



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo**

Tesi di laurea magistrale

## **IL CONTROLLO COGNITIVO PROATTIVO E REATTIVO NEL DISTURBO DA DEFICIT DELL'ATTENZIONE E IPERATTIVITÀ (ADHD): UNO STUDIO MULTICENTRICO**

Proactive and reactive cognitive control in

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): a multicenter study

Relatore: Prof. Giovanni Mento

Correlatrice: Dott.ssa Lisa Toffoli

Laureanda: Laila Fadil

Matricola: 2050763

Anno Accademico 2022/2023



# SOMMARIO

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. IL CONTROLLO COGNITIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Modelli del controllo cognitivo</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2 Le basi neurali del controllo cognitivo</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3 Traiettorie evolutive del controllo cognitivo</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4 Strumenti di valutazione del controllo cognitivo</b> .....	<b>12</b>
<b>1.5 Il controllo cognitivo adattivo</b> .....	<b>15</b>
<b>1.5.1 Valutazione del controllo cognitivo adattivo</b> .....	<b>18</b>
<b>2. DISTURBO DA DEFICIT DELL'ATTENZIONE E IPERATTIVITÀ</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Criteri diagnostici e classificazioni</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2 Modelli neuropsicologici dell'ADHD</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3 Il controllo cognitivo adattivo nell'ADHD</b> .....	<b>28</b>
<b>3. LA RICERCA</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1 Obiettivi</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2 Metodo</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.1 Partecipanti</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.2 Conformità etica</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3 Stimoli e procedure</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.1 Procedura sperimentale</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.2 Materiali</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3.2.1 I tre <i>task</i> sperimentali</b> .....	<b>36</b>

3.3.2.2 I test neuropsicologi .....	38
3.3.3 <i>ADDY task</i> .....	40
3.3.3.1 Struttura del <i>trial</i> .....	41
3.3.3.2 Struttura del compito.....	43
3.4 Ipotesi sperimentali .....	44
3.5 Analisi dei dati .....	46
<b>4. RISULTATI.....</b>	<b>48</b>
4.1 H1: effetto validità.....	48
4.2 H2: inibizione.....	52
<b>5. DISCUSSIONE.....</b>	<b>54</b>
5.1 H1: effetto validità.....	55
5.2 H2: inibizione.....	57
5.3 Implicazioni in ambito sperimentale e clinico, limiti e prospettive di ricerca future .....	58
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>59</b>
<b>7. RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>73</b>

## INTRODUZIONE

Tradizionalmente il controllo cognitivo è stato concepito come un insieme di processi *top-down* che permettono di agire in modo indipendente e finalizzato (Vicari et al., 2017). Tuttavia, una prospettiva più recente ha introdotto il concetto di controllo cognitivo adattivo (Braem et al., 2018), che rappresenta una visione *bottom-up*. In questa nuova concezione, il controllo cognitivo adattivo si definisce come il complesso di processi cognitivi che si adattano flessibilmente alle regolarità statistiche presenti nell'ambiente circostante (Braem et al., 2019). Risulta interessante notare che diversi studi in letteratura hanno avanzato l'ipotesi che questa capacità di controllo cognitivo adattivo potrebbe essere compromessa nei disturbi del neurosviluppo (D'Souza et al., 2016). Questo enfatizza l'importanza di esaminare il controllo cognitivo adattivo in queste popolazioni cliniche. Il presente elaborato si inserisce nell'ampio progetto di ricerca CALM (sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico) che si è posto l'obiettivo di indagare il controllo cognitivo adattivo nei bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione e di Iperattività (ADHD). L'obiettivo principale del progetto CALM è indagare come i bambini con ADHD si adattano a variazioni nell'ambiente cognitivo, concentrandosi sulle loro abilità di anticipazione e regolazione dei processi cognitivi in risposta a richieste ambientali mutevoli. Nello specifico, in questo elaborato si è indagato come la capacità di adattare in maniera implicita l'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo varia in base alla predicibilità del contesto. Al fine di raggiungere tale scopo è stato somministrato un compito sperimentale, l'*ADDY* task (Toffoli et al., in prep.), a 221 bambini di età compresa tra i 7 e i 14 anni, suddivisi in due gruppi: il gruppo di controllo composto da 94 bambini a sviluppo tipico (TD), ed il gruppo sperimentale composto da 127 bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e Iperattività (ADHD). L'*ADDY* task è stato somministrato a entrambi i gruppi in due diverse fasi: una fase "predittiva" e una fase "non predittiva" coinvolgendo anche la richiesta di inibire le risposte. I risultati hanno mostrato che il gruppo di controllo ha migliorato significativamente l'accuratezza nel passaggio dal blocco predittivo a quello non predittivo, indicando un adattamento efficace alle

richieste cognitive. Tuttavia, nel gruppo ADHD, non è emerso un miglioramento significativo, suggerendo difficoltà nell'adattare le prestazioni di inibizione quando le informazioni predittive sono meno affidabili. Questi risultati sottolineano come il passaggio dal controllo cognitivo proattivo a quello reattivo sia cruciale per adattare le prestazioni di inibizione alle variazioni delle richieste cognitive e ambientali. Nel gruppo di controllo, questo adattamento è avvenuto in modo efficace, dimostrando una maggiore flessibilità nel controllo cognitivo. D'altra parte, nel gruppo ADHD, tale adattamento è meno evidente, indicando difficoltà nell'efficace transizione tra questi due modi di controllare il comportamento, specialmente in situazioni di incertezza. Queste differenze evidenziano le sfide cognitive specifiche dell'ADHD e suggeriscono la necessità di ulteriori ricerche su questi meccanismi di adattamento cognitivo in questa popolazione.

# 1. IL CONTROLLO COGNITIVO

Il termine "funzioni esecutive" è stato introdotto per la prima volta dalla neuropsicologa Lezak (1983) per descrivere tutte quelle "abilità cognitive che rendono un individuo capace di comportarsi in maniera adattiva, indipendente e finalizzata" (Vicari et al., 2017). Queste abilità permettono all'individuo di pianificare, anticipare e progettare attività in modo strategico e flessibile al fine di raggiungere uno scopo. Inoltre, consentono di controllare e modificare il proprio comportamento in base al contesto circostante, inibire o posticipare una risposta in modo appropriato, focalizzarsi su un compito e portarlo a termine, risolvere i problemi quotidiani e gestire e regolare le emozioni (Anderson et al., 2012). Le funzioni esecutive, perciò, possono essere definite come un insieme di processi di controllo di tipo top-down, utilizzati quando non è possibile, insufficiente o inappropriato fare affidamento su processi automatici o istintivi, svolgendo un ruolo cruciale nello sviluppo cognitivo, psicologico e sociale (Diamond, 2013). Il termine "funzioni esecutive" viene comunemente utilizzato come sinonimo di "controllo cognitivo". Quest'ultimo concetto è stato ampiamente studiato in letteratura in quanto si riferisce ad un insieme di processi di regolazione che permettono di dirigere, correggere, ottimizzare e guidare il nostro comportamento in modo coerente con i nostri obiettivi interni e con il contesto esterno (Friedman et al., 2022) e sembra rappresentare un predittore affidabile di variabili significative legate al successo scolastico, lavorativo e alla salute fisica e mentale (Moffitt et al., 2011). In questo elaborato utilizzeremo il termine "controllo cognitivo" come sinonimo del termine "funzioni esecutive".

## 1.1 Modelli del controllo cognitivo

In letteratura sono stati proposti diversi approcci per definire il controllo cognitivo: alcuni modelli concepiscono il controllo cognitivo come un costrutto unitario, mentre altri lo descrivono come un costrutto multi-componenziale. I modelli unitari descrivono il controllo cognitivo come un'entità unificata caratterizzata da una singola componente, mentre i modelli multicomponenziali concepiscono il controllo cognitivo come un costrutto composto da diverse componenti che possono essere totalmente o parzialmente indipendenti l'una dall'altra (Vicari et al., 2017). Tra i modelli che descrivono il controllo cognitivo come costrutto unitario troviamo il modello del Sistema Attentivo Supervisore di Norman e Shallice (1986) ed il modello della Memoria di Lavoro di Baddeley (1974) (Anderson et al., 2012). Secondo il modello di Norman e Shallice, il comportamento umano è regolato da due sistemi principali: il sistema automatico e il Sistema Attentivo Supervisore (SAS) (Gurney et al., 2009). Il sistema automatico rappresenta un insieme di azioni automatizzate acquisite attraverso l'esperienza, eseguite in modo rapido ed efficiente senza richiedere un controllo consapevole. Il SAS, invece, controlla attività cognitive complesse come la pianificazione, la correzione degli errori e la gestione di situazioni nuove o problematiche. Il SAS monitora l'esecuzione delle attività, attivando o inibendo azioni specifiche, modulando l'attenzione e regolando l'interazione tra i processi automatici e volontari. Se il SAS viene compromesso, possono manifestarsi comportamenti ripetitivi, scarsa concentrazione ed attenzione, a causa dell'incapacità di generare azioni diverse dal solito e adeguate alla situazione (Gurney et al., 2009). Il modello di Memoria di Lavoro di Baddeley (1974), invece, descrive la struttura della *working memory* (WM) che è una componente essenziale del sistema di memoria umana. La *working memory* è composta da tre componenti principali: il loop fonologico, che mantiene informazioni verbali o fonologiche, il taccuino visuo-spaziale, che mantiene informazioni visive e spaziali e l'esecutivo centrale, che coordina e controlla l'elaborazione delle informazioni nelle altre due componenti (Baddeley, 2010). Inoltre, in una revisione successiva è stato introdotto un quarto componente chiamato "buffer episodico", che integra diverse informazioni per



creare episodi integrati che rappresentano l'ambiente circostante (Baddeley, 2010). Entrambi i modelli concordano sul fatto che il comportamento umano sia il risultato dell'interazione tra sistemi automatici e processi di controllo cosciente. Il sistema automatico gestisce la maggior parte delle attività quotidiane, mentre il SAS e l'esecutivo centrale della *working memory* intervengono quando si presentano situazioni che richiedono un controllo attento e flessibile. Al contrario dei modelli unitari, i modelli che descrivono il controllo cognitivo come costruito multi-componenziale valutano il controllo cognitivo come divisibile in specifiche componenti interdipendenti fra di loro (Marzocchi et al., 2011). Il modello teorico multi-componenziale maggiormente supportato da evidenze empiriche è quello di Miyake e colleghi, che descrive il controllo cognitivo come l'insieme di tre componenti principali, ossia la *working memory*, la flessibilità, l'inibizione e la flessibilità (Miyake et al., 2000). La *working memory* (WM) ci permette di monitorare le informazioni in entrata, di codificarle in un formato utilizzabile e di aggiornarle continuamente per adattarle alle richieste del compito attuale. Questa capacità di gestire attivamente le informazioni ci aiuta a mantenere la nostra attenzione focalizzata, a migliorare le nostre prestazioni cognitive e ad affrontare le sfide quotidiane in modo più efficace (Diamond, 2020). La *working memory* è generalmente valutata dai test di span diretto (condizione di mantenimento) o inverso (condizioni di manipolazione) con materiale verbale o visuo-spaziale (Cowan et al., 2008). L'inibizione, invece, implica sia la capacità di bloccare o selezionare le risposte comportamentali, sia il controllo dell'attenzione, del comportamento e dei processi cognitivi ed emotivi in base a stimoli esterni ed interni. Questo ci consente di adattarci in modo flessibile alle diverse situazioni e di regolare il nostro comportamento in modo appropriato (Baggetta et al., 2016; Diamond, 2020). Essa può essere valutata con compiti antisaccadici, di Go-no go, di stop al segnale con il Flanker task (Friedman et al., 2022), o con test come lo Stroop Test (Stroop, 1935). Infine, la flessibilità cognitiva implica la capacità di modificare le risposte comportamentali in base alle condizioni ambientali, di spostare l'attenzione tra diversi compiti o stati mentali e di disancorare l'attenzione da stimoli irrilevanti per ancorarla a stimoli più pertinenti. Questa

capacità ci permette di adattarci in modo flessibile alle esigenze del momento e di affrontare in modo efficace le sfide cognitive che incontriamo (Baggetta et al., 2016; Diamond, 2020). Uno dei test maggiormente utilizzati per la valutazione della flessibilità cognitiva che si basa sui paradigmi di task switching è il test del Wisconsin Card Sorting Test (WCST): questo test richiede ai partecipanti di classificare una serie di carte in base a dei criteri che vanno identificati mediante prove ed errori e attraverso il feedback dello sperimentatore. I criteri cambiano durante il test e ai partecipanti viene richiesto di adattarsi e di trovare il nuovo criterio corretto. Il test valuta la capacità di adattarsi a cambiamenti, di apprendere dai feedback e di modificare le strategie in base alle nuove informazioni (Grant, 1948). Studi condotti su campioni di soggetti di differenti età, tra cui bambini in età scolare, preadolescenti, adolescenti e giovani adulti, hanno osservato un'organizzazione trifattoriale del controllo cognitivo composta da inibizione, *working memory* e flessibilità cognitiva (Wu et al., 2011; Lee et al., 2013; Miyake et al., 2000). Tuttavia, studi longitudinali condotti su bambini in fascia d'età prescolare hanno indicato che questa differenziazione del controllo cognitivo emerge gradualmente durante lo sviluppo, con l'aumentare dell'età. Ciò significa che, in linea con la revisione di Miyake e Friedman del 2012, si osserva una transizione progressiva da un funzionamento esecutivo più generale, che può essere spiegato da un fattore comune chiamato (*Common EF*), ossia l'inibizione, ad un funzionamento spiegato dall'organizzazione trifattoriale, che si manifesta soltanto a partire dalla pre-adolescenza (Lee et al., 2013; Wu et al., 2011). Nel 2013, Diamond ha ripreso il modello multicomponentiale proposto da Miyake, sostenendo la suddivisione del controllo cognitivo nei tre domini principali. Tuttavia, a differenza di Miyake, ha teorizzato che inibizione, *working memory* e flessibilità siano componenti alla base dei processi di ordine superiore come la pianificazione, il ragionamento e la risoluzione dei problemi, che sono fondamentali per l'intelligenza fluida (Baggetta et al., 2016; Diamond, 2020). In particolare, Diamond (2013) evidenzia l'importanza del controllo inibitorio come componente fondamentale delle funzioni esecutive, che coinvolge la gestione dell'attenzione, la regolazione dei comportamenti e la capacità di inibire reazioni impulsive o

automatiche. Secondo l'autrice, il controllo inibitorio comprende due aspetti principali: l'*interference control* e la *response inhibition*. L'*interference control* si riferisce alla capacità di controllare l'attenzione e di gestire le interferenze provenienti da stimoli irrilevanti o distrattori. È la capacità di rimanere concentrati su un compito o uno stimolo rilevante, ignorando quelli che sono meno pertinenti o che possono interferire con l'obiettivo principale. La *response inhibition*, invece, riguarda la capacità di controllare e regolare i propri comportamenti, emozioni e pensieri. Questo coinvolge la capacità di inibire risposte impulsive o automatiche, di resistere alla tentazione di agire in modo impulsivo e di controllare le reazioni emotive (Diamond, 2020; Ruffini et al., 2021). Secondo Diamond, perciò, il controllo inibitorio è anche strettamente legato alla *WM*, in quanto l'inibizione consente di mantenere l'attenzione sulle informazioni rilevanti memorizzate nella *working memory*, evitando distrazioni e stimoli irrilevanti (Diamond, 2020). Recentemente è stata proposta una suddivisione del controllo cognitivo in due categorie: "*cold*" e "*hot*" (Zelazo et al., 2012). I termini "*hot*" e "*cold*" si riferiscono al contesto in cui vengono impiegate le diverse abilità di controllo cognitivo. Nel contesto delle funzioni esecutive, "*hot*" si riferisce a situazioni emozionalmente cariche, dove le decisioni e il controllo sono guidati da stimoli emotivi o motivazionali. In queste situazioni, l'emotività e il coinvolgimento personale possono influenzare profondamente le abilità di controllo cognitivo. D'altra parte, "*cold*" si riferisce a situazioni neutre dal punto di vista emotivo, dove le decisioni e il controllo sono guidati principalmente da considerazioni razionali e oggettive. Questa distinzione sembra essere supportata da distinti substrati neurali, con le funzioni "*cold*" che implicano una maggior attivazione nella corteccia prefrontale dorsolaterale e le funzioni "*hot*" nella corteccia prefrontale ventromediale (Meuwissen et al., 2014). È importante, tuttavia, sottolineare che la distinzione tra "*cold*" e "*hot*" rappresenta una suddivisione solo teorica dei processi cognitivi. Nella vita di tutti i giorni, queste modalità possono essere difficilmente disambiguabili, poiché di rado i contesti sono scevri di aspetti emotivi e/o motivazionali. Pertanto, è importante studiare il controllo

cognitivo in contesti sperimentali “*hot*”, i quali forniscono un contesto più ecologico rispetto a contesti sperimentali neutri e decontestualizzati.

## **1.2 Le basi neurali del controllo cognitivo**

Le aree associate al controllo cognitivo coinvolgono il circuito corticale della corteccia prefrontale (PFC) e i circuiti corticali e sottocorticali ad essa connessi, come i gangli della base (Fuster, 2015). La PFC svolge il ruolo di sintetizzare le informazioni provenienti da diverse aree cerebrali corticali e sottocorticali al fine di produrre un comportamento orientato all'obiettivo attraverso un processo di tipo “*top-down*”. Ad esempio, per selezionare le risposte motorie più appropriate, la PFC deve integrare le informazioni sensoriali provenienti sia dall'ambiente esterno che dall'interno dell'organismo. Questo è possibile grazie alle numerose interconnessioni tra la PFC e altre strutture cerebrali. L'importanza della PFC per il controllo cognitivo è stata investigata in modo approfondito e confermata attraverso vari approcci sperimentali. Ad esempio, uno studio condotto da Jacobsen e colleghi nel 1936 ha esaminato un modello animale in cui è stata rimossa bilateralmente l'area cerebrale omologa in due scimmie. È stato osservato che la lesione non ha causato demenza generale, ma ha determinato il fallimento di alcuni comportamenti specifici, soprattutto nella soluzione di problemi che richiedono il coinvolgimento di processi esecutivi. Anche negli esseri umani, sono stati condotti studi che evidenziano come danni alla PFC portino a deficit nel comportamento orientato all'obiettivo, senza compromettere ulteriormente le capacità sensoriali. In particolare, i pazienti con danni alla PFC mantengono alcune capacità, come l'esecuzione di compiti cognitivi di base o la memorizzazione delle informazioni, ma le loro prestazioni nel raggiungimento di un obiettivo risultano compromesse (Luria, 2012). Inoltre, numerosi studi di neuroimaging forniscono evidenze sulla relazione tra la PFC e il controllo cognitivo. Un esempio è il lavoro di Ganis e colleghi del 2004, che ha utilizzato la risonanza magnetica funzionale (fMRI) per indagare le basi cerebrali dello shifting

attentivo durante un paradigma di ascolto dicotico. È emersa un'attivazione significativa della PFC bilaterale durante lo shifting attentivo rispetto a un compito di controllo. Gli autori hanno concluso che questa regione svolge un ruolo importante nella selezione "*top-down*" degli stimoli rilevanti per il compito e nell'inibizione dell'elaborazione degli stimoli non pertinenti all'obiettivo. Tuttavia, ricerche recenti, come quelle condotte da Uddin (2021), hanno evidenziato che il controllo cognitivo non dipende esclusivamente dalla PFC, ma è il risultato dell'interazione dinamica tra diversi network neurali. Gli studi di Uddin e colleghi hanno messo in luce l'importanza di altre regioni cerebrali, come la corteccia cingolata anteriore, nella regolazione del controllo cognitivo. Questi studi suggeriscono che il controllo cognitivo è un processo complesso che coinvolge una rete di regioni cerebrali interconnesse. Inoltre, l'attenzione è stata posta sulla dinamicità del sistema di controllo cognitivo, che può adattarsi e modificarsi in base alle richieste dell'ambiente e alle esigenze cognitive. Questa prospettiva mette in luce l'importanza della flessibilità e dell'interazione tra diversi network neurali nel controllo cognitivo.

### **1.3 Traiettorie evolutive del controllo cognitivo**

Negli ultimi anni, l'interesse nello sviluppo del controllo cognitivo è cresciuto notevolmente. In accordo con la prospettiva multi-componenziale del controllo cognitivo supportata da Diamond (2013), numerosi studi sostengono che lo sviluppo del controllo cognitivo avviene molto precocemente, probabilmente già verso la fine del primo anno di vita raggiungendo livelli massimi di performance durante l'adolescenza e giovane età adulta (Anderson, 2002; Zelazo et al., 2002) e che prosegua lungo l'intero arco di vita (Marzocchi et al., 2011). Lo sviluppo del controllo cognitivo è sostenuto dalla maturazione della corteccia prefrontale sia nei bambini in età prescolare che in quelli in età scolare (Diamond, 2013; Durston et al., 2006; Moriguchi et al., 2009). Quest'area cerebrale svolge un ruolo cruciale nelle funzioni esecutive e mostra un processo di sviluppo prolungato.

Durante l'età prescolare e scolare, la corteccia prefrontale subisce importanti cambiamenti strutturali e funzionali che contribuiscono all'affinamento del controllo cognitivo e delle funzioni esecutive. Gli studi condotti per identificare il concetto di funzioni esecutive nell'infanzia suggeriscono che fino ai 3 anni queste funzioni non possono essere distinte tra loro e un modello unitario è il migliore per spiegare le performance osservate (Wiebe et al., 2011). È interessante notare che anche all'interno di ciascuna componente del controllo cognitivo si osserva una progressiva differenziazione dei processi e delle abilità. Ad esempio, l'inibizione subisce importanti modifiche tra i 2 e i 4 anni di età. Inizialmente, l'inibizione è rappresentata come un'unica componente, ma intorno ai 4 anni emergono due abilità distinte: la capacità di sopprimere risposte impulsive e inappropriate (inibizione della risposta) e la capacità di gestire l'interferenza generata da input complessi e ambigui (soppressione dell'interferenza; Gandolfi et al., 2014). Durante il primo anno di vita, i bambini iniziano a sviluppare la capacità di inibire i loro impulsi e comportamenti. Questa capacità si rafforza tra i 2 e i 6 anni, periodo in cui i bambini imparano a controllare le loro reazioni immediate e a regolare il proprio comportamento in base alle circostanze. I cambiamenti più significativi si verificano durante l'età prescolare, con un notevole sviluppo delle abilità di risoluzione dei conflitti tra i 2 e i 5 anni. A partire dai 4 anni, i bambini sono in grado di eseguire compiti che richiedono diverse abilità inibitorie, passando dalla semplice inibizione delle risposte motorie a compiti più complessi che coinvolgono anche la *working memory*. Infatti, si notano miglioramenti continui tra i 5 e gli 8 anni nei compiti inibitori che richiedono un coinvolgimento della *WM* (Best et al., 2010). Durante questo periodo, si osserva un progressivo sviluppo delle capacità di inibizione, in particolare nelle situazioni in cui è necessario controllare e sopprimere risposte inappropriate o impulsive attraverso l'uso efficace della *working memory*. Ciò significa che i bambini di questa fascia d'età tendono a migliorare le loro abilità nel controllare i loro impulsi, nel sopprimere le risposte automatiche e nel focalizzarsi su informazioni rilevanti, utilizzando la *working memory*. Quest'ultima, durante l'infanzia e l'adolescenza, subisce significativi sviluppi. Fin dal primo anno di vita, i bambini dimostrano una capacità limitata di

mantenere attive e manipolare le informazioni nella mente per brevi periodi di tempo. Ad esempio, possono ricordare sequenze semplici di numeri o oggetti per pochi secondi (Morra et al., 2008). Tuttavia, la capacità di *working memory* si espande gradualmente e significativamente durante i 3 e 5 anni, consentendo ai bambini di gestire informazioni sempre più complesse e mantenere attive più informazioni contemporaneamente (Morra et al., 2008). I risultati degli studi condotti da Gathercole e colleghi (2004) indicano che le misure della *working memory*, ottenute attraverso compiti diversi, mostrano un miglioramento graduale nel corso dello sviluppo, iniziando già dai 4 anni e continuando per tutta l'adolescenza. In particolare, sono stati osservati i migliori risultati nella *working memory* visuo-spaziale negli individui di età compresa tra i 15 e i 29 anni, mentre per la *working memory* verbale la fascia di età con performance più elevate si estende dai 20 ai 29 anni (Marzocchi et al., 2011). Questi risultati suggeriscono che le capacità di *working memory*, sia nel dominio visuo-spaziale che verbale, continuano a svilupparsi e migliorare nel corso dell'adolescenza. Ciò implica che durante l'adolescenza le persone acquisiscono una maggiore abilità nel manipolare e mantenere attive le informazioni visuo-spaziali o verbali nella loro mente per brevi periodi di tempo (Marzocchi et al., 2011). Le traiettorie evolutive della flessibilità cognitiva, invece, mostrano un miglioramento graduale nel corso dello sviluppo, soprattutto durante l'infanzia e l'adolescenza. Durante i primi anni di vita, in accordo con il modello di Diamond (2013), la flessibilità cognitiva è strettamente associata alle componenti precoci del controllo cognitivo, come l'inibizione e la *working memory*. Nei bambini più piccoli, la flessibilità cognitiva è ancora limitata e possono mostrare difficoltà nel passare da un compito o da una regola all'altra (Lee et al., 2013). Tuttavia, con l'avanzare dell'età, si osserva un miglioramento significativo nella capacità di flessibilità cognitiva e i bambini diventano sempre più abili nel cambiare compito e adattarsi alle nuove situazioni. Verso i 12 anni, si raggiunge un livello di performance paragonabile a quello degli adulti, indicando una maggiore capacità di flessibilità cognitiva (Kray et al., 2004). Diversi studi supportano l'idea che la capacità di svolgere compiti di flessibilità più complessi, con regole numerose e complesse, migliori con l'età, in particolare fino alla

prima adolescenza. Questi studi dimostrano che i bambini e gli adolescenti diventano sempre più abili nel gestire le richieste cognitive che implicano la flessibilità e l'adattamento a nuove regole e contesti (Somsen, 2007). Durante l'età prescolare, perciò, si osservano molti cambiamenti sia quantitativi che qualitativi nel controllo cognitivo. I miglioramenti riflettono anche importanti cambiamenti qualitativi nella cognizione, come la formazione e l'uso di regole. In sintesi, il periodo prescolare rappresenta una fase critica nello sviluppo del controllo cognitivo, poiché molti dei cambiamenti significativi, sia quantitativi che qualitativi, si verificano nel passaggio dall'età prescolare all'età scolare (4 - 6 anni). Mentre i miglioramenti che si osservano in questa fase riflettono anche cambiamenti qualitativi fondamentali nella cognizione, i miglioramenti che avvengono in età successive consistono principalmente in cambiamenti di natura quantitativa (Willoughby et al., 2012).

#### **1.4 Strumenti di valutazione del controllo cognitivo**

La valutazione del controllo cognitivo costituisce un problema molto dibattuto nella letteratura scientifica, poiché presenta diverse sfide e complessità. Una delle principali questioni affrontate riguarda l'"impurità" delle prove utilizzate per valutare il controllo cognitivo (Best et al., 2010). Questo termine si riferisce alla difficoltà nel creare compiti specifici che siano in grado di valutare le singole componenti esecutive. Ad esempio, le connessioni neuroanatomiche che intercorrono tra il sistema del controllo cognitivo e altri sistemi cognitivi, come il linguaggio, rendono virtualmente impossibile valutare le Funzioni Esecutive senza incidentalmente valutare anche tali processi (Suchy, 2009; Wiebe et al., 2011). Un altro aspetto problematico riguarda il contesto in cui avviene la valutazione. Il contesto stesso può influenzare i processi di regolazione cognitiva. Ad esempio, le prove valutative strutturate, svolte in un ambiente uno-a-uno e con istruzioni chiare, possono fornire un'indicazione più chiara del comportamento del bambino. Tuttavia, situazioni meno strutturate, come l'ambiente scolastico, presentano maggiori sfide di regolazione a causa di un aumento delle



fonti di distrazione e della necessità di svolgere compiti in modo autonomo, senza la costante supervisione di un adulto. Pertanto, sebbene le prestazioni in un compito valutativo siano informative sulle risorse cognitive che il bambino è in grado di attivare in un contesto facilitante, potrebbero non essere direttamente predittive del comportamento del bambino in situazioni reali, in cui si richiede di affrontare compiti senza istruzioni esplicite sulle abilità cognitive da utilizzare (Chan et al., 2008). Un altro aspetto rilevante riguarda l'affidabilità dei compiti utilizzati nella valutazione del controllo cognitivo. La natura dei compiti esecutivi comporta spesso la necessità di affrontare situazioni nuove che richiedono la generazione di risposte non convenzionali o predefinite (Burgess, 1997). Tuttavia, è importante considerare che quando questi compiti vengono somministrati ripetutamente, le prestazioni possono diventare automatizzate e meno dipendenti dal coinvolgimento attivo del controllo esecutivo. Questo può comportare una mancanza di sensibilità nel rilevare cambiamenti nelle capacità di controllo cognitivo nel tempo (Hughes et al., 2002). Gli strumenti di valutazione del controllo cognitivo maggiormente utilizzati prevedono la somministrazione di specifici compiti volti a indagare le singole componenti del controllo cognitivo (Marzocchi et al., 2011). Ad esempio, per valutare il controllo inibitorio, esistono vari compiti sperimentali utilizzati in letteratura. Uno dei più noti è lo Stroop Task (Stroop et al., 1935), in questo compito, vengono presentate parole di colori scritte con inchiostri differenti rispetto al loro significato semantico, e i partecipanti devono indicare il colore dell'inchiostro inibendo la tendenza automatica di leggere la parola. Altri compiti includono il Go/NoGo (Cragg et al., 2008), in cui i partecipanti devono premere un bottone quando compare un determinato stimolo e non premere quando appare un altro, lo Stop-signal task (Verbruggen et al., 2008), che richiede di inibire l'azione automatica di premere un bottone quando un determinato stimolo appare insieme a un altro stimolo, e l'Antisaccade task (Roberts et al., 1994), che consiste nel fare un movimento saccadico nella direzione opposta a quella in cui appare un determinato stimolo. Per la valutazione della *working memory* e della memoria a breve termine (MBT), è importante fare una distinzione tra due concetti. La MBT si riferisce a un magazzino mnestico che non è

funzionalmente associato all'elaborazione attiva delle informazioni, a differenza della *WM* (Baddeley, 2003). Pertanto, per valutare la *WM* verbale, viene comunemente utilizzato il backward digit span task, in cui i partecipanti devono ripetere una serie di cifre nell'ordine inverso in cui sono state presentate, mentre per la componente visuo-spaziale della *WM*, il Corsi Block Test, che è un compito ampiamente utilizzato, in cui i partecipanti devono toccare una serie di cubi numerati nell'ordine corretto. Esso fornisce informazioni preziose sulla capacità di un individuo di gestire e manipolare informazioni visive in modo sequenziale. Invece, per valutare la MBT, viene spesso utilizzato il forward-digit span task, simile al backward digit span task ma che richiede di ripetere una serie di cifre nello stesso ordine in cui sono state pronunciate. Infine, per indagare la flessibilità cognitiva, vi sono compiti ampiamente utilizzati come il Wisconsin Card Sorting Task (WCST), il Dimensional Sorting Card Test (DSCT) e il Trial Making Test. Il Wisconsin Card Sorting Test (WCST) richiede ai partecipanti di adattarsi a nuove regole che vengono introdotte senza preavviso durante il test. Questo crea un ambiente di incertezza in cui i partecipanti devono costantemente abbandonare vecchie regole e adottarne di nuove, basandosi sul feedback dello sperimentatore. Il WCST evidenzia la capacità di adattarsi in modo flessibile a cambiamenti improvvisi nelle direttive, riflettendo la flessibilità cognitiva in situazioni di incertezza. Il Dimensional Sorting Card Test (DSCT), invece, sfida i partecipanti a spostarsi tra diverse regole di ordinamento delle carte, ma con una caratteristica chiara: ogni regola è presentata in modo definito e costante. Quindi, il DSCT valuta la capacità di adattarsi all'interno di regole stabilite e di passare da una regola all'altra in modo controllato. È un test che mette in evidenza la capacità di cambiare flessibilmente l'approccio a compiti ben definiti. Infine, il Trial Making Test richiede ai partecipanti di collegare in ordine una serie di lettere e numeri alternandoli. Questo test misura la capacità di attenzione selettiva, velocità di elaborazione e flessibilità cognitiva. Il Trial Making Test non è centrato sul cambiamento di regole come il WCST o il DSCT, ma richiede comunque un certo grado di flessibilità mentale per passare agilmente da una categoria (lettere) all'altra (numeri) senza confusione o errori. Tuttavia, è importante notare che la

*working memory* e il controllo inibitorio sono strettamente interconnessi, quindi quando si valuta la *WM*, è necessario minimizzare l'influenza del controllo inibitorio nel compito e viceversa (Diamond, 2013).

### **1.5 Il controllo cognitivo adattivo**

Il controllo cognitivo è un processo complesso che coinvolge una serie di processi mentali superiori, come l'inibizione e la *working memory*, che influenzano i processi di livello inferiore in modo top-down permettendo agli individui di regolare il proprio comportamento in modo strategico, in linea con gli obiettivi desiderati (Friedman et al., 2017). Il controllo cognitivo è stato tradizionalmente considerato in contrasto con i meccanismi di apprendimento associativo di base, che collegano gli stimoli alle risposte nel comportamento abituale. Mentre l'apprendimento associativo produce risposte rapide ed automatiche, il controllo cognitivo richiede attenzione e volontà per generare azioni più lente ma strategiche (Braem et al., 2018). Tuttavia, ricerche recenti hanno suggerito che il controllo cognitivo sia un processo emergente che viene generato e influenzato in modo inconsapevole dalle caratteristiche di regolarità presenti nel mondo esterno. Gli individui sono in grado di riconoscere e apprendere i modelli di regolarità statistica presenti nell'ambiente sin dalla più tenera età, attraverso un meccanismo innato di apprendimento noto come "*statistical learning*" (Schapiro et al., 2016). Questo meccanismo consente loro di generare un modello interno predittivo della realtà, ottimizzando così le risorse cognitive in modo adattivo. Prevedendo gli eventi salienti del mondo esterno, gli individui sono in grado di selezionare anticipatamente le risposte comportamentali più adeguate per soddisfare le richieste interne ed esterne, interagendo con il mondo esterno in modo proattivo e preparandosi in modo adattivo agli eventi imminenti (Schapiro et al., 2016). In base a queste nuove prospettive di ricerca, è stato introdotto il concetto di controllo cognitivo adattivo, che regola dinamicamente l'elaborazione delle informazioni in risposta a

cambiamenti nell'ambiente o segnali di monitoraggio interni (Braem et al., 2018). In accordo con ciò, Braver e colleghi (2012) hanno formulato l'ipotesi centrale del framework DMC (*Dual Mechanisms of Control*) secondo cui il controllo cognitivo opera attraverso due distinti modi di funzionamento: "controllo proattivo" e "controllo reattivo". La modalità di controllo proattivo può essere concepita come una forma di "selezione anticipata" in cui le informazioni rilevanti per l'obiettivo vengono attivamente mantenute in modo sostenuto, prima dell'insorgenza di eventi cognitivamente impegnativi, al fine di indirizzare in modo ottimale l'attenzione, la percezione e i sistemi di azione secondo l'obiettivo (Miller et al., 2001). Al contrario, nel controllo reattivo, l'attenzione viene reclutata come un meccanismo di "correzione tardiva" che viene attivato solo quando necessario, ad esempio dopo il rilevamento di un evento ad alta interferenza. Pertanto, il controllo proattivo si basa sull'anticipazione e sulla prevenzione dell'interferenza prima che si verifichi, mentre il controllo reattivo si basa sul rilevamento e sulla risoluzione dell'interferenza dopo il suo inizio (Jacoby et al., 1999). Il modello DMC fornisce una previsione sulla dinamica temporale e sulla localizzazione dell'attività cerebrale nel controllo proattivo rispetto al controllo reattivo. Il controllo proattivo dovrebbe essere associato a un'attivazione sostenuta e/o anticipatoria della PFC laterale, che riflette il mantenimento attivo degli obiettivi del compito. Questa attività di mantenimento degli obiettivi serve come fonte di influenza dall'alto verso il basso che può facilitare l'elaborazione degli eventi futuri attesi che richiedono un alto sforzo cognitivo. Al contrario, il controllo reattivo dovrebbe riflettersi in un'attivazione transitoria del PFC laterale, insieme a una più ampia rete di regioni cerebrali aggiuntive. Questa attività transitoria potrebbe riflettere la riattivazione dal basso verso l'alto degli obiettivi del compito, mediata sia attraverso il rilevamento dell'interferenza che associazioni associative ed episodiche (Braver et al., 2012). Pertanto, l'aspetto centrale dell'approccio DMC sta nel fatto che fornisce un framework unificante per comprendere sia la variabilità intra-individuale che inter-individuale nella funzione di controllo cognitivo, nonché i cambiamenti nel controllo cognitivo che possono essere presenti in diverse popolazioni, come bambini e adulti più anziani, e gruppi con

specifici disturbi neuropsichiatrici. Studi condotti con bambini piccoli hanno dimostrato che anche loro sono capaci di modulare il controllo cognitivo in base al contesto. Ad esempio, i bambini di età prescolare sono in grado di adattare la loro attivazione del controllo cognitivo in risposta alla presenza di conflitto, mostrando una maggiore regolazione del controllo quando le probabilità di conflitto sono più alte. Ciò suggerisce che i bambini piccoli possono apprendere implicitamente la probabilità di conflitto e adattare il controllo cognitivo, dimostrando una flessibilità cognitiva iniziale (Braem et al., 2018). Secondo la prospettiva dell'apprendimento sul controllo cognitivo proposta da Abrahamse e colleghi (2016), durante un compito specifico, le rappresentazioni percettive, motorie e degli obiettivi si collegano tra loro formando una rete associativa che codifica il contesto generale. Ciò significa che l'obiettivo non solo guida l'elaborazione dello stimolo dall'alto verso il basso (*top-down*), ma si attiva anche dal basso verso l'alto (*bottom-up*) quando viene riconosciuto lo stimolo associato. Questa capacità di adattarsi alle caratteristiche del compito e dell'ambiente circostante permette al controllo cognitivo di operare in modo flessibile. La ricerca sullo sviluppo del controllo cognitivo adattivo ha contribuito a fornire una comprensione più approfondita di come questo processo si sviluppa durante l'infanzia e l'adolescenza. Gli studi condotti da Gonthier e colleghi (2019; 2021) hanno evidenziato un passaggio dall'uso prevalente di controllo reattivo a quello proattivo durante la prima infanzia. Questi studi hanno dimostrato che prima dei 5 anni i bambini utilizzano principalmente il controllo reattivo, risolvendo i conflitti cognitivi man mano che si presentano. Tuttavia, è importante sottolineare che anche a partire dai 4 o 5 anni, i bambini potrebbero iniziare a dimostrare una capacità di coinvolgimento nel controllo proattivo, in cui sono in grado di anticipare e prevenire le interferenze cognitive prima ancora che si verifichino. È fondamentale notare che l'effettiva manifestazione del controllo proattivo potrebbe dipendere dalla situazione specifica e dalla convenienza del contesto, ossia i bambini lo utilizzano quando vedono vantaggi chiari o quando il compito richiede tale strategia. Inoltre, lo studio condotto da Niebaum, Chevalier, Guild e Munakata (2021) ha esaminato le differenze di età nella scelta delle attività cognitive e nella consapevolezza delle richieste di

controllo proattive e reattive. Questo studio ha rivelato che i partecipanti più giovani tendono a scegliere attività che richiedono un controllo reattivo, mentre i partecipanti più anziani mostrano una maggiore consapevolezza delle richieste di controllo proattive e fanno scelte più adattive in base alle esigenze della situazione.

### **1.5.1 Valutazione del controllo cognitivo adattivo**

A livello sperimentale, è possibile esplorare le caratteristiche dell'adattamento dinamico al contesto attraverso manipolazioni che favoriscono la costruzione di modelli predittivi interni (Braem et al., 2019). Queste manipolazioni coinvolgono l'utilizzo di compiti classici di controllo cognitivo, come lo Stroop task, che presentano situazioni di conflitto noto come "effetto congruenza". L'effetto congruenza è l'osservazione di tempi di reazione più lunghi e/o un aumento degli errori quando le informazioni presentate in un compito sono in conflitto tra loro, come ad esempio il nome di un colore scritto in un colore diverso. Questo effetto non rappresenta direttamente una situazione di conflitto, ma è piuttosto una misura dell'interferenza tra le diverse informazioni presentate nel compito. Nell'effetto congruenza, si osserva che le prestazioni dei partecipanti sono più lente e meno accurate nelle condizioni di conflitto, poiché richiede l'attivazione di processi di filtraggio delle informazioni irrilevanti e distraenti a favore di quelle salienti per completare la prova. Tuttavia, questo effetto può essere modulato in specifiche condizioni sperimentali manipolando le proporzioni di congruenza, ovvero la frequenza con cui si verificano le situazioni di conflitto e, pertanto, il grado di difficoltà delle prove. In questo modo, è possibile creare un contesto predittivo in cui è osservabile un effetto di facilitazione per la condizione che si verifica più frequentemente (Braem et al., 2019). Una delle manipolazioni sperimentali utilizzate per investigare l'effetto congruenza è la List-Wide Proportion Congruency (LWPC). Questa manipolazione implica la modifica della proporzione di prove congruenti e incongruenti a livello di lista. Ad esempio, durante un blocco dello Stroop task, potrebbe

essere presentato il 25% delle parole associate a colori congruenti e il 75% delle parole associate a colori incongruenti. Successivamente, tale proporzione potrebbe essere invertita. L'obiettivo di questa manipolazione è quello di valutare come la frequenza di situazioni di conflitto influenzi l'effetto congruenza. Ci si aspetta che nelle liste in cui prevale la presenza di prove incongruenti, l'effetto congruenza sia meno pronunciato. Questo accade perché l'apprendimento implicito di una maggiore probabilità di prove incongruenti porta il sistema cognitivo a reclutare anticipatamente maggiori risorse cognitive per gestire i compiti complessi. Di conseguenza, quando si affrontano situazioni di conflitto, la capacità di filtrare le informazioni irrilevanti e concentrarsi su quelle pertinenti viene migliorata, facilitando l'esecuzione dei compiti (Bugg et al., 2012). Un'altra manipolazione sperimentale utilizzata per indagare l'effetto congruenza è la Context-Specific Proportion Congruency (CSPC). Questa manipolazione coinvolge la modifica della proporzione tra prove congruenti e incongruenti in base alle caratteristiche del contesto che sono irrilevanti per il compito in sé, come la posizione spaziale, la forma o il colore. Ad esempio, durante il compito, le parole possono essere presentate sopra il punto di fissazione sullo schermo, e nel 25% dei casi possono essere associate a colori congruenti, mentre nel restante 75% possono essere associate a colori incongruenti. Viceversa, le parole che appaiono sotto il punto di fissazione possono seguire una proporzione inversa. In contesti in cui le prove principalmente incongruenti sono associate a determinate caratteristiche del contesto, ci si aspetta che si verifichi una diminuzione dell'effetto congruenza. Questa manipolazione sperimentale permette di esaminare come la congruenza tra le caratteristiche del contesto e le caratteristiche delle prove influisca sull'effetto congruenza. Nello specifico, attraverso la CSPC, è possibile valutare come il sistema cognitivo si adatti in modo selettivo alle condizioni del contesto, regolando il reclutamento delle risorse cognitive in base alle richieste del compito (Bugg et al., 2012). Infine, un'altra manipolazione sperimentale utilizzata nello studio dell'effetto congruenza è la Item-Specific Proportion Congruency (ISPC), che agisce a livello dei singoli stimoli, associando proporzioni diverse di prove congruenti e incongruenti a specifici elementi. Nella manipolazione

ISPC, vengono selezionati determinati stimoli, come ad esempio i colori "verde" e "giallo", che vengono principalmente associati a prove congruenti, mentre altri stimoli, come ad esempio i colori "rosso" e "blu", vengono associati prevalentemente a prove incongruenti. Questa manipolazione consente di valutare come la proporzione di congruenza attribuita a specifici stimoli influenzi l'effetto congruenza osservato. I risultati ottenuti da studi che utilizzano la manipolazione ISPC dimostrano una diminuzione dell'effetto congruenza per quegli stimoli associati principalmente a prove incongruenti. Ciò suggerisce che l'apprendimento implicito della congruenza tra specifici stimoli e risposte congruenti o incongruenti influenzi l'elaborazione cognitiva e determini la velocità e l'accuratezza delle risposte (Bugg et al., 2012). In aggiunta a queste manipolazioni sperimentali, che permettono di studiare come il controllo cognitivo cambia in base all'ambiente circostante, è stato identificato un ulteriore effetto noto come Congruency Sequence Effect (CSE) (Braem et al., 2019). L'effetto CSE si riferisce al fatto che, in compiti conflittuali, l'effetto congruenza è generalmente minore dopo un trial incongruente rispetto a uno congruente. Questo effetto viene interpretato come un adattamento reattivo al conflitto sperimentato precedentemente. Inizialmente, i fenomeni discussi sono stati spiegati dal modello del monitoraggio del conflitto (Botvinick et al., 2001), il quale suggerisce che in un ambiente regolare la soglia di apprendimento viene abbassata, mentre in presenza di molte irregolarità nell'ambiente è necessario un maggiore reclutamento delle risorse cognitive per adattarsi meglio al contesto. Tuttavia, studi successivi hanno messo in discussione questa visione, evidenziando come tali effetti possano essere ricondotti a processi di apprendimento più basilari (Schmidt, 2019). Sebbene per molto tempo sia stata prevalente la visione che i bambini in età prescolare abbiano la tendenza a rispondere in modo automatico anziché controllato, studi recenti suggeriscono che anche i bambini molto piccoli siano in grado di attuare forme di controllo relativamente efficaci quando la situazione fornisce un'impalcatura. Ad esempio, uno studio condotto da Gonthier e colleghi nel 2021 ha evidenziato la presenza degli effetti LWPC e ISPC in bambini di età prescolare mediante l'utilizzo di compiti di Stroop e Flanker, e insieme ad una manipolazione



mirata a ridurre i meccanismi di apprendimento contingente (Gonthier et al., 2021). Questi risultati confermano che i bambini piccoli sono in grado sia di apprendere implicitamente la probabilità del conflitto sia di regolare l'implementazione del controllo cognitivo blocco per blocco o prova per prova. Studi successivi hanno dimostrato anche la presenza dell'effetto CSPC in bambini di età prescolare, evidenziando la loro capacità di modulare in modo selettivo il conflitto sperimentato in base al contesto (Gonthier et al., 2021). Diverse ricerche recenti convergono nel sostenere la possibilità che i bambini piccoli siano capaci di un efficace controllo cognitivo implicito. Studi condotti da Del Popolo Cristaldi e colleghi (2023), hanno evidenziato la presenza di abilità di controllo cognitivo anche nei bambini in età prescolare, dimostrando che sono in grado di regolare il proprio comportamento in modo flessibile e adattivo, anche quando affrontano compiti complessi che richiedono il controllo cognitivo. Inoltre, è stato osservato che i bambini piccoli sono in grado di modulare il proprio controllo cognitivo in base alle condizioni specifiche dell'ambiente. Studi condotti da Elke e Wiebe (2017) hanno evidenziato che i bambini sono in grado di adattare il proprio controllo cognitivo in modo efficace quando sono supportati da contesti che forniscono indicazioni o suggerimenti chiari. Queste ricerche suggeriscono che, nonostante per lungo tempo si sia pensato che i bambini piccoli fossero inclini a rispondere in modo automatico piuttosto che controllato, in realtà sono capaci di implementare forme di controllo cognitivo relativamente efficaci. Tali abilità possono essere influenzate e ottimizzate dalla situazione in cui si trovano, che può fornire una struttura o un supporto che facilita il loro adattamento alle richieste cognitive.

## **2. DISTURBO DA DEFICIT DELL'ATTENZIONE E IPERATTIVITÀ**

Il Disturbo da Deficit dell'Attenzione e Iperattività (ADHD, dall'inglese Attention Deficit Hyperactivity Disorder) è uno dei disturbi del neurosviluppo più comuni nell'infanzia e nell'adolescenza. L'ADHD può essere definito come “una situazione/stato persistente di disattenzione e/o iperattività e impulsività più frequente e grave di quanto tipicamente si osservi in bambini di pari livello di sviluppo” (DSM-V). Questi pattern persistenti influenzano negativamente il funzionamento del bambino, adolescente o adulto in diversi contesti di vita, come la sfera sociale, scolastica e occupazionale, causando uno stato di disagio.

### **2.1 Criteri diagnostici e classificazioni**

Secondo il Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-5) l'ADHD è caratterizzato dalla presenza di due principali pattern sintomatologici, ovvero disattenzione e/o iperattività/impulsività. Inoltre, esistono tre sottotipi principali di ADHD: la variante con disattenzione predominante, la variante con iperattività/impulsività predominante e il tipo combinato (Kieling et al., 2012). L'ADHD ha una prevalenza mondiale del 5,29% tra gli individui di età inferiore a 18 anni e una prevalenza del 2,5% negli adulti (Kieling et al., 2012). Il disturbo è più comune nei maschi, con la variante prevalentemente iperattiva/impulsiva che si verifica dalle 2 alle 9 volte più frequentemente nei maschi rispetto alle femmine mentre, il sottotipo prevalentemente disattento, si riscontra con simile frequenza in entrambi i sessi. Le cause dell'ADHD non sono attribuibili a una singola causa specifica, ma possono essere il risultato di fattori genetici, biochimici, di sviluppo motorio-sensoriale, fisici e ambientali-comportamentali. Tra i fattori di rischio

riconosciuti vi sono il basso peso alla nascita (<1500 g), traumi cranici, deficit di ferro, apnea ostruttiva del sonno, esposizione al piombo e all'uso di alcol, tabacco e cocaina durante la gravidanza. Inoltre, l'ADHD è associato ad esperienze infantili avverse (ACE; Brown et al., 2017). Meno del 5% dei bambini con ADHD presenta evidenze di danni neurologici. Infine, studi recenti indicano un coinvolgimento dei neurotrasmettitori dopamina e noradrenalina, con una ridotta attività nella parte superiore del tronco encefalico e nelle connessioni fronto-mesencefaliche (Valera et al., 2007). I sintomi dell'ADHD si manifestano spesso nei primi 4 anni di vita e devono essersi manifestati entro i 12 anni. La diagnosi generalmente avviene tra gli 8 e i 10 anni, ma i soggetti con variante disattenta talvolta vengono riconosciuti e diagnosticati più tardivamente in età adolescenziale. I sintomi principali dell'ADHD includono disattenzione, impulsività e iperattività. La disattenzione si evidenzia quando il bambino è coinvolto in compiti che richiedono concentrazione, tempi di reazione rapidi, attenzione selettiva visiva e percettiva, nonché ascolto prolungato. L'impulsività si manifesta attraverso azioni affrettate che possono portare a esiti negativi, mentre l'iperattività si traduce in un'eccessiva attività motoria. I bambini possono avere difficoltà a rimanere seduti tranquillamente in situazioni in cui ci si aspetta che lo facciano, mentre i pazienti più anziani possono essere irrequieti, agitati o loquaci. L'ADHD influisce sullo sviluppo delle capacità scolastiche normali, delle strategie di pensiero e ragionamento, demotiva l'apprendimento e crea difficoltà nell'adattamento sociale. I bambini con la variante disattenta apprendono meglio attraverso la trasmissione verbale e possono avere difficoltà nell'apprendimento che richiede l'autoregolazione e l'utilizzo di strategie organizzative. Tra il 20% e il 60% dei bambini con ADHD presentano anche un disturbo specifico dell'apprendimento, ma la maggior parte dei bambini con ADHD mostra qualche difficoltà scolastica dovuta alla disattenzione (che porta a perdere dettagli) e all'impulsività (che provoca risposte immediate senza riflessione). L'anamnesi comportamentale può rivelare una bassa tolleranza alla frustrazione, oppositività, eccessi di collera, aggressività, comportamento antisociale, scarsa socializzazione con i coetanei, disturbi del sonno, ansia, disforia, depressione e sbalzi d'umore

(Kieling et al., 2012) . La diagnosi di ADHD è clinica e si basa sui criteri diagnostici del DSM-5, che includono 9 sintomi di disattenzione e 9 sintomi di iperattività e impulsività. La diagnosi richiede la presenza di almeno 6 sintomi da uno o entrambi i gruppi, che persistano per almeno 6 mesi, siano più evidenti rispetto a quanto ci si aspetti nello sviluppo dei pari, si verifichino in almeno 2 contesti diversi (ad esempio, a casa e a scuola), compaiano prima dei 12 anni e interferiscano con il funzionamento a casa, a scuola o sul lavoro. I sintomi di disattenzione includono la mancanza di attenzione ai dettagli, errori di distrazione nei compiti, difficoltà nel rimanere concentrati durante i compiti o il gioco, mancato ascolto diretto, difficoltà nel seguire le istruzioni o completare i compiti richiesti, problemi di organizzazione e perdita frequente di oggetti necessari, facilità di distrazione e sbadattaggine nelle attività quotidiane. I sintomi di iperattività e impulsività comprendono movimenti eccessivi delle mani o dei piedi, incapacità di stare seduti, corse o arrampicate eccessive in situazioni inappropriate, difficoltà nel partecipare a attività tranquille, inquietudine costante, parlare in eccesso, risposte immediate prima che le domande siano completate, difficoltà nell'attesa del proprio turno e interruzioni frequenti o comportamenti invadenti. La diagnosi della variante con disattenzione predominante richiede almeno 6 sintomi di disattenzione, mentre la variante iperattiva/impulsiva richiede almeno 6 sintomi di iperattività e impulsività. La diagnosi del tipo combinato richiede almeno 6 sintomi tra quelli di disattenzione e di iperattività/impulsività (DSM-5).

## **2.2 Modelli neuropsicologici dell'ADHD**

Nel campo della psicopatologia dello sviluppo, il concetto di controllo cognitivo è al centro di dibattito in quanto è evidente che molti disturbi che colpiscono l'età evolutiva mostrano una serie di disfunzioni nei processi di controllo cognitivo (Valeri et al., 2007). Tali compromissioni del controllo cognitivo sono strettamente connesse alle difficoltà che emergono nella vita di tutti i giorni, tra cui la capacità limitata di mantenere l'attenzione per lunghi periodi, la propensione alla perseverazione, le

sfide legate alla pianificazione e all'organizzazione, l'incapacità di avviare azioni e attività, nonché la limitata capacità di immagazzinare, elaborare e sfruttare in modo efficace le informazioni memorizzate, e di trarre beneficio dai feedback (Valeri et al., 2007). Diversi modelli teorici del disturbo da deficit di attenzione/iperattività (ADHD) sono emersi negli ultimi anni ponendo l'accento su diverse aree cerebrali. Una prospettiva neuropsicologica proposta da Willcutt nel 2005 suggerisce che i sintomi dell'ADHD possano essere compresi in termini di disfunzioni in due sistemi neurali distinti: il "*top*" e il "*bottom*". Il "*top*" si riferisce alla corteccia frontale e ai suoi circuiti neurali associati, responsabili delle funzioni cognitive di ordine superiore come il controllo inibitorio, la *working memory* e la flessibilità cognitiva. Si ritiene che la disfunzione nel sistema *top* contribuisca ai deficit nelle funzioni esecutive, compresi il controllo degli impulsi, l'attenzione sostenuta e la capacità di regolare il comportamento (Barkley, 2011). Le alterazioni nei processi di controllo cognitivo sono comunemente riconosciute come caratteristiche primarie del disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD). In particolare, sono stati identificati deficit nell'inibizione, nella flessibilità cognitiva, nella pianificazione, nella *working memory* e nell'attenzione sostenuta (Chiu et al., 2019; Holmes et al., 2010). Il "*bottom*" si riferisce alle strutture subcorticali, inclusi i gangli basali e il tronco encefalico, che sono coinvolti in processi più basilari come l'arousal, la motivazione e il rinforzo. Si ritiene che la disfunzione nel sistema *bottom* contribuisca a problemi di iperattività, inquietudine motoria e risposta ai premi e alle punizioni (Sergeant et al., 1999). Questa variazione nel locus cerebrale ritenuto causa dell'ADHD riflette in parte l'eterogeneità sintomatica dell'ADHD e l'alto grado di comorbilità con altri disturbi. Diversi autori hanno proposto vari fattori disfunzionali associati al disturbo, tuttavia, sembra che i deficit più significativi coinvolgano il controllo inibitorio, sia nella forma complessa relativa alla gestione dell'interferenza, sia nella forma più semplice relativa all'inibizione delle risposte motorie (Konrad et al., 2006). Attualmente, sono cinque i modelli neuropsicologici principali che cercano di spiegare la sintomatologia dell'ADHD: il modello "Delay aversion" (Sonuga-Barke et al., 2003), il modello di inibizione/attivazione comportamentale (Quay,

1993), il modello di inibizione (Barkley, 1997), il modello delle funzioni esecutive (Pennington et al., 1996) e il modello cognitivo-energetico (Sergeant et al., 2005). Il modello “Delay aversion”, proposto da Sonuga-Barke (2003), si concentra sull'avversione al ritardo nelle ricompense come causa dei sintomi dell'ADHD ponendo l'accento sulla disregolazione di specifici circuiti neurobiologici, come il circuito esecutivo e il circuito motivazionale che influenzano il controllo cognitivo e la capacità di dilazionare la gratificazione. Secondo questo modello, i soggetti con ADHD sono ipersensibili al ritardo nella gratificazione e sono inclini a cercare gratificazioni immediate, evitando attività che richiedono uno sforzo prolungato senza una ricompensa immediata (Sonuga-Barke, 2003). In particolare, si manifestano difficoltà nel controllo cognitivo a causa di una debole capacità di inibizione della risposta e si verifica una riduzione del gradiente di ricompensa associato al ritardo. Ciò significa che i bambini tendono ad attribuire maggior valore alle ricompense immediate rispetto a quelle ritardate ma potenzialmente maggiori. Questa preferenza per le gratificazioni immediate può influenzare il controllo cognitivo, poiché i bambini potrebbero avere difficoltà a rinviare la gratificazione e ad attuare strategie di autocontrollo per raggiungere obiettivi a lungo termine. Di conseguenza, l'alterazione del circuito motivazionale comporta difficoltà nel differire l'azione e nel gestire le funzioni emotivamente coinvolte, mentre l'alterazione del circuito esecutivo determina una disfunzione nell'inibizione esecutiva, come descritto anche da Barkley (Sonuga-Barke, 2003). Invece, il modello di Inibizione/Attivazione Comportamentale, sviluppato da Barkley (1997), pone l'accento sulla disfunzione nel sistema di inibizione comportamentale, coinvolto nel controllo degli impulsi. Secondo questo modello, i soggetti con ADHD hanno difficoltà nel regolare l'inibizione degli impulsi, il che può portare a comportamenti impulsivi, sbalzi d'umore e difficoltà nel pianificare e organizzare le attività. Il modello di Inibizione, proposto da Sergeant (1999), si concentra invece sulla disfunzione del sistema di inibizione cognitiva, coinvolto nel filtraggio delle informazioni non rilevanti e nel mantenimento dell'attenzione focalizzata. Secondo questo modello, i soggetti con ADHD hanno difficoltà nell'inibire le interferenze esterne e nel mantenere l'attenzione su compiti

specifici, portando a una scarsa concentrazione, facilità di distrazione e difficoltà nel completamento delle attività. Il modello delle Funzioni Esecutive, sviluppato da Barkley (1997), si basa sulla disfunzione delle funzioni esecutive, che includono processi cognitivi superiori come la pianificazione, l'organizzazione, la flessibilità mentale, l'autocontrollo e la *working memory*. Secondo questo modello, i soggetti con ADHD hanno difficoltà nell'esecuzione di attività che richiedono l'impiego di queste funzioni esecutive, influenzando sulla loro capacità di risolvere problemi, adattarsi ai cambiamenti e raggiungere gli obiettivi. Infine, il modello Cognitivo-Energetico, proposto da Sergeant (2005), integra le dimensioni cognitive e motivazionali dell'ADHD. Questo modello si concentra sull'energia cognitiva disponibile per svolgere le attività e sull'influenza della motivazione. Secondo il modello cognitivo-energetico, i soggetti con ADHD possono avere una ridotta disponibilità di energia cognitiva, influenzando la loro capacità di concentrarsi, svolgere compiti complessi e mantenere l'impegno nel tempo. Possono sperimentare una fatica cognitiva più rapida rispetto ai loro coetanei e potrebbero richiedere stimoli più intensi o ricompense più immediate per mantenere l'impegno in un'attività. Gli effetti del premio e della punizione sono stati associati nel modello cognitivo-energetico come critici per il funzionamento dell'impegno disponibile utilizzato in determinate attività o compiti. (Sergeant et al., 1999). La componente energetica di questo modello potrebbe essere considerata un sistema "*bottom-up*" che registra e fornisce un feedback alla corteccia orbitofrontale su quale relazione stimolo-risposta sia soddisfacente o avversiva per l'organismo (Krawczyk, 2002). Questo approccio ha due giustificazioni che contribuiscono a spiegare aspetti specifici dell'ADHD che non sono affrontati in modo esaustivo da altri modelli. Queste giustificazioni forniscono un quadro teorico più completo per comprendere i sintomi e i deficit associati all'ADHD, focalizzandosi sia sugli aspetti cognitivi che su quelli motivazionali. La prima giustificazione si basa sul fatto che l'ADHD è caratterizzato da un'elevata irrequietezza motoria fin dall'infanzia (Thunström, 2002). Questa irrequietezza motoria può essere considerata un elemento chiave del disturbo e rappresenta una manifestazione concreta dell'energia fisica che può influenzare

l'organismo nel suo complesso. Inoltre, esistono collegamenti tra l'attività motoria, il sonno e l'iperattività comportamentale nell'ADHD. Questi fattori suggeriscono che il modello cognitivo-energetico, che tiene conto dell'energia fisica e del sonno, può offrire una spiegazione più completa del disturbo rispetto ai modelli che si concentrano solo sui deficit cognitivi (Thunström, 2002). La seconda giustificazione si basa sulla comprensione dell'esistenza di una relazione tra l'attività cerebrale e l'avversione al ritardo nel contesto dell'ADHD (Sonuga-Barke et al., 2003). I soggetti con ADHD tendono ad avere difficoltà nell'attivare le regioni cerebrali coinvolte nel differire le gratificazioni e nell'apprendimento sociale, come la corteccia orbitofrontale. Questo può influenzare la capacità di adottare strategie di ritardo delle risposte e di mantenere l'impegno nel tempo. Il modello cognitivo-energetico, che integra queste connessioni tra attività cerebrale e avversione al ritardo, offre un'ulteriore giustificazione per comprendere l'ADHD e i suoi sintomi (Sonuga-Barke, 2003).

È importante notare che questi modelli rappresentano teorie che cercano di spiegare diversi aspetti dell'ADHD, ma non esiste ancora un modello unificato che spieghi completamente il disturbo. Tuttavia, l'utilizzo combinato di questi modelli può contribuire a una comprensione più completa delle sfumature dell'ADHD e guidare l'implementazione di strategie di trattamento mirate.

### **2.3 Il controllo cognitivo adattivo nell'ADHD**

Il controllo cognitivo adattivo è un processo fondamentale che ci consente di adattare il nostro comportamento alle richieste del contesto attuale e di trarre vantaggio dalle esperienze precedenti (Bluschke et al., 2020). Tuttavia, alcuni studi hanno evidenziato che i soggetti con ADHD incontrano difficoltà nel tenere conto dell'ambiente e delle esperienze passate quando si trovano di fronte a compiti impegnativi (Marzinzik et al., 2012). L'attenzione selettiva, che è la capacità di focalizzarsi su stimoli specifici e ignorarne altri, è spesso compromessa nell'ADHD. Uno studio condotto da Nigg et al. (2005) ha esaminato l'attenzione selettiva nei bambini con ADHD utilizzando il paradigma del



flusso costante (continuous performance task, CPT). Durante il CPT, i partecipanti sono esposti a una serie di stimoli visivi o uditivi e devono rispondere solo ai target, ignorando gli stimoli distrattori. I risultati hanno evidenziato una difficoltà nel mantenere l'attenzione focalizzata sul compito e una maggiore tendenza a distrarsi rispetto ai controlli sani. Un'altra area di ricerca importante riguarda l'inibizione comportamentale, che si riferisce alla capacità di controllare e sopprimere risposte impulsive o inappropriate. Uno studio condotto da Bédard et al. (2003) ha utilizzato test come il Go/No-Go task per valutare l'efficienza dell'inibizione comportamentale nei bambini con ADHD. Durante il Go/No-Go task, i partecipanti devono rispondere rapidamente quando viene presentato uno stimolo "Go" e inibire la risposta quando viene presentato uno stimolo "No-Go". I risultati hanno mostrato una ridotta capacità di inibire risposte impulsive e una maggiore frequenza di errori nel compito da parte dei bambini con ADHD rispetto ai controlli. Infine, anche la flessibilità cognitiva, ovvero la capacità di adattarsi a nuove situazioni, modificare la strategia di pensiero e passare da un set mentale all'altro, è spesso compromessa nell'ADHD. Uno studio condotto da Rubia et al. (2011) ha esaminato la flessibilità cognitiva nei bambini con ADHD utilizzando il Wisconsin Card Sorting Test. Durante il test, i partecipanti devono adattarsi alle regole mutevoli e categorizzare le carte in base a determinati criteri. I risultati hanno evidenziato una maggiore difficoltà nel cambiare le regole del compito e nell'adattarsi alle nuove condizioni da parte dei bambini con ADHD rispetto ai controlli. Inoltre, alcuni studi si sono concentrati sul ruolo del controllo cognitivo adattivo nelle situazioni di ricompensa e gratificazione ritardata. L'ADHD è associato a una ridotta sensibilità alle ricompense ritardate e a una preferenza per gratificazioni immediate. Lo studio condotto da Sonuga-Barke et al. (2014) ha esaminato il controllo cognitivo in relazione al ritardo di gratificazione nei bambini con ADHD. Durante l'esperimento, i partecipanti dovevano scegliere tra una ricompensa immediata di piccola entità e una ricompensa ritardata di entità maggiore. I risultati hanno evidenziato una compromissione del controllo cognitivo nei contesti di ricompensa ritardata, con una maggiore tendenza dei bambini con ADHD a preferire le ricompense immediate. La componente adattiva del

controllo cognitivo nell'ADHD è un'area di ricerca ancora in via di approfondimento. Tuttavia, alcuni studi suggeriscono che il controllo cognitivo adattivo potrebbe essere compromesso in questo disturbo (Cai et al., 2023). Infatti, un'abilità che sta alla base del CC adattivo, ovvero lo "statistical learning" o apprendimento statistico, cioè la capacità di apprendere le regolarità implicite presenti nell'ambiente, sembra essere deficitaria. Ad esempio, uno studio condotto da Domuta e Pentek (2003) ha esaminato l'apprendimento implicito della grammatica artificiale in bambini con ADHD. Durante l'esperimento, i partecipanti sono stati esposti a una serie di stringhe di lettere create da un sistema di regole grammaticali artificiali, senza essere consapevoli che gli stimoli seguivano un modello di regole grammaticali. Successivamente, sono stati testati sulla capacità di classificare le stringhe di lettere come "stimoli grammaticali" o "stimoli non grammaticali" basandosi sulle regole a cui erano stati esposti precedentemente. I risultati hanno mostrato prestazioni inferiori nell'apprendimento implicito della grammatica artificiale da parte dei bambini con ADHD rispetto ai bambini tipici, supportando l'ipotesi di un deficit nell'apprendimento implicito in questo disturbo. Allo stesso modo, uno studio condotto da Parks e colleghi (2018) ha esaminato le capacità di apprendimento statistico nell'ADHD. I partecipanti sono stati esposti a un linguaggio artificiale o a sequenze visive e successivamente testati sulla capacità di identificare le parole apprese o completare una sequenza familiare. I risultati hanno evidenziato una compromissione delle capacità di apprendimento statistico nell'ADHD, con una minore sensibilità neurale alle violazioni nelle sequenze strutturate più probabili. Ciò suggerisce un'alterazione dei circuiti neurali responsabili della previsione di segnali probabilistici nell'ambiente, che potrebbe influenzare la capacità di adattare il comportamento in modo adeguato. In linea con tali ipotesi, studi recenti hanno evidenziato che sia il controllo cognitivo reattivo che quello proattivo sono compromessi nei bambini con ADHD e risultano predittivi dei sintomi clinici del disturbo (Cai et al., 2023). In particolare, uno studio condotto da Suarez-Manzano et al. (2018) ha rilevato che l'ADHD influenza l'inibizione comportamentale reattiva ma non quella proattiva nei bambini. Ciò significa che i bambini con ADHD mostrano difficoltà nel controllare e sopprimere

risposte impulsive o inappropriate quando richiesto, ma non presentano deficit nell'anticipare e prevenire tali risposte in situazioni di controllo proattivo. Allo stesso modo, van Hulst e colleghi (2017) hanno osservato che i bambini con sintomi di ADHD mostrano deficit nell'inibizione comportamentale reattiva ma non in quella proattiva. Questi risultati suggeriscono che l'ADHD è associato a difficoltà specifiche nella capacità di controllare e sopprimere risposte inappropriate in risposta a segnali ambientali immediati. Queste evidenze indicano che sia il controllo cognitivo reattivo che quello proattivo possono essere compromessi nell'ADHD, sebbene in modo diverso. Tuttavia, è importante sottolineare che gli studi disponibili finora sono ancora limitati e ulteriori ricerche sono necessarie per comprendere meglio i meccanismi sottostanti e la relazione tra queste diverse forme di controllo cognitivo e i sintomi dell'ADHD. Inoltre, nessuno degli studi menzionati ha indagato specificamente come il controllo cognitivo reattivo e proattivo vengono utilizzati in contesti in cui le regolarità ambientali si modificano durante il compito. Questo rappresenta una direzione di ricerca importante per ottenere una comprensione più completa del funzionamento del controllo cognitivo adattivo nell'ADHD.

## **3. LA RICERCA**

### **3.1 Obiettivi**

La presente ricerca si propone di esaminare il controllo cognitivo adattivo in bambini a sviluppo tipico (TD) e bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e dell'Iperattività (ADHD). L'obiettivo è stato affrontato nell'ambito del progetto di ricerca CALM (sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico), coordinato dal Prof. Giovanni Mento. Tale progetto ha indagato i diversi aspetti del controllo cognitivo adattivo, come l'inibizione, la flessibilità cognitiva e l'autoregolazione. Nello specifico, il focus di questo elaborato è stato posto sulla capacità di adattare in maniera implicita l'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo al variare della predicibilità del contesto.

### **3.2 Metodo**

#### **3.2.1 Partecipanti**

Nel presente studio sono stati reclutati in totale 296 bambini di età compresa tra i 7 e i 14 anni, suddivisi in un gruppo di controllo a sviluppo tipico (TD) e in un gruppo sperimentale di bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e Iperattività (ADHD)

I soggetti del gruppo di controllo (TD) sono stati reclutati presso la Scuola Primaria “R. Sanzio” di Marina di Montemarciano (AN), Scuola media “Antonio Gramsci” e l'istituto comprensivo “Giovanni Falcone” di Palermo (PA). I soggetti del gruppo sperimentale (ADHD), invece, sono stati reclutati presso l'IRCCS “E. Medea – La Nostra Famiglia” nelle sedi di Conegliano (TV), di Treviso (TV), di Oderzo (TV), di Vicenza (VI), di Padova (PD), “Soc. Coop. Sociale Piccolo Principe” di Ferrara (FE), “Ass. Incore” di Noventana (PD), “Centro Archimede” di Vicenza (VI) e presso lo “Studio di Psicologia e Psicoterapia – Dott.ssa Cagnin e Dott.ssa Benetti” (VE).

I criteri di esclusione che sono stati utilizzati in questa ricerca sono:

1. Comorbidità con Disturbo dello Spettro dell'Autismo;
2. Comorbidità con Disabilità Intellettiva (DI) o Funzionamento Intellettivo Limite (FIL);
3. Quadri sindromici genetici o malattie neurologiche (ad esempio, epilessia).

Nella ricerca sono stati esclusi 42 bambini (20 bambini dal gruppo sperimentale e 22 dal gruppo di controllo) perché avevano un'accuratezza inferiore del 50% in almeno una delle 3 condizioni del compito.

Perciò, il campione finale è composto da un totale di 221 bambini di età compresa tra i 7 e i 14 anni, di cui 67 femmine e 154 maschi. Il gruppo di controllo è composto da 94 bambini a sviluppo tipico (TD) (età media in anni = 9.8, sd = 2.0), mentre il gruppo sperimentale è composto da 127 bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e Iperattività (ADHD) (età media in anni = 10.0, sd = 1.9).

Le caratteristiche demografiche del campione sono presentate nella Figura 1.

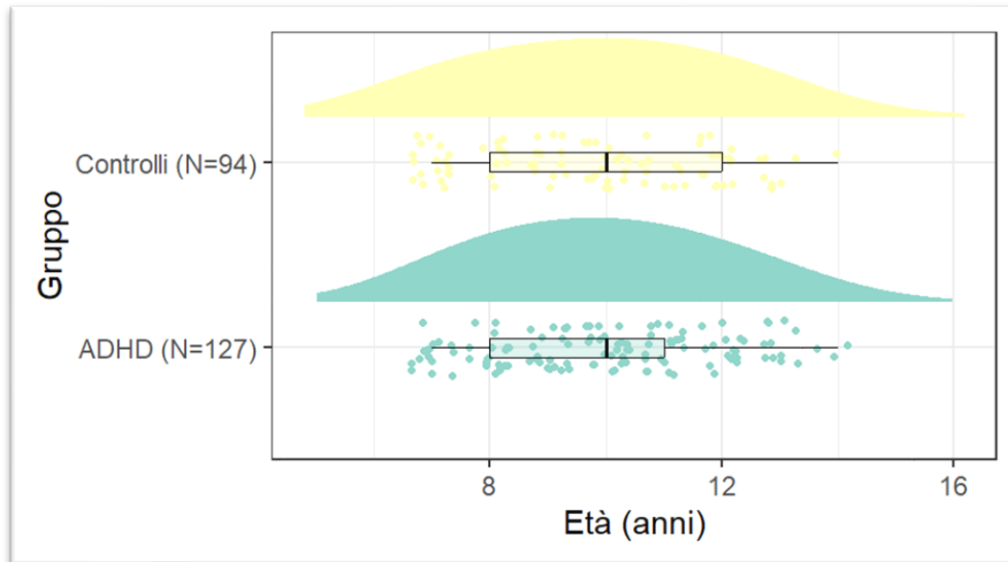


Figura 1: Caratteristiche demografiche del campione.

### **3.2.2 Conformità etica**

I genitori dei bambini che hanno preso parte alla ricerca hanno fornito il loro consenso scritto, mentre i bambini hanno fornito il loro assenso orale alla partecipazione. Tutte le procedure sperimentali sono state approvate dal Comitato Etico della Scuola di Psicologia dell'Università di Padova (protocollo n. 4920) e sono state condotte secondo i principi espressi dalla Dichiarazione di Helsinki.

### **3.3 Stimoli e procedure**

#### **3.3.1 Procedura sperimentale**

All'inizio della procedura sperimentale, ogni famiglia è stata contattata utilizzando il numero telefonico delle strutture coinvolte nella ricerca. Durante la chiamata, è stata fornita una spiegazione generale della ricerca condotta in collaborazione con il Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova, invitando i genitori a prendere visione della locandina del progetto di ricerca CALM presente nelle varie strutture coinvolte (Figura 2). Con le famiglie che in questa fase preliminare accettavano di partecipare alla ricerca, veniva concordato un appuntamento dalla durata di 1 ora e mezza o due appuntamenti dalla durata di 45 minuti ciascuno presso la struttura di riferimento. Nel giorno e all'ora prestabiliti, prima di iniziare con la somministrazione dei compiti sperimentali, ogni famiglia è stata accolta nella sala d'attesa e sono state fornite loro due copie del consenso informato: una copia per il clinico e una per la famiglia. Dopo aver spiegato alla famiglia i dettagli della ricerca, gli obiettivi e le metodologie utilizzate, si è proceduto alla firma di entrambi i consensi informati per partecipazione e trattamento dei dati. Successivamente, sono stati somministrati i compiti sperimentali e i test neuropsicologici.

Inoltre, ai genitori è stato comunicato che avrebbero ricevuto un link tramite e-mail per compilare questionari online utilizzando la piattaforma *Qualtrics* (Qualtrics, Provo, UT). I questionari avevano

lo scopo di raccogliere informazioni sulla famiglia e lo sviluppo del bambino: le aree indagate andavano da informazioni generali come sport frequentato e rendimento scolastico, a informazioni sulla sfera comportamentale, emotiva e sociale.

Successivamente, ogni bambino è stato accompagnato in una stanza accogliente, silenziosa e ben illuminata, e gli è stato chiesto di sedersi su una comoda sedia, a una distanza di circa 60 cm dallo schermo del *computer*. Una volta che il bambino veniva messo a proprio agio, si cominciava con la spiegazione di ciò che si sarebbe andati a fare insieme. I diversi stimoli erano presentati in un *monitor* di 15,6 pollici con una risoluzione di 1920x1080 *pixels*.



 UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

 DIPARTIMENTO DI  
PSICOLOGIA  
GENERALE



**PROGETTO DI RICERCA CALM**  
sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico

Questa sede è partner di un Progetto promosso dall' **Università di Padova**

**OBIETTIVO:**  
Studiare come la capacità di attenzione e concentrazione è influenzata dal contesto ambientale

**A CHI SI RIVOLGE:**  
Bambini/e con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività e ai loro fratelli e sorelle

**COSA PROPONIAMO:**  
Ai bambini/e prove al computer sotto forma di gioco e dei questionari per i loro genitori



**PARTECIPA ANCHE TU!**  
Per saperne di più chiedi informazioni al Centro oppure direttamente ai responsabili della ricerca NeuroDev (responsabile Prof. Giovanni Mento, [giovanni.mento@unipd.it](mailto:giovanni.mento@unipd.it))

Figura 2. Locandina del progetto CALM

### 3.3.2 Materiali

Il protocollo sperimentale era costituito da due fasi principali: una prima fase di *task* computerizzati, e una seconda fase di test neuropsicologici.

#### 3.3.2.1 I tre *task* sperimentali

Nella prima fase sono stati somministrati ai bambini tre *task* sperimentali computerizzati, seguendo un ordine fisso: *ADDY task* (Toffoli et al., in prep.), *FLANKER task* (Mento et al., in prep.) e *BART* (Toffoli et al., *under review*). Ogni compito era suddiviso in una prima parte di "allenamento", in cui il bambino aveva la possibilità di apprendere le modalità del compito, e quattro prove intervallate da una schermata, che variava a seconda del gioco, in cui veniva richiesto al bambino di dare un giudizio sulla difficoltà del compito ("Molto difficile", "Difficile", "Facile", "Molto facile"). Durante ogni intervallo il bambino veniva rinforzato tramite un brillantino colorato da attaccare sopra le stelline presenti sulla "Scheda di rinforzo" (Figura 11). Nella prima fase dello studio, ai bambini sono stati somministrati tre *task* sperimentali computerizzati, seguendo un ordine fisso: *ADDY task* (Toffoli et al., in prep.), il *FLANKER task* (Mento et al., in prep.) e il *BART* (Toffoli et al., *under review*). Ogni compito era suddiviso in una fase iniziale di "allenamento", durante la quale il bambino aveva l'opportunità di familiarizzare con le modalità del compito, seguita da quattro prove intervallate da una schermata. Questa schermata variava a seconda del gioco e richiedeva al bambino di esprimere un giudizio sulla difficoltà del compito, scegliendo tra le opzioni "Molto difficile", "Difficile", "Facile" e "Molto facile". Durante ogni intervallo, il bambino veniva rinforzato mediante l'utilizzo di un brillantino colorato da attaccare sopra le stelline presenti sulla "Scheda di rinforzo" (Figura 3).





Figura 3: Scheda di rinforzo

Il primo compito che i bambini svolgevano è l'*ADDY task* (Toffoli et al., in prep.): questo è stato progettato per valutare la capacità di adattare in modo implicito l'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo in risposta ai cambiamenti nella predicibilità del contesto. Ciò significa che il compito mira ad indagare come le persone regolano le proprie risposte cognitive in base alla prevedibilità e alla stabilità dell'ambiente che li circonda. La capacità di adattare l'uso del controllo cognitivo in modo flessibile può influenzare la capacità di adattarsi a situazioni nuove o mutevoli, consentendo una maggiore efficacia nell'elaborazione delle informazioni.

Il secondo compito è il *FLANKER task* (Mento et al., in prep.), il quale è stato sviluppato per valutare la capacità di ridurre in maniera adattiva il costo legato al conflitto cognitivo, considerando le diverse difficoltà del compito. Il conflitto cognitivo si riferisce alla situazione in cui ci sono informazioni contrastanti o interferenze che richiedono una risposta accurata e consapevole. Il *FLANKER task* permette di esaminare come le persone riescono a gestire e ridurre l'interferenza degli stimoli conflittuali, adattando le proprie risposte in base alla difficoltà del compito. La capacità di ridurre in

modo adattivo il costo del conflitto cognitivo può indicare una maggiore flessibilità cognitiva e un'efficienza nel gestire situazioni complesse.

Infine, il terzo compito è il *BART adattivo* (Toffoli et al., *under review*): questo è stato progettato per valutare la capacità di ottimizzare la spinta impulsiva in base al livello di rischio presente nel contesto. Durante il compito, il livello di rischio implicito nel contesto deve essere inferito implicitamente e si modifica nel corso dell'attività. Ciò significa che il compito esamina come le persone regolano il proprio comportamento impulsivo in risposta a situazioni che comportano diversi livelli di rischio. La capacità di ottimizzare la spinta impulsiva in base al rischio presente può fornire importanti informazioni sulle abilità decisionali e sulla gestione dei risultati potenziali delle proprie azioni.

### **3.3.2.2 I test neuropsicologi**

Una volta completati i tre task sperimentali computerizzati, sono stati somministrati ai bambini una serie di test neuropsicologici.

Il *RAVEN Coloured Progressive Matrices* (Raven et al., 1938), è stato utilizzato per valutare il ragionamento non verbale dei partecipanti. Questo test richiede di risolvere una serie di problemi visuo-spaziali senza l'uso di parole o numeri.

Il *WISC-IV "Memoria di cifre"* (Wechsler, 2003), ha valutato la memoria di lavoro verbale dei partecipanti. In questo test, ai partecipanti è stato chiesto di ripetere una serie di cifre in ordine inverso, per valutare la loro capacità di mantenere e manipolare informazioni nella memoria di lavoro. Successivamente, sono stati somministrati diversi test che misurano l'inibizione cognitiva, tra cui la *BIA "Stroop numerico"* (Marzocchi et al., 2010), la *BIA "Completamento frasi"* (Marzocchi et al., 2010) e la *NEPSY "Inibizione"* (Urgesi et al., 2011). Questi test richiedono di sopprimere o controllare le risposte automatiche per eseguire il compito correttamente. Per valutare la flessibilità cognitiva, sono stati utilizzati la *BVN "Trail Making Test"* (Bisiacchi et al., 2005) e la *BVN "Fluenze fonemiche"*

(Bisiacchi et al., 2005). Questi test misurano la capacità di cambiare rapidamente tra diversi stimoli o categorie e di generare il maggior numero possibile di parole che iniziano con una lettera specifica. Infine, è stato somministrato il *Wisconsin Card Sorting Task* (WCST) (Grant et al., 1948) in una versione computerizzata con 64 carte. Questo test valuta la flessibilità cognitiva e richiede ai partecipanti di adattarsi a nuove regole nel corso del compito, in base al feedback fornito. Complessivamente, questi test neuropsicologici hanno permesso di valutare diverse abilità cognitive, come il ragionamento non verbale, la memoria di lavoro, l'inibizione e la flessibilità cognitiva, fornendo un quadro completo delle capacità cognitive dei partecipanti. Al termine della fase dei test neuropsicologici, ogni bambino riceveva un premio finale come riconoscimento per aver partecipato alla ricerca: il "Diploma di Piccolo/a Ricercatore/trice". Il diploma includeva il nome del bambino ed è stato consegnato come segno di apprezzamento per il suo contributo e impegno nello studio (Figura 4). Questo diploma rappresenta un gesto simbolico per valorizzare la partecipazione del bambino alla ricerca e per sottolineare l'importanza del suo ruolo nel processo scientifico.



Figura 4: Diploma di Piccolo/a Ricercatore/trice

### 3.3.3 *ADDY task*

L'*ADDY task* (Toffoli et al., in prep.) è stato progettato per valutare la capacità di adattare in modo implicito l'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo in risposta ai cambiamenti nella predicibilità del contesto. Ciò significa che il compito mira a indagare come le persone regolano le proprie risposte cognitive in base alla prevedibilità e alla stabilità dell'ambiente che li circonda. Infatti, la capacità di adattare l'uso del controllo cognitivo in modo flessibile può influenzare la capacità di adattarsi a situazioni nuove o mutevoli, consentendo una maggiore efficacia nell'elaborazione delle informazioni. Con questo compito sperimentale, si vuole esaminare come la velocità di risposta e l'accuratezza siano influenzate dalla presenza di un contesto più o meno facilitante. Nella presente ricerca è stata utilizzata una manipolazione dell'effetto *LWPC* (*List-Wide Proactive Control*), ossia una manipolazione del controllo cognitivo a livello di un intero blocco di compiti, in cui la lista delle prove è principalmente facilitante (blocco predittivo) o principalmente non facilitante (blocco non predittivo). L'interpretazione comune di questo effetto suggerisce che i partecipanti mettano in atto una forma di controllo proattivo nel blocco non predittivo: i bambini apprendono che il conflitto è più probabile nel blocco non predittivo e adottano strategie atte ad affrontare meglio le situazioni di conflitto cognitivo, riducendo l'interferenza e ottimizzando le prestazioni durante le prove incongruenti (Gonthier et al., 2021). Diversi studi hanno supportato questa interpretazione, dimostrando che i partecipanti adottano un approccio di controllo proattivo nel blocco non predittivo. Questo comporta una riduzione dell'interferenza generata dal conflitto cognitivo, poiché i partecipanti si preparano a gestire le sfide maggiori presenti nel blocco non predittivo (Gonthier, Braver, et al., 2012).

### 3.3.3.1 Struttura del *trial*

I bambini si siedono comodamente su una sedia a una distanza di circa 50 cm dal monitor.

Ogni prova inizia con la visualizzazione di una croce di fissazione (800-1200 ms), seguita da un *cue* visivo (500 ms). Dopo un altro periodo di fissazione (1500 ms), appare sullo schermo lo stimolo *target* (max 3000 ms). Il *cue* visivo è rappresentato da una freccia che punta a sinistra o a destra, mentre lo stimolo *target* è rappresentato da una vignetta di un astronauta maschio o femmina. Nella parte inferiore dello schermo è presentata una versione a icona dei due *target* (astronauti maschi o femmine) in posizione fissa, uno a sinistra e l'altro a destra (la posizione è stata controbilanciata tra i partecipanti). I bambini devono premere, il più velocemente e accuratamente possibile, un tasto (ad esempio, sinistra o destra) sulla tastiera in base alla posizione dell'icona corrispondente al *target* (Figura 5).

Il compito prevede due condizioni differenti: una valida (CV) e una invalida (CI) (Figura 6). Nella condizione valida, la direzione della freccia (*cue*) predice sempre la comparsa dell'astronauta maschio e femmina (*target*). Inoltre, vi sono due tipi di trials utilizzati per valutare la capacità dei partecipanti di controllare le proprie risposte agli stimoli: il Go e il NoGo. In un trial Go, ai bambini viene presentato uno stimolo a cui devono rispondere: questi stimoli sono considerati "Go" perché richiedono una risposta attiva da parte del partecipante. Nei trials NoGo i bambini devono inibire la risposta, ossia non devono premere il tasto quando sulla tuta spaziale dell'astronauta bersaglio è presente un cartone animato alieno (Figura 7).

All'inizio del compito, viene somministrato un blocco di esercitazioni per verificare la comprensione delle istruzioni e viene fornito un *feedback* visivo in base alle prestazioni dei bambini: sorriso felice per le risposte corrette, sorriso perplessa per le risposte sbagliate. Invece, durante i blocchi sperimentali non si fornisce alcun *feedback*. Per evitare un affaticamento eccessivo e mantenere un livello adeguato di attenzione e motivazione, il compito prevede 4 brevi pause, durante le quali i bambini ricevono un rinforzo positivo, ossia una stellina da attaccare nella scheda di rinforzo.

L'Addy task (Toffoli et al., in preparazione) è stato creato e somministrato attraverso il software E-prime (Schneider et al., 2002).

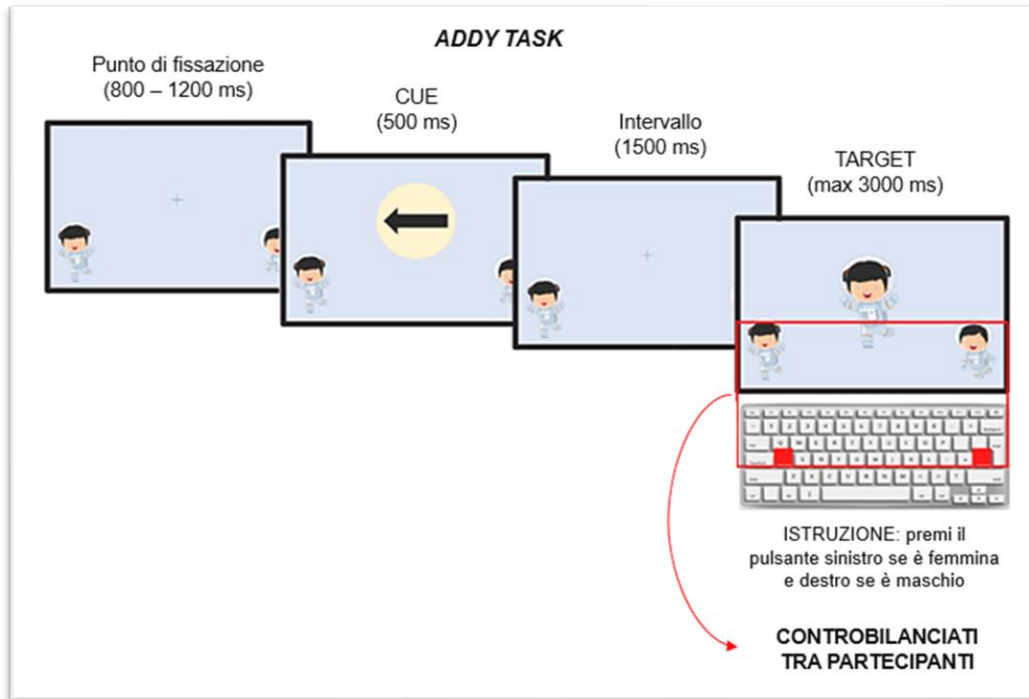


Figura 5. Addy Task: esempio di trial

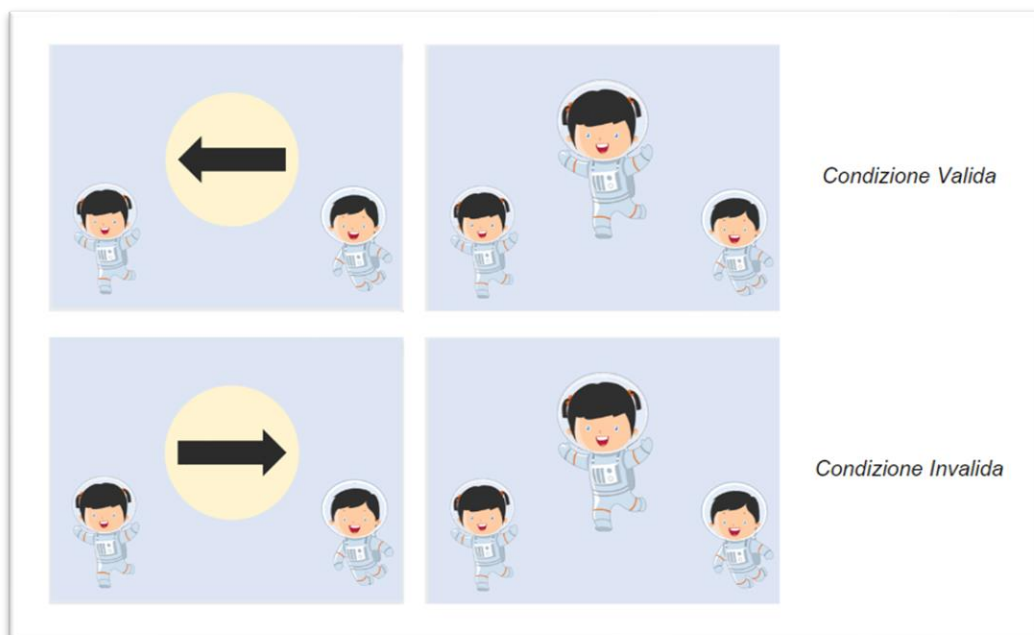


Figura 6: Le due condizioni differenti dell'ADDY task

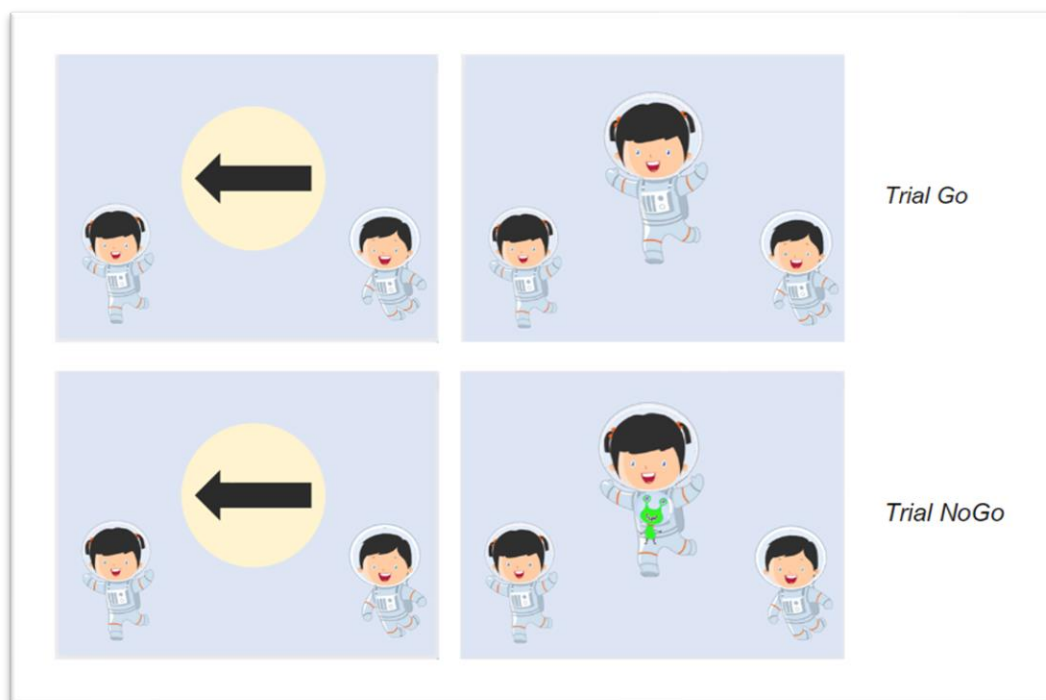


Figura 7: I due *trials* differenti dell'*ADDY task*

### 3.3.3.2 Struttura del compito

Il compito comprendeva un totale di 144 trials per una durata complessiva di circa 20 minuti. Nel primo blocco (72 trials), ossia in quello “predittivo” il 77.7% dei trials erano nella condizione valida (CV), ossia il cue era coerente con il pulsante da premere in quanto la freccia puntava verso la posizione dell'icona corrispondente al bersaglio, di cui il 16.7% delle prove erano trials di tipo NoGo (NoGo), ossia l'alieno appariva sulla tuta spaziale degli astronauti bersaglio e i bambini dovevano inibire la propria risposta.

Nel secondo blocco (72 trials), ossia in quello “non predittivo” il 50% delle prove erano nella *condizione valida* (CV), di cui il 16.6% delle prove erano trials di tipo *NoGo* (NoGo).

Nella Figura 8 è possibile visualizzare la struttura dei due blocchi.

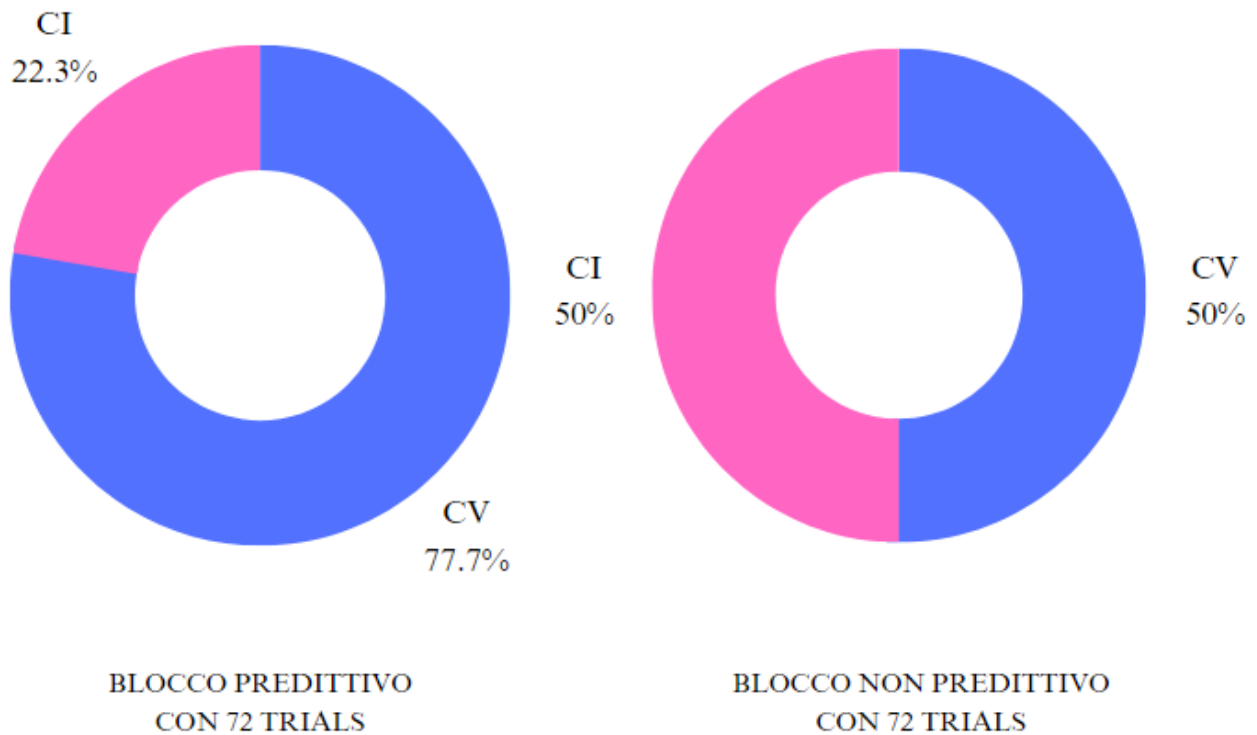


Figura 8: Percentuali delle varie condizioni nel blocco predittivo e nel blocco non predittivo

### 3.4 Ipotesi sperimentali

Nel presente elaborato sono state formulate le seguenti ipotesi sperimentali:

1. La prima ipotesi sperimentale (H1) riguarda la capacità di regolare il controllo cognitivo in funzione del contesto predittivo.

In particolare, ci aspettiamo un adattamento dell'effetto di validità (maggior velocità e accuratezza nei trial go validi rispetto ai trial nogo invalidi) dal blocco predittivo al blocco non predittivo (H1a).

Infatti, si ipotizza che nel blocco predittivo, in cui la maggior parte dei trials è nella condizione valida (cioè congruente tra *cue* e *target*), ci sia un effetto di validità maggiore in quanto la freccia (*cue*) è affidabile e può essere utilizzata per preparare la risposta in anticipo, permettendo ai partecipanti di utilizzare un controllo cognitivo reattivo (Gonthier et al., 2021).



Questo significa che, solitamente, i partecipanti si affidano al controllo reattivo per gestire il compito poiché possono apportare modifiche istantanee alle risposte in caso di imprevisti (prova invalida). Infatti, questa strategia è meno dispendiosa in termini di risorse cognitive ed è efficace perché gli imprevisti sono rari in questo contesto. Pertanto, se si verifica un imprevisto, il controllo reattivo consente una risposta flessibile, anche se potrebbe richiedere più tempo rispetto al controllo proattivo. Invece, nel blocco non predittivo, dove le informazioni predittive sono meno affidabili o addirittura incongruenti, i partecipanti alzano le soglie di attenzione e utilizzano un controllo cognitivo proattivo. In questo caso, il controllo proattivo richiede un maggiore sforzo cognitivo in quanto i partecipanti devono prestare una maggiore attenzione e monitorare costantemente gli stimoli incoerenti. Questa strategia consente loro di essere più accurati, specialmente nelle prove invalide, ma è più dispendiosa in termini di risorse cognitive e richiede un maggiore coinvolgimento mentale. Questa ipotesi è supportata anche da studi in letteratura nei quali è stato dimostrato che i bambini sono in grado di attuare un controllo cognitivo adattivo (Del Popolo Cristaldi et al., 2023; Iani et al., 2014) che risulta essere maggiormente efficace quando supportato dal contesto (Elke et al., 2017). Inoltre, ci aspettiamo che non ci sia un adattamento dell'effetto di validità nel gruppo sperimentale (ADHD) (H1b). Ipotizzando che nell'ADHD ci siano difficoltà nell'utilizzo del controllo cognitivo adattivo (Cai et al., 2023), ci aspettiamo che nelle prove dei soggetti con ADHD, rispetto a quelle del gruppo di controllo, non vi sia una modifica dell'adattamento dell'effetto validità dal blocco predittivo al blocco non predittivo.

2. La seconda ipotesi sperimentale (H2) riguarda l'inibizione, ossia le risposte nei trials di NoGo. In particolare, ci aspettiamo che vi sia un aumento di accuratezza dell'inibizione dal blocco predittivo al blocco non predittivo dovuto al fatto che nel blocco non predittivo i partecipanti devono ingaggiare il controllo proattivo, rispetto al blocco predittivo in quanto le informazioni

predittive possono essere incongruenti o imprevedibili (H2a). Questa mancanza di prevedibilità del blocco non predittivo può facilitare l'accuratezza dell'inibizione nei compiti NoGo, poiché i partecipanti devono impegnarsi maggiormente nel monitoraggio degli stimoli incoerenti, aumentando l'attenzione. Questa previsione è supportata da studi precedenti che hanno evidenziato un miglioramento delle prestazioni di inibizione in contesti meno predittivi (Del Popolo Cristaldi et al., 2023; Iani et al., 2014). Questo aumento di accuratezza dell'inibizione dal blocco predittivo al blocco non predittivo è in controtendenza con l'effetto affaticamento, ossia al deterioramento delle prestazioni cognitive a causa della stanchezza o della ridotta capacità di concentrazione nel corso di un compito prolungato o ripetitivo.

Inoltre, nel gruppo sperimentale composto da soggetti con ADHD (H2b), non ci aspettiamo un aumento significativo di accuratezza nell'inibizione delle risposte tra il blocco predittivo e il blocco non predittivo. Questo potrebbe riflettere le difficoltà dell'ADHD nell'adottare un controllo cognitivo proattivo efficace in risposta all'incremento dell'incertezza nel contesto non predittivo. Questa previsione è in linea con ricerche precedenti che hanno evidenziato difficoltà nell'uso del controllo cognitivo proattivo nei soggetti con ADHD (Cai et al., 2023).

### **3.5 Analisi dei dati**

Lo studio in questione utilizza un disegno misto 3 (*within-subjects* tipologie di trials: go, nogo) x 2 (*within-subjects* condizione: valida, invalida) x 2 (*within-subjects* blocchi: predittivo, non predittivo) x 2 (*between-subjects* gruppo: gruppo sperimentale e gruppo di controllo). Dal momento che tipologia di *trial*, condizione e blocco non erano variabili indipendenti, è stata creata un'unica variabile *within-subjects* con 6 livelli (go valido predittivo, go invalido predittivo, nogo predittivo, go valido non predittivo, go invalido non predittivo, nogo non predittivo). Per testare le ipotesi (H1 e H2) sono stati utilizzati dei Modelli Generalizzati Lineari Misti (GLMMs) con intercetta random per soggetto e

condizione (pacchetto R: brms, Bürkner, 2017). Nello specifico, per quanto riguarda tempi di reazione (RT) e accuratezza nei trial go validi e invalidi, è stato calcolato l'Inverse Efficiency Score (IES):

$$IES = RT / (1 - PE),$$

dove PE rappresenta la proporzione di errori. Il modello è stato specificato come segue:

$$IES \sim 1 + \text{condition} * \text{Group} + \text{age} + (1 + \text{condition} | \text{subj})$$

Il modello è stato stimato utilizzando una distribuzione gaussiana inversa (link function = “log”) e prior poco informative. Per quanto riguarda l'accuratezza (i.e., 1 = corretto, 0 = sbagliato) il modello è stato specificato come segue:

$$\text{acc} \sim 1 + \text{condition} * \text{Group} + \text{age} + (1 + \text{condition} | \text{subj})$$

Il modello è stato stimato utilizzando una distribuzione binomiale (link function = “logit”) e priors poco informative.

Per entrambi i modelli sono state utilizzate 4 catene, ciascuna con 4000 campioni e con i primi 2000 scartati come burn-in. La diagnostica dei modelli è stata valutata esaminando i valori di R-hat, che hanno indicato una convergenza soddisfacente per tutti i parametri stimati (con un valore massimo accettato di 1,05 come suggerito da Vehtari et al. 2020), e mediante l'ispezione visiva delle tracce e del posterior predictive check. Per valutare la presenza di eventuali osservazioni influenti è stato utilizzato il metodo Leave One-Out Cross validation e sono state considerate influenti le osservazioni con indici pareto  $k > 0.7$  (LOO; pacchetto R: loo, Vehtari et al., 2023). Per quantificare l'evidenza a supporto dell'ipotesi target abbiamo usato un doppio approccio. Per entrambi, abbiamo prima estratto le distribuzioni a posteriori totali (intervallo di probabilità, PI) dei parametri per ogni gruppo e condizione. Poi abbiamo condotto dei contrasti *hypothesis-driven*, in un caso misurando la percentuale di sovrapposizione tra le distribuzioni a posteriori (pacchetto R: overlapping, Pastore, 2018) e nell'altro caso calcolando la probabilità di superiorità, che è la probabilità che, quando si

campiona un'osservazione da ciascuna delle condizioni in maniera casuale, l'osservazione dalla seconda condizione sarà maggiore di quella della prima (pacchetto R: effectsize, Ben-Shachar et al., 2020). Queste misure ci hanno permesso di quantificare la probabilità che i gruppi differissero o meno in termini di IES e inibizione nelle diverse condizioni, fornendo evidenza contro o in favore delle ipotesi alternative.

## 4. RISULTATI

### 4.1 H1: effetto validità

I risultati del presente studio supportano l'H1a, in quanto si è osservata una modulazione dell'effetto validità in funzione del blocco (Figura 9).

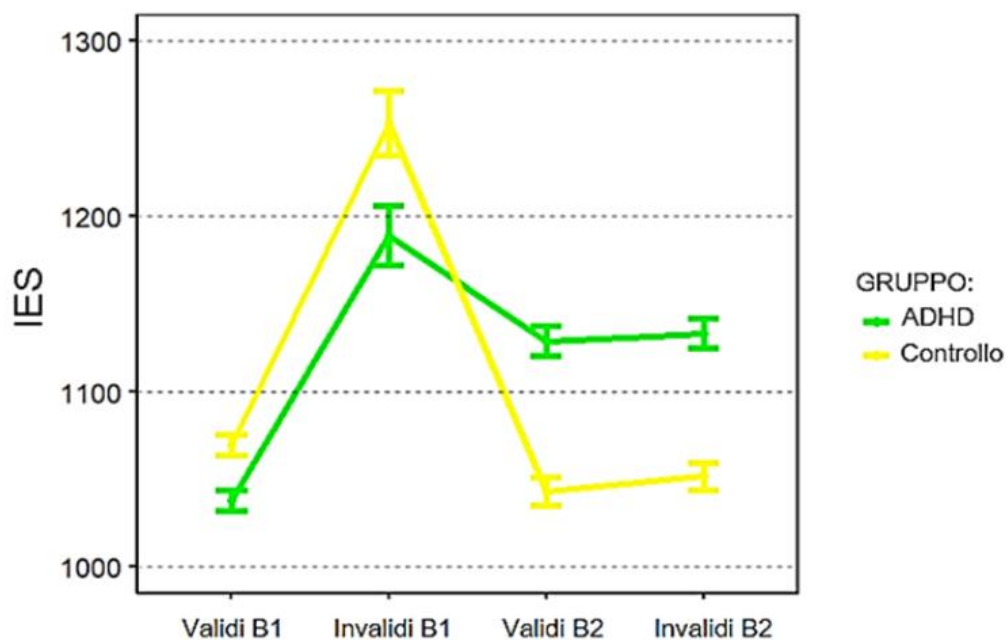


Figura 9: Grafico con dati reali del gruppo di controllo e del gruppo ADHD.

Il grafico mostra la variazione dell'*Inverse Efficiency Score* (IES) lungo l'asse delle Y rispetto al blocco predittivo (B1) con prove valide e invalide e al blocco non predittivo (B2) con prove valide e invalide sull'asse delle X. In verde vengono presentati i risultati del gruppo ADHD mentre in giallo quelli del gruppo di controllo.

Infatti, nel blocco predittivo sia il gruppo ADHD che il gruppo di controllo hanno presentato un effetto di validità con IES ridotti nei *trial* validi rispetto agli invalidi (Pr (superiority) = 100% per entrambi i gruppi; overlapping = 0.6% e 0.7% rispettivamente per ADHD e controlli). Invece, nel blocco non predittivo, nessuno dei gruppi ha presentato un effetto di validità significativo (Pr(superiority) = 55% per entrambi i gruppi; overlapping = 87.8% e 87.6% rispettivamente per ADHD e controlli). In questo contesto meno affidabile, non sono emerse differenze sostanziali tra i gruppi di controllo e ADHD per quanto riguarda l'adattamento dell'effetto validità. Ciò indica che i partecipanti hanno ottimizzato le prestazioni in funzione del contesto predittivo utilizzando le regolarità identificate, mostrando una maggiore velocità nel completare i compiti quando le informazioni erano congruenti tra *cue* e *target*.

Interessante osservare che, mentre nel blocco predittivo il gruppo ADHD ha mostrato prestazioni leggermente migliori (IES ridotti) rispetto al gruppo di controllo (ADHD > controlli: Pr (superiority) = 26%, overlapping = 47.7%, per *trial* validi e Pr (superiority) = 14%, overlapping = 28.4% per *trial* invalidi) nel blocco non predittivo il gruppo di controllo ha presentato un profilo di prestazione nettamente superiore (Pr (superiority) = 99%, overlapping = 4.8% per *trial* validi, Pr(superiority) = 99%, overlapping = 5.3% per *trial* invalidi). Infatti, osservando l'andamento dei gruppi dal blocco predittivo al non predittivo, emergono due pattern diversi. Nel gruppo ADHD vi è un aumento dell'IES per i *trial* validi (Pr(superiority) = 99%, overlapping = 4.6%) e una riduzione di IES per i *trial* invalidi (Pr(superiority) = 8%, overlapping = 19.3%); al contrario, il gruppo di controllo mostra un globale miglioramento della prestazione (IES ridotti) nei *trial* invalidi (Pr(superiority) = 0%, overlapping = 0.3%) mantenendo al contempo invariata o leggermente migliorata la prestazione ai validi (Pr(superiority) = 22%, overlapping = 0.3%; Figura 10; Figura 11).

Questi risultati suggeriscono che entrambi i gruppi modulano le loro prestazioni in base al contesto predittivo, ma nel blocco non predittivo il gruppo ADHD va globalmente peggio rispetto al gruppo di controllo. Questo potrebbe essere indicativo del fatto che il gruppo ADHD potrebbe incontrare

difficoltà nel controllo cognitivo proattivo, che richiede un maggiore sforzo cognitivo e una maggiore capacità di adattamento alle informazioni meno affidabili. Pertanto, una possibile interpretazione è che nel blocco non predittivo, dove le informazioni predittive sono meno affidabili, il gruppo ADHD potrebbe avere difficoltà a mantenere le soglie di attenzione al livello ottimale per ottenere prestazioni elevate. Potrebbero avere difficoltà a utilizzare il controllo proattivo in modo efficace per adattarsi alle sfide presentate da un ambiente meno affidabile, il che potrebbe contribuire al loro peggioramento delle prestazioni in questo contesto.

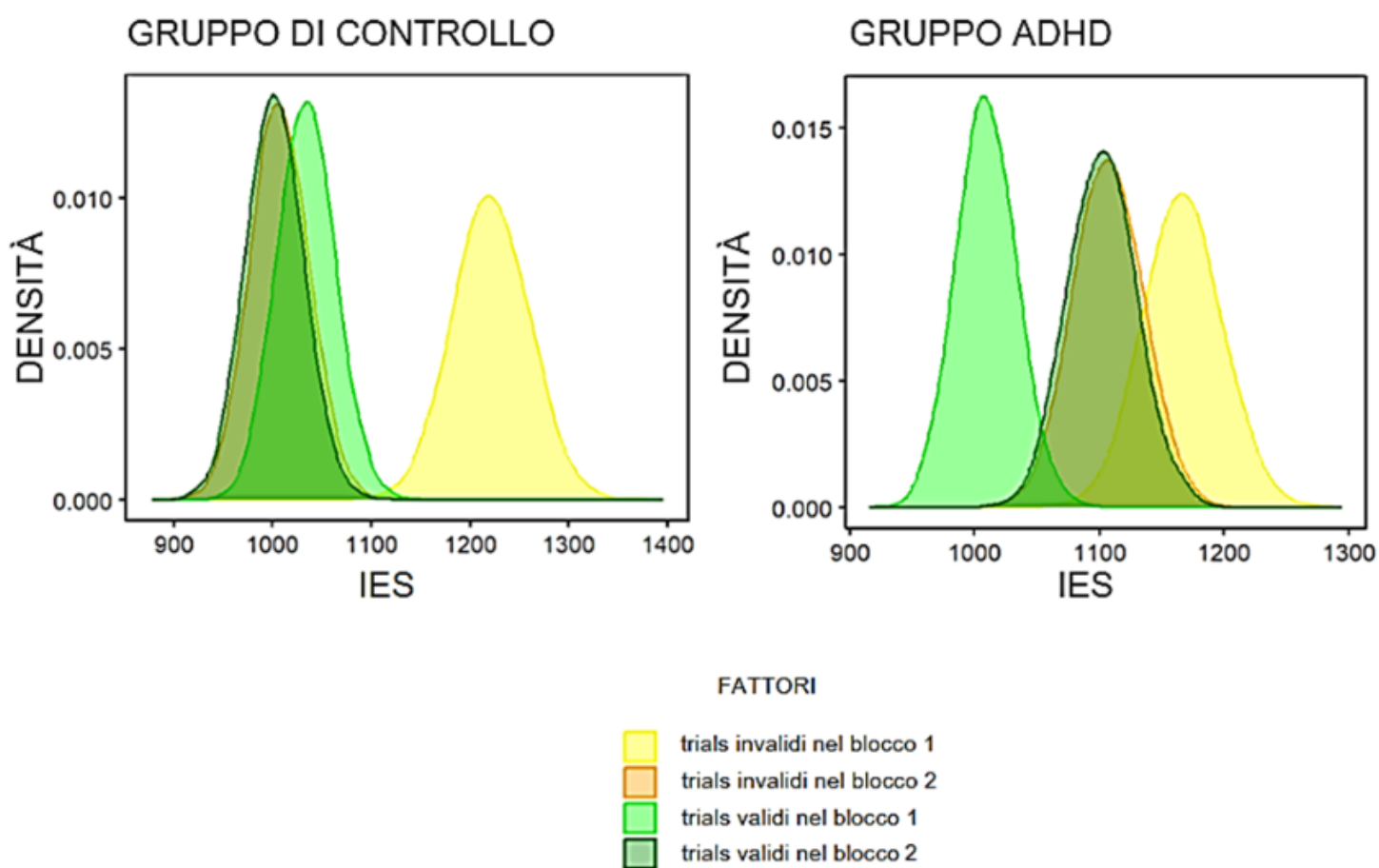


Figura 10: Il grafico rappresenta le probabilità a posteriori utilizzando delle curve di densità. Le curve "Verde Chiaro" rappresentano le probabilità a posteriori per il blocco 1 quando le prove sono "valide" (cioè congruenti). Le curve "Verde Scuro" rappresentano le probabilità a posteriori per il blocco 2 quando le prove sono "valide". Le curve "Giallo" rappresentano le probabilità a

posteriori per il blocco 1 quando le prove sono "invalide". Le curve "Arancione" rappresentano le probabilità a posteriori per il blocco 2 quando le prove sono "invalide". Sull'asse delle x, è presente l'Inverse Efficiency Score (IES), che misura l'efficienza delle prestazioni, mentre sull'asse delle y, si trova la densità, che indica quanto spesso si verificano determinate probabilità a posteriori.

	Coefficiente di regressione [intervallo di probabilità 100%]
Intercetta	7.06 [PI: 6.95, 7.17]
Invalidi blocco 2	-0.05 [PI: -0.13, 0.01]
Validi blocco 1	-0.14 [PI: -0.21, -0.08]
Validi blocco 2	-0.06 [PI: -0.14, 0.01]
Gruppo	0.05 [PI: -0.11, 0.20]
Età	-0.09 [PI: -0.15, -0.03]
Invalidi blocco 2 * Gruppo	-0.14 [PI: -0.24, -0.04]
Validi blocco 1 * Gruppo	-0.02 [PI: -0.16, 0.08]
Validi blocco 2 * Gruppo	-0.14 [PI: -0.24, -0.04]

Figura 11: Coefficienti di regressione e intervalli di probabilità

## 4.2 H2: inibizione

Per quanto riguarda l'inibizione, era previsto un aumento di accuratezza nell'inibizione nei trials NoGo durante il passaggio dal blocco predittivo al blocco non predittivo (H2a).

In accordo con l'ipotesi H2a, i risultati mostrano che c'è stato un miglioramento dell'accuratezza nei trials NoGo tra il primo e il secondo blocco nel gruppo di controllo (Gruppo di controllo: Pr (superiority) = 85%, overlapping = 30.9%; Figura 12).

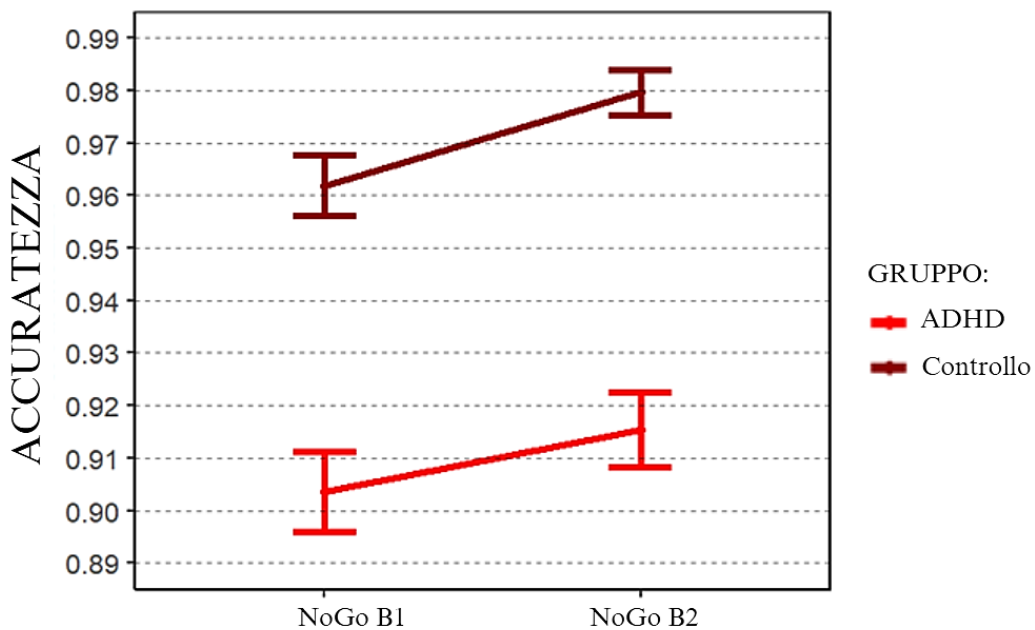


Figura 12: Grafico con dati reali del gruppo di controllo e del gruppo ADHD. Il grafico è strutturato con l'accuratezza, ovvero quanto precisamente ciascun gruppo ha risposto correttamente alle prove "NoGo" sul lato verticale, e le prove "NoGo" dei blocchi 1 e 2 sull'asse orizzontale. I dati relativi al gruppo ADHD sono rappresentati "Rosso Chiaro," mentre i dati relativi al gruppo di controllo sono rappresentati in "Rosso Scuro."

Questo suggerisce che il gruppo di controllo è stato in grado di adattarsi meglio alle richieste cognitive specifiche del blocco non predittivo, portando a un aumento dell'accuratezza nell'inibizione nei trials NoGo. Invece, nel gruppo ADHD, non è stato evidente un miglioramento significativo dell'accuratezza nei trial NoGo tra i due blocchi, nonostante il gruppo di controllo fosse generalmente



più accurato nei trial NoGo in entrambi i blocchi (Gruppo di controllo > ADHD: Pr (superiority) = 100%, overlapping = 0.7%; Figura 14).

Inoltre, riguardo all'H2b, i risultati supportano l'ipotesi poiché non è stato riscontrato un aumento significativo dell'accuratezza nell'inibizione tra il blocco predittivo e il blocco non predittivo nel gruppo ADHD. Questo indica che il gruppo sperimentale dei soggetti con ADHD non ha mostrato una modulazione significativa delle prestazioni di inibizione tra i due blocchi, in contrasto con il gruppo di controllo (Figura 13).

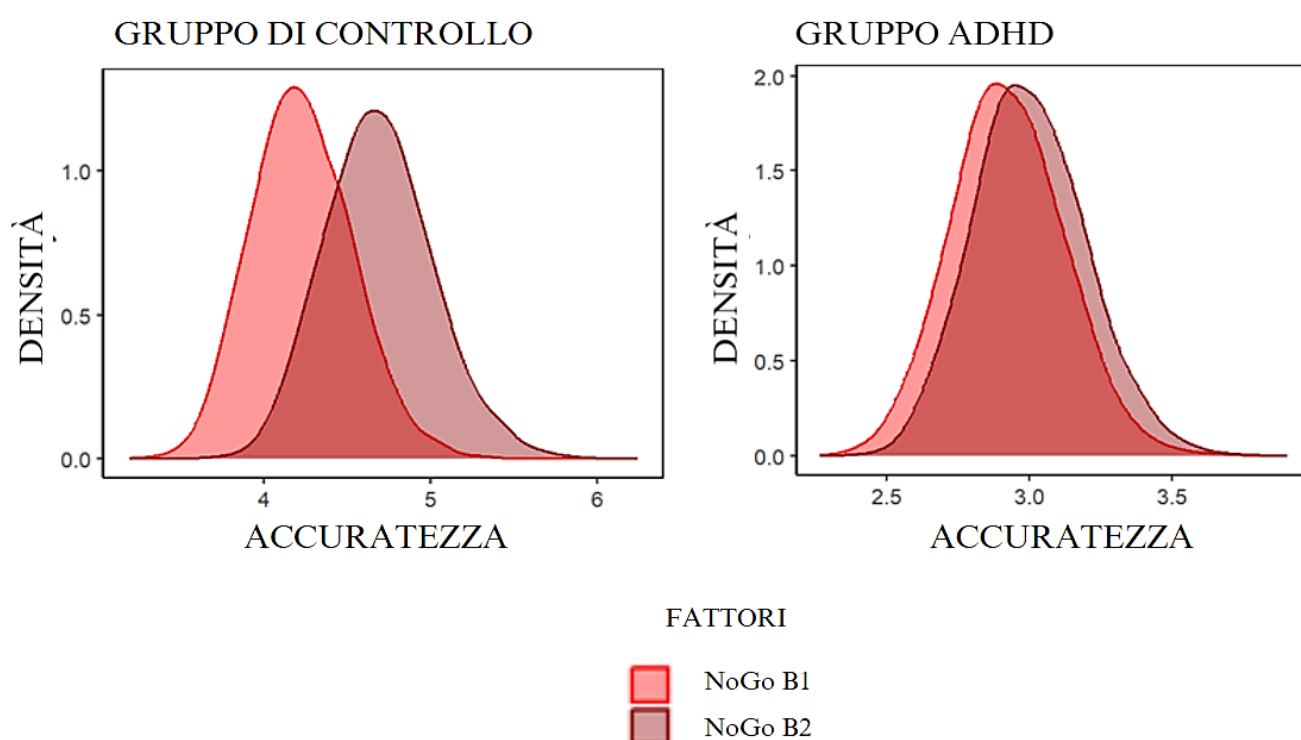


Figura 13: Questo grafico rappresenta le probabilità a posteriori, utilizzando una rappresentazione basata sulla densità. Le curve colorate si distinguono in base alle condizioni di prova. Le curve "Rosso Chiaro" rappresentano le prove "NoGo" nel blocco 1, mentre le curve "Rosso Scuro" indicano le prove "NoGo" nel blocco 2. Sull'asse delle x, troviamo l'accuratezza, che misura quanto precisamente i partecipanti hanno risposto correttamente alle prove "NoGo" nei due blocchi, mentre sull'asse delle y, abbiamo la densità, che indica come sono distribuite le prestazioni dei partecipanti per queste specifiche condizioni di prova.

	Coefficiente di regressione [intervallo di probabilità 100%]
Intercetta	2.92 [PI: 2.27, 3.75]
NoGo blocco 2	0.08 [PI: -0.79, 1.23]
Gruppo	1.30 [PI: 0.23, 2.62]
Età	0.07 [PI: -0.39, 0.49]
NoGo0 blocco 2 * Gruppo	0.38 [PI: -1.28, 1.91]

Figura 14: Coefficienti di regressione e intervalli di probabilità

## 5. DISCUSSIONE

Il presente elaborato si inserisce in un più ampio progetto di ricerca denominato CALM (sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico), che si propone di indagare il controllo cognitivo adattivo mediante task sperimentali appositamente ideati, in bambini a sviluppo tipico (TD) e in bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD). In questo specifico elaborato di ricerca ci si è limitati ad indagare come la capacità di adattare in maniera implicita l'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo varia in base alla predicibilità del contesto. Al fine di raggiungere tale scopo è stato somministrato un compito sperimentale, l'*ADDY* task (Toffoli et al., in prep.) a 221 bambini di età compresa tra i 7 e i 14 anni, suddivisi in due gruppi: il gruppo di controllo composto da 94 bambini a sviluppo tipico (TD), ed il gruppo sperimentale composto da 127 bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e Iperattività (ADHD).

L'*ADDY* task è stato creato per esaminare l'adattamento implicito dell'uso proattivo e reattivo del controllo cognitivo in risposta ai cambiamenti nella prevedibilità dell'ambiente circostante. Questo compito valuta come le persone regolano le proprie risposte cognitive in base alla prevedibilità del contesto. Esso comprende la valutazione della velocità di risposta e dell'accuratezza in contesti più o meno predittivi, dove un contesto altamente predittivo è considerato facilitante, mentre uno meno predittivo è considerato non facilitante. Il compito coinvolge anche la richiesta di inibire le risposte in alcune condizioni, mettendo alla prova la capacità dei partecipanti di controllare le loro risposte in base al contesto. Nella ricerca, è stata utilizzata una manipolazione dell'effetto LWPC (List-Wide Proportion Control), dove i partecipanti affrontano blocchi principalmente facilitanti o non facilitanti. In questo capitolo verranno discussi i risultati ottenuti nella presente ricerca e si cercherà di trarre delle conclusioni coerenti con il quadro teorico descritto nei primi due capitoli, definire eventuali limiti e implicazioni cliniche, e delineare le potenziali prospettive di ricerca future.

### **5.1 H1: effetto validità**

I risultati ottenuti da questo studio offrono un approfondimento significativo sulla comprensione del controllo cognitivo adattivo nell'ambito dell'ADHD, mettendo in evidenza interessanti differenze tra il gruppo di controllo e il gruppo di individui con ADHD.

In primo luogo, è importante notare che il controllo cognitivo adattivo è un processo cruciale che consente di adattare il comportamento alle esigenze del contesto attuale. Tuttavia, alcune ricerche precedenti hanno indicato che i soggetti con ADHD possono incontrare difficoltà nel tenere conto dell'ambiente e delle esperienze passate quando si confrontano con compiti impegnativi. L'attenzione selettiva, l'inibizione comportamentale e la flessibilità cognitiva sono spesso compromesse in questo disturbo, indicando una difficoltà nel modulare le risposte in base alle richieste dell'ambiente (Cai et al., 2023).

I risultati dello studio attuale supportano l'idea che il controllo cognitivo adattivo potrebbe essere compromesso nell'ADHD. Nel contesto dell'ADDY task, sia il gruppo ADHD che il gruppo di controllo hanno dimostrato di adattare le loro prestazioni in base al contesto predittivo, come previsto. Infatti, nel blocco predittivo, sia il gruppo ADHD che il gruppo di controllo hanno mostrato un effetto di validità con riduzioni dei tempi di risposta pesati per accuratezza (IES) nei trial validi rispetto a quelli invalidi, mentre nel blocco non predittivo nessuno dei gruppi ha mostrato un effetto di validità rilevante. Questo indica che entrambi i gruppi hanno adattato le loro prestazioni in modo sostanziale in funzione del contesto più o meno predittivo (in base alla validità dei *cue*). Questi risultati suggeriscono la presenza di controllo cognitivo adattivo, in cui i partecipanti sono in grado di modificare il loro comportamento in risposta a cambiamenti nelle condizioni dell'ambiente o del compito. Tuttavia, ci sono differenze notevoli tra i due gruppi nei blocchi predittivo e non predittivo. Nel blocco predittivo, il gruppo ADHD ha mostrato prestazioni leggermente migliori rispetto al gruppo di controllo nei trial validi, ma non nei trial invalidi. Nel blocco non predittivo, il gruppo di controllo ha presentato prestazioni nettamente superiori sia nei trial validi che in quelli invalidi rispetto al gruppo ADHD.

Questi risultati suggeriscono che entrambi i gruppi sono in grado di modulare le loro prestazioni in base al contesto predittivo, ma nel blocco non predittivo, il gruppo ADHD ha una performance globale inferiore rispetto al gruppo di controllo. Questo potrebbe indicare che il gruppo ADHD potrebbe avere difficoltà nel controllo cognitivo proattivo, specialmente quando le informazioni sono meno affidabili, ossia potrebbero avere difficoltà ad utilizzare efficacemente strategie proattive per adattarsi a un ambiente meno affidabile, il che potrebbe spiegare il loro peggioramento delle prestazioni in questo contesto.

## 5.2 H2: inibizione

I risultati di questo studio hanno inoltre esaminato l'ipotesi H2a, che prevedeva un miglior controllo inibitorio nei trials NoGo durante la transizione dal blocco predittivo a quello non predittivo. L'ipotesi H2a si basa sulla teoria del controllo cognitivo adattivo (Braver et al., 2012). Secondo questa teoria, quando le condizioni ambientali o del compito diventano meno affidabili o prevedibili, i partecipanti tendono a passare da una strategia di controllo proattiva a una più reattiva. Inoltre, l'ipotesi H2b suggeriva che tale aumento sarebbe stato significativo nel gruppo di controllo ma non nel gruppo ADHD. In linea con l'ipotesi H2a, i risultati hanno rivelato un miglioramento significativo dell'accuratezza nei trials NoGo nel gruppo di controllo durante il passaggio dal blocco predittivo a quello non predittivo. Questo suggerisce che il gruppo di controllo è stato in grado di adattarsi in modo efficace alle richieste cognitive specifiche del blocco non predittivo, risultando in un aumento dell'accuratezza nell'inibizione nei trials NoGo. Questo adattamento potrebbe indicare una maggiore capacità del gruppo di controllo di regolare il proprio comportamento in risposta a segnali di inibizione in un contesto di incertezza. Tuttavia, nel gruppo ADHD, non è emerso un miglioramento significativo nell'accuratezza dei trials NoGo tra i due blocchi. Questi risultati indicano che il gruppo ADHD potrebbe avere difficoltà nell'adattare le prestazioni di inibizione alle richieste implicite contestuali, in particolare quando le informazioni predittive sono meno affidabili. Questo modello di risultati suggerisce che il gruppo ADHD potrebbe avere difficoltà nell'adattare il proprio comportamento inibitorio alle variazioni delle richieste cognitive nel modo in cui il gruppo di controllo è in grado di farlo (Cai et al., 2023). Queste differenze possono avere implicazioni significative per la comprensione delle difficoltà cognitive associate all'ADHD e suggeriscono la necessità di ulteriori ricerche per indagare più approfonditamente questi meccanismi di adattamento cognitivo nei pazienti con ADHD.

### **5.3 Implicazioni in ambito sperimentale e clinico, limiti e prospettive di ricerca future**

Questo studio riveste notevole importanza sia dal punto di vista sperimentale che clinico rispetto ad una migliore comprensione del controllo cognitivo adattivo nell'ADHD, sottolineando l'importanza di considerare il contesto predittivo nella ricerca futura sull'ADHD. Infatti, nel presente elaborato è emerso che i bambini con ADHD hanno difficoltà a passare da una strategia di controllo cognitivo reattiva a una proattiva, soprattutto quando devono gestire un altro compito, come l'inibizione.

Questo può avere implicazioni significative per il loro funzionamento quotidiano. Sul fronte clinico, questi risultati suggeriscono che i trattamenti per l'ADHD dovrebbero considerare attentamente le sfide cognitive specifiche affrontate dai pazienti. Il controllo cognitivo proattivo potrebbe essere un obiettivo importante per gli interventi terapeutici, con un focus sulla formazione di strategie che aiutino gli individui con ADHD ad adattarsi meglio a situazioni di incertezza e ad informazioni meno affidabili. La personalizzazione dei trattamenti sulla base della capacità individuale di controllo cognitivo adattivo potrebbe consentire la messa a punto di trattamenti più mirati ed efficaci. Tuttavia, è fondamentale riconoscere che questo studio presenta alcune limitazioni, tra cui la specificità del compito utilizzato. Futuri studi potrebbero affrontare queste limitazioni studiando il controllo cognitivo adattivo e utilizzando compiti che misurano diversi processi cognitivi per ottenere una comprensione più completa delle sfide cognitive associate all'ADHD. Inoltre, la ricerca futura potrebbe esplorare i correlati neurali di queste difficoltà cognitive attraverso l'utilizzo di tecniche di neuroimaging per contribuire allo sviluppo di approcci di trattamento più mirati. In conclusione, il progetto di ricerca CALM, di cui questo studio fa parte, rappresenta un importante punto di partenza nell'analisi del controllo cognitivo adattivo nel contesto del Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD). Questo lavoro di ricerca rappresenta il primo studio multicentrico sull'ADHD condotto in un contesto italiano che si concentra sul controllo cognitivo adattivo. I risultati di questo studio potrebbero avere un significativo impatto sulla pratica clinica.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Abrahamse, E., Braem, S., Notebaert, W., & Verguts, T. (2016). Grounding cognitive control in associative learning. *Psychological Bulletin*, 142(7), 693–728. <https://doi.org/10.1037/bul0000047>
- American Psychiatric Association, & American Psychiatric Association (Eds.). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5 (5th ed)*. American Psychiatric Association.
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71–82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Anderson, P. J., & Reidy, N. (2012). Assessing Executive Function in Preschoolers. *Neuropsychology Review*, 22(4), 345–360. <https://doi.org/10.1007/s11065-012-9220-3>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136–R140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and Operationalization of Executive Function. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 10–33. <https://doi.org/10.1111/mbe.12110>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>

- Barkley, R. A. (2011). The Important Role of Executive Functioning and Self-Regulation in ADHD. *J Child Neuropsychol*, 113, 41-56.
- Bedard, A.-C.; Ickowicz, A.; Logan, G.D.; Hogg-Johnson, S.; Schachar, R.; Tannock, R. Selective Inhibition in Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder off and on Stimulant Medication. *J. Abnorm. Child Psychol.* 2003, 31, 315–327, [doi:10.1023/a:1023285614844](https://doi.org/10.1023/a:1023285614844).
- Ben-Shachar et al., (2020). effectsize: Estimation of Effect Size Indices and Standardized Parameters. *Journal of Open Source Software*, 5(56), 2815, <https://doi.org/10.21105/joss.02815>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641-1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x> DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499>
- Bisiacchi; M., Cendron; Gugliotta, Maria; P. E., Tressoldi; C., Vio. - 1:(2005), pp. 1-324. BVN 5-11  
Batteria di valutazione neuropsicologica per l'età evolutiva
- Bluschke, A., Chmielewski, W. X., Roessner, V., & Beste, C. (2020). Intact Context-Dependent Modulation of Conflict Monitoring in Childhood ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 24(11), 1503–1510. <https://doi.org/10.1177/1087054716643388>
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624–652. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.3.624>
- Braem, S., Bugg, J. M., Schmidt, J. R., Crump, M. J. C., Weissman, D. H., Notebaert, W., & Egner, T. (2019). Measuring Adaptive Control in Conflict Tasks. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(9), 769–783. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.07.002>



- Braem, S., & Egner, T. (2018). Getting a Grip on Cognitive Flexibility. *Current Directions in Psychological Science*, 27(6), 470–476. <https://doi.org/10.1177/0963721418787475>
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Brown NM, Brown SN, Briggs RD, Germán M, Belamarich PF, Oyeku SO. Associations Between Adverse Childhood Experiences and ADHD Diagnosis and Severity. *Acad Pediatr*. 2017 May-Jun;17(4):349-355. doi: 10.1016/j.acap.2016.08.013. PMID: 28477799.
- Bugg, J. M., & Crump, M. J. C. (2012). In Support of a Distinction between Voluntary and Stimulus Driven Control: A Review of the Literature on Proportion Congruent Effects. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00367>
- Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in executive function research. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 81–116). Psychology Press.
- Bürkner, P.-C. (2017). brms: An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan. *Journal of Statistical Software*, 80(1), 1–28. <https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01>
- Cai, W., Warren, S. L., Duberg, K., Yu, A., Hinshaw, S. P., & Menon, V. (2023). Both reactive and proactive control are deficient in children with ADHD and predictive of clinical symptoms. *Translational Psychiatry*, 13(1), 179. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02471-w>
- Chan RC, Shum D, Touloupoulou T, Chen EY. Assessment of executive functions: review of instruments and identification of critical issues. *Arch Clin Neuropsychol*. 2008 Mar;23(2):201-16. doi: 10.1016/j.acn.2007.08.010. Epub 2007 Dec 21. PMID: 18096360.
- Chiu, Y.-C., & Egner, T. (2019). Cortical and subcortical contributions to context-control learning.

Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 99, 33–41.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.01.019>

Cowan N. What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Prog Brain Res.* 2008;169:323-38. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00020-9. PMID: 18394484; PMCID: PMC2657600.

Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of response inhibition in mid-childhood. *Developmental Science*, 11(6), 819–827. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00730.x>

D’Souza, D., Booth, R., Connolly, M., Happé, F., & Karmiloff-Smith, A. (2016). Rethinking the concepts of ‘local or global processors’: Evidence from Williams syndrome, Down syndrome, and Autism Spectrum Disorders. *Developmental Science*, 19(3), 452–468. <https://doi.org/10.1111/desc.12312>

Del Popolo Cristaldi, F., Toffoli, L., Duma, G. M., & Mento, G. (2023). Little fast, little slow, should I stay or should I go? Adapting cognitive control to local-global temporal prediction across typical development. *PLOS ONE*, 18(2), e0281417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281417>

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Diamond, A. (2020). Executive functions. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 173, pp. 225–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4>

Domuta, A., & Pentek, I. (2003). Implicit Learning in ADHD Preschool Children. Poster presented

at the 12th Annual CHADD International Conference, Chicago, IL.

Durston S, Davidson MC, Tottenham N, Galvan A, Spicer J, Fossella JA, Casey BJ. A shift from diffuse to focal cortical activity with development. *Dev Sci*. 2006 Jan;9(1):1-8. doi: 10.1111/j.1467-7687.2005.00454.x. PMID: 16445387.

Elke, S., & Wiebe, S. A. (2017). Proactive control in early and middle childhood: An ERP study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 26, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.04.005>

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>

Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 72–89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>

Fuster, J.M. (2015). *The Prefrontal Cortex*, Fifth Edition (Elsevier).

Gandolfi SA, Lim J, Sanseau AC, Parra Restrepo JC, Hamacher T. Randomized trial of brinzolamide/brimonidine versus brinzolamide plus brimonidine for open-angle glaucoma or ocular hypertension. *Adv Ther*. 2014 Dec;31(12):1213-27. doi: 10.1007/s12325-014-0168-y. Epub 2014 Nov 28. PMID: 25430900; PMCID: PMC4271137.

Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20(2), 226–241. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.02.012>

- Gathercole SE, Pickering SJ, Ambridge B, Wearing H. The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol.* 2004 Mar;40(2):177-90. doi: 10.1037/0012-1649.40.2.177. PMID: 14979759.
- Gonthier, C., & Blaye, A. (2021). Preschoolers are capable of fine-grained implicit cognitive control: Evidence from development of the context-specific proportion congruency effect. *Journal of Experimental Child Psychology*, 210, 105211. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105211>
- Gonthier, C., Zira, M., Colé, P., & Blaye, A. (2019). Evidencing the developmental shift from reactive to proactive control in early childhood and its relationship to working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 177, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.07.001>
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404–411. <https://doi.org/10.1037/h0059831>
- Gurney, K., Hussain, A., Chambers, J., & Abdullah, R. (2009). Controlled and Automatic Processing in Animals and Machines with Application to Autonomous Vehicle Control. In C. Alippi, M. Polycarpou, C. Panayiotou, & G. Ellinas (Eds.), *Artificial Neural Networks – ICANN 2009* (Vol. 5768, pp. 198–207). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04274-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04274-4_21)
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Alloway, T. P., Elliott, J. G., & Hilton, K. A. (2010). The diagnostic utility of executive function assessments in the identification of ADHD in Children. *Child and Adolescent Mental Health*, 15(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3588.2009.00536.x>
- Hughes, C. (2002). Executive functions and development: Emerging themes. *Infant and Child*

Development, 11(2), 201–209. <https://doi.org/10.1002/icd.297>

Iani, C., Stella, G., & Rubichi, S. (2014). Response inhibition and adaptations to response conflict in 6- to 8-year-old children: Evidence from the Simon effect. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(4), 1234–1241. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0656-9>

Jacoby, L.L., Shimizu, Y., Daniels, K.A. et al. Modes of cognitive control in recognition and source memory: Depth of retrieval. *Psychonomic Bulletin & Review* 12, 852–857 (2005). <https://doi.org/10.3758/BF03196776>

Jacobsen, C. F. (1936). Studies of cerebral function in primates. I. The functions of the frontal association areas in monkeys. *Comparative Psychology Monographs*, 13, 3, 1–60.

Kieling, R., & Rohde, L. A. (2012). ADHD in Children and Adults: Diagnosis and Prognosis. In C. Stanford & R. Tannock (Eds.), *Behavioral Neuroscience of Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Its Treatment* (Vol. 9, pp. 1–16). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/7854\\_2010\\_115](https://doi.org/10.1007/7854_2010_115)

Konrad, K., Neufang, S., Hanisch, C., Fink, G. R., & Herpertz-Dahlmann, B. (2006). Dysfunctional attentional networks in children with attention deficit/hyperactivity disorder: Evidence from an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry*, 59(7), 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.08.013>

Kray, L. J., Reb, J., Galinsky, A. D., & Thompson, L. (2004). Stereotype reactance at the bargaining table: The effect of stereotype activation and power on claiming and creating value. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 30(4), 399-411.

Krawczyk DC. Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making.

Neurosci Biobehav Rev. 2002 Oct;26(6):631-64. doi: 10.1016/s0149-7634(02)00021-0.  
PMID: 12479840.

Lee K, Bull R, Ho RM. Developmental changes in executive functioning. Child Dev. 2013 Nov  
Dec;84(6):1933-53. doi: 10.1111/cdev.12096. Epub 2013 Apr 1. PMID: 23550969.

Lezak, M. (1983). Neuropsychological Assessment. New York: Oxford Univ. Press

Luria, A. R. (2012). Higher cortical functions in man. Springer Science & Business Media.

Marzinzik, F., Wahl, M., Krüger, D., Gentschow, L., Colla, M., & Klostermann, F. (2012). Abnormal  
Distracter Processing in Adults with Attention-Deficit-Hyperactivity Disorder. PLoS ONE,  
7(3), e33691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033691>

Marzocchi, G. M., Re, A. M., & Cornoldi, C. (2010). BIA: Batteria italiana per l'ADHD : per la  
valutazione dei bambini con deficit ... Erickson.

Marzocchi, G. M., & Valagussa, S. (2011). Le funzioni esecutive in età evolutiva: Modelli  
neuropsicologici, strumenti diagnostici, interventi riabilitativi. Angeli.

Meuwissen, A. S., & Zelazo, P. (2014). Hot and Cool Executive Function: Foundations for  
Learning and Healthy Development. Zero to Three.  
[https://www.semanticscholar.org/paper/Hot-and-Cool-Executive-Function%3A-  
Foundations-for-Meuwissen-Zelazo/769604569fbeb374cb8fc5dd03c0696008854df](https://www.semanticscholar.org/paper/Hot-and-Cool-Executive-Function%3A-Foundations-for-Meuwissen-Zelazo/769604569fbeb374cb8fc5dd03c0696008854df)

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, 74 41(1), 49–100.  
<https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

- 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>
- Moffitt TE, Arseneault L, Belsky D, Dickson N, Hancox RJ, Harrington H, Houts R, Poulton R, Roberts BW, Ross S, Sears MR, Thomson WM, Caspi A. 2011. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *PNAS* 108:2693–2698. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108> PMID: 21262822
- Moriguchi Y, Hiraki K. Neural origin of cognitive shifting in young children. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009 Apr 7;106(14):6017-21. doi: 10.1073/pnas.0809747106. Epub 2009 Mar 30. PMID: 19332783; PMCID: PMC2667026.
- Morra, S., et al. (2008). *Cognitive development: Neo-Piagetian perspectives*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Niebaum, J. C., Chevalier, N., & Munakata, Y. (2021, April 6). Adaptive Control Across Development: Proactive and Reactive Control Demand Preferences. Retrieved from [osf.io/ung52](https://osf.io/ung52)
- Nigg, J. T., & Casey, B. J. (2005). An integrative theory of attention-deficit/ hyperactivity disorder based on the cognitive and affective neurosciences. *Development and Psychopathology*, 17(03). <https://doi.org/10.1017/S0954579405050376>
- Parks, K. M. A., & Stevenson, R. A. (2018). Auditory and visual statistical learning are not related to

- ADHD symptomatology: Evidence From a research domain criteria (RDoC) approach. *Frontiers in Psychology*, 9(DEC). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02502>
- Pastore, (2018). Overlapping: a R package for Estimating Overlapping in Empirical Distributions. *Journal of Open Source Software*, 3(32), 1023, <https://doi.org/10.21105/joss.01023>
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 37(1), 51–87. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1996.tb01380.x>
- Quay, H.C. Inhibition and Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *J Abnorm Child Psychol* 25, 7 13 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1025799122529>
- Qualtrics. (2019). Qualtrics software [software]. Utah: Provo.
- Raven, J. C., & Court, J. H. (1938). Raven’s progressive matrices. Western Psychological Services Los Angeles.
- Roberts, R. J., Hager, L. D., & Heron, C. (1994). Prefrontal cognitive processes: Working memory and inhibition in the antisaccade task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 374–393. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.4.374>
- Rubia, K. (2011). “Cool” Inferior Frontostriatal Dysfunction in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Versus “Hot” Ventromedial Orbitofrontal-Limbic Dysfunction in Conduct Disorder: A Review. *Biological Psychiatry*, 69(12), e69–e87. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.09.023>
- Ruffini, C., Marzocchi, G. M., & Pecini, C. (2021). Preschool Executive Functioning and Child



Behavior: Association with Learning Prerequisites? *Children*, 8(11), 964.  
<https://doi.org/10.3390/children8110964>

Schapiro AC, Turk-Browne NB, Norman KA, Botvinick MM. Statistical learning of temporal community structure in the hippocampus. *Hippocampus*. 2016 Jan;26(1):3-8. doi: 10.1002/hipo.22523. Epub 2015 Oct 13. PMID: 26332666; PMCID: PMC4715493.

Sergeant, J. (2000). The cognitive-energetic model: An empirical approach to Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(1), 7–12.  
[https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(99\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(99)00060-3)

Sergeant, J. A., Oosterlaan, J., & van der Meere, J. (1999). Information Processing and Energetic Factors in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. In H. C. Quay & A. E. Hogan (Eds.), *Handbook of Disruptive Behavior Disorders* (pp. 75–104). Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4881-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4881-2_4)

Somsen, R. J. M. (2007). The development of attention regulation in the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Science*, 10(5), 664–680. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00613>

Sonuga-Barke, E. J. S. (2005). Causal Models of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: From Common Simple Deficits to Multiple Developmental Pathways. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1231–1238. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.09.008>

Sonuga-Barke, E. J. S. (2003). The dual pathway model of AD/HD: An elaboration of neuro developmental characteristics. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27(7), 593–604.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2003.08.005>

- Sonuga-Barke, E. J. S., & Coghill, D. (2014). Editorial Perspective: Laying the foundations for next generation models of ADHD neuropsychology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(11), 1215–1217. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12341>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Suarez-Manzano S, Ruiz-Ariza A, De La Torre-Cruz M, Martínez-López EJ. Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in young people with ADHD: A systematic review of intervention studies. *Res Dev Disabil*. 2018 Jun;77:12-23. doi: 10.1016/j.ridd.2018.03.015. Epub 2018 Apr 4. PMID: 29625261.
- Suchy Y. Executive functioning: overview, assessment, and research issues for non neuropsychologists. *Ann Behav Med*. 2009 Apr;37(2):106-16. doi: 10.1007/s12160-009-9097-4. Epub 2009 May 20. PMID: 19455377.
- Thunström, M. (2002). Severe sleep problems in infancy associated with subsequent development of attention-deficit/hyperactivity disorder at 5.5 years of age. *Acta paediatrica*, 91(5), 584–592. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2002.tb03281.x>
- Uddin, L.Q. Cognitive and behavioural flexibility: neural mechanisms and clinical considerations. *Nat Rev Neurosci* 22, 167–179 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00428-w>
- Urgesi, C., Campanella, F., & Fabbro, F. (2011). *NEPSY-2: contributo alla taratura italiana*. Firenze: Giunti.
- Valera EM, Faraone SV, Murray KE, Seidman LJ. Meta-analysis of structural imaging findings in

attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry*. 2007 Jun 15;61(12):1361-9. doi: 10.1016/j.biopsych.2006.06.011. Epub 2006 Sep 1. PMID: 16950217.

Valeri, G., & Stievano, P. (2007). Neuropsicologia dello sviluppo e funzioni esecutive Developmental neuropsychology and executive functions. *Giornale di Neuropsichiatria dell'Età Evolutiva*, 27, 195-204.

van Hulst BM, de Zeeuw P, Bos DJ, Rijks Y, Neggers SF, Durston S. Children with ADHD symptoms show decreased activity in ventral striatum during the anticipation of reward, irrespective of ADHD diagnosis. *J Child Psychol Psychiatry*. 2017 Feb;58(2):206-214. doi: 10.1111/jcpp.12643. Epub 2016 Sep 28. PMID: 27678006.

Vehtari A, Gabry J, Magnusson M, Yao Y, Bürkner P, Paananen T. Loo: efficient leave-one-out cross-validation and WAIC for Bayesian models. 2.5.1 ed2022R Package. 2023 <https://cran.r-project.org/web/packages/loo/loo.pdf> [Ref list]

Vehtari, A., Gelman, A., Simpson, D., Carpenter, B., and Bürkner, P.-C. (2020). “Rank Normalization, Folding, and Localization: An Improved R for Assessing Convergence of MCMC. Supplementary Material.” *Bayesian Analysis*.

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: Associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(4), 649–672. <https://doi.org/10.1037/a0013170>

Vicari, S., & Caselli, M.C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva. Prospettive teoriche e cliniche*. Bologna: Il Mulino.

Wechsler, D. (2003). *WISC-IV technical and interpretive manual*. San Antonio, TX: Psychological

## Corporation

- Wiebe SA, Sheffield T, Nelson JM, Clark CA, Chevalier N, Espy KA. The structure of executive function in 3-year-olds. *J Exp Child Psychol.* 2011 Mar;108(3):436-52. doi: 10.1016/j.jecp.2010.08.008. Epub 2010 Sep 29. PMID: 20884004; PMCID: PMC3033982.
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analysis review. *Biol Psychiatry*, 57(11), 1336-1346. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>
- Willoughby T, Adachi PJ, Good M. A longitudinal study of the association between violent video game play and aggression among adolescents. *Dev Psychol.* 2012 Jul;48(4):1044-57. doi: 10.1037/a0026046. Epub 2011 Oct 31. PMID: 22040315.
- Wu GD, Chen J, Hoffmann C, Bittinger K, Chen YY, Keilbaugh SA, Bewtra M, Knights D, Walters WA, Knight R, Sinha R, Gilroy E, Gupta K, Baldassano R, Nessel L, Li H, Bushman FD, Lewis JD. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science.* 2011 Oct 7;334(6052):105-8. doi: 10.1126/science.1208344. Epub 2011 Sep 1. PMID: 21885731; PMCID: PMC3368382.
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x>
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive Function in Typical and Atypical Development. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (pp. 445–469). Blackwell Publishers Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470996652.ch20>

## 7. RINGRAZIAMENTI

Desidero dedicare questo spazio finale per esprimere la mia gratitudine a tutte le persone che hanno contribuito al mio percorso di crescita universitaria e professionale.

Innanzitutto, vorrei rivolgere un caloroso ringraziamento al Professor Giovanni Mento, il quale è stato il mentore e referente di questo entusiasmante progetto di ricerca CALM. La sua professionalità e passione verso la ricerca sono insegnamenti di grande valore per il mio futuro accademico e professionale.

Un sentito ringraziamento va anche alla Dottoressa Lisa Toffoli, che mi ha seguito con scrupolo e dedizione lungo l'intero percorso di raccolta dati e nella stesura di questa tesi. Il suo supporto è stato determinante per il successo di questo lavoro di ricerca, e non solo.

Desidero esprimere la mia gratitudine anche all'IRCCS "E. Medea – La Nostra Famiglia" di Vicenza che mi ha permesso di svolgere un tirocinio ricco di opportunità stimolanti e di acquisire conoscenze formative preziose. Inoltre, un doveroso ringraziamento va alla Dottoressa Fiorenza Rigoni che mi ha accolta e supportata con dolcezza e professionalità ponendo fiducia in me.

Un immenso grazie va a tutti i bambini e le loro famiglie che hanno partecipato con entusiasmo al nostro studio di ricerca. Senza la loro preziosa collaborazione questo progetto non sarebbe stato possibile.

Infine, vorrei estendere la mia riconoscenza a tutti coloro che hanno condiviso con me idee, consigli e sostegno in questo viaggio accademico padovano e belga.