

This is the final peer-reviewed accepted manuscript of:

**Gianluca Marzola, Stefania D'Ascenzo, Luisa Lugli, L'associazione spaziale dei simboli matematici «meno e più», in "Giornale italiano di psicologia, Rivista trimestrale" 4/2021, pp. 1015-1024, doi: 10.1421/104150.**

The final published version is available online at:

<http://www.rivisteweb.it/doi/10.1421/104150>

Rights / License:

The terms and conditions for the reuse of this version of the manuscript are specified in the publishing policy. For all terms of use and more information see the publisher's website.

*This item was downloaded from IRIS Università di Bologna (<https://cris.unibo.it/>)*

***When citing, please refer to the published version.***

## L'ASSOCIAZIONE SPAZIALE DEI SIMBOLI MATEMATICI “MENO E PIÙ”

### **RIASSUNTO**

L'influenza delle associazioni spazio-numeriche nei compiti di categorizzazione di numeri è stata ampiamente discussa, mentre il ruolo dei simboli matematici è meno chiaro. Nello specifico, sottrazioni e addizioni, riducendo e aumentando la grandezza dei numeri, sono associate allo spazio di sinistra e di destra, rispettivamente, a causa di una linea mentale dei numeri e/o di una possibile associazione semantica. Il presente lavoro ha indagato il ruolo del significato dei simboli matematici “meno e più” presentati come punti di fissazione in un paradigma di compatibilità spaziale. I risultati dimostrano un'influenza opposta dei due simboli sullo stimolo target. Il simbolo “meno” tende infatti a favorire il target presentato a sinistra mentre quando il punto di fissazione è rappresentato dal simbolo “più” viene favorito il target presentato a destra.

### **KEYWORDS:**

**Cognizione numerica, attenzione spaziale, SNARC, Associazione Spazio Numerica, effetto OSSA.**

## 1. INTRODUZIONE

L'esistenza di una stretta relazione tra elaborazione numerica e rappresentazione spaziale, definita associazione spazio-numerica (ASN), è stata molto studiata (Galton, 1880; Dehaene, Bossini e Giraux, 1993; Restle, 1970). Nel fondamentale lavoro di Dehaene e collaboratori (Dehaene et al., 1993) è stato dimostrato che, attraverso un "*Parity Task*" in cui ai partecipanti è stato chiesto di categorizzare i numeri in pari o dispari, i tempi di reazione sono più veloci quando si risponde a numeri piccoli premendo il tasto di sinistra e a numeri grandi premendo il tasto di destra. Tale effetto, denominato effetto SNARC (i.e., Spatial-Numerical Association of Response Code) è stato replicato con diversi tipi di compiti (Fias e Fischer, 2005, per una rassegna; Hubbard, Piazza, Pinel e Dehaene, 2005; Wood, Nuerk, Willmes e Fischer, 2008, per una meta-analisi). La particolarità del dell'esperimento di Dehaene e collaboratori è che il compito di Parity Task non richiede esplicitamente l'elaborazione della quantità e perciò viene dimostrato che la quantità espressa dal numero è elaborata in maniera implicita ed automatica (per posizioni differenti vedi Aulet, Yousif, Lourenco, 2021; Cleland & Bull, 2019; Cohen, 2009). Tra le diverse interpretazioni che sono state proposte per spiegare l'effetto SNARC, quella che ipotizza l'esistenza di una linea numerica mentale presente nella nostra memoria a lungo termine, all'interno della quale i numeri sarebbero organizzati in ordine crescente da sinistra verso destra è quella maggiormente accettata (Dehaene et al., 1993; per altri modelli come ad esempio quello basato sulla working memory o quello della doppia codifica, vedi Fias e van Dijck, 2016 e Gevers, Verguts, Reynvoet, Caessens e Fias, 2006, rispettivamente). Fischer, Castel, Dodd e Pratt (2003) hanno anche ipotizzato l'esistenza di una relazione tra grandezza numerica e orientamento dell'attenzione. In particolare, gli autori hanno dimostrato l'esistenza dell'Attentional-SNARC ("*Att-SNARC*") secondo cui i partecipanti risultano più veloci a rilevare stimoli presentati sulla sinistra quando preceduti da numeri piccoli, e presentati sulla destra quando preceduti da numeri grandi. Tale effetto, tuttavia, ha riscontrato problemi di replicabilità in un recente studio che ha coinvolto più di mille partecipanti (Colling, et al., 2020).

L'associazione spazio-numerica è stata osservata non solo rispetto alla grandezza del numero per sé, ma anche a seguito della risoluzione di operazioni aritmetiche (McCrink, Dehaene e Dehaene-Lambertz, 2007). Ai partecipanti veniva chiesto di giudicare se un insieme di elementi fosse il risultato di una precedente operazione di sottrazione o di addizione. I partecipanti tendevano ad associare gli insiemi più numerosi alle addizioni e gli insiemi meno numerosi alle sottrazioni. Tali risultati supportano l'esistenza dell'effetto definito "operational momentum" (OM) cioè la tendenza a sovrastimare la quantità degli elementi rilevati dopo aver eseguito una addizione, e di sottostimare la quantità dopo aver risolto una sottrazione. L'effetto OM è stato rilevato anche in relazione al calcolo aritmetico. Infatti, se ai partecipanti veniva chiesto di risolvere operazioni aritmetiche e di rispondere muovendo un cursore lungo un continuum in cui erano riportati numeri in ordine crescente da sinistra verso destra, è stata osservata una facilitazione a muovere il cursore verso sinistra dopo aver calcolato una sottrazione e verso destra dopo aver calcolato un'addizione (Pinhas e Fischer, 2008). Inoltre, in uno studio più recente (Masson e Pesenti, 2014), è stato dimostrato che uno stimolo veniva individuato più velocemente se presentato a sinistra in seguito ad una sottrazione o a destra dopo una addizione. Tale risultato potrebbe essere letto alla luce di un "Attentional-OM": l'esecuzione di sottrazioni e addizioni sarebbe infatti in grado di orientare l'attenzione dei partecipanti, rispettivamente, a sinistra e a destra. [Nello specifico, secondo l'ipotesi dell'Attentional-OM, durante l'esecuzione di un calcolo, i processi di sottrazione e di addizione sarebbero associati ai concetti astratti di "meno" e "più" e quindi orienterebbero l'attenzione verso il lato sinistro o destro della linea numerica mentale \(Klein, Huber, Nuerk, & Moeller, 2014; Masson, Pesenti, & Dormal, 2017\). L'ipotesi dell'Attentional-OM è supportata anche da studi di neuroimaging che hanno mostrato una sovrapposizione tra le regioni cerebrali implicate nelle addizioni e quelle attive durante l'esecuzione di movimenti saccadici verso destra \(Knops, Thirion, Hubbard, Michel, & Dehaene, 2009\). Inoltre, è stato dimostrato che l'esecuzione di sottrazioni risulta compromessa in pazienti con neglect unilaterale sinistro, in quanto la loro attenzione non riuscirebbe a localizzare la posizione della risposta lungo la linea numerica mentale \(Dormal, Schuller, Nihoul, Pesenti, & Andres, 2014\).](#)

Di particolare interesse per il presente lavoro è uno studio di Pinhas e colleghi (Pinhas, Shaky e Fischer, 2014) nel quale veniva chiesto ai partecipanti di riconoscere se il simbolo presentato al centro dello schermo fosse un “meno” o un “più” premendo un tasto a sinistra o a destra. I risultati hanno mostrato che i partecipanti erano più veloci a rispondere al simbolo “meno” con il tasto di sinistra e al simbolo “più” con il tasto di destra. Tale effetto è stato denominato OSSA (Operation Sign Spatial Association) e induce a ipotizzare che ci sia una connessione tra il simbolo matematico (“meno” o “più”) e la posizione spaziale della risposta. Secondo l’ipotesi attentiva (Pinhas et al., 2014), l’effetto OSSA sarebbe una conseguenza dell’Attentional-OM. Anche in questo caso, l’elaborazione dei simboli “meno” e “più” attiverebbe la linea numerica mentale, orientando l’attenzione a sinistra e a destra, rispettivamente. La sola differenza è che nell’effetto OSSA, rispetto all’Attentional-OM, l’interpretazione spaziale dei simboli “meno” e “più” è automatica e non ha bisogno di un’operazione aritmetica per essere attivata (Pinhas et al., 2014).

Il presente studio ha lo scopo di approfondire gli studi sull’effetto OSSA e di indagare se sia possibile rilevare un “Attentional-OSSA”. L’obiettivo è quello di osservare se e come la mera presentazione dei simboli aritmetici “meno” e “più”, oltre ad attivare l’effetto OSSA (Pinhas et al., 2014), sia in grado di orientare l’attenzione dei partecipanti a sinistra o a destra dello schermo, facilitando l’elaborazione di uno stimolo target. A tale scopo è stato utilizzato un paradigma di compatibilità spaziale. Ai partecipanti veniva presentato un simbolo di fissazione che poteva essere un “meno” o un “più” e veniva chiesto di rispondere premendo il tasto in posizione compatibile alla posizione dello stimolo target che poteva comparire a sinistra o a destra del simbolo di fissazione. È stato ipotizzato che il simbolo “meno” potesse orientare l’attenzione verso sinistra facilitando l’elaborazione del target presentato da quel lato, mentre il simbolo “più” potesse favorire un orientamento dell’attenzione verso destra, facilitando l’elaborazione del target presentato a destra.

## 2. METODO

*Partecipanti.* Attraverso l'utilizzo del software G\*power 3.1 (Faul, Erdfelder, Lang e Buchner, 2007) è stata calcolata la dimensione del campione necessaria per ottenere il 95% di potenza al fine di rilevare un'interazione significativa tra il *Simbolo di Fissazione* (meno vs. più) e la *Posizione dello stimolo target* (sinistra vs. destra). Con una dimensione dell'effetto  $f = 0.25$  (Cohen, 1988), il calcolo della potenza ha stimato un campione di almeno 36 partecipanti. Sono stati testati 41<sup>1</sup> studenti dell'Università di Bologna (25 femmine, età media: 21.9). Nessuno di loro era a conoscenza dello scopo dello studio. Tutti i partecipanti hanno sottoscritto il consenso informato prima dell'inizio della sessione sperimentale.

#### *Materiali e procedura.*

L'esperimento è stato implementato sulla piattaforma online Gorilla Experiment Builder ([www.gorilla.sc](http://www.gorilla.sc); Anwyl-Irvine, Massonnié, Flitton, Kirkham e Evershed, 2020), già utilizzata in diversi studi internazionali condotti da remoto (vedi ad es., Love e Robinson, 2020; Jasmin, Sun e Tierney, 2021). L'esperimento poteva essere svolto dai partecipanti solo attraverso un computer (erano esclusi tablet e cellulari), tenendo traccia del sistema operativo e del browser utilizzato.

Il simbolo “più” è stato creato utilizzando il font Times New Roman (grandezza del carattere 60 pt (44 pixel x 44 pixel, colore nero su sfondo bianco). Il simbolo “meno” è stato creato eliminando le due estremità della linea verticale dal simbolo “più” (44 pixel x 7 pixel). I due simboli “meno” e “più” venivano presentati al centro dello schermo e fungevano da punti di fissazione. Lo stimolo target, rappresentato da un quadrato (84 pixel x 84 pixel, colore nero su sfondo bianco), compariva all'interno di un rettangolo (182 pixel x 142 pixel, bordo nero su sfondo bianco) presente a sinistra e a destra del punto di fissazione. La distanza tra il centro del simbolo di fissazione e il centro dello stimolo era di 268 pixel. L'esperimento era costituito da 120 trials (60 trials in cui lo stimolo veniva presentato a sinistra e 60 a destra) presentati in un unico blocco in maniera casuale, e preceduti da 6

---

<sup>1</sup> Una pratica ampiamente riconosciuta per gli studi online rispetto a quelli condotti in laboratorio è quella di reclutare un numero di partecipanti maggiore rispetto a quello stimato da G\*Power (circa il 10% in più; Kraut et al., 2004; Chetverikov e Upravitelev, 2016)

trials di pratica. La durata complessiva dell'esperimento era di circa 10 minuti. Il tipo di simbolo di fissazione ("meno" o "più") è stato bilanciato tra i partecipanti.

Nel tentativo di minimizzare eventuali distrazioni del partecipante durante l'esperimento, prima di procedere con le istruzioni relative al compito, è stato richiesto di leggere attentamente delle indicazioni che li invitavano a svolgere l'esperimento in un luogo silenzioso e da una postazione priva di oggetti (es. telefono, penne, ecc.). È stato inoltre richiesto di chiudere tutte le finestre del browser lasciando aperta solo quella dell'esperimento, assicurandosi di non avere app e/o programmi attivi in background.

Il compito sperimentale era di compatibilità spaziale stimolo-risposta e i partecipanti erano testati nella sola condizione compatibile. Le istruzioni erano quindi di premere il tasto di sinistra quando lo stimolo appariva a sinistra e il tasto di destra quando lo stimolo appariva a destra (rispettivamente i tasti "e" ed "o" su una tastiera QWERTY senza tastierino numerico, oppure "y" e "p" su una tastiera QWERTY con tastierino numerico). Ogni prova iniziava con la presentazione di un punto di fissazione centrale (che poteva essere rappresentato dal simbolo "meno" o dal simbolo "più") e, contemporaneamente, con la presentazione di due rettangoli, uno a sinistra e uno a destra del punto di fissazione centrale. Dopo un intervallo di 1000 millisecondi (ms) veniva presentato lo stimolo target al centro di uno dei due rettangoli per 1000 ms. Alla scomparsa dello stimolo target seguiva un blank di 700 ms.

### 3. RISULTATI

I tempi di reazione (TR) più veloci (1.2%) o più lenti (7.7%) di 2 deviazioni standard dalla media dei TR individuali, i TR delle risposte non corrette (1.2%) sono stati esclusi dalle analisi dei dati. È stato eliminato un partecipante che ha risposto soltanto al 60% dei trials totali (probabilmente a causa di un problema con la connessione). Sono stati quindi analizzati i dati di 40 partecipanti su 41 (20 condizione "meno"; 20 condizione "più"). È stata eseguita l'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute con due fattori, uno within: *Posizione dello Stimolo target* (a sinistra vs. a destra) e uno

between: *Simbolo di Fissazione* (meno vs. più). Nessun effetto principale è risultato significativo. Ha raggiunto invece il livello di significatività l'interazione tra la *Posizione dello Stimolo target* e il *Simbolo di Fissazione*,  $F(1,38) = 5.242$ ,  $MSE = 468.938$ ,  $p = .028$ ,  $\eta_p^2 = .121$ . In particolare, con il simbolo di fissazione “più” le risposte sono più veloci quando lo stimolo compare a destra rispetto a quando appare a sinistra (314 vs. 318 ms, rispettivamente). Con il simbolo di fissazione “meno”, invece, le risposte sono più veloci quando lo stimolo compare a sinistra rispetto a quando compare a destra (315 vs. 320 ms, rispettivamente). Di conseguenza, osserviamo per le risposte a sinistra TR più veloci quando sono precedute dal punto di fissazione con il simbolo “meno” rispetto al simbolo “più” e per le risposte a destra, invece, TR più veloci quando lo stimolo è preceduto dal simbolo “più” rispetto al simbolo “meno”.

#### 4. DISCUSSIONE

Il presente studio ha analizzato l'effetto di associazione spaziale dei simboli matematici “meno” e “più” in un compito di compatibilità spaziale. Scopo di questo lavoro è stato quello di testare se il significato sottrattivo e additivo dei simboli meno e più orienti l'attenzione dei partecipanti facilitando l'elaborazione di stimoli target presentati in posizione laterale. Come è noto, molti studi di psicologia hanno utilizzato il simbolo “più” come punto di fissazione centrale. Diviene quindi particolarmente interessante comprendere se la presenza del simbolo “più” in posizione centrale può orientare, almeno parzialmente, l'attenzione dei partecipanti verso destra.

I risultati di questo studio, oltre a confermare l'esistenza di una connessione tra il simbolo “meno” con lo spazio di sinistra e il simbolo “più” con lo spazio di destra (effetto OSSA; Pinhas et al., 2014), mette in luce come questa connessione favorisca l'orientamento dell'attenzione a sinistra (simbolo “meno”) o a destra (simbolo “più”) del punto di fissazione centrale facilitando, come conseguenza, il riconoscimento dello stimolo target presentato dallo stesso lato. Potremmo quindi definire tale effetto



come “Attentional OSSA” (Att-OSSA), nel quale il significato dei simboli “meno” e “più” favorisce l’orientamento dell’attenzione dei partecipanti verso sinistra o verso destra.

I risultati dimostrano l’influenza del tipo di punto di fissazione sull’elaborazione del target. Infatti, si è osservato un pattern di risposte opposto tra la condizione “meno” e la condizione “più”: nella condizione “meno” le risposte sono state tendenzialmente più veloci quando il target è apparso a sinistra, mentre, nella condizione “più”, le risposte sono risultate più veloci quando il target è apparso a destra. Come ipotizzato, tale facilitazione può essere attribuita ad un orientamento dell’attenzione verso sinistra in seguito alla presentazione del simbolo “meno”, e verso destra in seguito alla presentazione del simbolo “più”.

Prima di concludere che in tutti i precedenti esperimenti che hanno impiegato il simbolo “più” come punto di fissazione si è favorito un orientamento dell’attenzione verso destra, è importante sottolineare che, nel presente lavoro, ai partecipanti veniva richiesto di fissare il simbolo presentato al centro dello schermo definendolo esplicitamente con il suo nome aritmetico “più” (o “meno”). L’utilizzo di questa etichetta potrebbe aver contribuito ad attivare il significato aritmetico di questi due simboli, che, altrimenti, non sarebbe stato codificato.

Per l’interpretazione dell’associazione spaziale ottenuta nel presente lavoro si può fare riferimento a due differenti modelli presenti in letteratura: il modello attenzionale (Hubbard, Piazza, Pinel e Dehaene, 2005; Knops, Thirion, et al., 2009b; McCrink, Dehaene e Dehaene-Lambertz, 2007) e il modello semantico (e.g., Hartmann, Mast, & Fischer, 2015; Pinhas e Fischer, 2008; Pinhas et al., 2014). Il primo, secondo cui i simboli “meno” e “più” orientano l’attenzione in direzioni opposte lungo un continuum spaziale, supporta l’esistenza dell’Att-OSSA. Il secondo, invece, non prevede uno spostamento dell’attenzione, ma suggerisce che i simboli “meno” e “più” favoriscano delle risposte verso una parte dello spazio perché sarebbero concettualmente connessi con esso. I presenti risultati depongono forse a favore di un’estensione dell’effetto OSSA ai compiti di compatibilità spaziale e non di Att-OSSA.

Le previsioni di questi modelli sono molto simili tra loro, entrambi infatti ipotizzano una facilitazione nel rispondere ad un target presentato a sinistra dopo una sottrazione e a destra dopo un'addizione. In un recente studio (Andres, Salvaggio, Lefèvr, Pesenti e Masson, 2020) sono state distinte le due previsioni programmando un compito sulle operazioni aritmetiche mentali con un temporal order judgment task (TOJ; Casarotti, Michielin, Zorzi, & Umiltà, 2007; Stelmach e Herdman, 1991), in cui i partecipanti, dopo aver eseguito delle addizioni o delle sottrazioni, dovevano indicare quale tra due target appariva per primo (condizione 1) o per ultimo (condizione 2) a sinistra o a destra. Per il modello basato sull'attenzione i risultati attesi avrebbero dovuto essere opposti nelle due condizioni. Il modello semantico invece non prevede alcuna differenza tra le due condizioni. I risultati hanno infatti mostrato che, a prescindere dalla condizione, i partecipanti erano più veloci a rispondere a sinistra dopo aver eseguito sottrazioni e a destra dopo aver eseguito addizioni, evidenziando che l'associazione spaziale non era spiegabile in termini di orientamento dell'attenzione, ma in termini di associazione semantica.

In generale quindi il presente studio dimostra che l'utilizzo dei simboli aritmetici "meno" e "più" può influenzare l'elaborazione di stimoli target presentati a sinistra o a destra durante un compito di compatibilità spaziale. Il presente esperimento, tuttavia, non permette di distinguere quale tra il modello attentivo (Att-OSSA) e il modello semantico sia il più adeguato ad interpretare i nostri risultati. Per definire i nostri risultati a favore di uno dei due modelli riportati è necessario testare il ruolo dei simboli matematici in altri compiti spaziali alternativi alla compatibilità spaziale. Resta comunque confermato il ruolo giocato dai simboli aritmetici, impiegati come punto di fissazione, sulle risposte al successivo stimolo target.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRES M., SALVAGGIO S., LEFÈVRE N., PESENTI M., MASSON N. (2020). Semantic associations between arithmetic and space: evidence from temporal order judgements. *Memory & cognition*, 48, 361–369, <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00975-9>.
- ANWYL-IRVINE A.L., MASSONIÉ J., FLITTON A., KIRKHAM N., EVERSHED J.K. (2020). Gorilla in our midst: an online behavioral experiment builder. *Behav Res*, 52, 388-407, <http://doi.org/10.3758/S13428-019-01237-X>.
- AULET L.S., YOUSIF S.R., LOURENCO S.F. (2021). Spatial–numerical associations from a novel paradigm support the mental number line account. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(10), 1829-1840. doi:10.1177/17470218211008733.
- CASAROTTI M., MICHELIN M., ZORZI M., UMILTÀ C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition*, 102(1), 101-117.
- CHETVERIKOV A., UPRAVITELEV P. (2016). Online versus offline: The Web as a medium for response time data collection. *Behavior Research Methods*, 48(3), 1086–1099. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0632-x>.
- CLELAND A.A., BULL R. (2019). Automaticity of access to numerical magnitude and its spatial associations: The role of task and number representation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(2), 333–348. <https://doi.org/10.1037/xlm0000590>.
- COHEN D.J. (2009). Integers do not automatically activate their quantity representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 332–336. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.2.332..>
- COLLING L.J., SZÜCS D., DE MARCO D., CIPORA K., ULRICH R., NUERK H., SOLTANLOU M., et al. (2020). Registered Replication Report on Fischer, Castel, Dodd, and Pratt (2003). *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 3 (2), 143-162. <https://doi.org/10.1177/2515245920903079>.
- DEHAENE S., BOSSINI S., GIRAUX P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396, <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>.
- DORMAL V., SCHULLER A.M., NIHOUL J., PESENTI M., ANDRES M. (2014). Causal role of spatial attention in arithmetic problem solving: Evidence from left unilateral neglect. *Neuropsychologia*, 60, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.007>.
- FIAS W., FISCHER M.H. (2005). Spatial representation of numbers. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (p. 43–54). Psychology Press.
- FIAS W., VAN DIJCK J.-P. (2016). The temporary nature of number-space interactions. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 70(1), 33–40. <https://doi.org/10.1037/cep0000071>.
- FISCHER M.H., CASTEL A.D., DODD M.D., PRATT J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6, 555–556. doi:10.1038/nn1066.
- GALTON F., (1988). Statistics of mental imagery. *Mind*, 19, 301–318, <https://doi.org/10.1093/mind/os-v.19.301>.
- KNOPS A., THIRION B., HUBBARD E.M., MICHEL V., DEHAENE S. (2009). Recruitment of an area involved in eye movements during mental arithmetic. *Science*, 324(5934), 1583–1585, <https://doi.org/10.1126/science.1171599>.
- KRAUT R., OLSON J., BANAJI M., BRUCKMAN A., COHEN J., COUPER M. (2004). Psychological research online: report of Board of Scientific Affairs' Advisory Group on the Conduct of Research on the Internet. *Am Psychol*. Feb-Mar;59(2):105-17. doi: 10.1037/0003-066X.59.2.105.
- KLEIN E., HUBER S., NUERK H. (2014). Operational Momentum Affects Eye Fixation Behaviour. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67:8, 1614-1625. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.902976>.
- KNOPS A., THIRION B., HUBBARD E.M., MICHEL V., DEHAENE S. (2009). Recruitment of an area involved in eye movements during mental arithmetic. *Science*, 19;324(5934):1583-5. doi: 10.1126/science.1171599.
- GEVERS W., VERGUTS T., REYNVOET B., CAESSENS B., FIAS W. (2006). Numbers and space: A computational model of the SNARC effect. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 32(1), 32–44.
- HARTMANN M., MAST F.W. FISCHER M.H., (2016). Counting is spatial process: evidence from eye movements, *Psychological research*, 80, 399-409. <https://doi.org/10.1007/S00426-015-0722-5>.
- HUBBARD E.M., PIAZZA M., PINEL P., DEHAENE S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 435–448, doi: 10.1038/nrn1684. pmid: 15928716.
- MASSON N., PESENTI M. (2014). Attentional bias induced by solving simple and complex addition and subtraction problems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67, 1514–1526.

- MASSON N., PESENTI M., DORMAL V. (2017). Impact of optokinetic stimulation on mental arithmetic. *Psychological Research*, 81(4), 840–849. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0784-z>.
- McCORMICK PA., KLEIN, RM., JOHNSTON S. (1998). Splitting versus sharing focal attention: comment on Castiello and Umiltà (1992). *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 24(1), 350–357, <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.1.350>.
- MCCRINK K., DEHAENE S., DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2007). Moving along the number line: Operational momentum in nonsymbolic arithmetic. *Perception & Psychophysics*, 69(8), 1324–1333, <https://doi.org/10.3758/BF03192949>.
- PINHAS M., FISCHER M.H. (2008). Mental movements without magnitude? A study of spatial biases in symbolic arithmetic. *Cognition*, 109(3), 408–415, <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.09.003>.
- PINHAS M., SHAKI S., FISCHER M.H. (2014). Heed the sign: operation sign have spatial association. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(8), 1527-1540, <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.892516>.
- RESTLE, F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology*, 83(2, PT.1), 274–278, <https://doi.org/10.1037/h0028573>.
- STELMACH L.B., HERDMAN C.M. (1991). Directed attention and perception of temporal order. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 17(2), 539–550, <https://doi.org/10.1037/0096-1523.17.2.539>.
- WOOD G., WILLMES K., NUERK H.C., FISCHER M.H. (2008). On the cognitive link between space and number: a meta-analysis of the snarc effect. *Psychology Science*, 50(4), 489–525.