

Il contributo delle funzioni visuospatiali alle abilità numeriche e di calcolo

The contribution of visuospatial functions to numerical and calculation abilities

Gennaro Raimo¹, Rosa Milo¹, Salvatore Ricciardiello¹, Antonio Perrotta¹, Isa Zappullo¹

¹*Dipartimento di Psicologia, Università della Campania Luigi Vanvitelli, Viale Ellittico 31, 81100, Caserta, Italia.*

Abstract

Numerose evidenze suggeriscono l'esistenza di una relazione tra competenze matematiche e abilità visuospatiali. Tuttavia, i dati disponibili non consentono di chiarire il rapporto tra differenti domini visuospatiali e i sistemi del numero e del calcolo. Scopo del presente studio è stato indagare il contributo delle capacità di identificazione di figure nascoste (*disembedding*), di rotazione mentale e di costruzione spaziale alle abilità numeriche e di calcolo. A tale scopo, è stato reclutato un campione di 81 studenti (41 maschi e 40 femmine) con età compresa tra 14 e 15 anni. I risultati hanno mostrato che il genere e il *disembedding* sono predittori comuni sia al sistema del numero che del calcolo, mentre le rotazioni mentali rappresentano un predittore specifico del sistema del numero. I presenti risultati contribuiscono al dibattito sulle differenze di genere nelle competenze matematiche, suggerendo di indagare il possibile contributo delle abilità visuospatiali. Sono discusse le implicazioni cliniche e didattiche.

Parole chiave

Identificazione di figure nascoste; Rotazione mentale; Competenze matematiche; Sistema del numero; Sistema del calcolo; Differenze di genere.

Autore responsabile per la corrispondenza: Gennaro Raimo, Dipartimento di Psicologia, Università della Campania Luigi Vanvitelli, Viale Ellittico 31, 81100, Caserta, Italia; gennaro.raimo@unicampania.it

Abstract

Much evidence indicates that math skills are related to visuospatial abilities. However, the available literature does not allow to clarify the relationships between different visuospatial domains and both numerical and calculation abilities. The aim of the present study was to investigate the specific contribution of disembedding, mental rotation and visuoconstructional abilities to numerical and calculation processing. For this purpose, we recruited a sample of 81 students (41 males and 40 females) aged between 14 and 15 years. Results showed that gender and disembedding were significant predictors of both number and calculation abilities, whereas mental rotation accounted for number abilities only. The present findings contribute to debate on gender differences in math skills, suggesting to investigate the possible contribution of visuospatial abilities. Clinical and educational implications are discussed.

Keywords

Disembedding; Mental rotation; Math skills; Number system; Calculation system; Gender differences.

Introduzione

Le abilità visuospatiali rappresentano quell'insieme di abilità cognitive non-verbali che operano su stimoli percettivi e immaginativi e che permettono all'individuo di interagire con l'ambiente esterno (Trojano & Conson, 2008). Non esiste una classificazione univoca di tali abilità (Buckley et al., 2018; Uttal & Cohen, 2012; Linn & Petersen, 1985). Tuttavia, una classica teorizzazione propone di distinguere tra 'percezione spaziale', indicando i processi di elaborazione delle caratteristiche di base di uno stimolo (localizzazione dei punti nello spazio e identificazione della dimensione, orientamento e distanza di un oggetto), e 'cognizione spaziale', indicando operazioni mentali più complesse che richiedono l'utilizzo di rappresentazioni mentali (De Renzi, 1982). Un esempio di prove visuospatiali che misurano abilità 'rappresentazionali' è costituito dai compiti di rotazione mentale, in cui si richiede ai soggetti di ruotare mentalmente stimoli bi-tridimensionali (Shepard & Metzler, 1971), o di identificazione di figure nascoste (*disembedding*), in cui si richiede ai soggetti di individuare semplici figure all'interno di una configurazione complessa (Witkin et al., 1971). In letteratura vi è un generale accordo nell'evidenziare, sia nell'adulto che nel bambino, una forte relazione tra abilità visuospatiali 'rappresentazionali' e visuocostruttive, quest'ultime intese come la capacità di riprodurre un modello bi-tridimensionale organizzando i singoli dettagli in un'integrata configurazione spaziale globale (Guérin et al., 1999; Trojano et al., 2004; Del Giudice et al., 2000; Stiles et al., 2020). Il Test della Figura Complessa di Rey-Osterrieth (Osterrieth 1944; Rey 1941, 1983) è la misura neuropsicologica più frequentemente utilizzata per la valutazione delle abilità visuocostruttive, sia nell'adulto cerebroleso (Grossi et al., 2002; Lezak, 1995) che in soggetti in età evolutiva con vari disordini del neurosviluppo (Akshoomoff & Stiles, 1995; Waber & Bernstein, 1995; Barkley, 1997), richiedendo al soggetto di riprodurre il più accuratamente possibile una figura complessa formata da 18 elementi geometrici.

Studi classici e più recenti convergono nell'evidenziare la stretta relazione tra spazio ed elaborazione numerica (Dehaene et al., 1993; Walsh, 2003; Hawes et al., 2019). Difatti, sin dai primi studi storici di Galton (1880), successive evidenze sperimentali hanno dimostrato il cosiddetto 'effetto SNARC', dall'inglese '*Spatial Numerical Association of Response Codes*', ossia la tendenza delle persone ad associare automaticamente i numeri piccoli alla porzione sinistra dello spazio e quelli grandi alla porzione destra

(Dehaene et al., 1993). È stata anche suggerita l'esistenza di un sistema comune per l'elaborazione di tutte le grandezze (numerica, spaziale e temporale) con substrato neurologico localizzato nel lobulo parietale inferiore (Walsh, 2003), sebbene tale modello non raccolga un generale accordo (Agrillo et al., 2013; McCaskey et al., 2017).

Recentemente, alcuni autori hanno condotto una meta-analisi sui correlati neurali della rappresentazione numerica simbolica, dell'aritmetica e delle abilità di rotazione mentale, dimostrando come i tre processi cognitivi condividano l'attivazione delle regioni bilaterali parietali in prossimità del solco intraparietale (Hawes et al., 2019). Questi dati confermerebbero classiche evidenze provenienti dalla neuropsicologia clinica del paziente cerebraleso con lesioni parietali (Gerstmann, 1940; Vallar, 1998), così come dagli studi condotti su bambini con discalculia e sindrome non verbale, in cui i deficit di elaborazione numerica e di calcolo spesso si presentano in concomitanza con deficit visuospatiali (Rourke, 1993; Mammarella & Cornoldi, 2014; Liu et al., 2021).

Un classico modello cognitivo, mutuato dalla neuropsicologia dell'adulto, consente di effettuare una distinzione tra elaborazione numerica e di calcolo, attraverso l'identificazione di moduli funzionalmente distinti, ma che interagiscono attraverso un sistema di rappresentazione semantica centrale: due sistemi indipendenti per la comprensione e produzione numerica, implicati nell'elaborazione lessicale e sintattica dei numeri, sia per il codice verbale che arabo; un sistema per il calcolo, composto da tre sotto-componenti preposte rispettivamente all'interpretazione dei segni aritmetici, alla conoscenza dei fatti aritmetici (tabelline, calcoli semplici e altri risultati a cui si accede in modo diretto) e all'esecuzione delle procedure di calcolo (McCloskey, 1992).

Nella letteratura evolutiva numerosi studi hanno indagato il rapporto tra specifici domini visuospatiali e abilità matematiche (Barnes et al., 2011; Zhang & Lin, 2015; Lonnemann et al., 2019), così come tra abilità visuospatiali e successo accademico in discipline STEM, dall'inglese *'Science, Technology, Engineering, and Mathematics'* (Kell et al., 2013; Buckley et al., 2018; Atit et al., 2021; Shea et al., 2001). Ad esempio, è stato osservato che una migliore percezione spaziale è associata a migliori abilità di conteggio e di rappresentazione spaziale numerica (Barnes et al., 2011; Zhang & Lin, 2015). Inoltre, in letteratura è stata dimostrata una forte relazione positiva tra abilità di rotazione mentale e prestazioni matematiche (Frick, 2018; Gunderson et al., 2012; Mix et al., 2016), sebbene siano contrastanti i dati sul ruolo specifico delle abilità di rotazione mentale nelle abilità numeriche e di calcolo. Infatti, alcuni studi riportano una forte associazione tra rotazioni mentali e competenze ascrivibili al sistema del numero, come le abilità di conteggio e il senso del numero (Gunderson et al., 2012; Lauer & Lourenco, 2016; Thompson et al., 2013), mentre altre evidenze mostrano una relazione positiva tra rotazioni mentali e le abilità di calcolo aritmetico (Geary et al., 2000; Carr et al., 2008). Per quanto concerne le abilità visuocostruttive, alcuni studi suggeriscono una relazione positiva tra prestazione matematica e compiti di costruzione con cubi (Fernández-Méndez et al., 2020; Mix et al., 2016; Casey et al., 2017). Pochi studi, invece, hanno indagato il ruolo delle abilità di *disembedding* rispetto alle abilità numeriche e di calcolo. Ad esempio, Gilligan e collaboratori (2019) hanno dimostrato in bambini di età scolare che, insieme all'età, le abilità di *disembedding*, di localizzazione spaziale e di linguaggio, rappresentano predittori specifici delle competenze matematiche. Inoltre, Hodgkiss e collaboratori (2018) hanno indagato in bambini in età scolare l'effetto

di differenti abilità visuospatiali, tra cui il *disembedding* e la costruzione mentale, su prove attitudinali in differenti discipline scientifiche (biologia, chimica e fisica), dimostrando che la costruzione mentale, oltre a predire il punteggio totale al test attitudinale, è maggiormente associato al dominio della biologia e della fisica, mentre il *disembedding* è l'unico predittore del dominio della chimica. Dunque, al momento resta ancora da chiarire il rapporto tra differenti domini visuospatiali e visuocostruttivi e le abilità numeriche e del calcolo. Inoltre, in letteratura sono riportati risultati contrastanti nel rapporto tra genere e competenze matematiche, con alcuni studi che evidenziano un forte vantaggio maschile soprattutto in compiti di ragionamento matematico, problem solving e geometria (Hyde et al., 1990; Leahey & Guo, 2001; Giofrè et al., 2020), mentre altri che non osservano alcuna differenza (Hyde et al., 2008; Kersey et al., 2019). Scopo del presente studio è stato indagare il contributo specifico delle abilità di *disembedding*, di rotazione mentale e visuocostruttive nella prestazione in compiti numerici e di calcolo. Inoltre, è stato indagato anche il possibile ruolo delle differenze di genere.

Metodo

Partecipanti

Sono stati reclutati per partecipare alla ricerca studenti delle scuole secondarie di secondo grado della regione Campania. Il principale criterio di inclusione era l'assenza di diagnosi di disturbi del neurosviluppo o di altre condizioni cliniche. Il campione (81 studenti, 41 maschi e 40 femmine) ha un'età media di 15.2 anni (D.S. = 0.4; intervallo di età: 14 – 15.8 anni). L'indice socioeconomico familiare dei partecipanti (Hollingshead 1975; Venuti & Senese, 2007) ha una media di 29.3 (D.S. = 13.9; intervallo: 6 - 66). La ricerca è stata condotta in accordo con gli standard etici della Dichiarazione di Helsinki e approvata dal Comitato Etico Locale (Codice di approvazione etico N:34/2020); inoltre, i genitori dei partecipanti hanno sottoscritto il consenso informato prima di procedere con la somministrazione delle prove.

Misure

Identificazione di Figure Nascoste (La Femina et al., 2009; Trojano et al., 2015). In questo compito sono mostrati ai partecipanti uno stimolo target e sei alternative di risposta, tra cui quella corrispondente alla risposta corretta e cinque distrattori. Il compito prevede che i partecipanti trovino, tra le sei alternative, l'unica che contiene al suo interno lo stimolo target, riportando verbalmente il numero corrispondente all'opzione selezionata. Il test è composto da 12 tavole con difficoltà crescente; per ogni risposta esatta è assegnato 1 punto (punteggio massimo = 12). È registrato il tempo totale impiegato per completare tutte le tavole (Figura 1).

Rotazione mentale (La Femina et al., 2009; Trojano et al., 2015). In questo compito, ai partecipanti viene presentata un'immagine target a forma di lettera maiuscola L o S, con piccoli cerchi bianchi o neri alle estremità. Il compito prevede che i partecipanti trovino, tra sei alternative proposte, l'elemento che corrisponde allo stimolo target ruotato orizzontalmente di 45°, 90°, 135° o 180°, riportando verbalmente il numero corrispondente all'opzione selezionata. Il test è composto da 9 tavole a difficoltà crescente; per

ogni risposta esatta è assegnato 1 punto (punteggio massimo = 9). È registrato il tempo totale impiegato per completare tutte le tavole (Figura 1).

Figura Complessa di Rey-Osterrieth (Osterrieth, 1944; Rey, 1941, 1983). Il compito richiede di copiare la figura complessa quanto più accuratamente possibile e senza nessuna restrizione di tempo. L'accuratezza è stata valutata mediante il classico sistema proposto da Rey (1983), assegnando per ogni elemento grafico (in totale 18) un punteggio che varia da 0 a 2 punti: 2 punti, quando l'elemento è completo e posizionato correttamente; 1 punto, quando è incompleto ma posizionato correttamente, oppure quando è completo ma mal posizionato; 0.5 punti, quando l'elemento è incompleto e mal posizionato, ma riconoscibile; 0 punti, quando è assente o non riconoscibile (punteggio massimo = 36; Figura 1).

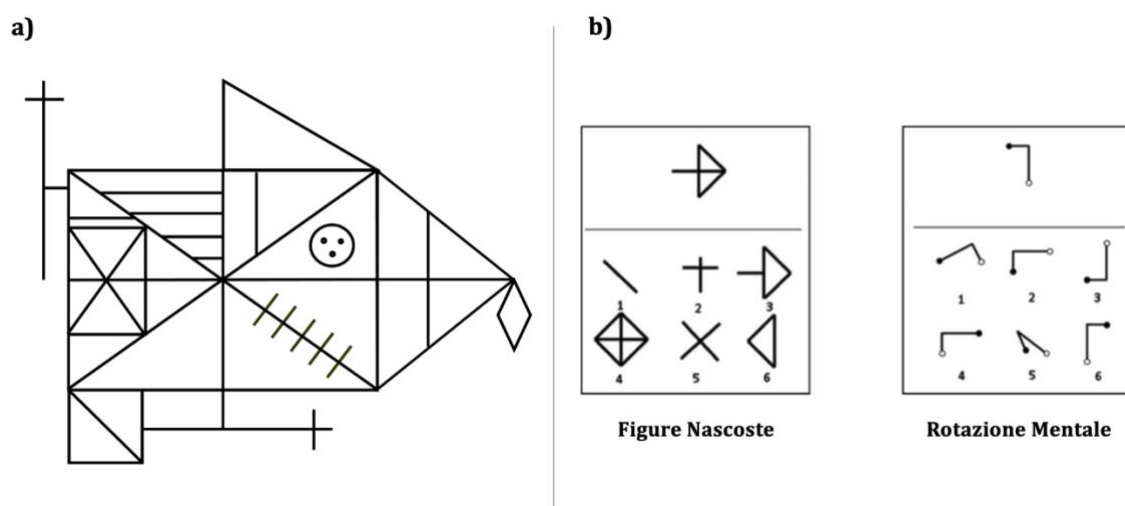


Figura 1. a) *Figura Complessa di Rey-Osterrieth* (Osterrieth 1944; Rey 1941); b) *Esempi di stimoli usati nei compiti visuospatiali: Identificazione di Figure Nascoste e Rotazione mentale* (La Femina et al., 2009; Trojano et al., 2015).

Sistema del Numero (Cornoldi et al., 2017). Le abilità numeriche sono state valutate con la prova di *Conoscenza numerica* (Prove MT 3 Clinica Avanzate; Cornoldi et al., 2017). Il compito è composto da 20 item a risposta multipla, suddivisi in due tavole separate per valutare le abilità di quantificazione e stima di grandezza. La prima tavola è composta da 5 item, mentre la seconda da 15 item, ognuna delle quali richiede un tempo massimo di esecuzione (60 e 180 secondi, rispettivamente). Ai partecipanti è richiesto di individuare, tra 4 alternative, la risposta corretta demarcandola con una crocetta. Viene assegnato 1 punto per ogni risposta corretta fornita entro il limite di tempo concesso per ciascuna tavola (punteggio massimo = 20).

Sistema del Calcolo (Cornoldi et al., 2017). Le abilità di calcolo sono state valutate attraverso le prove di *Calcolo a mente*, *Fatti aritmetici* e *Aritmetica* (Prove MT 3 Clinica Avanzate; Cornoldi et al., 2017). La prova di *Calcolo a mente* richiede ai partecipanti di svolgere il più velocemente e accuratamente possibile 8 operazioni a mente, presentate a voce dall'esaminatore, entro il limite di tempo di 60 secondi, riportando verbalmente la risposta. Viene assegnato 1 punto per ogni risposta corretta fornita entro il limite di tempo (punteggio massimo = 8). La prova di *Fatti aritmetici* richiede ai partecipanti di recuperare 27 fatti aritmetici presentati a voce dall'esaminatore, riportando verbalmente la risposta. Viene assegnato 1 punto per ogni risposta corretta fornita entro il limite di tempo di 3 secondi (punteggio massimo = 27). La prova di *Aritmetica* valuta la capacità di svolgere operazioni aritmetiche con frazioni, radici quadrate, potenze e numeri decimali. La prova è composta da 10 item a risposta multipla. Ai partecipanti è richiesto di individuare, tra 4 alternative, l'unica risposta corretta, demarcandola con una crocetta. Viene assegnato 1 punto per ogni risposta corretta (punteggio massimo = 10).

Tutti i partecipanti sono stati testati individualmente in una stanza silenziosa a scuola, in un'unica sessione della durata di circa 30 minuti. L'ordine di somministrazione è stato controbilanciato tra i soggetti.

Analisi statistiche

Al fine di ottenere un unico indice delle abilità di calcolo, è stata effettuata un'analisi delle componenti principali sui punteggi totali alle prove di *Calcolo a mente* (accuratezza), *Fatti aritmetici* e *Aritmetica*. I risultati hanno indicato che un singolo fattore spiega il 67.40 % di varianza delle prove (autovalori: 2.02 per il primo e 0.542 per il secondo), con alti punteggi indicativi di migliori abilità di calcolo.

Due modelli di regressione multipla stepwise sono stati effettuati al fine di verificare gli effetti specifici delle abilità visuospaziali e visuocostruttive sul sistema del numero e del calcolo. Nello specifico, gli indici del sistema del calcolo e del numero sono stati inseriti come variabili dipendenti nel primo e secondo modello rispettivamente, mentre per entrambi i modelli il genere, il *disembedding* e la rotazione mentale (sia accuratezza che tempo di esecuzione in secondi), e le abilità visuocostruttive sono state inserite come variabili indipendenti. Tutte le analisi sono state condotte con lo Statistical Package for Social Sciences (SPSS Inc, version 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Risultati

Le descrittive dei punteggi ottenuti a tutte le prove somministrate, separatamente per i maschi e per le femmine, sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1. Prestazione alle prove visuospatiali e visuocostruttive e di competenza matematica, separatamente per i maschi e le femmine.

	Maschi (N = 41)	Femmine (N = 40)	Campione totale (N = 81)
Sistema del Calcolo	.39 (.88) [-1.64; 1.98]	-.40 (.96) [-2.61; 1.94]	.00 (1.00) [-2.61; 1.98]
Sistema del Numero	12.27 (2.94) [5; 19]	10.88 (2.82) [6; 18]	11.58 (2.94) [5; 19]
Figure Nascoste - accuratezza	9.63 (2.32) [4; 12]	9.60 (2.03) [4; 12]	9.62 (2.17) [4; 12]
Figure Nascoste - secondi	179.20 (74.26) [82; 435]	163.65 (47.93) [94; 281]	171.52 (62.76) [82; 435]
Rotazione Mentale - accuratezza	6.22 (2.38) [1; 9]	6.15 (2.25) [0; 9]	6.19 (2.30) [0; 9]
Rotazione Mentale - secondi	167.41 (85.63) [47; 489]	182.20 (90.93) [69; 449]	174.72 (88.05) [47; 489]
Figura di Rey	25.45 (4.53) [9.5; 33]	26.35 (4.02) [15; 33]	25.89 (4.28) [9.5; 33]

Nota. I valori sono espressi come media (deviazione standard) [Min; Max].

I risultati dalle analisi del modello finale di regressione stepwise sul sistema del calcolo sono riportati in Tabella 2. L'analisi di regressione stepwise contiene due modelli. Il primo è significativo $F(1,79) = 15.33, p < .001$, e mostra che il genere è l'unico predittore significativo, $\beta = -.403, t(79) = -3.91, p < .001$. L'adattamento incrementa nel secondo modello ($R^2_{diff} = .076$). Il modello finale è significativo, $F(2,78) = 12.25, p < .001$, e mostra che il genere, $\beta = -.401, t(78) = -4.06, p < .001$, e il *disembedding* misurato con l'accuratezza al Test di Identificazione di Figure nascoste, $\beta = .276, t(78) = 2.80, p = .006$, sono gli unici predittori specifici del sistema del calcolo. Non emerge multicollinearità (Indice di tolleranza = 1.00; VIF = 1.00).

I risultati dalle analisi del modello finale di regressione stepwise sul sistema del numero sono riportati in Tabella 3. L'analisi di regressione stepwise contiene tre modelli. Il primo modello è significativo $F(1,79) = 4.73, p = .033$, e mostra che il genere è l'unico predittore significativo, $\beta = -.238, t(79) = -2.17, p = .033$. L'adattamento incrementa nel secondo modello ($R^2_{diff} = .055$). Il secondo modello è significativo, $F(2,78) = 4.88, p = .010$, e mostra che il genere, $\beta = -.236, t(78) = -2.20, p = .030$, e il *disembedding* misurato con l'accuratezza al Test di Identificazione di Figure nascoste, $\beta = .234, t(78) = 2.19, p = .031$, sono gli unici predittori significativi. L'adattamento incrementa nel terzo modello ($R^2_{diff} = .071$). Il modello finale è significativo, $F(3,77) = 5.72, p = .001$, e mostra che il genere, $\beta = -.212, t(77) = -2.05, p = .044$, il *disembedding* misurato con l'accuratezza al Test di Identificazione di Figure nascoste, $\beta = .294, t(77) = 2.79, p = .007$, e la rapidità al Test di Rotazione mentale, $\beta = -.274, t(77) = -2.58, p = .012$, sono gli unici predittori significativi. Non emerge multicollinearità (Indice di tolleranza = .945; VIF = 1.05).

Tabella 2. Modello finale di regressione multipla stepwise sul sistema del Calcolo.

	B	β	T	P
Costante	-.831	-	-1.81	.074
Genere*	-.797	-.401	-4.06	.00
Figure Nascoste - accuratezza*	.127	.276	2.80	.006
Figure Nascoste - secondi	-	.001	-.004	.997
Rotazione Mentale - accuratezza	-	.109	1.03	.307
Rotazione Mentale - secondi	-	-.072	-.709	.481
Figura di Rey	-	.067	.646	.520

Nota. Genere (0 = maschio; 1 = femmina). $N = 81$. *Predittori inclusi nel modello finale di regressione. Fit per il modello finale: $F(2,78) = 12.25$, $p < .001$, $R^2 = .239$.

Tabella 3. Modello finale di regressione multipla stepwise sul sistema del Numero.

	B	β	T	P
Costante	9.95	-	6.89	.00
Genere*	-1.244	-.212	-2.05	.044
Figure Nascoste - accuratezza*	.400	.294	2.79	.007
Figure Nascoste - secondi	-	-.004	-.027	.979
Rotazione Mentale - accuratezza	-	.057	.513	.609
Rotazione Mentale - secondi*	-.009	-.274	-2.58	.012
Figura di Rey	-	.073	.668	.506

Nota. Genere (0 = maschio; 1 = femmina). $N = 81$. *Predittori inclusi nel modello finale di regressione. Fit per il modello finale: $F(3,77) = 5.72$, $p = .001$, $R^2 = .182$.

Discussione

I risultati del presente studio hanno evidenziato che il *disembedding* misurato con l'accuratezza al Test di Identificazione di Figure nascoste e il genere rappresentano predittori comuni sia al sistema del numero che del calcolo, mentre la rapidità al Test di Rotazione mentale rappresenta un predittore specifico per il sistema del numero.

Il risultato più rilevante del presente studio riguarda l'effetto specifico del *disembedding* sia sulle abilità numeriche che di calcolo, rappresentando una competenza condivisa dai due sistemi. Come ricordato sopra, pochi studi hanno indagato il ruolo del *disembedding* nelle competenze matematiche. Ad esempio, Gilligan e collaboratori (2018) hanno osservato che il *disembedding*, insieme all'età, la localizzazione spaziale e le abilità linguistiche, predicono il risultato complessivo ad una prova curricolare di matematica, che include item di elaborazione numerica, algebra e ragionamento spaziale-matematico; inoltre, il *disembedding* era un predittore della prova della linea spaziale del numero. I presenti risultati si sovrappongono parzialmente a quanto evidenziato da Gilligan e collaboratori (2018), mostrando come le abilità di

disembedding sono implicate sia in compiti di elaborazione numerica che di calcolo. Il compito di *disembedding* richiede ai soggetti di identificare la forma target in una configurazione più complessa e rappresenta una misura della capacità del soggetto di 'estrarre' una figura dallo sfondo (Witkin, 1971). Alcuni autori hanno suggerito che abilità in parte analoghe a quelle di *disembedding*, come la percezione della forma, possono giocare un ruolo nella discriminazione visiva del simbolo dell'algoritmo (i simboli delle operazioni) e nei processi di calcolo che richiedono la comprensione della relazione spaziale tra simboli (Mix et al., 2016). Le prove di calcolo utilizzate nel presente studio comprendono, oltre al calcolo a mente e al recupero dei fatti aritmetici, una prova di aritmetica, nella quale si richiede ai soggetti di effettuare delle operazioni con frazioni, radici quadrate, potenze e numeri decimali. È, pertanto, plausibile ipotizzare che la relazione tra *disembedding* e sistema del calcolo qui evidenziata possa essere in parte riconducibile alle abilità di percezione della forma, condivise da entrambi i processi (Witkin, 1971; Mix et al., 2016), sebbene questa interpretazione richieda di essere verificata empiricamente.

Per quanto riguarda l'effetto del genere sulle competenze matematiche, i nostri risultati evidenziano un vantaggio maschile sia per le prove relative al sistema del numero che di calcolo, in linea con precedenti evidenze (Leahey & Guo, 2001; Ganley & Vasilyeva 2011; Giofrè et al., 2020). In particolare, Giofrè e collaboratori (2020) hanno analizzato i risultati alle prove di INVALSI (Istituto Nazionale per la VALutazione del Sistema di Istruzione) di studenti italiani della scuola primaria e secondaria di primo grado dal 2010 al 2018. I risultati, oltre ad evidenziare un vantaggio maschile alle prove di matematica, hanno inoltre mostrato come il divario nella prestazione tra maschi e femmine aumentasse al crescere della scolarità. Tuttavia, il nostro risultato dovrebbe essere interpretato anche alla luce di alcuni limiti del presente studio, soprattutto relativi al non aver considerato il ruolo di variabili potenzialmente importanti come, ad esempio, l'ansia da matematica, che si è dimostrata essere un moderatore della relazione tra genere e prestazione matematica (Milovanović, 2020; Van Mier et al., 2019).

Un altro risultato principale del presente studio riguarda l'effetto specifico delle abilità di rotazione mentale sul sistema del numero, in linea con precedenti evidenze che suggeriscono una relazione positiva tra rotazione mentale e abilità di conteggio e senso del numero (Gunderson et al., 2012; Lauer & Lourenco, 2016; Thompson et al., 2013). Diversamente da altri studi (Geary et al., 2000; Carr et al., 2008), invece, non abbiamo osservato alcun effetto delle rotazioni mentali sul sistema del calcolo, probabilmente in parte dovuto al differente compito di rotazione mentale utilizzato (stimoli bidimensionali). Infatti, sebbene il compito carta e matita da noi utilizzato sia un valido strumento per misurare le abilità di rotazione mentale (Conson et al., 2020; La Femina et al., 2009; Senese et al., 2020), alcune evidenze suggeriscono l'effetto specifico delle caratteristiche dello stimolo da ruotare sulla prestazione (Shepard & Metzler, 1988). Pertanto, in studi successivi si potrà controllare l'influenza di questa variabile al fine di verificare ulteriormente la relazione tra abilità di calcolo e rotazione mentale. Inoltre, diversamente da precedenti evidenze che avevano dimostrato un'associazione positiva tra abilità visuocostruttive (Disegno con cubi; Wechsler, 2004) e competenze matematiche (Fernández-Méndez et al., 2020; Mix et al., 2016; Casey et al., 2017), i risultati del presente studio non hanno mostrato alcuna relazione tra queste due abilità. Anche in questo caso è possibile ipotizzare che la divergenza tra i risultati possa essere in parte ascrivibile alle differenze tra le prove utilizzate. Infatti, è stato dimostrato che differenti compiti

visuocostruttivi come la copia di disegni e la costruzione con cubi, sebbene correlati, non possono essere considerati equivalenti (Strauss, 1924; Gainotti & Trojano, 2018; De Lucia et al., 2019). Ad esempio, Zappullo e collaboratori (2021) hanno indagato le basi neuropsicologiche di compiti costruttivi bi-tridimensionali (Figura Complessa di Rey-Osterrieth e Disegno con cubi) in bambini a sviluppo tipico di età compresa tra i 7 e i 12 anni, dimostrando notevoli differenze nei predittori cognitivi delle due misure. Pertanto, sviluppi futuri del presente studio dovranno includere anche compiti di costruzione tridimensionale, al fine di verificare se la relazione non significativa qui individuata tra abilità visuocostruttive, abilità numeriche e di calcolo possa essere ricondotta alle caratteristiche specifiche del test impiegato.

Infine, è opportuno considerare alcuni limiti che riguardano la generalizzabilità dei presenti risultati, principalmente ascrivibili alla limitata ampiezza campionaria e allo specifico intervallo di età dei partecipanti. Infatti, alcuni autori hanno dimostrato come i predittori spaziali delle competenze matematiche differiscano in funzione dell'età in bambini con sviluppo tipico (Mix et al., 2016). Inoltre, vi è un generale accordo nel ritenere che vi siano importanti cambiamenti nelle abilità visuospatiali e visuocostruttive durante l'età scolare, principalmente dovuti al graduale cambiamento della capacità di integrare i dettagli con la forma globale di un'immagine visiva complessa. Infatti, i bambini più piccoli tendono a focalizzarsi sui dettagli e progressivamente diventano capaci di prediligere la forma globale. La transizione verso la percezione della forma globale tende a stabilizzarsi intorno ai 9 anni, sebbene questa modalità di analisi visiva diventi più efficiente durante l'adolescenza (Akshoomoff & Stiles, 1995; Poirel et al., 2011; Stiles et al., 2013, 2020). Su queste basi, studi successivi dovrebbero indagare la relazione tra abilità visuospatiali ed elaborazione numerica e di calcolo in una prospettiva evolutiva, attraverso studi longitudinali.

Conclusioni

Il presente studio ha evidenziato come il genere e le abilità di *disembedding* rappresentino predittori comuni al sistema del numero e del calcolo, mentre le abilità di rotazione mentale rappresentino un predittore specifico del sistema del numero. Nonostante i limiti sopra evidenziati, l'individuazione di similarità e differenze nei predittori spaziali dell'elaborazione numerica e di calcolo potrebbe suggerire alcune implicazioni cliniche per la programmazione di interventi di potenziamento in ragazzi con discalculia evolutiva (Re et al., 2014). Inoltre, alcune implicazioni didattiche dovrebbero essere prese in considerazione alla luce delle differenze di genere qui emerse. In particolare, considerata la plasticità delle abilità visuospatiali (Uttal et al., 2013) e la loro forte relazione con il successo accademico in discipline STEM (Hegarty et al., 2017; Wai et al., 2009) il cui accesso appare ancora contraddistinto da uno sbilanciamento tra maschi e femmine (Card & Payne, 2020; Yonghong, 2008), i nostri dati sostengono la proposta di inserire nella programmazione didattica attività di potenziamento delle abilità spaziali. Tali attività, infatti, si sono dimostrate efficaci nel bilanciare le differenze di genere (Lane & Sorby, 2021).

Bibliografia

Agrillo, C., Piffer, L., & Adriano, A. (2013). Individual differences in nonsymbolic numerical abilities predict mathematical achievements but contradict ATOM. *Behav. Brain Funct.* 9:26. doi: 10.1186/1744-9081-9-26.

- Akshoomoff, N.A., Stiles, J., (1995). Developmental trends in visuospatial analysis and planning: I. Copying a complex figure. *Neuropsychology* 9 (3), 364 -377.
- Atit, K., Power, J. R., Pigott, T., Lee, J., Geer, E. A., Uttal, D. H., ... & Sorby, S. A. (2021). Examining the relations between spatial skills and mathematical performance: A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 1-22.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unified theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. doi:10.1037/0033-2909.121.1.65.
- Barnes, M. A., Stubbs, A., Raghubar, K. P., Agostino, A., Taylor, H., Landry, S., Fletcher, J. M., & Smith-Chant, B. (2011). Mathematical skills in 3- and 5-year-olds with spina bifida and their typically developing peers: a longitudinal approach. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 17(3), 431–444.
- Buckley, J., Seery, N., and Canty, D. (2018). A heuristic framework of spatial ability: a review and synthesis of spatial factor literature to support its translation into STEM education. *Educ. Psychol. Rev.* 30, 947–972. doi: 10.1007/s10648-018-9432-z.
- Card, D., & Payne, A. A. (2020). High school choices and the gender gap in STEM. *Economic Inquiry*, 59(1), 9–28.
- Carr, M., Steiner, H. H., Kyser, B., and Biddlecomb, B. (2008). A comparison of predictors of early emerging gender differences in mathematics competency. *Learn. Individ. Diff.* 18, 61–75.
- Casey, B., Lombardi, C., Pollock, A., Fineman, B., Pezaris, E. (2017). Girls' spatial skills and arithmetic strategies in first grade as predictors of fifth-grade analytical math reasoning. *Journal of Cognition and Development* 18:530–555 DOI 10.1080/15248372.2017.1363044.
- Conson, M., Senese, VP., Baiano, C., Zappullo, I., Warriar, V., The UNICAMPSY17 group, Salzano, S., Positano, M. & Baron-Cohen, S. (2020). The effects of autistic traits and academic degree on visuospatial abilities. *Cognitive Processing* <https://doi.org/10.1007/s10339-019-00941-y>.
- Cornoldi, C., Baldi, A.P. & Giofrè, D. (2017). Prove MT Avanzate-3-Clinica. Giunti Psychometrics.
- 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>.
- Del Giudice, E., Grossi, D., Angelini, R., Crisanti, A. F., Latte, F., Fragassi, N. A., & Trojano, L. (2000). Spatial cognition in children. I. Development of drawing-related (visuospatial and constructional) abilities in preschool and early school years. *Brain & Development*, 22, 362–367.
- De Lucia, N., Milan, G., Grossi, D., & Trojano, L. (2019). The closing-in phenomenon in constructional tasks in dementia and mild cognitive impairment. *Neuropsychology*. <https://doi.org/10.1037/neu0000596>.
- De Renzi E (1982). Disorders of Space Exploration and Cognition. Wiley and Sons, New York. Fernández-Méndez, LM., Contreras, MJ., Mammarella, IC., Feraco, T., Meneghetti, C. (2020). Mathematical achievement: the role of spatial and motor skills in 6–8 year-old children. *PeerJ* 8:e10095 <http://doi.org/10.7717/peerj.10095>.
- Frick, A. (2018). Spatial transformation abilities and their relation to later mathematics performance. *Psychological Research*. 83:1465–1484 DOI 10.1007/s00426-018-1008-5.
- Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*. 21, 252–256.
- Ganley, C. M., & Vasilyeva, M. (2011). Sex differences in the relation between math performance, spatial skills, and attitudes. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 32(4), 235-242.
- Geary, D. C., Saults, S. J., Liu, F., & Hoard, M. K. (2000). Sex differences in spatial cognition, computational fluency, and arithmetical reasoning. *J. Exp. Child Psychol.* 77, 337–353. doi: 10.1006/jecp.2000.2594.
- Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia: Local diagnostic value. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 44(2), 398-408.
- Gainotti, G., & Trojano, L. (2018). Constructional apraxia. *Handbook of Clinical Neurology*, 151, 331-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63622-5.00016-4>.
- Gilligan, KA., Hodgkiss, A., Thomas, MSC., Farran, EK. (2019). The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Dev Sci*;22(4):e12786. doi: 10.1111/desc.12786.

- Giofrè, D., Cornoldi, C., Martini, A., & Toffalini, E. (2020). A population level analysis of the gender gap in mathematics: Results on over 13 million children using the INVALSI dataset. *Intelligence*, 81: 101467. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2020.101467>.
- Grossi, D., Fraggasi, NA., Chiacchio, L., Valoroso, L., Tuccillo, R., Perrotta, C., et al. (2002). Do visuospatial and constructional disturbances differentiate frontal variant of frontotemporal dementia and Alzheimer's disease? an experimental study of a clinical belief. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 17: 641–648.
- Guérin, F., Ska, B., Belleville, S. (1999). Cognitive processing of drawing abilities. *Brain Cogn* 40: 464–478.
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: the role of the linear number line. *Developmental psychology*, 48(5), 1229–1241.
- Hawes, Z., Sokolowski, HM., Ononye, CB., Ansari, D. (2019). Neural underpinnings of numerical and spatial cognition: An fMRI meta-analysis of brain regions associated with symbolic number, arithmetic, and mental rotation. *Neurosci Biobehav Rev*.103:316-336. doi: 10.1016/j.neubiorev.2019.05.007.
- Hegarty, M., Uttal, D., Stieff, M., Lowrie, T., Vosniadou, S. (2017). Educating spatial thinking for STEM success. In G. Gunzelmann, Howes, A., Tenbrink, T., Davelaar, E. (Ed.), 39th Annual meeting of the cognitive science society (pp. 27–28). London, UK.
- Hodgkiss, A., Gilligan, K. A., Tolmie, A. K., Thomas, M. S. C., & Farran, E. K. (2018). Spatial cognition and science achievement: The contribution of intrinsic and extrinsic spatial skills from 7 to 11 years. *British Journal of Educational Psychology*, 88(4), 675–697.
- Hollingshead, A. (1975). The four-factor index of social status (Unpublished manuscript). Yale University, Department of Sociology, New Haven, CT.
- Hyde, J.S., Fennema, E., & Lamon, S.J. (1990). Gender Differences in Mathematics Performance: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin* 107:1389.
- Hyde, J.S., Lindberg, S.M., Linn, M.C., Ellis, A.B., & Williams, C.C. (2008). Gender Similarities Characterize Math Performance. *Science*, 321(5888), 494–495. doi:10.1126/science.1160364.
- Kell, H. J., Lubinski, D., Benbow, C. P., & Steiger, J. H. (2013). Creativity and technical innovation: spatial ability's unique role. *Psychological science*, 24(9), 1831–1836. <https://doi.org/10.1177/0956797613478615>.
- Kersey, A.J., Csumitta, K.D. & Cantlon, J.F. (2019). Gender similarities in the brain during mathematics development. *npj Sci. Learn.* 4, 19. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0057-x>.
- La Femina, F., Senese, V. P., Grossi, D., & Venuti, P. (2009). A battery for the assessment of visuo-spatial abilities involved in drawing tasks. *The Clinical neuropsychologist*, 23(4), 691–714. <https://doi.org/10.1080/13854040802572426>.
- Lane, D., Sorby, S. (2021). Bridging the gap: blending spatial skills instruction into a technology teacher preparation programme. *Int J Technol Des Educ*. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09691-5>.
- Lauer, J. E., & Lourenco, S. F. (2016). Spatial Processing in Infancy Predicts Both Spatial and Mathematical Aptitude in Childhood. *Psychological science*, 27(10), 1291–1298. <https://doi.org/10.1177/0956797616655977>.
- Leahey, E., & Guo, G. (2001). Gender Differences in Mathematical Trajectories, *Social Forces*, Volume 80, Issue 2, Pages 713–732, <https://doi.org/10.1353/sof.2001.0102>.
- Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological assessment* (3rd ed.). New York: Oxford University Press.
- Linn, M., & Petersen, A. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498.
- Liu, S., Cheng, C., Wu, P., Zhang, L., Wang, Z., Wei, W., Chen, Y., & Zhao, J. (2021). Phonological Processing, Visuospatial Skills, and Pattern Understanding in Chinese Developmental Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities*. <https://doi.org/10.1177/00222194211063650>.
- Lonnemann, J., Müller, C., Büttner, G., & Hasselhorn, M. (2019). The influence of visual-spatial skills on the association between processing of nonsymbolic numerical magnitude and number word sequence skills. *Journal of experimental child psychology*, 178, 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.09.018>.
- Mammarella, I. & Cornoldi, C. (2014) An analysis of the criteria used to diagnose children with Nonverbal Learning Disability (NLD), *Child Neuropsychology*, 20:3, 255-280, <https://doi.org/10.1080/09297049.2013.796920>.

- McCaskey, U., von Aster, M., O'Gorman Tuura, R. & Kucian, K. (2017) Adolescents with Developmental Dyscalculia Do Not Have a Generalized Magnitude Deficit – Processing of Discrete and Continuous Magnitudes. *Front. Hum. Neurosci.* 11:102. doi: 10.3389/fnhum.2017.00102.
- McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 1 2, 107- 157.
- Milovanović, I. (2020). Math Anxiety, Math Achievement and Math Motivation in High School Students: Gender Effects. *Croatian Journal of Education* Vol.22; No.1/2020, pages: 175-206. <https://doi.org/10.15516/cje.v22i1.3372>.
- Mix, KS., Cheng, YL., Hambrick, DZ., Levine, SC., Young, C., Ping, R., Konstantopoulos, S. (2016). Separate but correlated: the latent structure of space and mathematics across development. *Journal of Experimental Psychology: General* 145:1206–1227 DOI 10.1037/xge0000182.
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire [Test of copying a complex figure; contribution to the study of perception and memory]. *Archives de Psychologie*, 30, 206–356.
- Poirel, N., Simon, G., Cassotti, M., Leroux, G., Perchey, G., Lanoe, C., et al., (2011). The shift from local to global visual processing in 6-year-old children is associated with grey matter loss. *PLoS One* 6 (6), e20879.
- Re, A. M., Pedron, M., Tressoldi, P. E., & Lucangeli, D. (2014). Response to Specific Training for Students With Different Levels of Mathematical Difficulties. *Exceptional Children*, 80(3), 337–352. doi:10.1177/0014402914522424.
- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique. (Les problems.) [The psychological examination in cases of traumatic encephalopathy. Problems]. *Archives de Psychologie*, 28, 215–285.
- Rey, A. (1983). Reattivo della figura complessa. Manuale. Florence: Organizzazioni Speciali.
- Rourke, B. P. (1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 26: 214–226.
- Senese, V.P., Zappullo, I., Baiano, C., Zoccolotti, P., Monaco, M., & Conson, M. (2020). Identifying neuropsychological predictors of drawing skills in elementary school children, *Child Neuropsychology*, DOI:10.1080/09297049.2019.1651834.
- Shea, D., Lubinski, D., & Benbow, C. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604–614.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* (New York, N.Y.), 171(3972), 701–703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>.
- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 3–11. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.1.3>.
- Stiles, J., Akshoomoff, N., & Haist, F. (2013). The Development of visuospatial processing. In J. L. R. Rubenstein & P. Rakic (Eds.), *Comprehensive developmental neuroscience: Neural circuit development and function in the brain* (Vol. 3, pp. 271–296). Amsterdam: Elsevier.
- Stiles, J., Akshoomoff, N., & Haist, F. (2020). The Development of visuospatial processing. In J. L. R. Rubenstein & P. Rakic (Eds.), *Comprehensive developmental neuroscience: Neural circuit development and function in the brain*. Second Edition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814411-4.00017-2> (pp. 359–393). Amsterdam: Elsevier.
- Strauss H (1924). Uber konstruktive Apraxie [On constructional apraxia]. *Monatsschrift fur die Psychiatric and Neurologie*, 56, 65–124.
- Thompson, J. M., Nuerk, H. C., Moeller, K., & Kadosh, R. C. (2013). The link between mental rotation ability and basic numerical representations. *Acta Psychologica*, 144(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.05.009>.
- Trojano, L., & Conson, M. (2008). Chapter 19 Visuospatial and visuoconstructive deficits. *Handbook of Clinical Neurology*, 373–391. doi:10.1016/s0072-9752(07)88019-5.
- Trojano, L., Fragassi, N. A., Chiacchio, L., Izzo, O., Izzo, G., Di Cesare, G., et al. (2004). Relationships between constructional and visuospatial abilities in normal subjects and in focal brain-damaged patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(8), 1103–1112.
- Trojano, L., Siciliano, M., Pedone, R., Cristinzio, C., & Grossi, D. (2015). Italian normative data for the Battery for Visuospatial Abilities (TERADIC). *Neurological Sciences*, 36, 1353–1361.

- Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: When, why, and how? In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 147–181. Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2>.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>.
- Vallar, G. (1998). Spatial hemineglect in humans. *Trends in cognitive sciences*, 2(3), 87-97.
- Van Mier, H.I., Schleepen, T.M.J., Van den Berg, F.C.G. (2019). Gender Differences Regarding the Impact of Math Anxiety on Arithmetic Performance in Second and Fourth Graders. *Frontiers in Psychology*.9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02690>.
- Venuti, P. & Senese, V.P. (2007) Un questionario di autovalutazione degli stili parentali: Uno studio su un campione italiano. *Giornale italiano di Psicologia* 34. 677-698.
- Waber, D. P., & Bernstein, J. H. (1995). Performance of learning- disabled and non learning-disabled children on the Rey-Osterrieth Complex Figure: Validation of the developmental scoring system. *Developmental Neuropsychology*, 11, 237–252.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835.
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483- 488.
- Wechsler, D. (2004). *The Wechsler Intelligence Scale for children* (4th ed.). London, UK; Pearson Assessment.
- Witkin, H., Oltman, P., Raskin, E., & Karp, S. (1971). *A manual for the embedded figures test*. Consulting Psychologists Press.
- Yonghong, J. (2008). Gender disparity in STEM disciplines: A study of faculty attrition and turnover intentions. *Research in Higher Education*, 49(7), 607–624.
- Zappullo, I., Conson, M., Zoccolotti, P., Trojano, L., & Senese, V. P. (2021). “Building blocks and drawing figures is not the same”: Neuropsychological bases of block design and Rey figure drawing in typically developing children. *Child Neuropsychology*, 27(3), 371–389
- Zhang, X., & Lin, D. (2015). Pathways to arithmetic: The role of visual-spatial and language skills in written arithmetic, arithmetic word problems, and nonsymbolic arithmetic. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.01.005>.