



Università degli Studi di Genova  
Genoa Univer



Scuola di  
Scienze sociali  
School of Social Scienc

**DISFOR** Dipartimento di Scienze della Formazione

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOLOGIA**

**CONTROLLO INIBITORIO E SVILUPPO TIPICO:  
LA RELAZIONE CON  
LE COMPETENZE MATEMATICHE**

*Relatore: Prof.ssa Maria Carmen Usai*

*Correlatore: Prof.ssa Laura Traverso*

*Candidato: Erica Sortino*

**ANNO ACCADEMICO 2022/2023**



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	6
<b>1. LE FUNZIONI ESECUTIVE</b> .....	7
<b>1.1. Modelli cognitivi</b> .....	7
<i>1.1.1. Modello di Working Memory di Baddeley e Hitch</i> .....	8
<i>1.1.2. Sistema Attentivo Supervisore di Shallice</i> .....	9
<i>1.1.3 Modello di Miyake</i> .....	10
<b>1.2 Correlati neurali delle funzioni esecutive</b> .....	12
<i>1.2.1. Corteccia prefrontale</i> .....	14
<i>1.2.2. Via dopaminergica</i> .....	14
<i>1.2.3 Via noradrenergica</i> .....	15
<i>1.2.4. Via serotoninergica</i> .....	15
<i>1.2.5. Via colinergica</i> .....	15
<b>1.3 Le funzioni esecutive nello sviluppo tipico</b> .....	16
<i>1.3.1 Lo sviluppo in età prescolare</i> .....	17
<i>1.3.2 Lo sviluppo in adolescenza</i> .....	18
<b>2. IL CONTROLLO INBITORIO</b> .....	19
<b>2.1 Il controllo inibitorio in età evolutiva</b> .....	21
<b>2.2 Controllo inibitorio e apprendimento scolastico</b> .....	23
<i>2.2.1 Lo sviluppo dell'abilità di calcolo e della competenza numerica</i> ...24	
<i>2.2.2 Le difficoltà in matematica</i> .....	26
<i>2.2.3 Il ruolo del controllo inibitorio nelle abilità matematiche</i> .....	27

<b>3. RELAZIONE TRA MEMORIA DI LAVORO, CONTROLLO INIBITORIO E SPECIFICHE COMPETENZE MATEMATICHE NELLO SVILUPPO TIPICO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Introduzione.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Obiettivi e ipotesi.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Metodo.....</b>	<b>34</b>
<i>3.3.1 Partecipanti.....</i>	<i>34</i>
<i>3.3.2 Procedura.....</i>	<i>35</i>
<b>3.4 Strumenti.....</b>	<b>36</b>
<i>3.4.1 Ragionamento visuo-percettivo.....</i>	<i>36</i>
<i>3.4.2 Memoria di lavoro.....</i>	<i>37</i>
<i>3.4.3 Controllo inibitorio.....</i>	<i>38</i>
<i>3.4.4 Competenze matematiche.....</i>	<i>38</i>
<b>3.5 Risultati.....</b>	<b>40</b>
<i>3.5.1 Statistiche descrittive.....</i>	<i>40</i>
<i>3.5.2 Correlazione tra prove cognitive e prove di matematica.....</i>	<i>41</i>
<i>3.5.3 Regressioni lineari gerarchiche.....</i>	<i>42</i>
<b>3.6 Discussione.....</b>	<b>45</b>
<i>3.6.1 Limiti dello studio.....</i>	<i>47</i>
 <b>CONCLUSIONI.....</b>	 <b>49</b>
 <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	 <b>50</b>

## **INDICE FIGURE**

Fig 1.1.....	8
Fig 1.2.....	9
Fig 1.3.....	13
Fig 2.1.....	20
Fig 2.2.....	20
Fig 2.3.....	22
Fig 2.4.....	28
Fig 2.5.....	29

## **INDICE TABELLE**

Tab 3.1.....	40
Tab 3.2.....	41
Tab 3.3.....	43
Tab 3.4.....	44

## INTRODUZIONE

Il seguente elaborato ha l'obiettivo di descrivere e analizzare la tematica del controllo inibitorio nello sviluppo tipico per poi mettere in luce la sua relazione con le competenze matematiche.

Il primo è un capitolo introduttivo riguardante le funzioni esecutive più in generale, la loro definizione e i modelli di riferimento. Ne vengono analizzati i correlati neurali e il loro sviluppo a partire dalla prima infanzia fino all'età adulta, passando per l'adolescenza.

Nel secondo capitolo, l'attenzione viene posta sul controllo inibitorio in età di sviluppo, cercando di descrivere il suo ruolo nell'apprendimento scolastico, in particolare nell'area degli apprendimenti matematici.

Infine, nel terzo capitolo, viene descritto lo svolgimento dello studio la cui finalità era indagare il ruolo esercitato dalla memoria di lavoro e dal controllo inibitorio sulle abilità matematiche, nello sviluppo tipico. Dopo una presentazione di metodi e strumenti utilizzati, vengono riportati e discussi i risultati delle analisi descrittive e inferenziali.

## **CAPITOLO 1. Le funzioni esecutive**

Il costrutto “funzioni esecutive” indica un insieme di abilità cognitive, in particolare: controllo inibitorio, attenzione, memoria di lavoro, flessibilità cognitiva, capacità di pianificazione e di giudizio e capacità decisionale. Esse sono necessarie per perseguire e raggiungere un obiettivo, comprendere concetti astratti o complessi e risolvere problemi.

Nel corso degli anni, sono state formulate diverse definizioni; il neuropsicologo Baddeley (1986) definisce il sistema delle funzioni esecutive come un insieme di meccanismi che permette di ottimizzare le prestazioni in contesti che richiedono una simultanea attivazione di diversi processi cognitivi. Una decina di anni dopo, il neuropsicologo Owen (1997) determina che le funzioni esecutive sono processi mentali finalizzati a elaborare degli schemi cognitivo-comportamentali adattivi per rispondere a condizioni ambientali nuove o impegnative.

### **1.1 Modelli cognitivi**

Tra i diversi autori si riscontra un generale accordo circa la definizione del costrutto; tuttavia, uno degli aspetti ampiamente discussi e più controversi concerne la natura unitaria o multi-componenziale delle funzioni esecutive.

Baddeley e Hitch concepiscono le funzioni esecutive come sistema unitario nel loro *Modello della Working Memory* formulato nel 1974 e rivisto, successivamente dal neuropsicologo Shallice a partire dal 1988.

### 1.1.1 Modello di Working Memory di Baddeley e Hitch

Il modello di Baddeley e Hitch viene creato dai due autori nel 1974 al fine di descrivere la memoria di lavoro come composta da tre elementi disposti gerarchicamente: un esecutivo centrale che opera su due sistemi denominati loop fonologico e taccuino visuo-spaziale. Il loop fonologico è un sistema che mantiene e manipola le informazioni in entrata di natura verbale, mentre il taccuino visuo-spaziale è un sistema il cui scopo è quello di mantenere e manipolare le informazioni in entrata di tipo visuo-spaziale.

L'esecutivo centrale viene concettualizzato come un sistema unitario di funzioni esecutive, che opera sui dati provenienti dagli altri due sistemi e ha il compito di integrare le informazioni con la memoria a lungo termine. L'esecutivo centrale, inoltre, controlla l'attivazione e il mantenimento dei processi cognitivi e pianifica il comportamento dell'individuo, per orientarlo in base a specifici obiettivi. Successivamente, Baddeley (2000) aggiunge un quarto componente, denominato "buffer episodico", un sistema che conserva in modo temporaneo e manipola episodi con caratteristiche di spazio e tempo. I tre sistemi (loop fonologico, taccuino visuo-spaziale, buffer episodico) sono a breve termine e rappresentano magazzini di informazione controllati dall'esecutivo centrale.

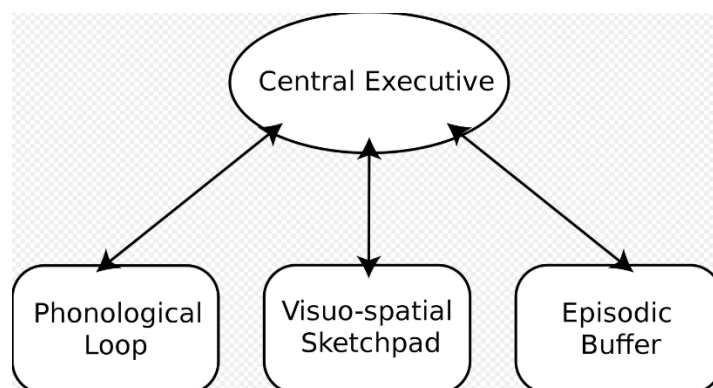


Fig. 1.1 Modello della working memory (Baddeley & Hitch, 1974).



### 1.1.2 Sistema Attentivo Supervisore di Shallice

Shallice (1988), riprendendo il modello della memoria di lavoro di Baddeley e Hitch, sostiene l'esistenza di un sistema gerarchicamente superiore all'Esecutivo Centrale, denominato Sistema Attentivo Supervisore o SAS. Secondo l'autore, il SAS è un sistema supervisore di controllo consapevole e volontario. Inoltre, questo sistema attiva o inibisce schemi per modulare i livelli inferiori del modello.

Secondo Shallice, il Sistema ha diverse funzioni, tra cui fornire le risorse attentive e mantenere un certo livello di attenzione, organizzare, pianificare, sostenere la capacità di *problem solving* e quella di *shifting*, per passare velocemente da un compito all'altro.

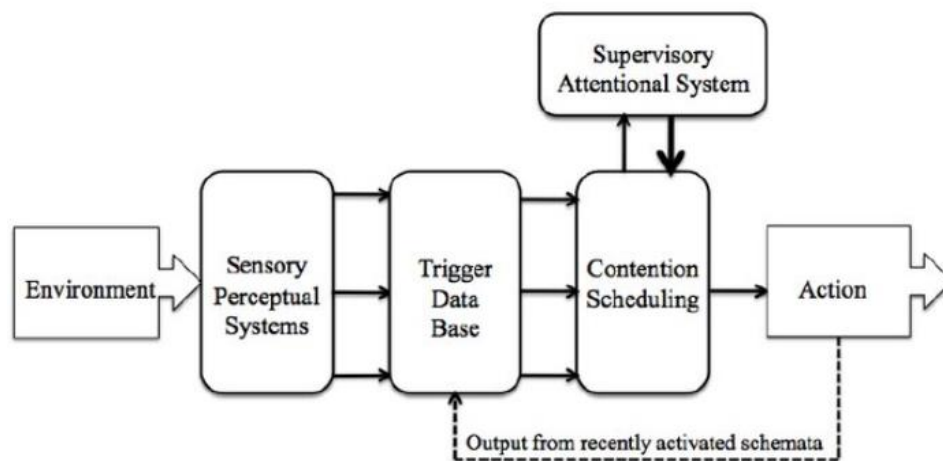


Fig. 1.2 Sistema Attentivo Supervisore (Shallice, 1988).

### 1.1.3 Modello di Miyake

Negli anni 2000, il modello di Miyake e colleghi segna un passaggio da una visione unitaria a una multi-componenziale delle funzioni esecutive, le quali vengono intese come processi cognitivi separati, diversamente dal costrutto di Esecutivo Centrale di Baddeley e Hitch (1974) o di Sistema Attentivo Supervisore di Shallice (1988). Attualmente, il modello di Miyake e colleghi è quello più accreditato. Gli

autori parlano di un gruppo di abilità cognitive indipendenti tra loro che, però, agiscono in modo perfettamente coordinato. Nel modello si ipotizza l'esistenza di un tre componenti esecutive centrali, distinte ma correlate tra loro: *shifting*, *updating* e controllo inibitorio.

Il focus è posto su queste tre funzioni per molteplici ragioni. Innanzitutto, sono tre costrutti circoscritti e facilmente operazionalizzabili; inoltre, al momento dello studio, esistevano già diversi compiti cognitivi ben strutturati e relativamente semplici riguardanti ciascuno dei tre processi esecutivi. L'ultima ragione, di considerevole importanza, è che queste tre funzioni sono implicate nell'esecuzione di test convenzionali più complessi (Miyake, 2000); un esempio è rappresentato dal Wisconsin Card Sorting Test, strumento neuropsicologico utilizzato per esaminare le funzioni frontali del paziente, in particolare le abilità di ragionamento astratto e di cambiamento di strategie cognitive, al mutare delle circostanze ambientali.

Con il termine *shifting* si intende la capacità di spostare l'attenzione tra diversi compiti, operazioni o schemi di pensiero. Il processo di *shifting* comporta il distacco da un insieme di compiti irrilevanti e il successivo focus attivo verso un insieme di compiti rilevanti. La sua funzione è rilevante nel comprendere sia i fallimenti nel controllo cognitivo in pazienti che presentano danni cerebrali e attività di laboratorio che richiedono ai partecipanti di spostare la loro attenzione da un compito all'altro. Modelli relativi al controllo attentivo come il Sistema Attentivo Supervisore di Shallice (1988), presuppongono che l'abilità di spostare l'attenzione da un compito all'altro sia un aspetto importante del controllo esecutivo (Miyake et al., 2000). È necessario specificare che l'abilità di *shifting* non equivale all'insieme di abilità coinvolte nello spostamento dell'attenzione visiva tramite movimenti oculari

volontari; sono, di fatto, differenti i circuiti neurali che mediano le due funzioni sopra citate. Il cambiamento di attenzione visiva tramite movimenti oculari è regolato soprattutto dal lobo parietale, mentre allo spostamento attentivo da un compito all'altro corrisponde l'attivazione del lobo frontale e del cingolato anteriore, il quale risiede nel lobo prefrontale (Posner e Raichle, 1994).

La funzione di *updating* è relativa alla capacità di monitoraggio e codifica delle informazioni in entrata, revisione degli elementi posseduti in memoria di lavoro e sostituzione delle informazioni non più rilevanti con le informazioni nuove e pertinenti al compito da svolgere (Morris e Jones, 1990). Il processo di *updating* è dinamico perché non si limita ad archiviare in modo passivo le informazioni rilevanti in memoria di lavoro, ma ne manipola attivamente i contenuti; coerentemente con questa distinzione, recenti studi di neuroimaging hanno mostrato una dissociazione tra le aree deputate all'archivio di informazione e quelle relativamente alla manipolazione e aggiornamento attivo. Il semplice immagazzinamento e mantenimento in memoria è stato associato ad aree premotorie dei lobi frontali e laterali, mentre la funzione di *updating* è stata collegata alla corteccia prefrontale dorsolaterale e ai lobi frontali (Jonides & Smith, 1997).

Infine, l'espressione "controllo inibitorio" indica la capacità di inibire una risposta dominante o automatica quando necessario (Miyake et al., 2000). Logan (1994) definisce il controllo inibitorio come un "atto di controllo generato dall'interno" (p. 190). Uno degli strumenti più noti per la valutazione della capacità di inibizione è lo Stroop task in cui bisogna inibire la tendenza a produrre una risposta maggiormente dominante o automatica. Attraverso alcuni studi eseguiti nei decenni passati (Perret, 1974) è stato dimostrato che le performance in questo compito

peggiorano se il paziente presenta una lesione al lobo frontale. Una prova simile allo Stroop task, ma più semplice è il compito “go-no-go”; anche in questa è stato dimostrato un forte coinvolgimento della corteccia prefrontale sia in pazienti adulti (Kiefer et al., 1998) che in bambini (Casey et al., 1997).

## **1.2 Correlati neurali delle funzioni esecutive**

Le ricerche sulle funzioni esecutive possiedono le loro radici storiche nelle analisi neuropsicologiche compiute su pazienti con danni al lobo frontale.

Tra i molteplici casi clinici esaminati nel corso degli anni, uno dei più famosi è quello di Phineas Gage. Il caso, risalente al 1848, tratta di un operaio delle ferrovie statunitensi sopravvissuto a un incidente sul lavoro. Mentre utilizzava un’asta di ferro per comprimere la polvere esplosiva su una roccia, l’esplosivo prese fuoco; nell’esplosione l’asta trapassò il suo cranio. Il ferro penetrò sotto l’orbita sinistra, attraversò il suo lobo frontale e fuoriuscì dalla cima della testa. Nonostante egli visse ancora per dodici anni, fu possibile osservare un cambiamento nella sua personalità e nel suo comportamento (Blakemore, 2018). Due anni dopo la morte di Phineas Gage, il medico che lo aveva in cura scrisse che, prima del suo incidente, egli possedeva una mente ben equilibrata ed era una persona responsabile, considerata brillante sul lavoro, tenace e piena di energia. In seguito all’incidente, la sua mente risultò cambiata in modo così decisivo da “non essere più Gage”, diventando una persona irascibile e imprevedibile (Harlow, 1868).



*Fig 1.3 Cranio di Phineas Gage trafitto dall'asta di ferro (Faria M.A., 2013).*

Il caso di Phineas Gage indusse i medici dell'epoca a ipotizzare che il lobo frontale fosse la sede di abilità quali pianificazione e autocontrollo, due aspetti che in Gage erano cambiati in modo radicale e irreversibile in seguito all'incidente. Durante la prima metà del XX secolo, a causa delle due guerre mondiali, i casi di pazienti con danni al lobo frontale aumentarono notevolmente a causa delle due guerre mondiali. Tutti i pazienti con danno al lobo frontale mostrarono un peggioramento nell'autocontrollo e profondi cambiamenti della personalità.

A partire dagli anni Sessanta e Settanta, gli scienziati stabilirono, a partire dal caso di Gage e da quelli dei reduci di guerra, che i lobi frontali dovevano svolgere un ruolo rilevante per funzioni cognitive di livello elevato come pianificazione e autocontrollo (Blakemore, 2018).

Dai primi studi su pazienti con danno ai lobi frontali è emerso che, nonostante la maggior parte ottenesse risultati nella media per quanto riguarda le prove per la misurazione del Q.I., essi erano accomunati da performance deboli in compiti più

complessi la cui esecuzione coinvolgeva le funzioni esecutive (Miyake et al., 2000). I pazienti mostravano severe problematiche nel controllo e nella regolazione del comportamento, nel funzionamento quotidiano e in compiti esecutivi: tre funzioni governate dal lobo frontale. Con l'avanzare delle ricerche, è emersa chiaramente un'associazione tra aree specifiche del lobo frontale e i processi cognitivi sottostanti (Miyake et al., 2000).

### *1.2.1. Corteccia prefrontale*

La porzione anteriore del lobo frontale, chiamata "corteccia prefrontale" o PFC dall'inglese *prefrontal cortex*, può essere suddivisa in due regioni, corteccia prefrontale mediale (mPFC) e corteccia orbito-frontale (OFC), e include molteplici aree: cingolato anteriore, area prelimbica, area infralimbica, corteccia dorsolaterale orbitale, corteccia laterale orbitale e corteccia orbitale ventrale. La corteccia prefrontale riceve input da quattro circuiti di neurotrasmettitori: dopaminergico, colinergico, noradrenergico e serotoninergico (Logue & Gould, 2013).

### *1.2.2 Via dopaminergica*

Rispetto al circuito dopaminergico, la via afferente verso la corteccia prefrontale è rappresentata dall'area del tegmento ventrale. La dopamina agisce prevalentemente nell'area mediale della corteccia prefrontale, sulle capacità attentive e di *set-shifting*, (Logue & Gould, 2013). Quest'ultima è stata definita come la capacità di spostarsi "avanti e indietro" tra diversi compiti o schemi mentali (Miyake et al., 2000); alti livelli di dopamina sono associati a prestazioni ottimali in questi due processi cognitivi.

### 1.2.3 Via noradrenergica

Il *locus coeruleus* è la principale via afferente del circuito noradrenergico verso la corteccia prefrontale. I recettori della noradrenalina sono localizzati sia nella corteccia prefrontale mediale che in quella orbito-frontale e l'attività di questo neurotrasmettitore è associata ai processi di shifting e di attenzione, come la dopamina, e ai processi di inibizione e di flessibilità cognitiva (Logue & Gould, 2013).

### 1.2.4 Via serotoninergica

La via serotoninergica è connessa alla corteccia prefrontale tramite il nucleo del Rafe dorsale. L'attività della serotonina è rilevante nella corteccia orbito-frontale e è associata al grado di inibizione della risposta e flessibilità cognitiva (Cools et al., 2008). Bassi livelli di serotonina sono connessi a scarse capacità inibitorie e deficit di flessibilità cognitiva (Logue & Gould, 2013).

### 1.2.5 Via colinergica

La corteccia prefrontale riceve impulsi colinergici provenienti dai nuclei basali di Meynert; esistono due tipi di recettori colinergici: muscarinici e nicotinici; i recettori muscarinici giocano un ruolo importante nella flessibilità cognitiva, mentre i recettori nicotinici sembrano avere un ruolo fondamentale nel coordinare l'attivazione di tutti e quattro i processi cognitivi precedentemente citati: flessibilità cognitiva, attenzione, *set-shifting* e inibizione della risposta (Logue & Gould, 2013).

### **1.3 Le funzioni esecutive nello sviluppo tipico**

Le ricerche relative allo sviluppo delle funzioni esecutive suggeriscono come esse si sviluppino a partire dall'infanzia: un ampio filone di studi neuropsicologici ha dimostrato che lo sviluppo dei principali domini delle funzioni esecutive, come capacità di shifting e di inibizione, comincia durante i primi anni di vita, mentre la stabilizzazione si protrae durante tutta l'adolescenza (Sung et al., 2021).

Le funzioni esecutive sono un insieme di processi cognitivi mediati dal lobo frontale, per cui il loro sviluppo è collegato alla maturazione delle aree frontali e prefrontali della corteccia. Non esiste un'età specifica e prestabilita in cui lo sviluppo cerebrale si arresta, esistono molti fattori che influenzano questo processo; per cui, è preferibile parlare di "fascia di età", piuttosto che di un numero preciso di anni (Blakemore, 2018).

Nel 1991, Welsh, Groisser e Pennington hanno valutato il livello di sviluppo delle funzioni esecutive in 140 partecipanti, di età compresa tra i 3 e i 28 anni. A ciascun soggetto sono state somministrate prove come il Wisconsin Card Sorting Test, la Torre di Hanoi e il Matching Familiar Figure Test. Secondariamente, è stato misurato anche il punteggio di Q.I. Osservando i risultati, i tre autori hanno stabilito che le funzioni cognitive prese in esame non erano correlate con il livello di quoziente intellettivo; inoltre, essi hanno individuato uno sviluppo sequenziale di tali abilità e hanno potuto individuare tre stadi attraverso i quali si raggiunge un livello di prestazioni pari a quello di un adulto nei compiti che implicano l'utilizzo di funzioni esecutive. Secondo gli autori, a 6 anni sono sviluppate capacità più semplici come la ricerca visiva e inizia a svilupparsi l'abilità di pianificazione, a 10 anni si sviluppano il controllo degli impulsi e il mantenimento dell'attenzione, nell'adolescenza, infine,



si ha uno sviluppo completo della capacità di pianificazione, problem solving ed efficienza della memoria.

### *1.3.1 Lo sviluppo in età prescolare*

In uno studio longitudinale di Moriguchi e Hirachi (2011) viene dimostrato come lo sviluppo di questi processi cognitivi inizi sin dall'età prescolare. È stato esaminato lo sviluppo dell'attivazione prefrontale in un gruppo di quindici bambini a sviluppo tipico. È stato somministrato il Dimensional Change Card Sorting task (DCCS) e durante le sessioni è stata monitorata l'attività cerebrale dei partecipanti mediante la tecnica NIRS (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*). In seguito, sono stati posti a confronto sia i risultati del compito che quelli del monitoraggio dell'attività cerebrale provenienti dai due momenti della somministrazione (T1 e T2), avvenuti a distanza di un anno. L'età dei partecipanti era rispettivamente 3 anni (T1) e 4 anni (T2). Dal punto di vista della performance, i bambini mostrano un significativo miglioramento nell'abilità cognitiva di *shifting* tra T1, in cui sei bambini hanno compiuto errori, e T2 in cui nessun bambino ha commesso errori. Facendo, invece, riferimento al monitoraggio dell'attivazione cerebrale, tutti i bambini hanno mostrato un significativo miglioramento nell'attivazione dell'area prefrontale inferiore, tra T1 e T2.

### *1.3.2 Lo sviluppo in adolescenza*

In uno studio di Anderson et al. (2002) è stato esaminato un campione composto di adolescenti di età compresa tra 11 e 17 anni. Al gruppo sono state somministrate prove come lo Stroop task per valutare funzioni quali attenzione

selettiva, velocità di elaborazione e memoria di lavoro e una prova specifica per misurare la capacità di attenzione. Dai risultati è emerso che le performance variavano in base all'età; in particolare, con l'avanzare dell'età si osservava un miglioramento di attenzione selettiva, memoria di lavoro e problem-solving. Con l'aumentare dell'età si riscontrava anche un incremento della velocità di elaborazione e del controllo attentivo. Secondo gli autori, questi risultati possono essere spiegati dai processi neurobiologici di potatura sinaptica, o *pruning*, e di mielinizzazione che avvengono a livello cerebrale, e quindi anche nel lobo frontale, durante infanzia e adolescenza. Per quanto riguarda la maturazione neurobiologica, studi longitudinali sulla mielinizzazione hanno mostrato come la materia bianca continua ad aumentare il suo volume fino alla terza decade di vita (Giedd, 2010). In particolare, la corteccia prefrontale è una, tra le regioni cerebrali, che protrae i suoi cambiamenti più a lungo (Sung et al., 2021).

## CAPITOLO 2. Il controllo inibitorio

Secondo il modello di Miyake e collaboratori (2000), il controllo inibitorio è, insieme a *shifting* e *updating*, una delle tre componenti di base delle funzioni esecutive. Il controllo inibitorio comprende abilità relative al controllo di attenzione, comportamento, pensieri o emozioni per superare una forte predisposizione interna o un richiamo esterno o la capacità di resistere all'interferenza proattiva di informazioni acquisite in precedenza (Postle et al., 2004). Lo scopo è mettere in atto il comportamento più appropriato nel contesto in cui ci si trova. Senza il controllo inibitorio, l'essere umano sarebbe guidato unicamente dai suoi impulsi (Diamond, 2012); il controllo di questi ultimi, consente di rimanere focalizzati su un compito nonostante eventuali distrazioni.

Lo *Stroop* è uno dei compiti più noti per quanto riguarda lo studio del controllo inibitorio. Al soggetto possono essere presentati stimoli congruenti (Fig. 2.1) in cui il significato delle parole e il colore con cui sono scritte coincidono, oppure stimoli incongruenti (Fig. 2.2.) in cui parole che rappresentano colori sono scritte con inchiostro di un altro colore, un esempio è la parola "verde" scritta con l'inchiostro rosso. Si richiede, quindi, di ignorare il significato della parola e di verbalizzare una caratteristica più superficiale, come il colore della scritta. Il significato della parola, in questo caso, è la risposta preponderante da inibire perché interferisce con la consegna del compito. Di fronte a stimoli incongruenti, si tendono a compiere più errori, poiché si è abituati a leggere le parole ignorando le caratteristiche più superficiali che le compongono come il colore o il carattere (Diamond, 2012).

Red	Yellow	Blue	Green	Black
Pink	Orange	Brown	Gray	Purple
Green	Gray	Black	Blue	Yellow
Gray	Brown	Pink	Orange	Blue
Yellow	Red	Green	Black	Gray
Black	Brown	Purple	Orange	Pink
Purple	Black	Yellow	Red	Green
Orange	Pink	Brown	Gray	Purple

*Fig 2.1 Stroop task, esempio stimoli congruenti (Tam, 2013)*

Red	Yellow	Blue	Green	Black
Pink	Orange	Brown	Gray	Purple
Green	Gray	Black	Blue	Yellow
Gray	Brown	Pink	Orange	Blue
Yellow	Red	Green	Black	Gray
Black	Brown	Purple	Orange	Pink
Purple	Black	Yellow	Red	Green
Orange	Pink	Brown	Gray	Purple

*Fig. 2.2 Stroop task, esempio stimoli incongruenti (Tam, 2013)*

Nello Stroop task, sono coinvolti numerosi processi cognitivi, a partire dall'identificazione percettiva dello stimolo, fino alla risposta data dal soggetto (Luo, 1999). L'interferenza e, di conseguenza, il tempo di risposta aumentato che si verificano in presenza di stimoli incongruenti, dipendono da una riduzione del focus verso gli aspetti rilevanti del compito e una eccessiva attenzione verso dimensioni irrilevanti (Pansky & Algom, 1999).

## 2.1 Il controllo inibitorio in età evolutiva

Per quanto riguarda l'età evolutiva, è stato dimostrato che lo sviluppo del controllo inibitorio comincia precocemente durante l'infanzia e continua fino al periodo dell'adolescenza. La capacità di inibizione, insieme alle altre funzioni esecutive, è mediata dal lobo frontale, per cui il suo sviluppo è legato alla maturazione di questa area cerebrale, la quale protrae i suoi cambiamenti più a lungo rispetto alle altre aree (Sung et al., 2021).

Numerosi sono gli studi eseguiti sul controllo degli impulsi su campioni composti da bambini in età prescolare o scolare e in età adolescenziale. Il principale obiettivo di questi studi, svolti per lo più in contesto di laboratorio, è esaminare lo sviluppo del controllo inibitorio su soggetti a sviluppo tipico. È frequente che, bambini piccoli sottoposti a compiti di controllo inibitorio, tendano a reagire in modo precipitoso e impulsivo; ciò li porta a compiere errori, ad esempio, selezionando una risposta predominante che interferisce con quella corretta (Diamond, 2012).

Per i campioni composti da soggetti in età evolutiva, oltre alle classiche prove come il compito di *Stroop*, per studiare il controllo inibitorio si utilizzano compiti più adatti all'età, come *day-night stroop*, compiti di posticipazione della gratificazione e compiti di *go/no go*.

Una variante semplificata del classico compito *Stroop* è il *Day-night Stroop* (Fig. 2.3), una prova di controllo dell'interferenza destinata a bambini tra i 3 e i 7 anni. A questi ultimi vengono mostrate carte che raffigurano il cielo notturno o il cielo diurno; essi devono rispondere "giorno" quando la carta raffigura un cielo notturno e, viceversa, rispondere "notte" se la carta rappresenta un cielo diurno (Montgomery e Koeltzow, 2010).

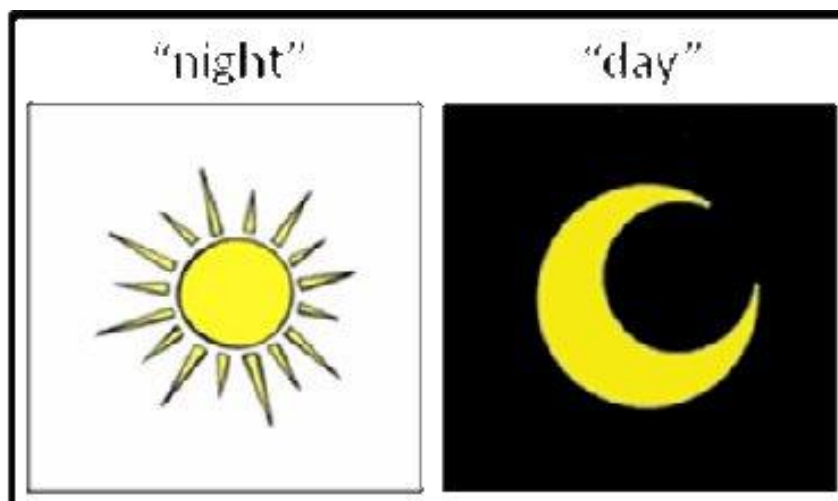


Fig. 2.3 Day/night stroop, stimolo incongruente (Simms & Gentner, 2009)

Infine, per quanto riguarda le prove di posticipazione della ricompensa, quella più nota per l'età evolutiva è il *Marshmallow test* (Mischel et al., 1972). La prova consiste nel posizionare la caramella davanti al bambino, chiedendogli di aspettare prima di mangiarla e dicendogli che potrà averne un'altra se riuscirà a pazientare, resistendo alla tentazione. Come dimostrato in uno studio longitudinale di Eigsti e colleghi (2006), questa prova, se somministrata in età prescolare, sembra essere quella che meglio predice le prestazioni scolastiche negli anni successivi.

Esistono, poi, prove il cui scopo non è inibire una risposta, bensì inibire la non-risposta. Un esempio è rappresentato dal *go/no-go task*. In questo compito si richiede di premere un bottone all'apparire di uno stimolo e di non premere nessun tasto quando un altro stimolo differente appare. il flusso del compito induce il partecipante a emettere una risposta; di conseguenza, si valuta la capacità dell'individuo di inibire questa tendenza sulla base di uno stimolo esterno al compito (Diamond, 2012).

Insegnare ai bambini ad aspettare, prima di rispondere, migliora la prestazione perché essi necessitano di più tempo per elaborare una risposta corretta (Diamond, 2002). Inoltre, avere più tempo a disposizione prima di rispondere aiuta, perché

consente alla risposta predominante, elicitata automaticamente da uno stimolo, di raggiungere la soglia di percezione e, poi, perdere di importanza, poiché errata (Simpson e Riggs, 2007).

Lo sviluppo dei lobi frontali e delle aree prefrontali si protrae durante l'adolescenza; di conseguenza, le funzioni esecutive mediate da queste aree cerebrali continuano a svilupparsi e a perfezionarsi: controllo volontario del comportamento, pianificazione della risposta, inibizione della risposta, flessibilità cognitiva, pensiero astratto (Luna, 2009). Prendendo in considerazione il controllo inibitorio, il suo sviluppo attraverso infanzia, adolescenza ed età adulta può essere analizzato tramite studi che prevedono l'utilizzo di prove di inibizione con le diverse fasce d'età. È stato dimostrato che, nonostante anche i bambini riescano a dare alcune risposte corrette, la prestazione in questi compiti migliora notevolmente, raggiungendo risultati simili a quelli di partecipanti adulti, negli adolescenti a partire dall'età di quattordici o quindici anni (Luna et al., 2004).

## **2.2 Controllo inibitorio e apprendimento scolastico**

Negli ultimi decenni, lo studio sulla relazione tra funzioni esecutive e abilità in età evolutiva ha acquisito rilevanza. Gli studi più recenti esaminano il costrutto tenendo in considerazione diversi punti di vista e, quindi, prendendo in analisi differenti popolazioni: disturbi dell'apprendimento, disturbi nella comprensione di problemi, disturbi del linguaggio, difficoltà matematiche, autismo, disturbo da deficit di attenzione e iperattività (DDAI), disturbi del comportamento. Un aspetto di rilevanza comune, ottenuto in tutti gli studi eseguiti sui diversi campioni, è che le funzioni esecutive sono un predittore di una buona prestazione in compiti scolastici.

Tuttavia, la maggior parte di queste osservazioni considera le funzioni esecutive come un sistema unitario, costituendo un limite nell'analizzare le specifiche caratteristiche di ogni singola componente del costrutto. Ad esempio, i risultati degli studi che prendono in considerazione i bambini con DDAI, mostrano difficoltà nei compiti di inibizione, ma non nei compiti che richiedono flessibilità cognitiva (Bull & Scerif, 2001).

De Beni e colleghi (1998) hanno svolto uno studio su un campione di studenti, maschi e femmine, iscritti al primo anno di università. Sono stati selezionati quarantaquattro partecipanti con risultati nella norma in prove di ragionamento logico. Lo studio si basava sull'ipotesi secondo cui la capacità di inibire informazioni irrilevanti, acquisite in precedenza al compito, potesse influenzare in modo cruciale le prestazioni in prove di comprensione del testo. La mancata inibizione delle informazioni che interferiscono con il compito, potrebbe spiegare perché le informazioni successive non possono essere processate in modo adeguato. Secondo gli autori, infatti, questo potrebbe chiarificare come mai i cattivi lettori hanno scarse prestazioni in compiti di comprensione del testo. In questi ultimi, il soggetto che legge il brano, deve elaborare una grande quantità di dati; alcuni sono rilevanti al fine della prova, altri sono secondari e più marginali. L'abilità sta nell'inibire questi ultimi, allo scopo di mantenere in memoria di lavoro solo le informazioni primarie e rilevanti per comprendere il testo.

### *2.2.1 Lo sviluppo dell'abilità di calcolo e della competenza numerica*

Utilizzando il termine *subitizing* si fa riferimento alla capacità di percepire visivamente la numerosità di un insieme di oggetti in modo immediato, senza la



necessità di contare. Questa abilità sarebbe presente già nei neonati e nei bambini di pochi mesi (Dehaene & Cohen, 1994). L'acquisizione dei principi del conteggio è comunque un processo duraturo che porta i bambini a compiere diversi tipi di errori e che comincia precocemente, precedendo l'istruzione formale (Sella et al., 2018). Lucangeli e colleghi (2003) descrivono alcuni tra gli errori più comuni, commessi dai bambini durante l'apprendimento del conteggio: sovra-conteggio e sotto-conteggio dove manca l'esatta corrispondenza tra la parola-numero e l'oggetto, omissioni in cui vengono saltati uno o più oggetti, doppio-conteggio in cui un oggetto viene contato più volte a causa di una distrazione, sequenza di parole-numero errata perché non rispetta l'ordine in progressione crescente.

Lucangeli e colleghi (2003) descrivono, inoltre, tre processi alla base dell'abilità numerica: lessicali, semantici e sintattici. I processi lessicali riguardano la capacità di attribuire un nome a ciascun numero, quelli semantici sono relativi all'acquisizione della corrispondenza numero-quantità e quindi la comprensione del significato del numero tramite una rappresentazione astratta di quantità, e, infine, i processi sintattici riguardano la capacità di individuare correttamente il valore delle cifre, a seconda del valore posizionale (unità, decine, centinaia) occupato all'interno del numero. Lo sviluppo della capacità di conteggio, e quindi l'acquisizione del significato corretto delle parole-numero è un processo complicato, poiché esse si riferiscono a proprietà di insiemi di elementi. L'acquisizione del conteggio si conclude intorno ai cinque anni, ed esistono principi impliciti che ne guidano il conseguimento: principio della corrispondenza 1-1, in cui ogni parola-numero viene associata a un solo oggetto da contare, principio dell'ordine stabile, secondo cui le parole-numero hanno un ordine fisso, principio della cardinalità, dove l'ultima parola-numero

pronunciata corrisponde alla numerosità di un insieme, principio dell'astrazione, secondo il quale tutto può essere contato e principio dell'irrelevanza dell'ordine, il quale stabilisce che il conteggio può cominciare da un qualsiasi elemento appartenente all'insieme.

Lefreuve e colleghi (2010) individuano tre sistemi coinvolti nell'elaborazione numerica precoce: precursori delle abilità linguistiche, precursori delle rappresentazioni di quantità, attenzione spaziale. Gli autori ipotizzano che queste tre vie contribuiscano allo sviluppo delle competenze matematiche precoci e, successivamente, all'apprendimento di conoscenze matematiche di tipo scolastico. Nello specifico, secondo gli autori, i tre sistemi cognitivi contribuirebbero allo sviluppo della competenza matematica ma in modo indipendente. I precursori delle abilità linguistiche permetterebbero la denominazione dei numeri, mentre i precursori quantitativi contribuirebbero all'elaborazione della grandezza numerica. Infine, l'attenzione spaziale sarebbe coinvolta in egual misura negli altri due sistemi.

Successivamente, venne sottolineata anche l'importanza del contesto educativo in cui il bambino è inserito nell'influenzare l'apprendimento matematico, oltre alle predisposizioni biologiche e alle competenze cognitive (Butterworth et al., 2011).

### *2.2.2 Le difficoltà in matematica*

La suddivisione dei tre sistemi coinvolti nell'elaborazione numerica di Lefreuve e collaboratori (2010) è rilevante nell'ambito dei bambini con difficoltà in matematica poiché, dividendo l'apprendimento dei contenuti matematici fin dall'età prescolare in

tre distinti sistemi, è possibile giungere alla conclusione che possano esistere differenze anche tra i profili di discalculia evolutiva.

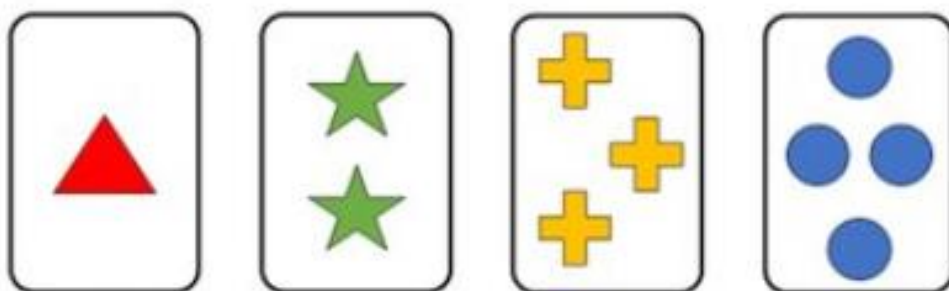
Esistono studi (Passolunghi & Siegel, 2004; Andersson & Lyxell, 2007) a sostegno dell'ipotesi per cui la discalculia evolutiva è caratterizzata dalla presenza di un deficit a carico di processi dominio-generalisti come la memoria di lavoro o le funzioni esecutive. A questo proposito, in una metanalisi di Peng e colleghi (2018) vengono presi in considerazione studi che confrontano gruppi di bambini con disturbo del calcolo e bambini che non presentano difficoltà; le aree prevalentemente indagate sono: memoria di lavoro e funzioni esecutive come inibizione, controllo dell'interferenza, flessibilità cognitiva, confronto della numerosità, capacità di fare inferenze. La metanalisi mostra che, confrontando i due gruppi, i bambini con disturbo specifico del calcolo presentano difficoltà in vari domini, diversi dall'elaborazione numerica, come memoria di lavoro, velocità di elaborazione o funzioni esecutive. Inoltre, esistono studi che evidenziano la relazione tra discalculia e deficit di inibizione (De Weerd et al., 2013; Szucs et al., 2013); attraverso il compito go/no go, De Weerd e colleghi (2013) hanno osservato performance più scarse in bambini che a scuola presentavano difficoltà in matematica, rispetto al gruppo di controllo.

### *2.2.3. Il ruolo del controllo inibitorio nelle abilità matematiche*

Le funzioni esecutive sono da considerarsi in relazione con le abilità matematiche a scuola; in particolare, esse, sono strettamente associate con l'applicazione di procedure e strategie di calcolo. Il *Modello della working memory* di Baddeley e Hitch (1974) è quello maggiormente considerato in questo campo di studi. I compiti che necessitano un semplice deposito di informazione per un breve

tempo coinvolgono il magazzino visuospatiale o quello verbale, in base alla natura dell'informazione; l'esecutivo centrale, invece, sembra avere uno stretto legame con i compiti matematici che richiedono anche una manipolazione dell'informazione (Cragg et al., 2017). Come dimostrato in una metanalisi di Friso-van den Bos e colleghi (2013), la componente esecutiva della memoria di lavoro è maggiormente correlata alle abilità in matematica rispetto ai magazzini di memoria a breve termine.

In uno studio eseguito da Bull e collaboratori (2001), si è potuto osservare come le funzioni esecutive, valutate tramite prove come Stroop task o Wisconsin Card Sorting task, fossero fortemente correlate con le abilità matematiche. Il Wisconsin Card Sorting task (WCST) è uno strumento neuropsicologico che valuta le abilità di ragionamento astratto e di cambiamento delle strategie cognitive, implicate dal lobo frontale, al mutare delle circostanze ambientali. Nella versione di Milner (1963), il soggetto ha posizionate davanti a sé quattro carte-stimolo che raffigurano nell'ordine da sinistra verso destra: triangolo rosso, due stelle verdi, tre croci gialle, quattro cerchi blu.

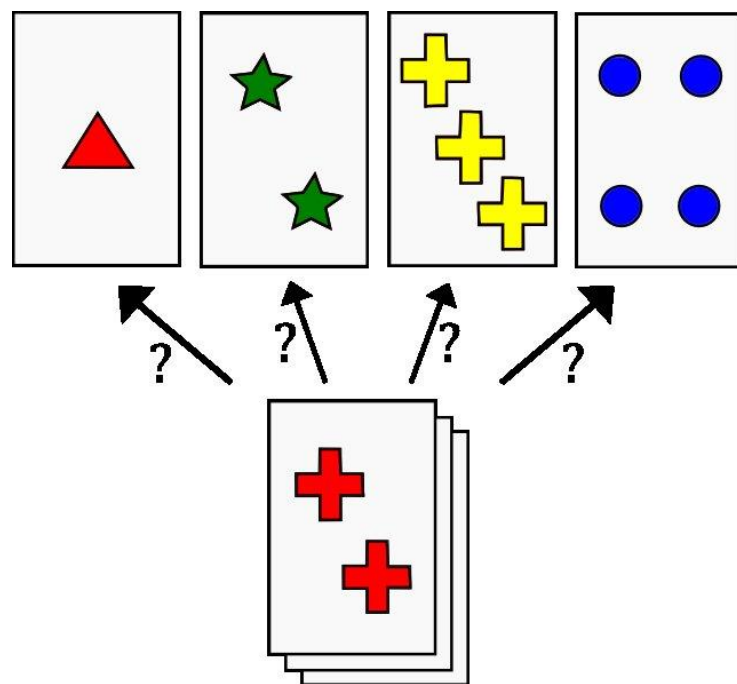


*Fig 2.4 Quattro carte-stimolo WCST (D'Alessandro et al., 2020).*

Il soggetto deve classificare altre carte che gli vengono fornite posizionandole al di sotto una delle quattro carte-stimolo, secondo un criterio da lui stabilito. In seguito, lo sperimentatore dirà al partecipante se il criterio di classificazione scelto è corretto o

sbagliato. La prima categoria da seguire è il colore a cui seguono forma e numero; lo sperimentatore non deve mai avvisare quando il criterio cambia. Il test viene concluso quando vengono completate tutte le categorie o quando si esauriscono le carte. Il soggetto deve, quindi, eseguire il compito utilizzando una strategia e mettendo in atto la capacità di cambiare procedura, quando necessario (Milner, 1963).

Tra i vari tipi di errori che si possono commettere, assume particolare importanza quello di perseverazione, che si verifica ogni qualvolta venga fornita una risposta corretta secondo il criterio valido precedentemente, ma errata in base all'attuale criterio (Robinson et al., 1980).



*Fig. 2.5 Carta da classificare in base a criterio (Steinert et. al, 2015).*

Bull e colleghi (2001) hanno selezionato novantatré partecipanti, con una età media di sette anni. Per lo svolgimento dello studio, gli autori fanno riferimento al modello di Miyake e collaboratori (2000) nel considerare le funzioni esecutive come un sistema multi-componenziale. Nello specifico, lo studio aveva due obiettivi; il

primo era quello di chiarire, nei bambini con basse prestazioni in matematica, quali fossero le difficoltà a livello di funzioni esecutive, il secondo era dimostrare che al costrutto di “funzioni esecutive” sottendono diversi processi e, che ciascuno di questi poteva essere compromesso singolarmente e indipendentemente dagli altri.

Attraverso lo strumento WCST è stato possibile osservare che, a livello di funzioni esecutive, i bambini con difficoltà di apprendimento nella matematica, presentano un deficit di inibizione di strategie apprese in precedenza, a scapito di quelle nuove. Questa difficoltà non permette allo studente di passare velocemente all'applicazione di una nuova procedura perché continua a utilizzarne una appresa in precedenza ma obsoleta per il nuovo contesto; in base ai risultati, gli autori hanno potuto osservare che, oltre al deficit di inibizione di strategie vi era anche un deficit della capacità di *shifting* nel passare da una procedura all'altra e una difficoltà di *updating* nel tenere in considerazione una nuova strategia a scapito di una appresa precedentemente. Tuttavia, gli studenti riuscivano a mantenere in memoria di lavoro una procedura di calcolo e a utilizzarla, ma soltanto dopo che questa riusciva a essere appresa e immagazzinata. Questo si può ricondurre al secondo obiettivo dello studio, ovvero dimostrare che al costrutto di “funzioni esecutive” sottendono diversi processi e, che ciascuno di questi può essere compromesso singolarmente e indipendentemente dagli altri a seconda del compito. Infatti, in questo studio, alcune specifiche sottocomponenti implicate nel compito sono risultate deficitarie, come ovvero la capacità di inibire strategie apprese in precedenza; altre sottocomponenti del sistema delle funzioni esecutive, invece, non sono risultate carenti, come la *working memory*, dal momento che, una volta che una nuova procedura di calcolo riusciva a essere

appresa dallo studente, poteva essere mantenuta in memoria di lavoro (Bull et al., 2001).

In linea con quanto affermato precedentemente, secondo quanto osservato in due studi, rispettivamente di Passolunghi, Cornoldi e De Liberto (1999) e di Passolunghi e Siegel (2001), le attività dell'esecutivo centrale deputate alla soppressione di informazioni irrilevanti per il compito sono deficitarie nei bambini con difficoltà nella risoluzione di problemi aritmetici. Dunque, gli studenti con scarse prestazioni in matematica non avrebbero difficoltà ad attivare informazioni salienti, quanto piuttosto a inibire l'attivazione di informazioni irrilevanti, al pari di quanto avviene nei cattivi lettori durante un compito di comprensione del testo (De Beni et al., 1998).

Più recentemente, è stato osservato che le funzioni esecutive hanno un ruolo di rilievo nel recupero dei fatti aritmetici dalla memoria a lungo termine, nel selezionare e mettere in pratica specifiche procedure e nel comprendere la relazione che intercorre tra i numeri (Cragg et al., 2017). In uno studio di Cragg e collaboratori (2017) viene considerato il ruolo esercitato dalle funzioni esecutive su tre specifiche componenti della matematica: abilità procedurale, già presa in esame nello studio di Bull e colleghi (2001), conoscenza fattuale e comprensione concettuale.

Dai risultati, si evince che alle conoscenze fattuali e alle abilità procedurali sottendono funzioni esecutive simili e che il controllo inibitorio è necessario per selezionare e mettere in atto una procedura adeguata rispetto al compito. Quest'ultima capacità sembrerebbe iniziare a comparire a partire dagli otto anni di età per poi continuare il suo sviluppo fino all'età adulta (Cragg et al., 2017). Tuttavia, gli autori non hanno riscontrato una relazione tra le abilità procedurali e la capacità di *shifting*, a differenza

di studi precedenti che hanno esaminato l'effetto predittivo della prestazione in compiti che coinvolgono la flessibilità cognitiva su prove di tipo procedurale (Andresson, 2010; Clark et al., 2010).



## **CAPITOLO 3. Relazione tra memoria di lavoro, controllo inibitorio e specifiche competenze matematiche nello sviluppo tipico**

### **3.1 Introduzione**

La memoria di lavoro e il controllo inibitorio sono da considerarsi in relazione con specifiche competenze matematiche nello sviluppo tipico.

La relazione tra memoria di lavoro e calcolo a mente è stata ampiamente indagata in una metanalisi di Zhang, Tolmie e Gordon (2022) che include un totale di quarantasei studi per un totale di undicimila partecipanti. La memoria di lavoro giocherebbe un ruolo cruciale nel calcolo a mente poiché permetterebbe di mantenere e manipolare una serie di informazioni al fine di raggiungere uno scopo, che in questo caso è rappresentato dalla risoluzione mentale di un calcolo matematico. Quando si richiede di svolgere un'operazione, infatti, lo studente ha il compito di mantenere in memoria una serie di elementi: i numeri su cui deve operare, il segno dell'operazione e il procedimento corretto. Nello specifico, in questa metanalisi, è stato indagato il ruolo esercitato dalla memoria di lavoro nei domini visuospatiale e verbale sulle abilità aritmetiche e i risultati mostrano una relazione significativa; nel calcolo a mente è stato osservato un coinvolgimento di entrambi i domini della memoria di lavoro, sia visuospatiale che verbale (Zhang et al., 2022).

Il ruolo del controllo inibitorio è stato, invece, indagato da Cragg e colleghi (2017). Nel loro studio, essi hanno analizzato il ruolo esercitato dalle funzioni esecutive su tre specifiche componenti della matematica: abilità procedurale, conoscenza fattuale e comprensione concettuale. Dai risultati è emersa l'esistenza di una relazione tra controllo inibitorio e la componente matematica di abilità

procedurali; in particolare, esso agisce selezionando e mettendo in atto procedure adeguate allo svolgimento di un determinato compito (Cragg et al., 2017). Secondo gli autori, questa abilità comparirebbe intorno agli otto anni di vita per proseguire il suo sviluppo fino all'età adulta (Cragg et al., 2017).

### **3.2 Obiettivi e ipotesi**

L'obiettivo del seguente studio è indagare il ruolo che la memoria di lavoro e il controllo inibitorio esercitano su specifiche competenze matematiche, nello sviluppo tipico. In base a studi precedenti, l'ipotesi è che entrambe le componenti siano in relazione con specifiche competenze matematiche; in particolare, la memoria di lavoro, in entrambi i domini visuospatiale e verbale, con il calcolo a mente (Zhang & Gordon, 2022) e il controllo inibitorio con l'abilità procedurale (Cragg et al., 2017), ovvero la capacità di mettere in atto delle strategie adeguate per risolvere un compito matematico.

### **3.3 Metodo.**

#### *3.3.1 Partecipanti*

Hanno partecipato allo studio bambini, adolescenti e giovani adulti con un'età compresa tra 6 e 21 anni. I criteri di inclusione comprendevano la mancanza di precedenti diagnosi e un punteggio ponderato alla prova di Ragionamento con le Matrici (utilizzata per valutare il ragionamento visuo-percettivo) uguale o superiore a 8, ovvero nella media o sopra la media. Prima dell'avvio, lo studio ha ricevuto l'approvazione dal Comitato di ricerca di Ateneo; per i partecipanti minorenni è stata

richiesta l'autorizzazione da parte dei genitori tramite la firma di un consenso informato.

Inizialmente, al progetto, hanno aderito settanta partecipanti ma dieci di loro sono stati esclusi dalle analisi statistiche per due motivazioni; cinque di questi presentavano diagnosi precedenti (quattro diagnosi di DSA e una diagnosi di DDAI), mentre altri cinque poiché hanno completato solo la prima sessione di valutazione. Quindi, il campione incluso nelle analisi statistiche è composto da sessanta partecipanti.

La media dell'età del campione è 12.27, con un range compreso tra 6.11 e 21.15 anni. Invece, la media del punteggio alle matrici è 12.20 con un range che va da un punteggio minimo 8.00 a uno massimo di 18.00.

### *3.3.2 Procedura*

Le prove sono state somministrate nel corso di quattro sessioni della durata di circa trenta minuti per partecipante, ciascuno dei quali necessitava di un computer con tastiera, una webcam e una connessione a internet, per poter partecipare allo studio. Gli incontri sono avvenuti in modalità online attraverso l'utilizzo di piattaforme come Google Meet o Microsoft Teams, che hanno permesso di effettuare videochiamate con i partecipanti.

Per alcuni test, somministrati in modalità computerizzata, è stato richiesto ai partecipanti di installare il programma *Inquisit* sul loro computer e di condividere lo schermo durante lo svolgimento della prova; per le altre prove, invece, si è richiesto semplicemente di accendere la webcam e di rispondere a voce alle domande poste dal

somministratore. Le risposte sono state annotate da quest'ultimo sul foglio di risposta corrispondente a ciascuna prova.

### **3.4 Strumenti**

Le prove somministrate durante i quattro incontri fanno riferimento a alcune aree indagate dallo studio: ragionamento visuo-percettivo, memoria di lavoro, inibizione della risposta e gestione dell'interferenza, competenze matematiche. Per la valutazione del ragionamento visuo-percettivo è stata utilizzata la prova di Ragionamento con le matrici; il punteggio ottenuto a questa prova è stato utilizzato come criterio di inclusione o esclusione per le analisi dello studio. La memoria di lavoro è stata misurata attraverso due prove, Memoria inversa e *Mr. Peanut*, le quali fanno riferimento rispettivamente a memoria di lavoro verbale e memoria di lavoro visuospatiale. Per quanto riguarda il controllo inibitorio le prove somministrate sono due: *Matching Familiar Figure*, che esamina la capacità di inibizione della risposta, e il compito *Flanker*, per la gestione dell'interferenza. Infine, per le competenze matematiche, le prove somministrate sono tre: fatti aritmetici, calcolo a mente e inferenze.

#### *3.4.1 Ragionamento visuo-percettivo*

La prova di Ragionamento con Matrici è un subtest dell'Indice di Ragionamento Percettivo che misura processi visivi e percezione spaziale. Ai partecipanti vengono mostrati pattern visivi con una parte mancante e viene loro chiesto di selezionare il pezzo mancante tra cinque alternative di risposta. Non vi è un limite di tempo entro il quale il partecipante deve fornire una risposta. La prova di

Ragionamento con Matrici, subtest della WISC-IV (Wechsler, 2003) è stata somministrata ai partecipanti di età compresa tra sei e sedici anni, mentre la prova di Ragionamento con Matrici della WAIS-IV (Wechsler, 2013) è stata somministrata ai partecipanti di età maggiore di sedici anni.

#### 3.4.2 Memoria di lavoro

La prova di Memoria Inversa (Wechsler, 2003) misura la memoria di lavoro verbale. Viene richiesto ai partecipanti di ripetere una serie di numeri in ordine inverso rispetto a come è stata dettata. Il partecipante non ha un limite di tempo entro cui fornire la risposta; il somministratore deve leggere i numeri ad alta voce con frequenza di un numero al secondo. Il compito è composto da otto livelli a difficoltà crescente e ciascuno di essi presenta due item; il numero di cifre da ricordare aumenta di una unità per ogni livello, da due a nove cifre. La prova di Memoria Inversa della WISC-IV (Wechsler, 2003) è stata somministrata ai partecipanti di età compresa tra sei e sedici anni, mentre la prova di Memoria Inversa della WAIS-IV (Wechsler, 2013) è stata somministrata ai partecipanti di età maggiore di sedici anni.

*Mr. Peanut* è una prova utile alla misurazione della memoria di lavoro visuo-spaziale (Morra, 1994); per questo studio, è stata utilizzata una versione computerizzata a cui i partecipanti hanno potuto accedere scaricando il programma *Inquisit*. Il personaggio *Mr. Peanut* viene mostrato per una durata di cinque secondi, con una serie di pallini colorati in differenti parti del corpo. Poi scompare e riappare senza alcun pallino colorato. Il partecipante deve indicare la posizione e il colore dei pallini presenti nella figura mostrata in precedenza. La prova è composta da sette livelli con numero crescente di pallini per livello, da 1 a 7, e tre item per livello. Se un livello è

superato, ovvero almeno un tentativo corretto per livello, si passa a quello successivo. La prova termina se falliscono tutti e tre i tentativi di un determinato livello.

### 3.4.3 *Controllo inibitorio*

Il compito di *Matching Familiar Figure* (Marzocchi et al., 2010) è composto da due item di prova e venti item sperimentali ed è una misura di inibizione della risposta. Il partecipante deve scegliere, tra una serie di sei figure simili tra loro, quella identica alla figura target. Per ogni item si tiene conto del numero di errori commessi, ovvero quante volte il partecipante indica una figura sbagliata, e si misura il tempo di risposta che intercorre tra la presentazione del target e la prima risposta fornita dal partecipante.

Il compito *Flanker*, invece, è una misura di controllo dell'interferenza. Per questo studio, è stata utilizzata una versione digitalizzata della prova, attraverso la piattaforma *Inquisit*. Il partecipante deve focalizzarsi sullo stimolo target, posizionato al centro dello schermo, ignorando quelli a lato; si valuta, quindi, la capacità di controllare l'interferenza esercitata da una serie di stimoli distrattori.

### 3.4.4 *Competenze matematiche*

La prova di Fatti aritmetici misura la capacità di recuperare conoscenze relative a essi; il partecipante possiede già l'informazione in memoria e dovrebbe riuscire ad accedervi senza effettuare alcuna procedura di calcolo. Durante la prova, vengono presentate oralmente delle semplici operazioni matematiche alle quali bisogna cercare di rispondere il più velocemente possibile, in un tempo massimo di tre secondi. Ogni operazione può essere ripetuta solamente una volta; il numero di item e la loro

difficoltà varia in base alla classe frequentata dal partecipante. Esiste, infatti, la versione per alunni della scuola primaria e della scuola secondaria di primo grado presente nelle prove AC-MT 3 (Cornoldi et al., 2020), quella per studenti di scuola secondaria di secondo grado presente nelle prove MT-3 Advanced Clinical (Cornoldi et al., 2017) e quella per partecipanti con età superiore a diciannove anni appartenente alla batteria di prove LSC-SUA (Montesano et al., 2020).

Anche per quanto riguarda la prova di calcolo a mente esistono tre versioni: quella per alunni della scuola primaria di primo e di secondo grado delle prove AC-MT 3 (Cornoldi et al., 2020), quella per studenti di scuola superiore appartenente alla batteria MT-3 Advanced Clinical (Cornoldi et al., 2017) e quella per partecipanti con età superiore a diciannove anni tratta dalla batteria di prove LSC-SUA (Montesano et al., 2020). Si richiede al partecipante l'abilità di applicare delle strategie mentali di calcolo per arrivare al corretto risultato di un'operazione. Le operazioni vengono presentate oralmente e il tempo massimo per fornire una risposta è di trenta secondi; ogni item può essere ripetuto una sola volta.

Infine, la prova di Inferenze presente tra le prove AC-MT 3 (Cornoldi et al., 2020), analizza la capacità del partecipante di eseguire ragionamenti matematici di tipo inferenziale. Il compito è diviso in tre parti, la cui complessità varia a seconda della classe frequentata dal partecipante. Nella prima parte, si richiede di risolvere operazioni composte da simboli; ad esempio, nella somma "fiore + fiore = 8", l'abilità del partecipante è quella di comprendere che il simbolo "fiore" equivale al numero 4. Nella seconda parte della prova, bisogna capire il corretto segno matematico da inserire in una serie di operazioni. Infine, nella terza parte sono presentate due

operazioni e solo in una delle due è presente il risultato; lo studente deve dedurre il risultato dell'operazione in cui è mancante.

### 3.5 Risultati

#### 3.5.1 Statistiche descrittive

Nella tab 3.1 sono riportate le statistiche descrittive relative alle prove cognitive e alle prove di matematica somministrate durante le quattro sessioni previste dallo studio.

<b>Compito</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Dev. St.</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Memoria inversa</b>	60	7.36	2.11	4	14
<b>Mr. Peanut</b>	59	8.31	3.03	3.00	16.00
<b>MFFT errori</b>	58	5.31	4.37	0	18
<b>Flanker</b>	56	0.96	0.05	0.77	1.00
<b>Fatti aritm. (pt. Z)</b>	52	0.18	0.71	-1.35	1.36
<b>Calcolo a mente</b>	52	0.34	0.88	-1.73	1.81
<b>Inferenze</b>	34	0.17	0.88	-1.50	1.55

*Tab 3.1 Statistiche descrittive prove cognitive e prove di matematica*

Osservando la seconda colonna N, che indica il numero dei partecipanti, si può notare come i partecipanti per la prova di Memoria Inversa, somministrata durante il primo incontro, fossero 60, quindi, la totalità del campione. Vi è stato, poi, un calo del numero di soggetti nelle sessioni successive. Infatti, per le tre prove di matematica,



sostenute durante la quarta e ultima sessione di incontri, il numero dei partecipanti è rispettivamente di: 52, 52 e 34. Nello specifico, si osserva che per le prove di Fatti Aritmetici e di Calcolo a mente, il numero totale di partecipanti è 52, dato che evidenzia una perdita di 8 persone nel corso dello studio; per la prova di Inferenze, il numero di partecipanti è ridotto ulteriormente per un totale di 34 soggetti.

### 3.5.2 Correlazione tra prove cognitive e prove di matematica.

Nella tab 3.2 si evidenziano le correlazioni tra le prove cognitive e le prove di matematica. In particolare, la tabella, evidenzia eventuali correlazioni tra memoria di lavoro o inibizione e competenze matematiche. La memoria di lavoro è rappresentata dalle prove di Memoria Inversa e Mr. Peanut, mentre il controllo inibitorio viene rappresentato tramite le due prove MFFT (della quale vengono tenuti in considerazione gli errori compiuti) e la prova Flanker. Le tre prove di matematica, invece, sono inserite nella prima riga della tabella: Fatti Aritmetici, Calcolo a mente e Inferenze.

	<b>Fatti aritmetici</b>	<b>Calcolo a mente</b>	<b>Inferenze</b>
<b>Memoria Inversa</b>	0.35**	0.44***	0.36**
<b>Mr. Peanut</b>	0.27*	0.39**	0.38**
<b>MFFT errori</b>	-0.25*	-0.33**	-0.28*
<b>Flanker</b>	0.29*	0.32**	0.49***

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

*Tab 3.2 Matrice di correlazione tra prove cognitive e prove di matematica*

La tab 3.2 riporta gli indici di correlazione presenti tra le prove cognitive, di memoria di lavoro e di controllo inibitorio, e le tre prove che misurano le competenze

matematiche. Osservando i dati riportati in tabella, si osserva che tra tutte le prove vi è una correlazione positiva con valori compresi tra .27 e .49. L'unica eccezione è rappresentata dalla prova cognitiva di Matching, la quale presenta correlazioni negative con le tre prove di matematica, con i seguenti valori: -0.25, -0.33, -0.28, poiché nell'analisi sono stati tenuti in considerazione solo gli errori commessi dai partecipanti. Per tutte le altre prove, invece, è stata valutata l'accuratezza, per cui i valori sono positivi.

### *3.5.3 Regressioni lineari gerarchiche*

Per indagare il contributo di memoria di lavoro e controllo inibitorio nelle competenze matematiche, sono state condotte delle analisi di regressione lineare di tipo gerarchico. Poiché per le prove di memoria di lavoro e inibizione, i punteggi a disposizione erano punteggi grezzi e non ponderati per l'età, sono stati calcolati i punteggi residui di ogni variabile cognitiva, conducendo una serie di analisi di regressione con l'età come predittore e il punteggio grezzo di ogni variabile cognitiva come variabile dipendente (Giofrè et al., 2018; Giofrè & Mammarella, 2014).

Come riportato nella tabella sottostante (tab 3.3), in ogni regressione gerarchica ciascuna competenza matematica è stata inserita come variabile dipendente: fatti aritmetici, calcolo a mente, inferenze; mentre le variabili indipendenti sono state inserite in due blocchi: nel primo blocco sono state inserite le due prove di memoria di lavoro, ovvero Memoria Inversa e Mr. Peanut, mentre nel secondo blocco sono state inserite anche le due prove relative al controllo inibitorio, ovvero MFFT e Flanker.

I risultati dei modelli sono riportati nella tabella successiva (tab 3.3.).

	Fatti Aritmetici			Calcolo a mente			Inferenze		
	p= 0.55			p= 0.053			p= 0.97		
	R <sup>2</sup> Adj = 0.04			R <sup>2</sup> Adj = 0.26			R <sup>2</sup> Adj = 0.02		
	R <sup>2</sup> Δ = 0.03			R <sup>2</sup> Δ = 0.12			R <sup>2</sup> Δ = 0.01		
<b>Modello 1</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima Std.</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima St.</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima Std.</b>
VWM	0.07	0.07	0.15	0.17	0.08	0.31	-0.01	0.10	-0.02
VSWM	0.03	0.04	0.11	0.05	0.05	0.13	-0.04	0.09	-0.08
<b>Modello 1 &amp; 2</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima Std.</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima Std.</b>	<b>Stima</b>	<b>SE</b>	<b>Stima Std.</b>
VWM	0.07	0.07	0.16	0.18	0.08	0.33	-0.02	0.11	-0.04
VSWM	0.04	0.05	0.13	0.06	0.05	0.18	-0.03	0.09	-0.06
MFFTerrori	0.04	0.03	0.17	0.09	0.04	0.35	0.01	0.04	0.06
Flanker	-0.06	2.17	-0.00	0.51	2.39	0.03	1.64	3.20	0.11

*Tab 3.3 Regressione lineare gerarchica*

La prima regressione lineare gerarchica presa in analisi considera come variabile dipendente la prova di Fatti aritmetici. Il modello spiega solamente il 4% della varianza totale e, in base ai valori riportati, non risulta statisticamente significativo; quindi, nessuna variabile implicata nell'analisi sembra predire la competenza di fatti aritmetici.

La seconda regressione lineare gerarchica presa in esame considera la prova di Calcolo a mente come variabile dipendente. Il 26% della varianza totale risulta essere predetta da un modello in cui i predittori significativi sono la prova di Memoria inversa e la prova di *Matching*. Il modello presenta un valore al limite della significatività statistica.

Infine, la terza regressione lineare gerarchica riportata nella tab 3.3, considera come variabile dipendente la prova di Inferenze. Il modello spiega solo il 2% della varianza totale e, in base ai valori osservabili, non risulta essere statisticamente significativo.

Per esaminare nello specifico la seconda regressione lineare gerarchica che considera il calcolo a mente come variabile dipendente, si può osservare la tabella 3.4, sotto riportata, che analizza il Modello 1 & 2, permettendo di comprendere quali sono le singole prove a determinare la significatività del modello.

Predittore	Stima	SE	t	p	Stima Std.
Intercetta	0.45	0.11	3.95	< .001	
VWM (residual scores)	0.18	0.08	2.27	0.028	0.33
VSWM (residual scores)	0.06	0.05	1.18	0.247	0.18
MFFT_errori (residual scores)	0.09	0.04	2.51	0.016	0.35
Flanker (residual scores)	0.51	2.39	0.21	0.833	0.03

*Tab 3.4 Modello 1 & 2*

Sia Modello 1 che Modello 2 risultano statisticamente significativi; la prova di memoria di lavoro che contribuisce alla significatività è la Memoria Inversa, relativa alla memoria di lavoro verbale, mentre la prova di controllo inibitorio che contribuisce alla significatività del modello è quella di *Matching Familiar Figure*.

### 3.6 Discussione

I risultati ottenuti allo studio appena presentato si trovano in contrasto con la maggior parte degli studi precedenti, i quali suggerivano la presenza di una relazione tra memoria di lavoro e abilità di calcolo (Zhang et al., 2022) e tra controllo inibitorio e l'abilità di applicare procedure adeguate per eseguire un'operazione o un compito matematico (Cragg et al., 2017).

Inizialmente, dalle analisi della correlazione emerge come le prove cognitive, ovvero di memoria di lavoro e di controllo inibitorio, correlino positivamente con le tre prove di abilità matematica. I risultati sono in linea con quelli riportati in una metanalisi recente (Emslander & Scherer, 2022), nella quale gli autori hanno riportato i valori delle correlazioni tra prove di memoria di lavoro e di funzioni esecutive con le abilità matematiche in età di sviluppo, ricavate dai risultati di 47 studi. Inoltre, si può notare come la prova di *Flanker*, misura di controllo dell'interferenza, presenti la correlazione più elevata tra tutte (tab 3.2), con la prova matematica di Inferenze. Questo supporta l'ipotesi secondo cui nell'abilità di compiere inferenze sia maggiormente implicato l'aspetto di controllo dell'interferenza rispetto che l'abilità di inibizione della risposta.

In seguito, attraverso la regressione lineare gerarchica si è voluto studiare, nello specifico, il ruolo esercitato da memoria di lavoro e controllo inibitorio sulle competenze matematiche; nel modello sono state inserite le prove cognitive come variabili indipendenti e le prove di matematica come variabili dipendenti.

I risultati dell'analisi di regressione lineare non rispecchiano le ipotesi di partenza secondo cui sia la memoria di lavoro che il controllo inibitorio fossero predittori significativi delle tre competenze matematiche prese in esame. In

particolare, per le prove matematiche di Fatti Aritmetici e di Inferenze, non sono stati riscontrati i risultati aspettati.

Per i Fatti Aritmetici, né la memoria di lavoro e né il controllo inibitorio risultano essere predittori di questa abilità; una spiegazione possibile potrebbe essere che i fatti aritmetici, ovvero procedure aritmetiche di cui si conosce già il risultato che, quindi, non deve essere calcolato, vengono immagazzinati in memoria tramite la pratica e l'esperienza e, di conseguenza, nello svolgimento della prova, le funzioni esecutive sarebbero meno implicate.

Nemmeno per l'abilità di compiere inferenze in matematica il modello è risultato statisticamente significativo, nonostante ci si aspettasse che soprattutto il controllo inibitorio fosse un predittore della capacità poiché questo compito comporterebbe l'applicazione di abilità procedurali, esaminate nello studio di Cragg e colleghi (2017), al fine di risolvere un'operazione e ottenere un risultato. Un elemento che potrebbe spiegare questa incongruenza è relativo al campione, molto ristretto; infatti, i partecipanti a questa prova sono stati solo trentaquattro e, come già riportato nella Tabella 3.3, il modello utilizzato spiega solo il 2% della varianza, per cui una percentuale molto ridotta.

La competenza di calcolo a mente, invece, risulta essere predetta dalla prova di *Matching Familiar Figure*, la quale, oltre a essere una misura del livello di impulsività richiede anche l'utilizzo di memoria di lavoro nel mantenere a mente lo stimolo target mentre si ricerca la figura uguale a esso tra una serie di stimoli simili. Anche la prova di Memoria Inversa risulta essere un predittore del calcolo a mente. I valori del modello risultano, tuttavia, ai limiti della significatività; le cause potrebbero derivare dalle limitazioni dello studio, spiegate nel paragrafo successivo.

### *3.6.1 Limiti dello studio*

Per spiegare il contrasto tra i risultati ottenuti e le ipotesi di partenza, è necessario menzionare alcune limitazioni dello studio.

I primi limiti riguardano il campione. Inizialmente, hanno aderito al progetto settanta persone, dieci delle quali sono state scartate perché non possedevano i requisiti necessari; quindi, durante la prima sessione di somministrazione i partecipanti totali sono stati sessanta, per poi diminuire ulteriormente nel corso delle sessioni successive, con un numero finale al quarto incontro di 52 partecipanti alle prove di Calcolo a mente e Fatti Aritmetici e solo 34 per la prova di Inferenze. Un altro aspetto che riguarda il campione è il range di età, molto ampio, compreso tra 6.11 e 21.15 anni. In confronto, gli studi menzionati in origine presentano campioni molto più ampi, rispettivamente composti da 293 partecipanti (Cragg et al., 2017) e da 11224 partecipanti provenienti da cinque campioni differenti, inclusi nella metanalisi di Zhang e colleghi (2022), e considerano range di età più ristretti, ad esempio da sei a dodici anni (Zhang et al., 2022).

Un'altra limitazione potrebbe essere dovuta dal tipo di prove utilizzato per la valutazione delle abilità matematiche: Fatti Aritmetici, Calcolo a mente e Inferenze, le quali appartengono alle batterie AC-MT 3 (Cornoldi et al., 2020) per la scuola primaria di primo grado e la scuola secondaria di secondo grado, MT-3 Advanced Clinical (Cornoldi et al., 2017) per studenti di scuola superiore di secondo grado e LSC-SUA (Montesano et al., 2020) per l'età adulta a partire da diciannove anni. Tuttavia, queste batterie sono state strutturate con la finalità di individuare e valutare studenti che presentano specifiche difficoltà in matematica; il campione di questo studio, però, era composto unicamente da soggetti a sviluppo tipico; infatti, un

requisito per la selezione del campione è stato proprio quello di non avere ricevuto diagnosi in precedenza, tra cui quella di disturbo specifico di apprendimento. Per cui, le batterie AC-MT, MT-3 e LSC-SUA, che tipicamente servono a evidenziare particolari difficoltà negli studenti, potrebbero non essere le più adatte da utilizzare in questo tipo di studi, la cui finalità sarebbe quella di evidenziare la variabilità interindividuale in un campione composto solo da soggetti a sviluppo tipico.



## CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo elaborato è stato indagare il contributo apportato dal controllo inibitorio e dalla memoria di lavoro sulle competenze matematiche nello sviluppo tipico, in seguito a una descrizione dettagliata su caratteristiche, modalità di sviluppo e correlati neurali del controllo inibitorio. L'ipotesi di partenza dello studio presentato si basava su studi precedenti ed era che sia controllo inibitorio che memoria di lavoro esercitassero un ruolo su specifiche abilità matematiche; le tre abilità prese in esame sono state: fatti aritmetici, calcolo a mente e abilità inferenziale

Come già discusso nel capitolo precedente in seguito alle analisi statistiche, i risultati ottenuti non rispecchiano pienamente le ipotesi di partenza poiché il controllo inibitorio risulta predire solo una tra le tre abilità matematiche analizzate.

Tuttavia, lo studio presentato può essere utile nell'evidenziare alcune implicazioni rilevanti per la pratica, riguardanti il campione o gli strumenti utilizzati. Per quanto riguarda il campione, si sottolinea l'importanza della sua ampiezza o di un range di età ristretto; facendo, invece, riferimento agli strumenti impiegati è necessario considerare il livello di validità delle prove per la valutazione del campione.

## BIBLIOGRAFIA

Anderson P. *Assessment and development of executive function (EF) during childhood*. Child Neuropsychol. 2002 Jun;8(2):71-82. doi: 10.1076/chin.8.2.71.8724.

Andersson, U. (2010). *Skill development in different components of arithmetic and basic cognitive functions: Findings from a 3-year longitudinal study of children with different types of learning difficulties*. Journal of Educational Psychology, 102(1), 115–134. <http://dx.doi.org/10.1037/a0016838>

Andersson U, Lyxell B. Working memory deficit in children with mathematical difficulties: a general or specific deficit? J Exp Child Psychol. 2007 Mar;96(3):197-228. doi: 10.1016/j.jecp.2006.10.001. Epub 2006 Nov 22. PMID: 17118398.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). *Working Memory*. In G. A. Bower (Ed.), *Recent Advances in Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press. [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1.5](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1.5)

Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Clarendon Press/Oxford University Press.

Baddeley, A. (2000). *The episodic buffer: a new component of working memory?* Trends in Cognitive Sciences, Vol. 4, pp. 417 – 423.

Blakemore, S.J. (2018). *Inventing Ourselves. The Secret Life of the Adolescent Brain*. Bollati Boringhieri editore.

Bull R, Scerif G. *Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory*. Dev Neuropsychol. 2001;19(3):273-93. doi: 10.1207/S15326942DN1903\_3. PMID: 11758669.

Butterworth B, Varma S, Laurillard D. *Dyscalculia: from brain to education*. Science. 2011 May 27;332(6033):1049-53. doi: 10.1126/science.1201536.

Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., Castellanos, F. X., Haxby, J. V., Noll, D. C., Cohen, J. D., Forman, S. D., Dahl, R. E., & Rapoport, J. L. (1997). *A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task*. Journal of Cognitive Neuroscience, 9, pp. 835–847.

Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). *Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement*. Developmental Psychology, 46(5), 1176–1191. <http://dx.doi.org/10.1037/a0019672>.

Cools R, Roberts AC, Robbins TW. *Serotonergic regulation of emotional and behavioural control processes*. Trends Cogn Sci 2008;12: pp. 31–40

Cornoldi C., I. Mammarella I. e Caviola S., *AC-MT-3*, 2020, Trento, Erickson.

Cornoldi, C., Pra Baldi, A., & Giofrè, D. (2017). *Prove MT Avanzate-3-Clinica. La valutazione delle abilità di Lettura, Comprensione, Scrittura e Matematica per il biennio della Scuola Secondaria di II Grado*. Erikson.

Cragg L, Keeble S, Richardson S, Roome HE, Gilmore C. *Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement*. Cognition. 2017 May;162:12-26. doi: 10.1016/j.cognition.2017.01.014. Epub 2017 Feb 9. PMID: 28189034.

D'Alessandro M, Radev ST, Voss A, Lombardi L. (2020) *A Bayesian brain model of adaptive behavior: an application to the Wisconsin Card Sorting Task*. PeerJ.

De Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (1998). *Increases in intrusion errors and working memory deficit of poor comprehenders*. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51A, 305–320.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1994). *Dissociable mechanisms of subitizing and counting: Neuropsychological evidence from simultanagnosic patients*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20(5), 958–975.

De Weerd F, Desoete A, Roeyers H. *Working memory in children with reading disabilities and/or mathematical disabilities*. J Learn Disabil. 2013 Sep-Oct;46(5):461-72. doi: 10.1177/0022219412455238. Epub 2012 Aug 30. PMID: 22941463.

Diamond A., *Executive Functions*, Annual Review of Psychology, Vol. 64:135-168 (Volume publication date January 2013), First published online as a Review in Advance on September 27, 2012.

Diamond A, Kirkham NZ, Amso D. 2002. *Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response*. Dev. Psychol. 38:352–62

Eigsti IM, Zayas V, Mischel W, Shoda Y, Ayduk O, Dadlani MB, Davidson MC, Lawrence Aber J, Casey BJ. *Predicting cognitive control from preschool to late adolescence and young adulthood*. Psychol Sci. 2006 Jun;17(6):478-84. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01732.x.

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.

Faria M.A., *Violence, mental illness, and the brain - A brief history of psychosurgery: Part I - From trephination to lobotomy*. Surg Neurol Int. 2013;5(4):49

Friso-Van Den Bos, I., Van Der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (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>

Giedd JN. Adolescent Brain Maturation. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. Paus T, topic ed. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Published: November 2010.

Giofrè, D., Donolato, E., and Mammarella, I. C. (2018). *The differential role of verbal and visuospatial working memory in mathematics and reading*. *Trends Neurosci. Educ.*12, 1–6. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.001

Giofrè, D., & Mammarella, I. C. (2014). *The relationship between working memory and intelligence in children: Is the scoring procedure important?* *Intelligence*, 46, 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.08.001>

Harlow, J. M., *Recovery from the Passage of an Iron Bar Through the Head*, In *Publications of the Massachusetts Medical Society*, II, 3, 1868, pp. 327-347.

Jonides, J., and Smith, E. E. (1997). *The architecture of working memory*, in *Cognitive Neuroscience*, ed. M. D. Rugg (Cambridge, MA: MIT Press), pp. 243–276.

Kiefer, M., Marzinzik, F., Weisbrod, M., Scherg, M., & Spitzer, M. (1998). *The time course of brain activations during response inhibition: Evidence from event-related potentials in a go/no go task*. *NeuroReport*, 9, pp. 765–770

LeFevre, J.-A., Fast, L., Skwarchuk, S.-L., Smith-Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner-Wilger, M. (2010). *Pathways to Mathematics: Longitudinal Predictors of Performance*. *Child Development*, 81(6), 1753–1767

Logan, G. D. (1994). *On the ability to inhibit thought and action: A user's guide to the stop signal paradigm*. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 189–239). San Diego, CA: Academic Press.

Logue, S.F.; Gould, T.J. *The Neural and Genetic Basis of Executive Function: Attention, Cognitive Flexibility, and Response Inhibition*. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 2013, 123, 45–54

Lucangeli, Poli e Molin, 2003, *L'intelligenza numerica*, vol. 2, Trento, Erickson

Luna B. 2009. *Developmental changes in cognitive control through adolescence*. *Adv. Child Dev. Behav.* 37:233–78

Luna B, Garver KE, Urban TA, Lazar NA, Sweeney JA. 2004. *Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood*. *Child Dev.* 75:1357–72

Luo, C. R. (1999). *Semantic competition as the basis of Stroop interference: Evidence from color-word matching tasks*. *Psychological Science*, 10(1), 35–40.

Marzocchi, G. M., Re, A. M., & Cornoldi, C. (2010). *BIA. Batteria italiana per l'ADHD per la valutazione dei bambini con deficit di attenzione-iperattività*. Edizioni Erickson.

Milner, B. (1963). *Effects of different brain lesions on card sorting*. *Archives of Neurology*, 9. 90-100.

Mischel, W., Ebbesen, E. B., & Raskoff Zeiss, A. (1972). *Cognitive and attentional mechanisms in delay of gratification*. *Journal of Personality and Social Psychology*, 21(2), 204–218. <https://doi.org/10.1037/h0032198>

Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. *The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis*. *Cogn Psychol*. 2000 Aug;41(1):49-100. doi: 10.1006/cogp.1999.0734. PMID: 10945922.

Montesano L., Valenti A., Cornoldi C., 2020. *LSC-SUA Batteria per la valutazione dei DSA e altri disturbi in studenti universitari e adulti*. Trento, Erikson.

Montgomery, D. E., and Koeltzow, T. E. (2010). *A review of the day–night task: the Stroop paradigm and interference control in young children*. *Dev. Rev.* 30, 308–330. doi: 10.1016/j.dr.2010.07.001

Moriguchi Y, Hiraki K. *Longitudinal development of prefrontal function during early childhood*. *Dev Cogn Neurosci*. (2011) 1:153–62. doi: 10.1016/j.dcn.2010.12.004

Morra S. (1994). *Issues in working memory measurement: testing for M capacity*. *Int. J. Behav. Dev.* 17, 143–159

Morris, N., & Jones, D. M. (1990). *Memory updating in working memory: The role of the central executive*. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121.

Owen, A. M. (1997). *The functional organization of working memory processes within human lateral frontal cortex: the contribution of functional neuroimaging*. *European Journal of Neuroscience*, 9, 1329-1339.

Pansky, A., & Algom, D. (1999). *Stroop and Garner effects in comparative judgements of numerals: The role of attention*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 39–58.

Passolunghi, M. C., Cornoldi, C., & de Liberto, S. (1999). *Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problem solvers*. *Memory and Cognition*, 27, pp. 779-790

Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2001). *Short term memory, working memory, and inhibitory control in children with specific arithmetic learning disabilities*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, pp. 44-57.

Passolunghi MC, Siegel LS. *Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics*. *J Exp Child Psychol*. 2004 Aug;88(4):348-67. doi: 10.1016/j.jecp.2004.04.002. PMID: 15265681.

Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Tao, S. (2018). *A meta-analysis on the relation between reading and working memory*. *Psychological Bulletin*, 144, 48–76.

Perret, E. (1974). *The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behavior*. *Neuropsychologia*, 12, pp. 323–330

Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind*. Scientific American Library/Scientific American Books.

Postle BR, Brush LN, Nick AM. *Prefrontal cortex and the mediation of proactive interference in working memory*. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2004 Dec;4(4):600-8. doi: 10.3758/cabn.4.4.600. PMID: 15849900; PMCID: PMC1201535.

Robinson, A. L., Heaton, R. K., Lehman, R. A. W. and Stilson, D. W. *The Utility of Wisconsin Card Sorting Test in Detecting and Localizing Frontal Lobe Lesions*. 1980. *Journal Consulting and Clinical Psychology*. Vol. 48, No. 5, 605-614



Sella, F., Hartwright, C., & Cohen Kadosh, R. (2018). *The Neurocognitive Bases of Numerical Cognition*. In J. T. Wixted & S. L. Thompson-Schill (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*. Volume 3: Language and Thought (pp. 1–47). New York: Wiley. doi: 10.1002/9781119170174.epcn316

Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Cambridge Univ. Press.

Simms, N., & Gentner, D. (2009). Relational language and inhibitory control in the development of analogical ability. In B. Kokinov, K. Holyoak, & D. Gentner (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference on Analogy* (pp. 414-422). NBU Press.

Simpson A, Riggs KJ. 2007. *Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions?* Dev. Psychol. 43:417–28

Steinert L, Hoefinghoff J, Pauli, J. *Online Vision and Action-Based Object Classification Using Both Symbolic and Subsymbolic Knowledge Representations*. arXiv, 2015

Sung, D., Park, B., Kim, B., Kim, H., Jung, K. I., Lee, S. Y., et al. (2021). *Gray matter volume in the developing frontal lobe and its relationship with executive function in late childhood and adolescence: a community-based study*. Front. Psych. 12:686174. doi: 10.3389/fpsy.2021.686174.

Szucs D, Devine A, Soltesz F, Nobes A, Gabriel F. *Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment*. Cortex. 2013 Nov Dec;49(10):2674-88. doi: 10.1016/j.cortex.2013.06.007. Epub 2013 Jun 28. PMID: 23890692; PMCID: PMC3878850.

Tam ND. *Improvement of Processing Speed in Executive Function Immediately following an Increase in Cardiovascular Activity*. *Cardiovasc Psychiatry Neurol*. 2013;2013:212767. doi: 10.1155/2013/212767. Epub 2013 Sep 25.

Wechsler, D. (2003) *Wechsler Intelligence Scale for Children—WISC-IV*. The Psychological Corporation, New York

Wechsler, D. *Wechsler Adult Intelligence Scale – WAIS-IV*, adattamento italiano a cura di Orsini A., Pezzuti L. (2013) – Giunti psychometrics.

Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). *A normative developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children*. *Developmental Neuropsychology*, 7, pp. 131–149.

Zhang Y, Tolmie A, Gordon R. *The Relationship between Working Memory and Arithmetic in Primary School Children: A Meta-Analysis*. *Brain Sci*. 2022 Dec 22;13(1):22. doi: 10.3390/brainsci13010022. PMID: 36672004; PMCID: PMC9856839.