



Università  
di Genova

DISFOR DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE DELLA FORMAZIONE

XXXIX Ciclo

Dottorato in Scienze Sociali

Curriculum “Psicologia e Scienze Cognitive”

Anno 2023/2024

**Relazione Progetto di Ricerca**  
**I anno - Anno 2023/2024**

Dottorando: Lorenzo Esposito

Tutor: Prof. David Giofrè - Università degli Studi di Genova



## Abstract

Lo scopo di questo studio longitudinale è quello di esaminare come i fattori cognitivi e non cognitivi interagiscono per influenzare le prestazioni in matematica dei bambini della scuola secondaria di primo grado della classi II e III. Lo studio si concentra sul ruolo della memoria di lavoro, delle funzioni esecutive, dell'intelligenza e dell'ansia specifica per la matematica. È stata condotta una *path analysis* al T1 per indagare come questi elementi interagiscano e influenzino le prestazioni in matematica. I risultati mostrano che l'intelligenza è un robusto predittore delle prestazioni matematiche, con la memoria di lavoro e le funzioni esecutive che svolgono anch'essi un ruolo importante, sebbene mediato dall'intelligenza. Inoltre, è stato riscontrato che l'ansia per la matematica ha un impatto negativo sia sulla ML che sul FE, con conseguenti effetti negativi sulle prestazioni matematiche. Questi risultati hanno implicazioni sostanziali per gli interventi educativi, in quanto implicano che i programmi volti a migliorare le capacità cognitive e a ridurre l'ansia matematica potrebbero portare a migliori prestazioni matematiche.

# 1 Introduzione

Imparare a contare, acquisire abilità numeriche, eseguire operazioni aritmetiche e risolvere problemi matematici complessi sono attività che diventano una parte importante delle attività quotidiane dei bambini e che rimangono importanti per tutta l'età adulta. Lo studio dei meccanismi che determinano il successo, le difficoltà e l'apprendimento della matematica ha una lunga tradizione. Secondo le più recenti teorie dello sviluppo, l'acquisizione delle abilità matematiche dipende da fattori dominio-specifici e dominio-generalisti (Hornung et al., 2014; Passolunghi and Lanfranchi, 2012). Da un lato, tra i fattori specifici della matematica vi sono le abilità informali, come il confronto tra quantità e il conteggio, e le abilità formali, come l'acquisizione dei numeri e delle parole numeriche (Krajewski and Schneider, 2009; Purpura et al., 2013). Dall'altra parte, le abilità cognitive generali comprendono quelle che sono associate ad altri compiti complessi, come la memoria di lavoro, la velocità di elaborazione, l'intelligenza e il funzionamento esecutivo (e.g., Borella and de Ribaupierre, 2014; Caviola et al., 2014; Giofrè et al., 2017; Purpura et al., 2013; Simanowski and Krajewski, 2019).

## 1.1 Memoria di lavoro

Tra i fattori dominio-generalisti, è stato dimostrato che la memoria di lavoro predice le prestazioni in matematica. Molti studi hanno utilizzato il modello della memoria di lavoro, inizialmente sviluppato da Baddeley e Hitch (Baddeley, 2000), come quadro di riferimento per studiare una serie di capacità cognitive avanzate. La memoria di lavoro (di seguito ML) è un termine che si riferisce a un insieme di risorse di elaborazione con capacità limitata, coinvolta nell'immagazzinamento temporale di informazioni e nella contemporanea elaborazione delle stesse o di altre informazioni. È coinvolta in compiti cognitivi complessi come la risoluzione



di problemi aritmetici e i calcoli mentali (e.g., Chen and Bailey, 2021; Zhang et al., 2023), il “senso del numero” (Caviola et al., 2020; Nelwan et al., 2022; van Dijck and Fias, 2011), la risoluzione di problemi geometrici (Giofrè et al., 2013, 2014) e compiti di matematica in generale (Friso-Van Den Bos et al., 2013). È interessante notare che una recente meta-analisi ha evidenziato come il tipo di ML non sembri moderare l’associazione tra ML e matematica. Al contrario, la forza di queste relazioni era moderata dall’abilità matematica analizzata, ad esempio, la geometria mostrava l’associazione più debole con la ML (Peng et al., 2016).

## 1.2 Intelligenza

Oltre alla ML, è stato dimostrato che l’intelligenza predice i risultati accademici e lavorativi (Deary et al., 2007; Schmidt and Hunter, 2004). I test di intelligenza, come le valutazioni scolastiche, richiedono abilità come il ragionamento astratto e la risoluzione di problemi. Sulla base di queste analogie, è stato proposto che le valutazioni dei risultati non valutino solo i risultati ma anche le capacità cognitive generali, come l’intelligenza (Frey and Detterman, 2004; Lynn and Mikk, 2007). A questo proposito, è stato riscontrato che i risultati dei test internazionali e i risultati di intelligenza sono strettamente associati (Hunt and Wittmann, 2008; Lynn and Mikk, 2007). Questo argomento ha suscitato in passato un acceso dibattito sulla questione se le valutazioni di rendimento debbano essere considerati misure affidabili dell’intelligenza. Molti ricercatori ritengono che risultati e intelligenza siano due concetti diversi e distinti (Cornoldi et al., 2010; Kaufman et al., 2012).

### 1.3 Funzioni Esecutive

Le funzioni esecutive (di seguito FE) sembrano essere particolarmente importanti per l' apprendimento matematico (Purpura et al., 2017; Simanowski and Krajewski, 2019). Le FE sono un insieme di meccanismi di controllo generali che regolano la cognizione e il comportamento umano e sono coinvolte nella pianificazione, nel controllo e nella supervisione di azioni *goal-directed*, soprattutto in situazioni nuove o cognitivamente impegnative (Miyake and Friedman, 2012; Miyake et al., 2000). Tradizionalmente, le tre FE incluse nel modello degli individui adulti comprendono componenti separate, ma interrelate: inibizione, *updating* e *shifting*. Tuttavia, l'organizzazione del funzionamento esecutivo cambia durante lo sviluppo, infatti, il FE sembra essere un costrutto relativamente indifferenziato nei bambini piccoli (Wiebe et al., 2011), mentre, segni di differenziazione emergono dai 5 ai 7 anni di età (Lerner and Lonigan, 2014; M. R. Miller et al., 2012; Usai et al., 2014), e raggiunge la tipica struttura a tre componenti degli adulti tra gli 8 e i 13 anni (Lee et al., 2013). La relazione tra FE e prestazioni matematiche è ben documentata per gli studenti più grandi (Cragg and Gilmore, 2014; Cragg et al., 2017; Viterbori et al., 2017), infatti, il FE è coinvolto in compiti cognitivi complessi come il ragionamento aritmetico e algebrico (Agostino et al., 2010; Andersson, 2007), i calcoli (Andersson, 2008; Berg, 2008), le abilità numeriche precoci, (Bull and Scerif, 2001; Campos et al., 2013) e i compiti matematici in generale (Kroesbergen et al., 2009; Navarro et al., 2011). Una recente meta-analisi ha dimostrato che le tre sottodimensioni del funzionamento esecutivo sono correlate positivamente con l'intelligenza matematica, e tutte e tre sembrano essere ugualmente importanti per lo sviluppo delle abilità matematiche precoci nei bambini (Emslander and Scherer, 2022). Vale la pena ricordare che in passato sono stati proposti modelli e concettualizzazioni alternative del funzionamento esecutivo. In uno dei modelli più diffusi, la ML viene

considerata come una delle tre componenti chiave delle funzioni esecutive, sottolineando la sua capacità di trattenere temporaneamente e modificare le informazioni necessarie per guidare il comportamento. In questa concettualizzazione, la ML è essenziale per lo svolgimento dei compiti cognitivi ed è direttamente correlata al controllo inibitorio e alla flessibilità cognitiva, invece di essere considerata parte di un quadro più ampio (Diamond, 2013).

## **1.4 Ansia per la Matematica**

Oltre ai fattori cognitivi, come la ML e le FE, sono stati individuati fattori non cognitivi legati al rendimento in matematica. Un ampio numero di ricerche ha sostenuto l'idea che l'ansia scolastica, definita come una forma di ansia in ambito educativo, abbia un effetto negativo su una serie di materie scolastiche (Zeidner, 2007). In particolare, l'ansia da matematica (di seguito AM) è associata a risultati inferiori in matematica (Ashcraft and Moore, 2009; H. Miller and Bichsel, 2004; Núñez-Peña et al., 2013). Di conseguenza, alti livelli di AM possono persino innescare comportamenti di evitamento, infatti le persone con un'elevata AM hanno paura di svolgere compiti matematici, quindi spesso evitano corsi universitari e percorsi di carriera orientati alla matematica (Ashcraft and Krause, 2007; Ashcraft and Moore, 2009).

## Tempo 1

### 2 Obiettivo e Ipotesi

Un numero consistente di ricerche ha cercato di studiare i contributi dei fattori dominio-generalis e dominio-specifici, sia cognitivi che non cognitivi specifici nelle prestazioni in matematica. L'obiettivo principale del presente studio è stato quindi quello di esaminare il ruolo congiunto dei fattori cognitivi (ML, intelligenza, FE) e non cognitivi (AM) sulle prestazioni in matematica di studenti di seconda e terza media. Esiste, infatti, un numero crescente di ricerche che esaminano gli effetti dei fattori cognitivi (Giofrè et al., 2014, 2017; Roth et al., 2015) e non cognitivi (Beilock and Maloney, 2015; Foley et al., 2017) sul rendimento scolastico. Tuttavia, pochi studi hanno testato il ruolo congiunto di tutti questi fattori sui risultati matematici, esaminando le loro relazioni. Per raggiungere l'obiettivo descritto, è stata eseguita una *path analysis* per comprendere nel dettaglio come i fattori generali e quelli specifici siano interconnessi, e come influenzino le prestazioni in matematica. Alla luce della letteratura precedente, le seguenti ipotesi possono essere formulate:

- Si ipotizza che prestazioni migliori nella memoria di lavoro (ML) e nelle funzioni esecutive (FE) siano correlati positivamente con migliori prestazioni matematiche. Questi fattori, dovrebbero svolgere un ruolo critico, con la ML che supporta le competenze matematiche e le FE che aiuta la risoluzione dei problemi e il controllo cognitivo durante questi compiti.
- Ci si aspetta che alti livelli di ansia matematica influenzino negativamente le prestazioni matematiche. Ci aspettiamo che gli studenti con un'elevata AM mostrino risultati peggiori nei test, ottenendo prestazioni inferiori a causa dell'interferenza cognitiva determinata dall'ansia.



- Infine, si ipotizza che l'intelligenza ( $g$ ) sia il più solido predittore del rendimento in matematica. Sebbene la ML e le FE contribuiscano alle prestazioni, ci aspettiamo che i loro effetti siano mediati dall'intelligenza generale.

## 3 Metodo

### 3.1 Partecipanti

Il Comitato etico per la ricerca di Ateneo (CERA) ha approvato lo svolgimento del progetto a dicembre 2023. Tra dicembre 2023 e gennaio 2024, sono state contattate tre scuole situate nell'area metropolitana di Genova: l'istituto comprensivo (IC) Foce, l'IC Marassi e l'IC Montaldo. Successivamente all'adesione delle scuole, sono stati preparati i materiali cartacei e computerizzati da utilizzare per lo studio.

Sono stati esclusi i partecipanti con disabilità intellettive, disturbi specifici dell'apprendimento, disturbi neurologici e sindromi genetiche. Venti partecipanti sono stati esclusi perché individuati come outlier multivariati e possibili casi influenti. Il campione finale era composto da 124 partecipanti (65 maschi e 59 femmine) con un range di età (in mesi) di 143,129 - 181,29 ( $M = 153,561$ ;  $SD = 5,633$ ).

### 3.2 Procedura

Tutti i partecipanti sono stati sottoposti a test individuali in un'area tranquilla della loro scuola. I test comprendevano: tre compiti computerizzati per le FE, quattro compiti computerizzati per la ML (due per la ML verbale e due per la ML visuo-spaziale), due test carta-matita per valutare l'intelligenza e la competenza matematica e un questionario per misurare l'ansia specifica per la matematica. I sette compiti computerizzati sono stati somministrati in un ordine pseudo-casuale per ridurre gli effetti della fatica e dell'apprendimento (la sequenza di somministrazione era: Stroop, Flanker, Simon, Matrici *dual-task*, Verbale *backward*, Verbale *dual-task*, Matrici *backward*). Le attività sono state somministrate in tre diverse sessioni a

causa dei vincoli di tempo, della durata rispettivamente di 1 ora ciascuna.

La prima sessione ha avuto luogo a febbraio 2024 e comprendeva il questionario sulla AM e la valutazione delle abilità intellettive. La seconda sessione ha avuto luogo a marzo e aprile e comprendeva i compiti computerizzati per le FE e la ML. La terza sessione ha avuto luogo a maggio e comprendeva la valutazione della competenza matematica. Inoltre a maggio, sono stati recuperati partecipanti assenti nelle varie sessioni.

### 3.3 Strumenti

Le misure di ML utilizzate in questo studio hanno mostrato buone proprietà psicometriche e sono state precedentemente utilizzate in altri studi con popolazioni simili a quella dello studio attuale (Adams et al., 2021; Giofrè et al., 2017). Le misure di FE sono state già utilizzate su individui adulti, in questa ricerca sono state adattate per i bambini (Burgoyne et al., 2023). Per valutare le prestazioni in matematica sono stati utilizzati due strumenti già validati su campioni italiani (Amoretti et al., 1997) e l'ansia da matematica (Caviola et al., 2017).

#### 3.3.1 Memoria di Lavoro

Sono state effettuate quattro misure di ML, due per la ML verbale e due per la ML visuo-spaziale. Questi compiti sono stati ricavati dalla letteratura precedente (Giofrè et al., 2017). Il totale delle risposte corrette è considerato un indicatore affidabile della capacità di ML.

**ML Verbale.** Sono state prese in considerazione due misure della ML verbale: il *backward word span* e un compito verbale *dual-task*. I compiti di *backward word span* richiedevano ai bambini di ripetere l'elenco di parole che avevano ascoltato all'indietro (l'alfa di Cronbach e l'omega di McDonald, da questo momento in poi denominati rispettivamente  $\alpha$  e  $\omega$ , erano pari



a .73 e .74). Il compito *dual-task* prevedeva che i bambini ascoltassero diversi elenchi di parole, tutti di lunghezza 4 parole. I bambini dovevano premere la barra spaziatrice quando sentivano il nome di un animale, oltre a trattenere l'ultima parola di ciascun elenco. Nessuno degli elenchi di parole utilizzati conteneva parole inerenti alla matematica, ad esempio “rettangolo” o “moltiplicazione”. Una volta ascoltate tutte le liste per quella prova, ai bambini è stato chiesto di ricordare l'ultima parola di ogni lista nell'ordine corretto ( $\alpha = .70$ ;  $\omega = .71$ ). Tutti i compiti presentavano parole alla frequenza di una parola ogni 2s. Il punteggio considerato in questi compiti è stato calcolato come la somma delle risposte corrette.

**ML Visuo-spaziale.** Sono state prese in considerazione due misure di ML visuo-spaziale: *backward matrices span* e un compito visuo-spaziale *dual-task*, entrambi utilizzando una griglia 4x4. Le matrici *backward* ( $\alpha = .70$ ;  $\omega = .71$ ) richiedevano ai bambini di ripetere la sequenza di quadrati neri che avevano visto in ordine a ritroso. Il compito doppio presentava una serie di griglie con diversi quadrati colorati di grigio. In ogni griglia, i bambini vedevano tre punti neri uno dopo l'altro. I bambini dovevano premere la barra spaziatrice se vedevano un punto in un quadrato grigio, oltre a ricordare la posizione dell'ultimo (terzo) punto in ogni griglia. Una volta viste tutte le griglie per quel trial, ai bambini è stato chiesto di ricordare la posizione degli ultimi puntini nell'ordine corretto ( $\alpha = .77$ ;  $\omega = .78$ ). Tutti i compiti presentavano gli stimoli a una velocità di un punto/quadrato ogni 2s. Il punteggio considerato in questi compiti è stato calcolato come la somma delle risposte corrette.

### 3.3.2 Funzioni Esecutive

Sono state prese in considerazione tre misure di FE: Stroop, Flanker e Simon. Questi compiti sono stati progettati per aggiungere un ulteriore livello di conflitto a ciascuno dei paradigmi di conflitto tradizionali a livello di risposta. Il punteggio considerato per questi compiti è stato

calcolato sottraendo la somma delle risposte errate dalla somma delle risposte corrette.

**Stroop.** Ai bambini viene mostrato uno stimolo target al centro dello schermo con due opzioni di risposta sotto di esso. Lo stimolo target (“ROSSO” o “BLU” visualizzati nei colori rosso o blu) segue il tipico paradigma di Stroop, in cui la risposta deve essere data al colore visualizzato e non al significato semantico della parola. La sfida consiste nel far sì che i bambini prestino attenzione al colore dello stimolo target e al significato semantico delle opzioni di risposta. Al contrario, devono cercare di ignorare il significato semantico dello stimolo target e ignorare il colore di visualizzazione delle opzioni di risposta. Per esempio, se lo stimolo target è la parola “ROSSO” che appare con un colore di visualizzazione blu, il bambino deve selezionare l’opzione di risposta che dice la parola “BLU”, indipendentemente dal colore di visualizzazione dell’opzione di risposta ( $\alpha = .96$ ;  $\omega = .98$ ).

**Flanker.** Ai bambini viene mostrato uno stimolo target e due opzioni di risposta. Lo stimolo target e le opzioni di risposta sono elementi affiancati composti da cinque frecce (ad esempio, >><>>). La sfida consiste nel prestare attenzione alle frecce laterali dello stimolo target e alla freccia centrale delle opzioni di risposta. Al contrario, devono cercare di ignorare la freccia centrale dello stimolo target e ignorare le frecce laterali delle opzioni di risposta. Ad esempio, dato il seguente stimolo target (ad esempio, <<><<), il bambino deve selezionare l’opzione di risposta con la freccia centrale rivolta a sinistra (ad esempio, >><>>)( $\alpha = .94$ ;  $\omega = .96$ ).

**Simon.** Ai bambini viene mostrato uno stimolo target e due opzioni di risposta. Lo stimolo target è una freccia e le opzioni di risposta sono le parole “DESTRA” e “SINISTRA”. Il compito del partecipante è selezionare l’opzione di risposta che indica la direzione in cui punta la freccia. La sfida consiste nel prestare attenzione alla direzione in cui punta la freccia dello stimolo target

e al significato delle opzioni di risposta. Al contrario, devono cercare di ignorare il lato dello schermo in cui appaiono la freccia dello stimolo target e le opzioni di risposta. Per esempio, se lo stimolo target è una freccia che punta a sinistra, il bambino deve selezionare l'opzione di risposta che dice la parola "SINISTRA". A complicare le cose, la freccia dello stimolo target e le opzioni di risposta possono apparire su entrambi i lati dello schermo del computer ( $\alpha = .99$ ;  $\omega = .99$ ).

### 3.3.3 Intelligenza

I test delle abilità mentali primarie (PMA), valutano diverse abilità cognitive. I punteggi ottenuti in questi test sono stati utilizzati come misura dell'intelligenza Thurstone, 1937.

**Abilità Spaziali.** Il compito richiedeva ai bambini di identificare figure identiche tra sei figure ruotate, alcune delle quali erano anche speculari. Questo compito consisteva in 20 item, ognuna dei quali offriva più opzioni corrette ( $\alpha = .85$ ;  $\omega = .70$ ).

**Abilità Verbali.** Si trattava di selezionare sinonimi di parole date tra quattro opzioni, come ad esempio scegliere "guardare" come sinonimo di "osservare". Questo test carta-matita comprendeva 50 item da completare in 4 minuti, con punteggi basati sul numero di risposte corrette ( $\alpha = .81$ ;  $\omega = .38$ ).

**Abilità di Ragionamento.** Si trattava di completare sequenze di lettere selezionando la lettera logicamente corretta, ad esempio identificando la "i" come lettera successiva in sequenze come "abm", "cdm", "efm" e "ghm". Il test comprendeva 30 item da completare in 5 minuti con punteggi basati sul numero di risposte corrette. ( $\alpha = .85$ ;  $\omega = .67$ ).

### 3.3.4 Matematica.

La matematica è stata valutata con la batteria del “Test di Matematica per la Scuola dell’Obbligo” (Amoretti et al., 1997). Si tratta di un test standardizzato che fornisce una misura specifica del rendimento matematico, in linea con gli obiettivi del curriculum nazionale. Ai bambini viene richiesto di sviluppare una comprensione dei numeri, della geometria e della statistica di base secondo il curriculum nazionale in Italia. Il punteggio considerato in questi compiti è stato calcolato come somma delle risposte corrette ( $\alpha = .73$ ;  $\omega = .78$ ).

### 3.3.5 Ansia per la Matematica.

L’ansia matematica è stata valutata utilizzando la versione standardizzata italiana dell’Abbreviated Mathematics Anxiety Scale for children (AMAS; Caviola et al., 2017). Si tratta di un questionario self-report composto da 9 item suddivisi in due sottoscale che misurano l’ansia legata all’apprendimento e alla paura di essere messi alla prova in matematica nuovi contenuti matematici. Ai partecipanti è stato chiesto di indicare come si sentono rispetto alle situazioni matematiche per mezzo di una scala Likert a 5 punti da 1 (“fortemente in disaccordo”) a 5 (“fortemente d’accordo”). Il punteggio totale è la somma di tutti gli item; un punteggio elevato indica un alto livello di ansia nei confronti della matematica ( $\alpha = .78$ ;  $\omega = .66$ ).

## 3.4 Approccio analitico

Tutte le analisi sono state eseguite in R (R Core Team, 2023), utilizzando RStudio come IDE (RStudio Team, 2023). Per la *path analysis* è stato utilizzato il pacchetto “lavaan”. Sono state effettuate una serie di analisi preliminari, per controllare le distribuzioni e l’idoneità dei dati per ulteriori indagini. Successivamente, è stata eseguita una serie di correlazioni per studiare

preliminarmente le associazioni di ciascuna misura con la matematica e le relazioni tra le nostre variabili.

Successivamente, è stata eseguita una serie di analisi fattoriali confermativa (CFA) per determinare la struttura fattoriale di ciascuna misura in base alla letteratura precedente (Allen et al., 2020; Giofrè et al., 2017) e anche con lo scopo di calcolare un punteggio composito basato sui *loadings* dei fattori.

Dopo aver stabilito la struttura fattoriale di ML, FE, fattore g e prestazione matematica, il passo successivo è stato quello di esaminare le relazioni tra questi fattori, compresa la misura dell'ansia matematica. Abbiamo utilizzato un approccio di modellazione in due fasi (Kline, 2011). In primo luogo, abbiamo applicato un modello di misurazione CFA per verificare le relazioni tra tutti i fattori. Per quanto riguarda l'ansia da matematica, misurata da un solo indicatore, la sua varianza è stata fissata utilizzando la formula “1-*reliability*” (Kline, 2011). Successivamente, è stato utilizzato un approccio di *path modelling* per esplorare le relazioni tra ML, FE, fattore g, prestazione matematica e ansia matematica.

I criteri di *goodness-of-fit* sono stati valutati secondo le linee guida proposte da Kline (1995), che suggerisce: un CFI (Comparative Fit Index) e un TLI (Tucker Lewis Index) maggiori di .9 come *fit* accettabile, un RMSEA (Root Mean Square of Approximation) minore di .08 e un SRMR (Standardized Root Mean Square Residual) minore di .08 come *accettabile*. Il confronto tra i modelli è stato effettuato considerando l'indice relativo AIC (Akaike Information Criterion); una diminuzione di 2-4 unità è stata interpretata come un miglioramento del modello. Gli intervalli di confidenza degli effetti indiretti sono stati stimati tramite simulazione Monte Carlo a un livello di significatività pari a  $\alpha = .05$ .

## 4 Risultati

### 4.1 Analisi preliminari

In primo luogo, è stato realizzato un modello di misurazione (Modello 0) tramite CFA per studiare i legami tra tutti i fattori. Il fattore ML è stato stimato a partire dai quattro compiti ML, il fattore FE a partire dai tre compiti FE, il fattore g a partire dai tre test PMA e la matematica a partire dai tre subtest, l'ansia da matematica a partire dalla sua varianza. I *loadings* sui rispettivi fattori erano tutti statisticamente significativi e variavano da moderati a forti (*loading* minimo standardizzato  $B = .44$ ). I risultati hanno mostrato una relazione generale positiva e forte tra i fattori, ad eccezione dell'ansia da matematica, che è risultata negativamente correlata a ML, FE, fattore g e matematica. Gli indici di *fit* per il Modello 0 erano tutti accettabili,  $CFI = 0.97$ ,  $TLI = 0.96$ ,  $RMSEA = 0.03$ ,  $SRMR = 0.06$ ,  $AIC = 9787.72$  (vedi Tabella 2). In Tabella 1 sono riportate le correlazioni tra le variabili.

**Tabella 1**

*Correlazioni (in alto) e statistiche descrittive (in basso)*

	1.	2.	3.	4.	5.
1. Matematica	1				
2. ML	.48	1			
3. FE	.42	.42	1		
4. g	.57	.55	.41	1	
5. AM	-.45	-.26	-.35	-.26	1
<i>M</i>	13.58	67.70	45.94	26.66	23.54
<i>SD</i>	5.83	13.57	13.74	9.73	5.95

## 4.2 Path analysis

Pertanto, abbiamo testato una serie di modelli di *path analysis* per capire come e in che misura tutte le variabili interagiscono tra loro. Nel Modello 1 sono stati inclusi solo i fattori ML, FE, fattore g e matematica. In questo modello, ML, FE e fattore g erano tutti gerarchicamente allo stesso livello e si presumeva che predicessero le prestazioni in matematica (Alloway and Alloway, 2010). Non sorprende che solo il fattore g abbia predetto le prestazioni in matematica. Le misure di adattamento per il Modello 1 hanno indicato un *fit* perfetto,  $CFI = 1$ ,  $TLI = 1$ ,  $RMSEA < .001$ ,  $SRMR < .001$ ,  $AIC = 2958.19$ .

Nel Modello 2, abbiamo ipotizzato che la covarianza tra ML ed FE e che gli effetti di ML ed FE fossero completamente mediati dal fattore g. In questo modello, la ML e le FE hanno predetto in modo significativo il fattore g, che a sua volta ha predetto le prestazioni in matematica. Le misure di *fit* per il Modello 2 erano leggermente peggiori rispetto al modello precedente,  $CFI = 0.96$ ,  $TLI = 0.87$ ,  $RMSEA = 0.11$ ,  $SRMR = 0.06$ ,  $AIC = 2959.31$  ( $\Delta AIC = +1.12$ ).

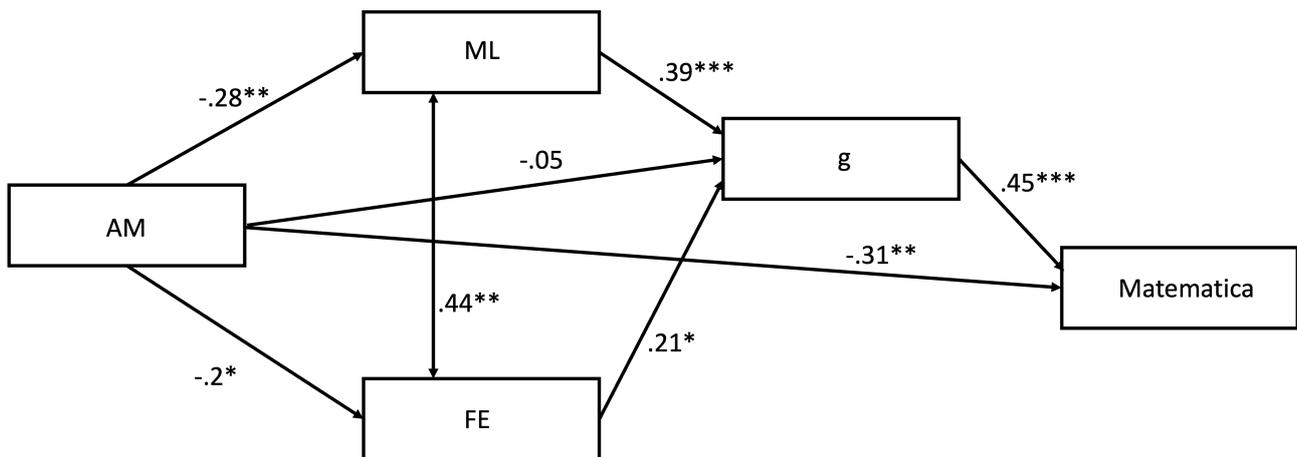
Nel Modello 3, abbiamo aggiunto il *path* dell'ansia matematica su tutte le altre variabili. Le misure di *fit* sono state  $CFI = 0.98$ ,  $TLI = 0.91$ ,  $RMSEA = 0.08$  e  $SRMR = 0.04$ ,  $AIC = 2870.04$ , mostrando una diminuzione rispetto al Modello 2 ( $\Delta AIC = -89.27$ ). L'effetto indiretto dell'AM sulla matematica attraverso ML e g ha raggiunto la significatività:  $B = -0.05$ , 95%CI [-.11; -.01]. Al contrario, l'effetto indiretto via FE non è risultato statisticamente significativo:  $B = -0.02$ , 95%CI [-.05; .00].

Tabella 2  
Path models

	$\chi^2$	df	CFI	TLI	RMSEA	SRMR	AIC	$\Delta AIC$
Modello 0	76.41	68	.97	.96	.03	0.06	9787.72	
Modello 1	0	0	1	1	<.001	<.001	2958.19	
Modello 2	5.12	2	.96	.87	0.11	0.06	2959.31	+1.12
Modello 3	3.63	2	.98	.91	0.08	0.04	2870.04	-89.27

Note. Il Modello 1 è "just-identified", quindi i df sono uguali a 0.

Figura 1  
Soluzione standardizzata del Modello 3



Nota. AM = Ansia per la matematica; ML = Memoria di lavoro; FE = funzioni esecutive; g = intelligenza.

## 5 Discussione e Conclusioni

Lo studio ha analizzato il modo in cui i fattori cognitivi e non cognitivi influenzano il rendimento in matematica degli studenti delle scuole medie, con particolare attenzione alla memoria di lavoro (ML), alle funzioni esecutive (FE), all'intelligenza (fattore g) e all'ansia da matematica (AM). I risultati forniscono importanti indicazioni su come questi elementi interagiscano e contribuiscano alla prestazione matematica.

La *path analysis* ha rivelato diversi legami chiave tra le componenti studiate. Come previsto, l'intelligenza è stata un predittore sostanziale del rendimento in matematica, il che è coerente con le ricerche precedenti che indicano che gli aspetti cognitivi come il ragionamento, le abilità spaziali e le capacità verbali sono necessari per il successo accademico in matematica (Deary et al., 2007). L'effetto diretto dell'intelligenza sul rendimento in matematica mostra che i ragazzi con capacità cognitive complessive più forti tendono a ottenere risultati migliori in matematica.

Un altro dato importante è il ruolo della memoria di lavoro e delle funzioni esecutive. Sebbene sia stato dimostrato in precedenza che questi processi cognitivi influenzano l'abilità matematica, lo studio attuale amplia la nostra comprensione indagando su come questi fattori interagiscono con l'intelligenza. I risultati mostrano che l'intelligenza media le abilità di ML e il FE, in particolare per quanto riguarda il loro contributo ad attività complesse come la risoluzione di problemi aritmetici e i calcoli mentali. Questo risultato è coerente con le ricerche precedenti che dimostrano l'importanza della ML e delle FE nelle attività matematiche (Giofrè et al., 2017; Peng et al., 2016).

L'ansia per la matematica fornisce un'importante dimensione non cognitiva alla nostra conoscenza delle prestazioni matematiche. È stato riscontrato che l'AM ha un impatto

negativo sia sulla ML che sul FE, con conseguenti prestazioni matematiche inferiori. Ciò è coerente con le ricerche precedenti che suggeriscono che alti livelli di ansia matematica possono compromettere funzioni cognitive come la memoria di lavoro, con conseguenti prestazioni aritmetiche inferiori (Ashcraft and Krause, 2007). L'effetto indiretto dell'AM sulle prestazioni aritmetiche attraverso la ML, FE e il fattore g accredita l'ipotesi che l'ansia possa ostacolare l'uso efficiente delle risorse cognitive durante i compiti matematici.

Questi risultati hanno molteplici implicazioni per la pratica e l'intervento educativo. In primo luogo, poiché l'intelligenza e la memoria di lavoro giocano un ruolo così importante nel predire i risultati in matematica, i programmi di formazione cognitiva che mirano a rafforzare queste abilità possono portare a migliori risultati scolastici in matematica. Anche i programmi che mirano alle funzioni esecutive possono aiutare gli studenti a ottenere risultati migliori in aritmetica, soprattutto quelli che hanno difficoltà a risolvere problemi complicati.

Inoltre, educatori e psicologi dovrebbero fare dell'ansia aritmetica un obiettivo primario. Poiché l'AM compromette il funzionamento cognitivo, le terapie volte a ridurre l'ansia, come l'allenamento alla mindfulness o gli approcci cognitivo-comportamentali, possono migliorare sia il benessere emotivo sia le capacità matematiche (Beilock and Maloney, 2015).

Uno svantaggio dello studio è che il campione era composto principalmente da ragazzi/e provenienti da un territorio geografico limitato, il che può limitare la generalizzabilità dei risultati. Le ricerche future dovrebbero cercare di replicare questi risultati su popolazioni diverse per migliorare la validità esterna. Un'altra potenziale restrizione è l'uso di misure self-report per valutare l'ansia da matematica, che potrebbero essere distorte. L'inclusione di misure più oggettive dell'ansia, come i segni fisiologici, potrebbe portare a una valutazione più accurata. Ricerche future dovrebbero indagare sugli effetti a lungo termine di questi elementi.

In conclusione, questo studio si aggiunge al corpus di ricerche in espansione sugli aspetti cognitivi ed emotivi che influenzano l'abilità matematica. I risultati evidenziano l'importanza di affrontare sia le abilità cognitive, come la memoria di lavoro e le funzioni esecutive, sia gli elementi non cognitivi, come l'ansia da matematica, per migliorare l'abilità aritmetica. La comprensione della complessa interazione tra queste variabili consente agli educatori e ai responsabili politici di sostenere meglio i ragazzi nello sviluppo delle abilità e della fiducia necessarie per avere successo in matematica.

## Tempo 2

### 6 Metodo

#### 6.1 Partecipanti

Trattandosi di uno studio longitudinale, i partecipanti verranno ricontattati nuovamente per la raccolta dati dell'anno prossimo quando frequenteranno la classe III della scuola secondaria di primo grado. Nello specifico, verranno considerati solo gli studenti la cui adesione era già stata registrata nella raccolta dati precedente. Il periodo stimato in cui le scuole e le famiglie dei partecipanti verranno ricontattate è tra dicembre 2024 e gennaio 2025.

#### 6.2 Procedura

La somministrazione delle attività verrà suddivisa nuovamente in tre sessioni da circa 1h ciascuna, e avverrà nello stesso ordine. Il periodo delle sessioni sarà nuovamente concordato con le scuole. Il periodo ipotizzato per la raccolta dati è gennaio-maggio 2025.

#### 6.3 Strumenti

Gli strumenti utilizzati nel primo studio sono reputati validi anche per la classe terza, quindi nessuna modifica agli strumenti verrà apportata.

#### 6.4 Approccio analitico

Considerato il discreto numero di partecipanti di quest'anno e ipotizzando un tasso di abbandono del 15%, le eventuali inferenze possibili si riducono. Questo è strettamente collegato all'approccio analitico e statistico utilizzabili in scenari del genere.



Come primo passo, verranno studiate eventuali distribuzioni dei *missing value* con il fine di escludere eventuali associazioni tra le variabili e gli studenti che non parteciperanno al Tempo 2.

Preliminarmente verranno condotte delle analisi correlazionali per comprendere nuovamente le associazione tra le diverse variabili e dei t-test per verificare eventuali differenze nelle variabili osservate tra il Tempo 1 e il Tempo 2.

Per avere una prima idea del contributo delle variabili (e.g., FE e ML) nella prestazione matematica, considerando allo stesso tempo il periodo che intercorre tra il Tempo 1 e il Tempo 2 e la variabilità tra i partecipanti, verranno formulati dei modelli *Linear Mixed Effects*.

Infine, verrà formulato un modello *Cross-lagged* per testare gli effetti autoregressivi riguardo la stabilità dei costrutti considerati, ed eventuali *cross-effects* tra le rilevazioni del Tempo 1 e quelle del Tempo 2.

## 7 Risultati attesi

In questo studio longitudinale su bambini di seconda media e terza media, ci aspettiamo di vedere sottili cambiamenti nel funzionamento cognitivo e nel rendimento scolastico nel corso dell'anno.

Potrebbero esserci dei miglioramenti piccoli soprattutto nelle abilità esecutive. Sebbene questi cambiamenti possano essere gradualmente, dovrebbero rispecchiare la naturale crescita cognitiva e potrebbero essere rilevabili tra il Tempo 1 e il Tempo 2.

Non ci aspettano cambiamenti nella capacità di memoria di lavoro. Tuttavia, si potrà registrare e considerare un eventuale cambiamento e misurarne l'impatto sul rendimento scolastico degli studenti.

Ci aspettiamo di vedere tendenze di miglioramento nelle prestazioni matematiche che corrispondano a questi processi cognitivi. Anche se i maggiori incrementi nelle prestazioni possono non essere visibili in un solo anno, anche piccoli cambiamenti positivi nelle abilità matematiche sono significativi e indicano i benefici dello sviluppo cognitivo.

Le variazioni individuali avranno un'influenza importante in questi processi di sviluppo, infatti, la comprensione di queste variazioni individuali sarà fondamentale per valutare l'impatto complessivo della crescita cognitiva sui risultati scolastici.

Anche se i cambiamenti drastici possono essere limitati, lo studio mira a rivelare e comprendere gli effetti interrelati che si vengono a formare tra un anno e l'altro.

## Bibliografia

- Adams, A. M., Soto-Calvo, E., Francis, H. N., Patel, H., Hartley, C., Giofrè, D., & Simmons, F. R. (2021). Characteristics of the preschool home literacy environment which predict writing skills at school. *Reading and Writing, 34*(9), 2203–2225. <https://doi.org/10.1007/s11145-021-10133-w>
- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*(4), 286–305. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.09.006>
- Allen, K., Giofrè, D., Higgins, S., & Adams, J. (2020). Working memory predictors of mathematics across the middle primary school years. *British Journal of Educational Psychology, 90*(3), 848–869. <https://doi.org/10.1111/bjep.12339>
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology, 106*(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003>
- Amoretti, G., Bazzini, L., Pesci, A., & Reggiani, M. (1997). *Mat-2. test di matematica*. GIUNTI O.S.Organizzazioni Speciali.
- Andersson, U. (2007). The Contribution of Working Memory to Children’s Mathematical Mathematical Word Problem Solving. *Applied Cognitive Psychology, 21*, 1201–1216. <https://doi.org/10.1002/acp.1317>
- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. *British Journal of Educational Psychology, 78*(2), 181–203. <https://doi.org/10.1348/000709907X209854>



- Ashcraft, M., & Krause, J. (2007). What is a question? Crowdsourcing tweet categorization. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(2), 243–248.  
[http://personal.psu.edu/users/s/a/sap246/spaul\\_HCOMPworkshop\\_CHI11.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/32ECD18C-4D33-42EB-802D-D2EAEA9FEA2E](http://personal.psu.edu/users/s/a/sap246/spaul_HCOMPworkshop_CHI11.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/32ECD18C-4D33-42EB-802D-D2EAEA9FEA2E)
- Ashcraft, M., & Moore, A. M. (2009). Mathematics anxiety and the affective drop in performance. *Journal of Psychoeducational Assessment*, *27*(3), 197–205.  
<https://doi.org/10.1177/0734282908330580>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Beilock, S. L., & Maloney, E. A. (2015). Math Anxiety: A Factor in Math Achievement Not to Be Ignored. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, *2*(1), 4–12.  
<https://doi.org/10.1177/2372732215601438>
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, *99*(4), 288–308. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.12.002>
- Borella, E., & de Ribaupierre, A. (2014). The role of working memory, inhibition, and processing speed in text comprehension in children. *Learning and Individual Differences*, *34*, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.05.001>
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, *19*(3), 273–293. [https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903\\_3](https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3)



- Burgoyne, A. P., Tsukahara, J. S., Mashburn, C. A., Pak, R., & Engle, R. W. (2023). Nature and Measurement of Attention Control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *152*(8), 2369–2402. <https://doi.org/10.1037/xge0001408>
- Campos, I. S., Almeida, L. S., Ferreira, A. I., Martinez, L. F., & Ramalho, G. (2013). Cognitive processes and math performance: A study with children at third grade of basic education. *European Journal of Psychology of Education*, *28*(2), 421–436. <https://doi.org/10.1007/s10212-012-0121-x>
- Caviola, S., Colling, L. J., Mammarella, I. C., & Szűcs, D. (2020). Predictors of mathematics in primary school: Magnitude comparison, verbal and spatial working memory measures. *Developmental Science*, *23*(6), 1–19. <https://doi.org/10.1111/desc.12957>
- Caviola, S., Mammarella, I. C., Lucangeli, D., & Cornoldi, C. (2014). Working memory and domain-specific precursors predicting success in learning written subtraction problems. *Learning and Individual Differences*, *36*, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.10.010>
- Caviola, S., Primi, C., Chiesi, F., & Mammarella, I. C. (2017). Psychometric properties of the Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS) in Italian primary school children. *Learning and Individual Differences*, *55*, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.03.006>
- Chen, E. H., & Bailey, D. H. (2021). Dual-task studies of working memory and arithmetic performance: A meta-analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *47*(2), 220–233. <https://doi.org/10.1037/xlm0000822>
- Cornoldi, C., Belacchi, C., Giofrè, D., Martini, A., & Tressoldi, P. (2010). The mean Southern Italian children IQ is not particularly low: A reply to R. Lynn (2010). *Intelligence*, *38*(5), 462–470. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.06.003>

- Cragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education, 3*(2), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.12.001>
- Cragg, L., Keeble, S., Richardson, S., Roome, H. E., & Gilmore, C. (2017). Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement. *Cognition, 162*, 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.01.014>
- Deary, I. J., Strand, S., Smith, P., & Fernandes, C. (2007). Intelligence and educational achievement. *Intelligence, 35*(1), 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.02.001>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annu Rev Psychol., 64*, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750.Executive>
- Emslander, V., & Scherer, R. (2022). The Relation Between Executive Functions and Math Intelligence in Preschool Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychological Bulletin, 148*(5-6), 337–369. <https://doi.org/10.1037/bul0000369>
- Foley, A. E., Herts, J. B., Borgonovi, F., Guerriero, S., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2017). The Math Anxiety-Performance Link: A Global Phenomenon. *Current Directions in Psychological Science, 26*(1), 52–58. <https://doi.org/10.1177/0963721416672463>
- Frey, M. C., & Detterman, D. K. (2004). Scholastic Assessment or g? *Psychological Science, 15*(6), 373–378. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00687.x>
- Friso-Van Den Bos, I., Van Der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review, 10*, 29–44. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.05.003>



- Giofrè, D., Borella, E., & Mammarella, I. C. (2017). The relationship between intelligence, working memory, academic self-esteem, and academic achievement. *Journal of Cognitive Psychology, 29*(6), 731–747. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1310110>
- Giofrè, D., Mammarella, I. C., Ronconi, L., & Cornoldi, C. (2013). Visuospatial working memory in intuitive geometry, and in academic achievement in geometry. *Learning and Individual Differences, 23*(1), 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.09.012>
- Giofrè, D., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2014). The relationship among geometry, working memory, and intelligence in children. *Journal of Experimental Child Psychology, 123*(1), 112–128. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.01.002>
- Hornung, C., Schiltz, C., Brunner, M., & Martin, R. (2014). Predicting first-grade mathematics achievement: The contributions of domain-general cognitive abilities, nonverbal number sense, and early number competence. *Frontiers in Psychology, 5*(APR), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00272>
- Hunt, E., & Wittmann, W. (2008). National intelligence and national prosperity. *Intelligence, 36*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.11.002>
- Kaufman, S. B., Reynolds, M. R., Liu, X., Kaufman, A. S., & McGrew, K. S. (2012). Are cognitive g and academic achievement g one and the same g? An exploration on the Woodcock-Johnson and Kaufman tests. *Intelligence, 40*(2), 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.01.009>
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford Press.
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Exploring the impact of phonological awareness, visual-spatial working memory, and preschool quantity-number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year longitudinal

study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*(4), 516–531.

<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.009>

Kroesbergen, E., Van Luit, J., Van Lieshout, E., Van Loosbroek, E., & Van de Rijt, B. (2009).

Individual Differences in Early Numeracy. *Journal of Psychoeducational Assessment*,

*27*(3), 226–236. <https://doi.org/10.1177/0734282908330586>

Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child*

*Development*, *84*(6), 1933–1953. <https://doi.org/10.1111/cdev.12096>

Lerner, M. D., & Lonigan, C. J. (2014). Executive Function Among Preschool Children:

Unitary Versus Distinct Abilities. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, *36*(4), 626–639.

<https://doi.org/10.1007/s10862-014-9424-3>.

Lynn, R., & Mikk, J. (2007). National differences in intelligence and educational attainment.

*Intelligence*, *35*(2), 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.06.001>

Miller, H., & Bichsel, J. (2004). Anxiety, working memory, gender, and math performance.

*Personality and Individual Differences*, *37*(3), 591–606.

<https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.029>

Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J., & Kerns, K. A. (2012). A

Latent Variable Approach to Determining the Structure of Executive Function in

Preschool Children. *Journal of Cognition and Development*, *13*(3), 395–423.

<https://doi.org/10.1080/15248372.2011.585478>

Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences

in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological*

*Science*, *21*(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Navarro, J. I., Aguilar, M., Alcalde, C., Ruiz, G., Marchena, E., & Menacho, I. (2011). Inhibitory Processes, Working Memory, Phonological Awareness, Naming Speed, and Early Arithmetic Achievement. *The Spanish journal of psychology*, *14*(2), 580–588. [https://doi.org/10.5209/rev\\_sjop.2011.v14.n2.6](https://doi.org/10.5209/rev_sjop.2011.v14.n2.6)
- Nelwan, M., Friso-van den Bos, I., Vissers, C., & Kroesbergen, E. (2022). The relation between working memory, number sense, and mathematics throughout primary education in children with and without mathematical difficulties. *Child Neuropsychology*, *28*(2), 143–170. <https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1959905>
- Núñez-Peña, M. I., Suárez-Pellicioni, M., & Bono, R. (2013). Effects of math anxiety on student success in higher education. *International Journal of Educational Research*, *58*, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2012.12.004>
- Passolunghi, M. C., & Lanfranchi, S. (2012). Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. *British Journal of Educational Psychology*, *82*(1), 42–63. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x>
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, *108*(4), 455–473. <https://doi.org/10.1037/edu0000079>

- Purpura, D. J., Baroody, A. J., & Lonigan, C. J. (2013). The transition from informal to formal mathematical knowledge: Mediation by numeral knowledge. *Journal of Educational Psychology, 105*(2), 453–464. <https://doi.org/10.1037/a0031753>
- Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components. *Journal of Experimental Child Psychology, 153*, 15–34. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.010>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Roth, B., Becker, N., Romeyke, S., Schäfer, S., Domnick, F., & Spinath, F. M. (2015). Intelligence and school grades: A meta-analysis. *Intelligence, 53*, 118–137. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.09.002>
- RStudio Team. (2023). *Rstudio: Integrated development environment for r*. RStudio, PBC. Boston, MA. <https://www.rstudio.com/>
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. (2004). General Mental Ability in the World of Work: Occupational Attainment and Job Performance. *Journal of Personality and Social Psychology, 86*(1), 162–173. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.1.162>
- Simanowski, S., & Krajewski, K. (2019). Specific Preschool Executive Functions Predict Unique Aspects of Mathematics Development: A 3-Year Longitudinal Study. *Child Development, 90*(2), 544–561. <https://doi.org/10.1111/cdev.12909>
- Thurstone, L. L. (1937). The primary mental abilities of children. *Journal of Educational Psychology, 28*(4), 217–232. <https://doi.org/10.1037/h0057388>
- Usai, M. C., Viterbori, P., Traverso, L., & De Franchis, V. (2014). Latent structure of executive function in five- and six-year-old children: A longitudinal study. *European*



*Journal of Developmental Psychology*, 11(4), 447–462.

<https://doi.org/10.1080/17405629.2013.840578>

van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114–119.

<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.12.013>

Viterbori, P., Traverso, L., & Usai, M. C. (2017). The Role of Executive Function in Arithmetic Problem-Solving Processes: A Study of Third Graders. *Journal of Cognition and Development*, 18(5), 595–616. <https://doi.org/10.1080/15248372.2017.1392307>

Zeidner, M. (2007). Test Anxiety in Educational Contexts. Concepts, Findings, and Future Directions. *Emotion in Education*, 165–184.

<https://doi.org/10.1016/B978-012372545-5/50011-3>

Zhang, Y., Tolmie, A., & Gordon, R. (2023). The Relationship between Working Memory and Arithmetic in. *Brain Sciences*, 13(22).