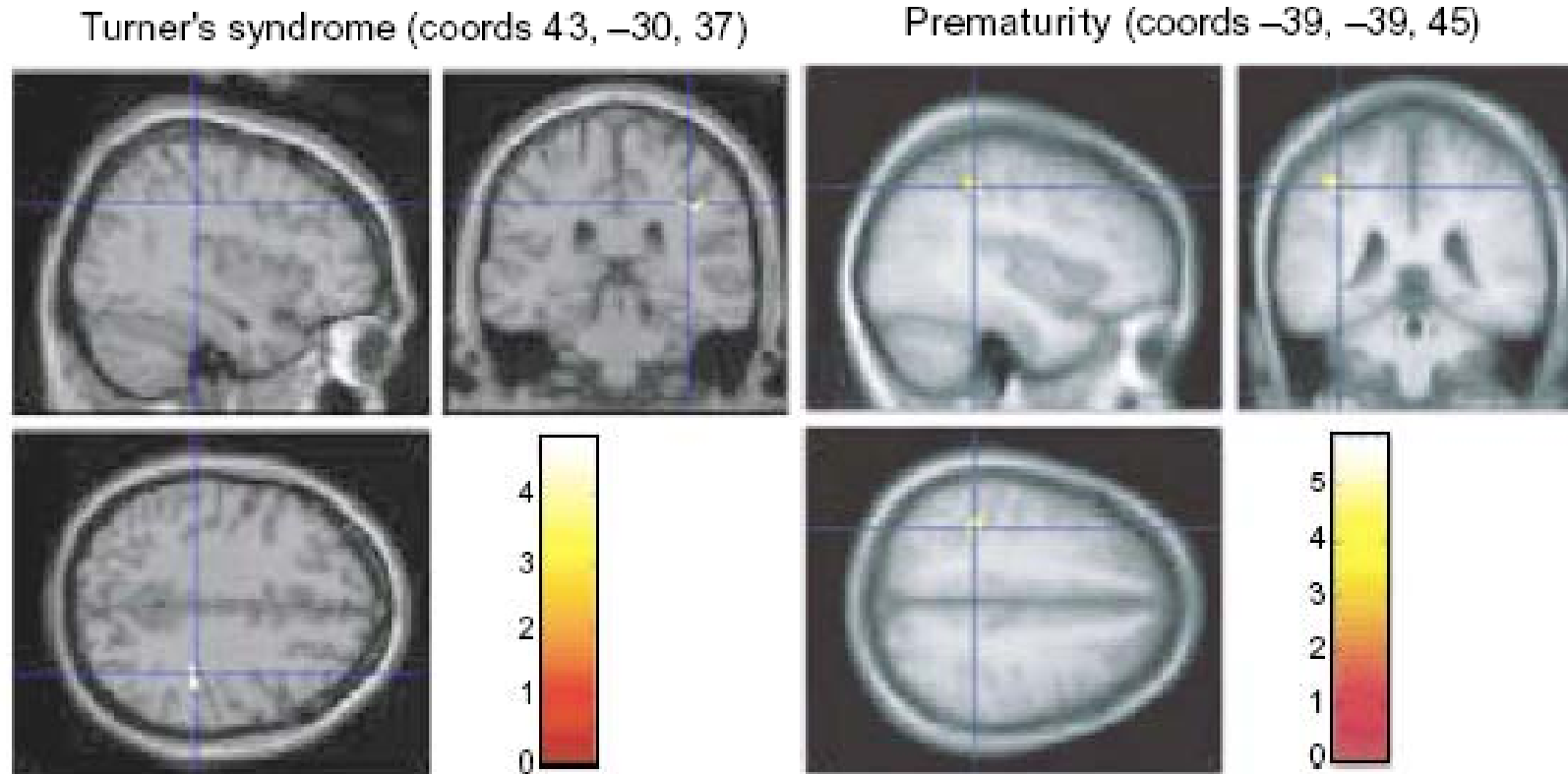
Controlli

Molko et al., 2003, *Neuron*



Discalculici (Turner)

Voxel Based Morphometry (VBM) nella discalculia



VBM mostra una diminuzione della sostanza grigia in IPS

(Turner: Molko et al., 2003, Neuron)

(Prematuri: Isaacs et al., 2001, Brain)

Disfunzione di IPS destro nel confronto di numerosità non-simboliche

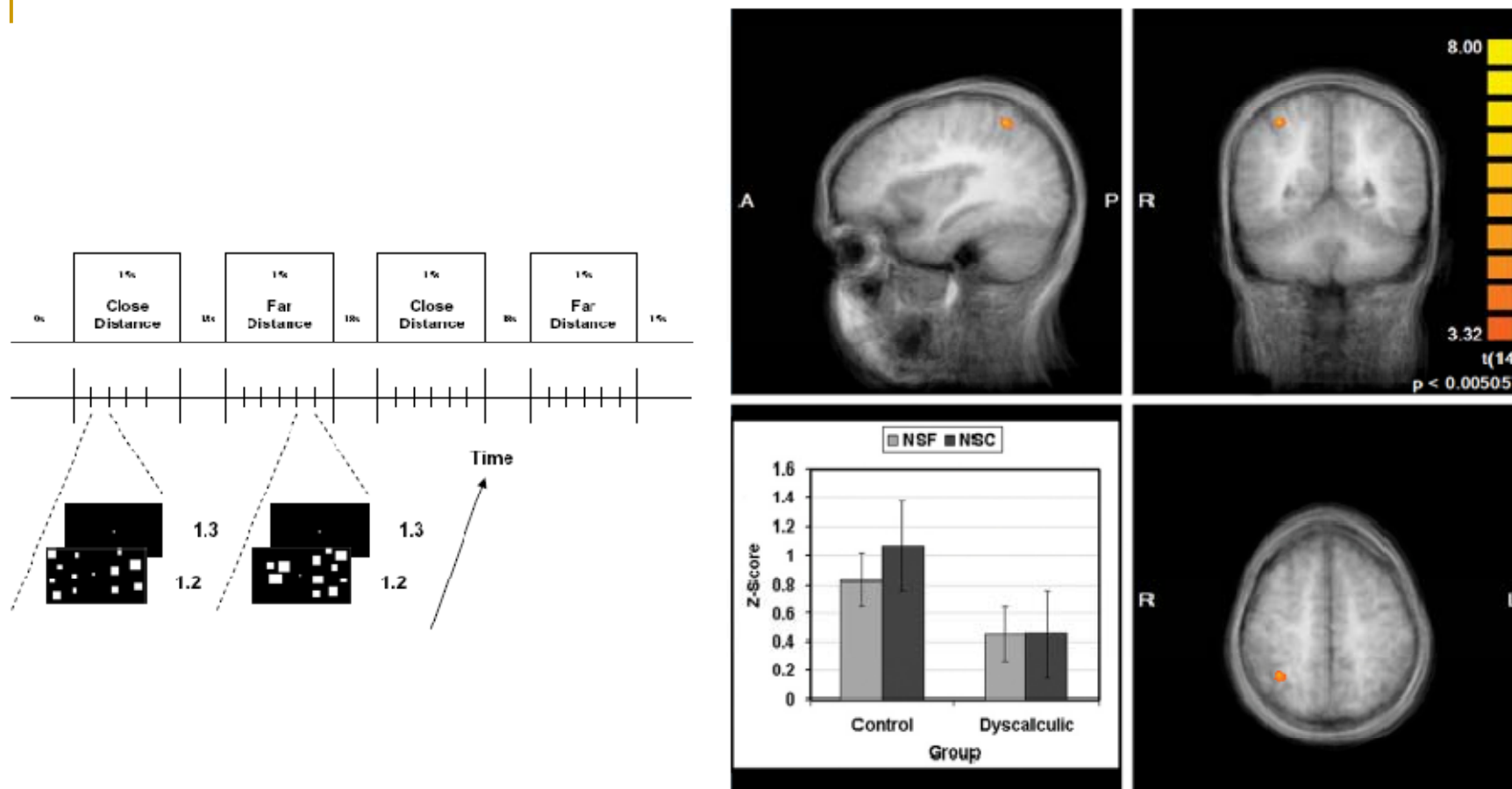


Figure 1. Interaction of group X distance in the right intraparietal sulcus. Statistical map showing interaction of group x distance ($p < 0.05$, corrected at the cluster level) overlaid on an average image of all participants' high-resolution structural MRI scans level. The bar chart shows the parameter estimates for this region for both groups. Error bars represent the standard error of the mean. (NSC, Nonsymbolic Close Distance; NSF, Nonsymbolic Far Distance.)

Conclusioni

1. IPS è la regione critica per la rappresentazione e la manipolazione di quantità numeriche (senso del numero), su cui si fondano le abilità numeriche più complesse e l'apprendimento matematico
2. Gli studi su soggetti discalculici mostrano (con una notevole convergenza di risultati) alterazioni sia strutturali che funzionali di IPS. La disfunzione di IPS ha un riscontro comportamentale nel deficit di acuità numerica.
3. E' possibile individuare markers sia comportamentali che neurofunzionali per una diagnosi precoce di discalculia basata su compiti non-simbolici e non-verbali, a prescindere dall'apprendimento di competenze numeriche/matematiche formali

Strumenti



Include gruppo di test sul “**senso dei numeri**”:

- Confronto di numerosità (analogico)
- Confronto di grandezza con numeri Arabi
- Corrispondenza simbolo-quantità
- Posizionamento su linea numerica



<http://ccnl.psy.unipd.it>

Collaboratori:

Ilaria Berteletti

Andrea Facoetti

Daniela Lucangeli

Manuela Piazza

Stanislas Dehaene

Anna Trussardi

Ricerche finanziate da:

