



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

L'Impatto della Volatilità Ambientale sull'apprendimento associativo nell'ADHD: Un'Analisi tra ADHD e Siblings

The Impact of Environmental Volatility on Associative Learning in ADHD: An ADHD and Siblings Analysis

Relatore

Prof. Giovanni Mento

Correlatrice

Dott.ssa Giulia Stefanelli

Laureanda

Giorgia Castagnoli

Matricola 2091697

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

ABSTRACT	6
CAPITOLO 1 - ADHD E POPOLAZIONI A RISCHIO: I SIBLINGS	8
1.1 ADHD: definizione, criteri diagnostici e manifestazioni cliniche	8
1.2 Aspetti evolutivi dell'ADHD	9
1.3 Modelli interpretativi dell'ADHD	11
1.3.1 Modelli cognitivi e neuropsicologici	11
1.3.2 Modelli basati su <i>deficit</i> motivazionali	14
1.4 ADHD e vulnerabilità: il caso dei Siblings	15
1.4.1 Vulnerabilità genetica e rischio dei siblings nell'ADHD	18
1.4.2 FE nei fratelli di individui con disturbo del neurosviluppo	20
CAPITOLO 2 - APPRENDIMENTO ASSOCIATIVO IMPLICITO e VOLATILITÀ AMBIENTALE	23
2.1 L'Apprendimento Implicito	23
2.2 Compiti classici di Apprendimento Implicito: AGL, SRT, e DSC	25
2.3 Apprendimento Associativo Implicito	27
2.4 Il costrutto della Volatilità Ambientale	30
CAPITOLO 3 - LA RICERCA	33
3.1 Obiettivi	33
3.2 Metodo	33
3.2.1 Partecipanti	33
3.2.2 Conformità etica	35
3.2.3 Procedura sperimentale	35
3.3 Materiali	37
3.3.1 Presentazione del Mario TASK	37
3.3.2 Il Mario TASK	38

3.3.3	Le prove neuropsicologiche	43
3.4	Ipotesi sperimentali	47
3.4.1	Ipotesi 1: H1	47
3.4.2	Ipotesi 2: H2	47
3.5	Analisi dei dati	47
CAPITOLO 4 - RISULTATI		49
4.1	Tempi di reazione	49
4.2	Accuratezza	51
CAPITOLO 5 - DISCUSSIONE		53
5.1	Andamento dei Tempi di Reazione : quali differenze tra ADHD, Siblings e Controlli?	54
5.2	L'Accuratezza nei Processi di Apprendimento Implicito: Differenze di Gruppo e Andamento Prestazionale nei Bambini con ADHD, Siblings e Controlli	56
5.3	Implicazioni in ambito sperimentale e clinico, limiti e prospettive di ricerca future	60
BIBLIOGRAFIA		61
RINGRAZIAMENTI		75

ABSTRACT

L'apprendimento associativo è un processo cognitivo chiave che consente agli individui di riconoscere la regolarità nell'ambiente e di adattare il proprio comportamento in risposta a stimoli variabili. In condizioni di volatilità ambientale, dove le associazioni tra azioni e risultati possono cambiare rapidamente, la capacità di apprendere e adattare è cruciale per affrontare l'incertezza. I bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) possono mostrare difficoltà in questo tipo di apprendimento, esibendo una ridotta flessibilità cognitiva e difficoltà nell'adattamento a contesti mutevoli.

Il presente elaborato si inserisce nel progetto di ricerca CALM (sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico), il cui obiettivo è esplorare il controllo cognitivo adattivo in bambini a sviluppo tipico (TD) e con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) attraverso task sperimentali appositamente progettati. Nella seconda fase del progetto, CALM 2, si è cercato di indagare come la capacità di apprendimento implicito delle regolarità statistiche ambientali nei bambini possa essere influenzata dalla volatilità e dal livello di prevedibilità ambientale (Lawson et al., 2017). In questo elaborato, si è scelto di concentrarsi su come la volatilità ambientale influenza l'apprendimento associativo implicito nei bambini con ADHD, confrontandoli con i loro fratelli (Siblings) con sviluppo tipico e con un gruppo di controllo.

Per questo studio è stato utilizzato il compito MARIO TASK (Stefanelli et al., in prep.), somministrato tramite il software OpenSesame (Mathôt et al., 2012) a un campione iniziale di 124 bambini di età compresa tra i 4 e 14 anni. I dati analizzati riguardano un sottogruppo di 21 bambini (7 per ciascun gruppo: ADHD, fratelli e controlli) attentamente matchati per età. Le analisi dei tempi di reazione (RT) hanno evidenziato un effetto principale significativo per il fattore blocco, suggerendo un rallentamento progressivo nel corso del compito attribuibile a un fenomeno di affaticamento mentale (van der Linden, Frese & Meijman, 2003; Boksem, Meijman & Lorist, 2005). I bambini con ADHD hanno mostrato tempi di reazione più elevati nei blocchi caratterizzati da un ambiente non predittivo (P=50%), confermando la vulnerabilità circa l'affaticamento mentale, una scarsa capacità di apprendimento associativo e l'impatto della difficoltà nel mantenere un livello ottimale di attenzione in ambienti non predittivi o predittivi

variabili (Sikström & Söderlund, 2007). Tuttavia, non sono emerse differenze significative tra i gruppi rispetto alla variabile RT, con tutti i bambini che hanno mostrato un andamento simile, contrariamente alle ipotesi teoriche (Barkley, 1997; Karalunas et al., 2014).

Per quanto riguarda l'accuratezza, un indice dell'apprendimento implicito, ci si aspettava che i bambini con ADHD mostrassero prestazioni inferiori rispetto ai controlli e ai fratelli a causa delle loro difficoltà attentive (Snodgrass & Corwin, 1988; Lawson et al., 2014). I risultati, tuttavia, sono stati parzialmente in linea con le aspettative: il gruppo di controllo mostra un'accuratezza inizialmente in linea con le aspettative, ma si assiste ad un crollo di questa nei blocchi finali, dato che suggerisce un decadimento dovuto a motivazione o affaticamento. I bambini con ADHD hanno mostrato un andamento lontano dal modello di apprendimento sottostante nel compito; con un picco di accuratezza nei primi blocchi, forse indicativo di una strategia compensativa iniziale per superare le proprie difficoltà attento, ma che non è stato sostenibile nel lungo termine (Barkley, 1997; Karalunas et al., 2014).

Con l'obbiettivo di andare oltre ai limiti di questo studio, le future ricerche potrebbero approfondire come fattori come affaticamento, saturazione cognitiva e ripetitività influenzano le prestazioni in compiti prolungati, esplorando inoltre le differenze individuali nel funzionamento cognitivo di bambini con ADHD per sviluppare interventi mirati (Boksem, Meijman & Lorist, 2005).

CAPITOLO 1

ADHD E POPOLAZIONI A RISCHIO: I SIBLINGS

1.1 ADHD: definizione, criteri diagnostici e manifestazioni cliniche

Il Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) è una condizione del neurosviluppo caratterizzata da sintomi pervasivi e persistenti di disattenzione, iperattività o impulsività (Kieling & Rhode, 2012; American Psychiatric Association, 2013; Duffy et al., 2021; Marzocchi et al., 2022). L'epidemiologia del disturbo mostra una prevalenza globale del 5,29% nei bambini e adolescenti sotto i 18 anni (Polanczyk et al., 2007), e del 2,5% negli adulti (Simon et al., 2009). Il disturbo è diagnosticato più frequentemente nei maschi, con un rapporto maschi-femmine che varia da 3:1 a 9:1 (Polanczyk & Rohde, 2007; Marzocchi & Valagussa, 2011). Questa maggiore prevalenza nei maschi potrebbe essere attribuita ad una predisposizione biologica più elevata o all'espressione di geni differenti per l'ADHD tra i due sessi. Ciò potrebbe anche essere dovuto al fatto che i maschi tendono a manifestare il disturbo più spesso attraverso comportamenti esternalizzanti come oppositività e iperattività, rendendo l'ADHD più facilmente riconoscibile e diagnosticabile in questi soggetti (Kieling & Rohde, 2012).

L'ADHD può presentarsi in tre diverse manifestazioni cliniche, a seconda del pattern sintomatologico prevalente (American Psychiatric Association, 2013):

- **Manifestazione combinata (ADHD-C):** caratterizzata dalla presenza di sintomi sia di disattenzione che di iperattività/impulsività.
- **Manifestazione con disattenzione predominante (ADHD-I):** quando sono presenti principalmente deficit attentivi.
- **Manifestazione con iperattività/impulsività predominanti (ADHD-H):** nel caso in cui è soddisfatto soltanto il criterio dei sintomi di iperattività e di impulsività.

I sintomi di disattenzione emergono principalmente quando i soggetti con ADHD devono affrontare compiti noiosi e ripetitivi, soprattutto se questi non suscitano un interesse intrinseco (Kieling & Rhode, 2012). Inoltre, le difficoltà di attenzione tendono ad aumentare durante

attività che superano le capacità cognitive del soggetto; ad esempio attività che richiedono una rapida velocità di elaborazione o elevate capacità di memoria di lavoro (Kofler et al., 2010). Una scarsa attenzione sostenuta può inoltre portare a difficoltà nel seguire istruzioni, organizzare compiti, pianificare attività sequenziali, mantenere la concentrazione ed evitare errori dovuti all'impulsività (American Psychiatric Association, 2000). L'iperattività invece si manifesta attraverso comportamenti quali movimento continuo e irrequieto di mani o piedi, la tendenza a lasciare il proprio posto in situazioni in cui ci si aspetta che il soggetto rimanga seduto, parlare eccessivamente o muoversi come se fosse guidato da un motore (Kieling & Rhode, 2012).

Secondo la quinta edizione del Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (DSM-5), per porre una diagnosi ADHD, un bambino deve presentare almeno 6 sintomi per un minimo di sei mesi e in almeno due contesti della vita quotidiana; inoltre, è necessario che tali manifestazioni siano presenti prima dei 7 anni di età e che queste compromettano il rendimento scolastico e/o sociale. Sopra i 17 anni invece sono richiesti almeno 5 sintomi per almeno sei mesi. I criteri diagnostici del DSM-5 si differenziano per sintomi di disattenzione e sintomi di iperattività-impulsività e la soddisfazione di questi determina il profilo di ADHD.

L'ADHD dunque si presenta come un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da una sintomatologia complessa e variegata. Tuttavia, grazie al DSM-5, è possibile definire un quadro diagnostico specifico che consente una chiara identificazione del disturbo. Questo permette di comprendere meglio le diverse manifestazioni dell'ADHD e le sue implicazioni nei vari aspetti della vita quotidiana in termini di differenze individuali. Disporre di un quadro diagnostico ben definito facilita, inoltre, l'adozione di strategie di trattamento mirate ed efficaci, migliorando la gestione dell'ADHD nei diversi contesti in cui si manifesta.

1.2 Aspetti evolutivi dell'ADHD

L'ADHD può manifestarsi molto presto nella vita di un bambino, sebbene spesso venga riconosciuto solo al momento dell'inizio della scuola primaria (Vicari & Caselli, 2017).

Già dalla nascita, i genitori descrivono i bambini con ADHD come facilmente irritabili, con bassa tolleranza alle frustrazioni e caratterizzati da tratti temperamentali imprevedibili e

irregolari, come nel sonno, nel pianto e nell'alimentazione (Vicari & Caselli, 2017).

Durante il periodo prescolare, l'attività motoria di questi bambini è costantemente elevata, rendendoli difficili da controllare e eccessivamente vivaci, facendoli apparire meno maturi rispetto ai loro coetanei (Re et al., 2010). In situazioni che richiedono il rispetto di regole, i problemi di comportamento diventano evidenti (Re et al., 2010). I contesti preferiti, infatti, sono quelli di gioco libero, dove i piccoli possono muoversi senza restrizioni e dove viene richiesto un minor investimento cognitivo: qui non emergono particolari difficoltà.

Questi bambini si annoiano rapidamente e sono costantemente alla ricerca di nuovi stimoli e giochi, rendendo raro che riescano a concentrarsi sulla stessa attività e completarla (Re et al., 2010).

Con l'inizio dell'età scolare, le difficoltà diventano più evidenti. I bambini con ADHD devono seguire una serie di regole individuali e di gruppo, mantenere un'attenzione costante e completare i compiti nei tempi stabiliti (Re et al., 2010; Vicari & Caselli, 2017). La loro iperattività si manifesta nell'incapacità di stare fermi e rimanere seduti in classe, mentre i problemi di attenzione si traducono in scarsa concentrazione, difficoltà nella pianificazione e organizzazione autonoma dello studio, e mancanza di motivazione intrinseca a lungo termine (Re et al., 2010; Vicari & Caselli, 2017).

Durante la preadolescenza e l'adolescenza, l'iperattività e l'impulsività diventano meno evidenti, lasciando spazio ad un'irrequietezza interiore che si manifesta come impazienza e insofferenza (Re et al., 2010). I fallimenti scolastici e relazionali accumulati nel tempo possono portare a sentimenti di demoralizzazione e bassa autostima, fungendo da fattori di rischio per traiettorie di sviluppo disadattive (Kieling & Rohde, 2012). Gli adolescenti con ADHD sono anche a maggior rischio di sviluppare comorbidità con disturbi esternalizzanti come il Disturbo Oppositivo-Provocatorio (DOP), il Disturbo della Condotta (DC) o internalizzanti come i Disturbi dell'Umore (Marzocchi et al., 2022).

In età adulta, gli individui con ADHD mostrano tassi più alti di insoddisfazione e discordia coniugale, tassi di divorzio elevati e difficoltà genitoriali maggiori (Barkley & Fischer, 2010; Eakin et al., 2004). Sul piano lavorativo, tendono spesso a licenziarsi o a essere licenziati e

generalmente occupano posizioni di rango inferiore rispetto alla media (Barkley & Murphy, 2010; Stein, 2008).

In conclusione, nonostante i sintomi dell'ADHD possano presentarsi già nella prima infanzia, è durante la scolarizzazione che emergono con maggiore evidenza a causa delle crescenti richieste ambientali. La progressione del disturbo, dall'infanzia all'età adulta, mostra una traiettoria caratterizzata da sfide significative in ambito scolastico, relazionale e lavorativo; influenzando negativamente la qualità della vita. È fondamentale riconoscere e intervenire precocemente per mitigare gli effetti a lungo termine del disturbo.

1.3 Modelli interpretativi dell'ADHD

Nel corso degli ultimi anni, sono state proposte diverse teorie neuropsicologiche per spiegare il deficit centrale dell'ADHD. Questi modelli cercano di chiarire i meccanismi sottostanti al disturbo e offrono prospettive differenti su come si manifestano i sintomi. Due principali linee di ricerca si sono distinte per l'interpretazione dei deficit osservati nell'ADHD. La prima riguarda il ruolo delle funzioni esecutive (FE), mentre la seconda enfatizza un deficit motivazionale come caratteristica centrale del disturbo (Marzocchi et al., 2022).

1.3.1 Modelli cognitivi e neuropsicologici

Tra i modelli che enfatizzano le difficoltà nelle funzioni esecutive, il modello di Barkley (1997) è particolarmente influente. Barkley sostiene che l'ADHD è principalmente causato da un deficit precoce nella capacità di inibire comportamenti. Questo deficit inibitorio è visto come la causa primaria di problemi più complessi, quali difficoltà nella working memory, nella flessibilità cognitiva, e nella regolazione emotiva, motoria e motivazionale (Barkley, 2011). Nei bambini con ADHD, tali difficoltà sono evidenti nei problemi di controllo motorio, come dimostrato dagli scarsi risultati nei compiti di Go-NoGo, che richiedono la capacità di inibire risposte motorie o di sopprimere risposte già in corso (Marzocchi et al., 2022). Di conseguenza,

l'ADHD può essere considerato un disturbo dell'autoregolazione, caratterizzato dalla difficoltà a regolare il comportamento in risposta alle richieste ambientali (Barkley, 2011).

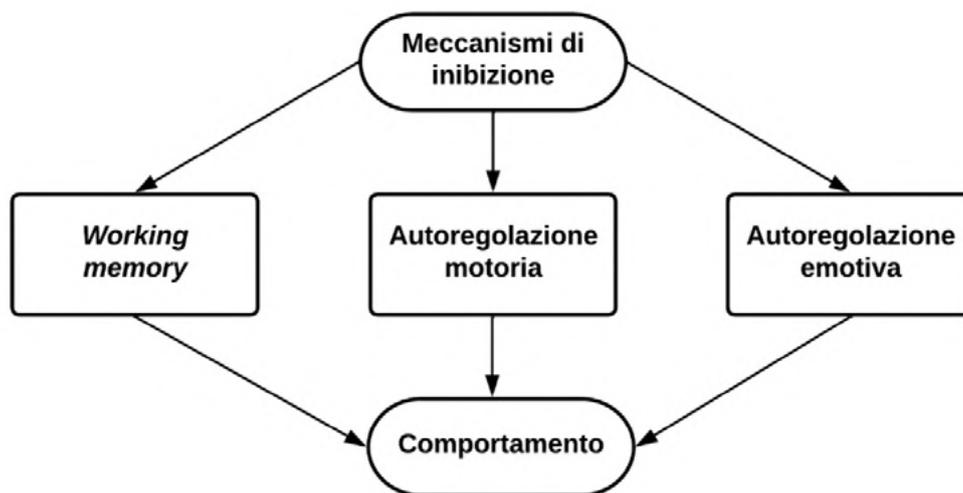


Figura 1: Struttura del modello di inibizione di Barkley (1997)

Un altro modello importante è il modello cognitivo-energetico, proposto da Sergeant e colleghi (2000). Questo approccio attribuisce i deficit dell'ADHD a difficoltà nella regolazione delle risorse energetiche necessarie per eseguire compiti (Sergeant, 2000; Sergeant et al., 1999; Van der Meere, 2005). Secondo questa teoria, i soggetti con ADHD faticano a modulare il loro stato fisiologico in risposta alle richieste ambientali, il che complica il soddisfacimento di tali richieste. Van der Meere (1996) ha osservato che i bambini con ADHD mostrano difficoltà nella regolazione del loro stato di attivazione, in particolare in compiti con variazioni nel tempo di presentazione degli stimoli. In prove con intervalli di tempo lunghi tra gli stimoli, si nota una scarsa attivazione, mentre con intervalli brevi si osserva un'eccessiva attivazione (Van der Meere et al., 1999). Questo suggerisce che le difficoltà nel mantenere uno stato di attivazione appropriato e nel regolare lo sforzo nel tempo sono caratteristiche centrali dell'ADHD (Van der Meere, 1996).

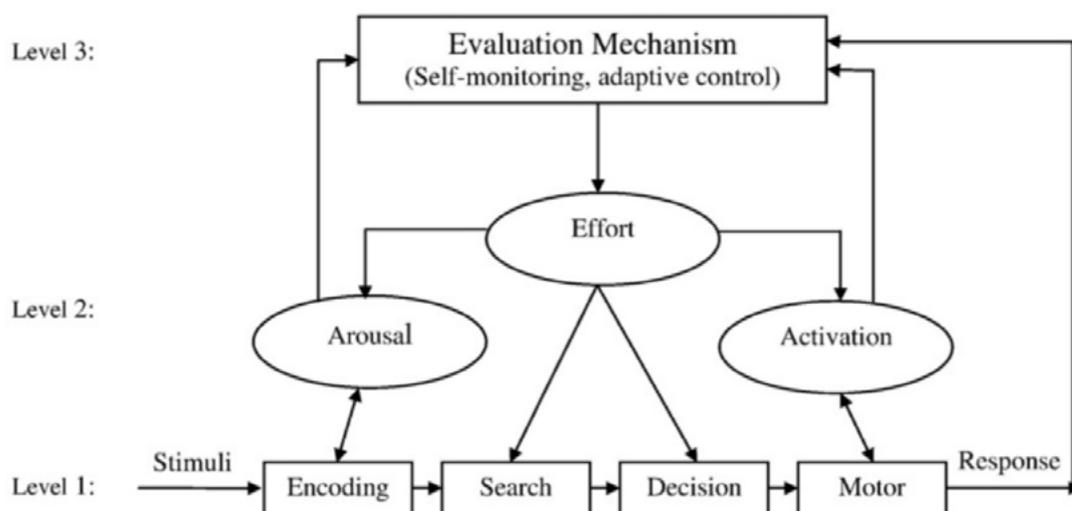


Figura 2: Struttura del modello cognitivo-energetico (Sergeant, 2000; Van der Meere, 2005)

I modelli cognitivo-neuropsicologici dell'ADHD offrono quindi prospettive diverse sui deficit centrali del disturbo. La prima linea di ricerca considera l'ADHD come un disturbo associato principalmente a difficoltà nelle funzioni esecutive. Le funzioni esecutive, che comprendono processi cognitivi superiori come la pianificazione, il controllo inibitorio e la flessibilità cognitiva, risultano essenziali per la regolazione del comportamento e il raggiungimento degli obiettivi. Le difficoltà nel mantenere l'attenzione, pianificare e controllare gli impulsi rappresentano, per definizione, deficit specifici di queste stesse funzioni (Marzocchi et al., 2022). Numerosi studi hanno dunque dimostrato che i bambini con ADHD mostrano deficit significativi nelle funzioni esecutive, evidenziandosi in difficoltà con compiti che richiedono organizzazione e autoregolazione. La compromissione delle funzioni esecutive è quindi vista come un aspetto cruciale nel quadro clinico dell'ADHD, influenzando negativamente la capacità di completare attività che richiedono attenzione sostenuta e controllo comportamentale (Kieling & Rohde, 2012; Barkley, 2010).

1.3.2 Modelli basati su *deficit* motivazionali

Oltre ai modelli cognitivi e neuropsicologici, un'altra importante linea di ricerca sull'ADHD si concentra sui deficit motivazionali. Questi modelli suggeriscono che difficoltà come l'inattività e l'impulsività possano derivare da problemi nella capacità di posticipare la gratificazione e nell'atteggiamento verso l'attesa, noti come "delay aversion" (Marzocchi et al., 2022; Sonuga-Barke, E. J. S. 2002).

Un esempio significativo di questa prospettiva è il modello di Sonuga-Barke (2002), che propone che le persone con ADHD presentano due vie compromesse. Da un lato, vi è una difficoltà nella regolazione dell'azione e del pensiero, con una compromissione del controllo inibitorio che influisce su compiti cognitivi e comportamentali (Sonuga-Barke, 2002; 2005). Dall'altro lato, si osserva uno stile motivazionale caratterizzato da una scarsa tolleranza all'attesa e alle frustrazioni (Marzocchi et al., 2022; Sonuga-Barke, 2002; 2005; Sonuga-Barke et al., 1992). Il deficit motivazionale è supportato da diversi studi sperimentali. Ad esempio, uno studio ha dimostrato che quando ai bambini con ADHD venivano offerti forti rinforzi motivazionali, le loro prestazioni nei test di inibizione miglioravano significativamente, raggiungendo livelli simili a quelli dei gruppi di controllo (Slusarek et al., 2001). Inoltre, una revisione condotta nel 2005 ha evidenziato che i soggetti con ADHD tendono a preferire ricompense immediate di entità minore rispetto a ricompense più grandi ma posticipate, suggerendo una difficoltà nel posticipare la gratificazione (Luman et al., 2005). Nel 2010, Sonuga-Barke e Halperin hanno proposto un modello a tre vie che identifica tre deficit principali nell'ADHD: uno relativo all'inibizione, uno alla delay aversion e uno all'informazione temporale (timing) (Sonuga-Barke & Halperin, 2010). Secondo questo modello, ciascuno di questi deficit è associato a componenti neuropsicologiche distinte e indipendenti, offrendo una visione più sfumata dei meccanismi sottostanti il disturbo. In sintesi, i modelli motivazionali dell'ADHD offrono una prospettiva complementare ai modelli cognitivi e neuropsicologici. Mentre i primi enfatizzano le difficoltà nelle funzioni esecutive, i secondi evidenziano la possibile influenza di deficit motivazionali sulla regolazione dell'attenzione e del comportamento. Entrambi i modelli contribuiscono a una comprensione più completa del disturbo, rivelando la complessità e l'interconnessione dei meccanismi coinvolti nell'ADHD.

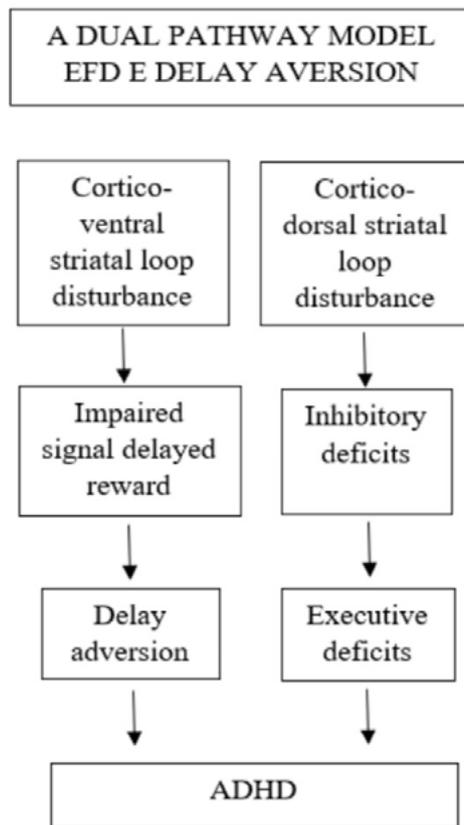


Figura 3: *Struttura del modello motivazionale (Sonuga-Barke, 2002)*

1.4 ADHD e vulnerabilità: il caso dei Siblings

L'ADHD è una condizione neuroevolutiva che colpisce il 5-7% dei bambini in età scolare e può persistere nell'età adulta (Polanczyk et al., 2007). Mentre gran parte della ricerca si concentra su individui con ADHD, una crescente attenzione è rivolta ai loro fratelli, che rappresentano una popolazione a rischio sia per il possibile sviluppo di questa condizione atipica, sia per le implicazioni psicologiche e sociali.

Numerosi studi hanno dimostrato che i fratelli dei bambini con ADHD hanno un rischio significativamente maggiore di manifestare anch'essi i sintomi.. Secondo una metanalisi recente condotta da Faraone e Larsson (2019), i fratelli delle persone con ADHD hanno circa il 4-9% di probabilità di essere diagnosticati, rispetto all'1-3% della popolazione generale. Questo aumento del rischio è attribuibile a fattori genetici condivisi, poiché l'ADHD è altamente ereditabile, con stime di ereditabilità che raggiungono l'80% (Faraone et al., 2005).

Infatti, l'ADHD è un disturbo del neurosviluppo riconosciuto per la significativa componente ereditaria, come evidenziato da studi epidemiologici che suggeriscono una predisposizione genetica nel suo sviluppo (Faraone et al., 2005). È noto che circa il 25-35% dei bambini con ADHD ha un fratello che presenta la stessa condizione (Faraone et al., 2005). Studi specifici hanno mostrato un aumento di nove volte del rischio di ADHD tra i fratelli di individui con ADHD rispetto ai controlli, suggerendo una forte componente genetica nella trasmissione del rischio (Mahrous et al., 2024).

Tuttavia, non si possono trascurare le implicazioni della ricerca epigenetica, che considera l'interazione tra fattori genetici e ambientali come determinante probabilistico nella manifestazione della condizione. Questo approccio amplia la comprensione, spostando l'attenzione dalla mera ereditarietà a un modello più complesso e dinamico di epigenesi probabilistica. Oltre alla predisposizione ereditaria, i modelli più recenti evidenziano come fattori ambientali e genetici interagiscono nel contribuire al rischio di sviluppo dell'ADHD. Stress familiare, dinamiche genitoriali disfunzionali ed esposizione a sostanze durante la gravidanza potrebbero portare a un esito evolutivo atipico, in un quadro che combina influenze genetiche ed epigenetiche in modo integrato (Thapar et al., 2012).

I fratelli di bambini con ADHD non solo sono a rischio di sviluppare il disturbo, ma possono anche sperimentare una serie di conseguenze psicologiche e sociali. Uno studio condotto da Kendall et al. (2003) ha rilevato che i fratelli di bambini con ADHD sono più propensi a mostrare livelli elevati di stress, ansia e depressione rispetto ai fratelli di bambini senza il disturbo. Questa maggiore vulnerabilità psicologica può essere attribuita a diversi fattori, tra cui l'attenzione dei genitori concentrata sul bambino con ADHD e le dinamiche familiari potenzialmente turbolente.

Inoltre, la presenza di un fratello con ADHD può influenzare negativamente le relazioni sociali e l'autostima dei fratelli. Alcune evidenze suggeriscono che i fratelli di bambini con ADHD possono avere difficoltà a costruire relazioni positive con i loro coetanei a causa di sentimenti di imbarazzo, stress sociale e isolamento (Mikami & Pfiffner, 2008). La presenza di ADHD dunque ha un impatto significativo non solo sulla persona, ma anche sull'intero nucleo familiare (Harpin, 2005). In particolare, i fratelli di bambini con ADHD rappresentano

una popolazione di interesse poiché vivono in un ambiente familiare influenzato dalle sfide comportamentali e cognitive del fratello con ADHD. Sebbene non presentino necessariamente sintomi clinici, questi fratelli possono essere considerati una popolazione a rischio per una serie di fragilità cognitive e comportamentali tipiche del disturbo (Faraone et al., 2001).

In questa sezione si esplorerà il funzionamento cognitivo dei fratelli di pazienti con ADHD, confrontandolo con quello dei pazienti ADHD con l'obiettivo individuare somiglianze e differenze nei processi cognitivi tra i due gruppi.

Come visto in precedenza; il funzionamento esecutivo comprende processi cognitivi come attenzione, memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva (Miyake et al., 2000). Questi processi sono cruciali per la regolazione del comportamento e per il successo nelle attività quotidiane. Nei bambini con ADHD, le difficoltà nelle FE sono ben documentate e rappresentano uno dei principali deficit associati al disturbo (Willcutt et al., 2005). Tuttavia, anche i fratelli senza ADHD possono manifestare compromissioni nel funzionamento esecutivo, sebbene in misura meno grave.

In un'ottica dimensionale, il funzionamento cognitivo può essere visto come un continuum, dove i pazienti con ADHD rappresentano l'estremità con compromissioni significative, mentre i fratelli non affetti possono posizionarsi in una zona intermedia, mostrando alcune difficoltà ma non a un livello clinico (Fair et al., 2012). Questo approccio dimensionale aiuta a comprendere che le differenze tra i fratelli di pazienti con ADHD e i pazienti stessi non sono di tipo qualitativo, ma piuttosto quantitative.

Tali compromissioni spesso si presentano nelle stesse aree di funzionamento esecutivo compromesse nei pazienti con ADHD (Nigg et al., 2004; Bidwell et al., 2007). I fratelli dei pazienti ADHD sono caratterizzati da un'attenzione più fragile, difficoltà nel mantenere e manipolare informazioni nella memoria di lavoro, problemi nel controllo inibitorio e una minore flessibilità cognitiva rispetto ai loro coetanei senza un fratello con ADHD (Rommelse et al., 2008). Tuttavia, le loro difficoltà tendono ad essere meno severe e meno pervasive rispetto a quelle osservate nei pazienti con ADHD (Sjöwall et al., 2013).

Ad esempio, nella capacità di attenzione sostenuta, i pazienti con ADHD possono avere difficoltà significative nel mantenere l'attenzione su compiti monotoni o prolungati, mentre i loro fratelli possono avere lievi difficoltà che diventano evidenti solo in situazioni particolarmente impegnative (Barkley, 1997).

Analogamente, nella memoria di lavoro, i pazienti con ADHD possono mostrare gravi difficoltà nel gestire più informazioni contemporaneamente, mentre i fratelli possono mostrare queste difficoltà solo sotto elevato carico cognitivo (Martinussen et al., 2005). La comprensione delle difficoltà cognitive nei fratelli di pazienti con ADHD ha importanti implicazioni per la ricerca e l'intervento. Riconoscere che questi fratelli rappresentano una popolazione a rischio, seppur non clinica, può guidare lo sviluppo di interventi preventivi e di supporto mirati. Interventi che migliorano il funzionamento esecutivo e le abilità di regolazione emotiva potrebbero essere benefici non solo per i pazienti con ADHD, ma anche per i loro fratelli, contribuendo a migliorare il benessere psicologico e psicosociale di tutta la famiglia (Coghill et al., 2008).

1.4.1 Vulnerabilità genetica e rischio dei siblings nell'ADHD

La vulnerabilità genetica e il rischio per i fratelli (siblings) di sviluppare ADHD sono stati oggetto di numerosi studi genetici: studi sui gemelli, famiglie e associazioni genetiche che hanno messo in luce l'importanza dei fattori genetici nella manifestazione di questa condizione neuroevolutiva.

Gli studi su gemelli hanno rivelato che l'ADHD e i suoi sintomi associati tendono a presentare un forte componente genetica condivisa tra i gemelli monozigoti rispetto ai dizigoti, sostenendo ulteriormente l'idea di una base genetica solida per il disturbo. Questi studi hanno anche evidenziato che ci sono influenze genetiche stabili che possono manifestarsi durante tutta l'infanzia e l'adolescenza, oltre a influenze genetiche che emergono o diminuiscono nel tempo (Schachar, 2014). Sono stati poi identificati specifici geni e varianti genetiche associati all'ADHD attraverso studi di associazione genetica su larga scala, come il gene CDH13, che è coinvolto nello sviluppo neuronale, e il gene SLC9A9, che è stato trovato implicato in più studi sull'ADHD. Queste scoperte suggeriscono che alterazioni in questi geni possono contribuire alla suscettibilità o allo sviluppo dell'ADHD e di altri disturbi neuropsichiatrici (Mahrous et al.

2024).

I geni associati all'ADHD influenzano i processi neurobiologici legati alla regolazione dei neurotrasmettitori, come dopamina e norepinefrina (Faraone & Larsson, 2019). A tal proposito i dati (Biederman et al., 2004) mettono in luce come i fratelli dei bambini con ADHD abbiano una probabilità significativamente più elevata di manifestare sintomi del disturbo rispetto alla popolazione generale. Inoltre, recenti studi hanno rivelato che i fratelli degli individui con ADHD presentano un rischio elevato anche per una serie di altri disturbi del neurosviluppo, come disturbi della condotta, disturbi oppositivi e disturbi dello spettro autistico (ASD) (Chen et al., 2016).

Gli endofenotipi, come le difficoltà nella regolazione dell'attenzione e il controllo degli impulsi, sono tratti intermedi che riflettono la vulnerabilità genetica e possono fornire indicazioni preziose per la diagnosi e la ricerca dell'ADHD (Klepesto et al., 2024). Secondo uno studio recente, la trasmissione intergenerazionale dei comportamenti legati all'ADHD sarebbe principalmente di natura genetica. Klepesto et al. (2024) hanno riscontrato una correlazione significativa tra geni condivisi, piuttosto che influenze ambientali. Tuttavia è importante sottolineare che, ad oggi, non esistono prove definitive di una causalità genetica specifica per l'ADHD, e le ricerche continuano ad esplorare questo complesso rapporto, tenendo conto delle interazioni tra seme e suolo come potenziali modulatori dello sviluppo di questa condizione.. A tal proposito, ad esempio, fattori come l'esposizione prenatale a sostanze specifiche o stress possono modificare l'espressione genica, influenzando potenzialmente la suscettibilità all'ADHD (Mahrous et al. 2024). Fattori ambientali come il reddito familiare e il livello di istruzione possono influenzare indirettamente l'ADHD infantile (Thapar et al., 2013). I risultati sfidano i confini diagnostici tradizionali e suggeriscono che l'ADHD si associa a una vasta gamma di disturbi psichiatrici e neuroevolutivi, riflettendo una vulnerabilità familiare condivisa piuttosto che specifica del disturbo.

Identificare precocemente i bambini a rischio tramite analisi genetiche e neuropsicologiche potrebbe dunque facilitare interventi mirati per prevenire o mitigare la manifestazione dei sintomi. La ricerca continua a esplorare l'uso di punteggi di rischio poligenico (PRS) per stimare la predisposizione genetica individuale all'ADHD e ad altri tratti correlati, offrendo ulteriori

spunti sulla complessità genetica del disturbo e la possibilità di trattamenti personalizzati in futuro che considerino il ruolo dei fattori ambientali e familiari nella manifestazione del disturbo (Balogh et al., 2022).

1.4.2 FE nei fratelli di individui con disturbo del neurosviluppo

I disturbi del neurosviluppo, come l'ADHD, l'autismo e i disturbi specifici dell'apprendimento, rappresentano una categoria di condizioni caratterizzate da traiettorie neuroevolutive atipiche che influenzano le funzioni cognitive, sociali e comportamentali. Mentre la maggior parte della ricerca si concentra direttamente sulle persone diagnosticate con questi disturbi, un'area di crescente interesse è rappresentata dallo studio del funzionamento cognitivo ed esecutivo dei loro fratelli (siblings). Questi fratelli condividono una parte significativa del loro patrimonio genetico e, spesso, l'ambiente familiare, il che li rende un gruppo importante per capire come le influenze genetiche e ambientali possano influenzare lo sviluppo cognitivo.

Le funzioni esecutive (FE) rappresentano un insieme di abilità cognitive di alto livello che includono il controllo inibitorio, la memoria di lavoro, la flessibilità cognitiva, la pianificazione e il problem-solving (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013)). Queste abilità sono fondamentali per la regolazione del comportamento, l'apprendimento e l'adattamento a nuove situazioni. Nel contesto dei siblings (fratelli e sorelle) di pazienti con condizioni del neurosviluppo (come Disturbo dello Spettro Autistico, Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività e Disturbi Specifici dell'Apprendimento), le funzioni esecutive assumono un'importanza particolare sia per l'analisi del loro sviluppo psicologico che per la comprensione del loro ambiente familiare e sociale. I fratelli di questi individui, anche se non manifestano sintomi clinici della stessa gravità, possono presentare traiettorie evolutive neurodivergenti.

Questa popolazione di soggetti affronta spesso sfide uniche che possono influenzare il loro sviluppo cognitivo e psicologico. Numerosi studi (Thissen et al., 2014) hanno indagato come la diagnosi di ADHD in un fratello possa influenzare il funzionamento esecutivo degli altri membri della famiglia, in particolare dei fratelli. In generale, la ricerca suggerisce (Goos, L.M., Crosbie, J., Payne, S., & Schachar, R., 2009) che i fratelli possono manifestare differenze nelle abilità delle FE rispetto ai loro coetanei senza un fratello con ADHD, evidenziando una possibile influenza del contesto familiare e delle dinamiche relazionali sulla capacità di gestione delle

funzioni esecutive. Questo può includere sia difficoltà che adattamenti positivi a seconda delle circostanze e del supporto ricevuto all'interno della famiglia. Ad esempio, studi su siblings di bambini con ADHD suggeriscono che potrebbero avere una maggiore vulnerabilità a sviluppare difficoltà nelle funzioni esecutive, come nella regolazione dell'attenzione e nell'inibizione di risposte impulsive. Uno studio di Goos et al. (2009) ha evidenziato che i siblings di bambini con ADHD mostrano una prestazione inferiore in compiti che richiedono memoria di lavoro e controllo inibitorio rispetto ai loro pari senza fratelli con ADHD (Goos et al. 2009). Allo stesso modo, una cosa simile è stata osservata nei fratelli di bambini con Disturbo dello Spettro Autistico (ASD). Uno studio di Hughes ed Ensor (2009) ha rilevato che questi bambini tendono a sviluppare abilità di controllo inibitorio e flessibilità cognitiva meno avanzate rispetto ai bambini senza fratelli con ASD. Questo potrebbe essere dovuto all'ambiente familiare, spesso caratterizzato da stress, minore attenzione da parte dei genitori, e dalla necessità di adattamenti a comportamenti non prevedibili del fratello affetto da ASD.

Queste differenze nelle funzioni esecutive osservate nei fratelli di bambini con condizioni del neurosviluppo possono essere attribuite a diversi fattori. Un primo elemento è l'ambiente familiare: un contesto stressante o imprevedibile può influire negativamente sullo sviluppo delle funzioni esecutive dei bambini. Le famiglie che devono gestire le esigenze di un bambino con neurodiversità spesso sperimentano livelli elevati di stress, che possono ridurre la qualità delle interazioni genitore-figlio e influenzare negativamente lo sviluppo cognitivo del fratello (Neece et al., 2012). Inoltre, il tempo e l'attenzione limitati dei genitori, assorbiti dalle necessità del bambino con sviluppo atipico, possono costituire un fattore di rischio, riducendo le opportunità per i fratelli di praticare abilità di problem-solving e autoregolazione (Macks & Reeve, 2007). Da tenere sempre in considerazione che i siblings condividono una porzione significativa del loro patrimonio genetico e dell'ambiente con il fratello neurodiverso. Questo può comportare una predisposizione genetica a difficoltà nelle funzioni esecutive, così come l'esposizione agli stessi fattori di stress ambientale che possono influenzare negativamente lo sviluppo cognitivo. La letteratura suggerisce che tali influenze condivise, sia genetiche che ambientali, possano contribuire a difficoltà simili nelle funzioni esecutive tra i siblings e i loro fratelli con condizioni neuroevolutive atipiche (Thapar et al., 2013).

È interessante notare che ci sono differenze di sesso significative nel modo in cui i fratelli di bambini con disturbi del neurosviluppo sono influenzati. Gli studi indicano che i fratelli maschi di bambini con ASD, ad esempio, hanno maggiori probabilità di mostrare sintomi subclinici del disturbo rispetto alle sorelle (Constantino et al., 2006). Inoltre, il rischio di sviluppare deficit cognitivi ed esecutivi sembra essere maggiore nei fratelli di sesso maschile rispetto a quelli di sesso femminile, il che potrebbe riflettere differenze nel modo in cui i fattori genetici e ambientali interagiscono nei due sessi (Losh et al., 2008).

La comprensione del funzionamento cognitivo ed in particolare esecutivo dei fratelli di bambini con condizioni del neurosviluppo ha importanti implicazioni cliniche. I professionisti sanitari dovrebbero considerare il monitoraggio regolare del funzionamento cognitivo ed esecutivo in questi fratelli per identificare eventuali difficoltà emergenti. Interventi preventivi mirati, come il potenziamento delle funzioni esecutive o l'inclusione in programmi di supporto scolastico, potrebbero essere utili per prevenire o mitigare difficoltà future. Futuri studi potrebbero anche esplorare l'interazione tra fattori genetici e ambientali per capire meglio come questi influenzano lo sviluppo cognitivo ed esecutivo dei fratelli. Inoltre, ricerche che utilizzano tecniche di neuroimaging potrebbero aiutare a identificare differenze strutturali e funzionali nel cervello dei fratelli di bambini con disturbi del neurosviluppo, offrendo ulteriori spunti sulla loro vulnerabilità e potenziale resilienza (Pugliese et al., 2015).

CAPITOLO 2

APPRENDIMENTO ASSOCIATIVO IMPLICITO e VOLATILITÀ AMBIENTALE

L'apprendimento è uno dei processi centrali che permettono agli individui di adattarsi al proprio ambiente, acquisendo nuove conoscenze, abilità e comportamenti attraverso l'esperienza (Ormrod, 2011). Ormrod (2011) definisce l'apprendimento come un cambiamento relativamente permanente nelle capacità comportamentali, derivante dall'esperienza. L'apprendimento risulta essere uno dei costrutti fondamentali nelle scienze cognitive, educative e psicologiche. (Santrock, J. W., 2019). Nella letteratura scientifica, l'apprendimento viene descritto attraverso diverse teorie e modelli. Tra i più influenti troviamo il condizionamento classico di Pavlov (1927), il condizionamento operante di Skinner (1953), il modello dell'elaborazione dell'informazione (H.I.P.) di Atkinson e Shiffrin (1968) e il costruttivismo di Piaget (1936). Ciascuno di questi approcci ha contribuito a fornire una maggiore comprensione dei meccanismi associati all'apprendimento, enfatizzando l'importanza di processi mentali attivi nell'acquisizione di nuove informazioni (Schunk, D. H., 2012). In questo capitolo ci concentreremo sull'apprendimento, in particolare nella sua forma implicita, esplorando come questo meccanismo coinvolga processi cognitivi complessi sia nelle popolazioni tipiche che atipiche. Analizzeremo come tali processi permettano agli individui di adattarsi a cambiamenti continui e a esiti incerti.

2.1 L'Apprendimento Implicito

L'apprendimento implicito è un processo attraverso cui gli individui acquisiscono conoscenze e abilità senza essere pienamente consapevoli di star imparando (Schmidt & Lee, 2011). A differenza dell'apprendimento esplicito, che richiede sforzo cosciente e deliberato, l'apprendimento implicito avviene automaticamente in risposta all'esposizione a stimoli ripetitivi nell'ambiente (Schmidt & Lee, 2011). In altre parole, l'individuo non è consapevole dei meccanismi cognitivi in atto, ma comunque acquisisce informazioni e abilità che influenzeranno successivamente il comportamento.

Una componente essenziale dell'apprendimento implicito è lo *statistical learning*, ossia l'abilità di rilevare regolarità statistiche all'interno degli flussi di stimoli derivanti dall'ambiente (Saffran, Aslin & Newport, 1996). Questo processo si verifica quando gli individui, esposti a sequenze di stimoli, imparano automaticamente a rilevare quali elementi sono più frequentemente associati tra loro, oppure in che ordine si verificano. Un classico esempio di questo meccanismo è l'acquisizione del linguaggio nei neonati. Già a otto mesi, i bambini sono in grado di riconoscere le transizioni più frequenti tra le sillabe in un flusso di parole senza spazi, suddividendo così le parole (Saffran, Aslin & Newport, 1996).

Un altro esempio di *statistical learning* nell'ambito linguistico è la capacità dei bambini di distinguere le parole presentate in una lingua sconosciuta. Quando i bambini sono esposti a un flusso continuo di sillabe, possono usare la frequenza con cui alcune sillabe appaiono insieme per dedurre i confini delle parole. Se due sillabe si verificano frequentemente insieme, il bambino può inconsciamente associarle come appartenenti alla stessa parola. Se invece una sillaba non segue regolarmente l'altra, il bambino può usarlo come un'indicazione che una nuova parola è iniziata (Saffran, Aslin e Newport, 1996).

Questo processo di rilevamento delle probabilità risulta essere fondamentale per numerosi domini cognitivi, dall'acquisizione linguistica all'apprendimento procedurale (Schmidt & Lee, 2011; Gheysen et al., 2011). Ad esempio, lo *statistical learning* interviene anche nel riconoscimento visivo e motorio.

Alcune evidenze mostrano come gli individui possono rilevare schemi visivi complessi e sequenze motorie senza istruzioni esplicite. In un esperimento di apprendimento implicito motorio, i partecipanti possono imparare una sequenza di movimenti senza essere consapevoli della struttura sottostante della sequenza, semplicemente attraverso l'esposizione ripetuta (Gheysen et al., 2011).

Questi risultati suggeriscono che il cervello umano è costantemente impegnato nel rilevamento di pattern e associazioni, anche in assenza di sforzo consapevole (Jablonowski, Taesler, Fu, & Rose, 2018).

La capacità di rilevare regolarità statistiche negli stimoli ambientali consente agli individui di adattarsi e orientarsi in contesti complessi e mutevoli (Schmidt & Lee, 2011; Saffran, Aslin

& Newport, 1996). Attraverso questo processo, il cervello è in grado di individuare schemi e strutture nascoste, facilitando la formazione di modelli mentali predittivi. Questi modelli predittivi permettono una risposta adattiva e flessibile, che risulta particolarmente utile di fronte a situazioni nuove o impreviste (Saffran et al., 1996). In questo modo, lo statistical learning non solo migliora la capacità di apprendere e organizzare le informazioni, ma fornisce anche una base per comportamenti anticipatori e di problem-solving in situazioni complesse.

2.2 Compiti classici di Apprendimento Implicito: AGL, SRT, e DSC

L'apprendimento implicito, come già accennato, si riferisce alla capacità di acquisire conoscenze o abilità senza consapevolezza esplicita del processo di apprendimento (Schmidt & Lee, 2011; Reber, 1967).

Per la valutazione di questo costrutto sono stati sviluppati diversi compiti classici che andassero a misurare l'acquisizione inconsapevole di conoscenza. Tra i più utilizzati vi sono il compito di Apprendimento Grammaticale Artificiale (Artificial Grammar Learning, AGL), il compito di Reazione Serializzata (Serial Reaction Time, SRT), e il paradigma di Dynamic Systems Control (DSC). Questi strumenti consentono di studiare come gli individui acquisiscono implicitamente regolarità e schemi senza la necessità di elaborare consapevolmente le regole sottostanti (Reber, 1967; Nissen & Bullemer, 1987; Musen & Squire, 1993).

Il compito di AGL è uno dei paradigmi più comunemente utilizzati per studiare l'apprendimento implicito. Il compito vede presentate ai partecipanti una serie di stringhe di lettere generate seguendo una serie di regole grammaticali artificiali. Queste regole, che non vengono esplicitamente insegnate, ma definiscono quali combinazioni di lettere sono "grammaticali" e quali non lo sono. Successivamente, ai partecipanti viene chiesto di classificare nuove stringhe di lettere come grammaticali o non grammaticali, basandosi unicamente sull'esposizione precedente (Reber, A. S., 1967).

A tal proposito, uno studio di Reber (1967) ha dimostrato che i partecipanti durante l'esposizione al compito erano in grado di discriminare tra stringhe grammaticali e non grammaticali, nonostante non sapessero descrivere le regole grammaticali che avevano implicitamente appreso (Reber, A. S., 1967).

Un altro compito largamente utilizzato per studiare l'apprendimento implicito, in particolare nel contesto motorio, è il compito SRT. In questo compito, i partecipanti devono rispondere il più rapidamente possibile a una serie di stimoli presentati in sequenza, spesso premendo un tasto corrispondente alla posizione dello stimolo sullo schermo.

Ciascuna sequenza segue una regolarità nascosta (ad esempio, uno schema ricorrente nella posizione degli stimoli o una distribuzione di probabilità della presentazione degli stimoli). I partecipanti non sono informati di questa regolarità, ma con il passare del tempo tendono a migliorare la loro velocità e accuratezza nelle risposte, dimostrando così di aver appreso implicitamente la sequenza (Nissen & Bullemer, 1987). Successivamente, quando la sequenza viene cambiata in modo non prevedibile, le prestazioni dei partecipanti tendono a peggiorare, suggerendo che avevano effettivamente appreso lo schema precedente, sebbene non fossero consapevoli di averlo fatto (Nissen & Bullemer, 1987; Robertson, 2007).

Nissen e Bullemer (1987) hanno fornito le prime evidenze empiriche di apprendimento implicito con il compito di SRT. Gli autori osservarono miglioramenti nelle prestazioni quando ai partecipanti venivano presentate sequenze regolari, al contrario, le prestazioni peggioravano significativamente quando le sequenze venivano modificate, dimostrando che gli individui avevano appreso le regolarità implicite senza esserne consapevoli ed era difficoltoso aggiornarle continuamente. Studi successivi hanno confermato che l'SRT è estremamente utile per esaminare l'apprendimento implicito motorio in una varietà di popolazioni cliniche, inclusi individui caratterizzati da condizioni come l'ADHD e il Parkinson. Tra questi, Sanjeevan, Cardy e Anagnostou (2020) hanno esplorato il modo in cui l'apprendimento implicito motorio si manifesta in persone con ADHD utilizzando proprio il paradigma SRT.

Nel contesto dell'ADHD, diversi studi hanno utilizzato il compito SRT per esaminare l'apprendimento implicito in questa popolazione clinica. Una meta-analisi di Sanjeevan et al. (2020) ha esaminato le prestazioni nei compiti SRT di persone con ADHD; concludendo, che, sebbene i soggetti con ADHD presentano spesso una riduzione nell'apprendimento implicito, strettamente legato all'incapacità di mantenere un'attenzione sostenuta (presupposto fondamentale per individuare regolarità negli stimoli che si ripetono), i risultati sono misti, con alcuni studi che mostrano differenze significative e altri no. Questo suggerisce che i deficit

nell'apprendimento implicito potrebbero dipendere da variabili aggiuntive come la gravità dei sintomi e le differenze metodologiche tra gli studi.

Barnes et al. (2010) hanno dimostrato che i bambini con ADHD presentano una riduzione significativa nell'acquisizione implicita delle sequenze durante il compito SRT. Nello studio da loro condotto i bambini con ADHD mostravano miglioramenti molto più lenti e meno evidenti nelle sequenze ripetitive rispetto ai loro coetanei del gruppo di controllo, suggerendo che la loro capacità di rilevare e interiorizzare pattern regolari fosse compromessa.

Tuttavia, non tutti gli studi concordano su questi risultati. Ad esempio, Parks & Stevenson (2018) non hanno trovato una relazione significativa tra le capacità di apprendimento implicito e la sintomatologia ADHD, suggerendo che le differenze nei risultati potrebbero dipendere da variabili come la metodologia e i tipi di stimoli utilizzati.

Infine, il paradigma di Dynamic Systems Control (DSC) è un modello utilizzato per studiare l'apprendimento implicito, soprattutto in contesti che coinvolgono la regolazione socio-emotiva. Secondo un recente studio di Costea et al. (2023), il DSC permette ai partecipanti di interagire con sistemi dinamici, come un avatar che simula risposte emotive, per imparare a regolarne gli stati emotivi attraverso tentativi continui. Questo approccio è utilizzato per osservare come individui con diversi livelli di tratti autistici apprendano a gestire tali risposte in modo inconsapevole, rivelando potenziali differenze nella capacità di apprendimento sociale implicito rispetto alla popolazione generale (Costea e al., 2023).

Il DSC differisce da altre tecniche poiché offre un'esperienza interattiva e continua, rendendolo particolarmente adatto a studiare processi di apprendimento inconsapevole che potrebbero influire sul funzionamento sociale in contesti ecologici (Costea e al., 2023).

2.3 Apprendimento Associativo Implicito

L'apprendimento associativo si riferisce alla capacità di un individuo di formare connessioni tra stimoli ed eventi (Clark & Squire, 1998; Pavlov, 1927). Le due forme principali di apprendimento associativo sono il condizionamento classico e il condizionamento operante.

Il condizionamento classico è un tipo di apprendimento associativo descritto inizialmente da Ivan Pavlov (Pavlov, 1927). Si tratta di un processo dove l'individuo apprende ad associare uno stimolo neutro (ad esempio, il suono d'un campanello) con uno stimolo incondizionato

che provoca una risposta automatica (come la salivazione in presenza di cibo). Dopo diverse associazioni, lo stimolo neutro, ora definito stimolo condizionato, provoca da solo la risposta condizionata, come la salivazione alla sola presenza del campanello (Pavlov, 1927).

Il condizionamento operante, introdotto da Skinner, è un tipo di apprendimento in cui la frequenza di un comportamento è dipende dalle conseguenze che ne derivano. Se un comportamento è seguito da un rinforzo (come una ricompensa), è più probabile che si ripeta; se è seguito da una punizione, tale comportamento tende a svanire. Questo principio è alla base di molti sistemi di formazione e modifica del comportamento (Skinner, 1938).

Tuttavia, gli sviluppi recenti nelle scienze cognitive e nelle neuroscienze hanno spinto la comprensione dell'apprendimento oltre queste teorie classiche, introducendo concetti come l'apprendimento associativo implicito (Shanks, D. R., 2010). L'apprendimento associativo implicito è un meccanismo più sofisticato che riconosce la necessità di adattarsi a contesti incerti e complessi, dove le relazioni tra stimoli ed esiti non sono deterministiche, ma probabilistiche (Cleeremans e Jiménez, 2002). Questo tipo di apprendimento coinvolge la capacità di stimare e prevedere esiti futuri basandosi sulla probabilità appresa dall'esperienza. In contesti complessi, infatti, le associazioni tra stimoli ed eventi non seguono regole rigide, ma sono spesso influenzate da molteplici variabili. Quindi gli individui imparano a stimare la probabilità che certi eventi o azioni portino a determinati risultati, adattandosi così a situazioni incerte e mutevoli.

Gluck, Shohamy e Myers (2002) hanno condotto uno studio pionieristico su questo tipo di apprendimento, dimostrando come le persone utilizzano le relazioni probabilistiche per prendere decisioni in ambienti complessi. Questo tipo di apprendimento è progressivo e flessibile: si sviluppa gradualmente e richiede l'uso di processi cognitivi complessi, come la memoria di lavoro e la flessibilità cognitiva consentendo agli individui di adattarsi a variazioni costanti ed esiti incerti (Gluck, Shohamy, & Myers, 2002).

Le teorie dell'apprendimento associativo implicito supportano quindi l'idea che le persone utilizzano informazioni probabilistiche per costruire previsioni sugli esiti futuri. A differenza del condizionamento classico, in cui la relazione tra stimolo e risposta è diretta, qui l'associazione tra gli eventi è mediata da fattori probabilistici che variano nel tempo (Gluck, Shohamy, & Myers, 2002).

Un'importante applicazione di questo tipo di apprendimento è la capacità di gestire l'incertezza, un'abilità che richiede il coinvolgimento di aree cerebrali specifiche. Studi neuroscientifici hanno evidenziato il ruolo cruciale dei gangli della base e della corteccia prefrontale nell'elaborazione delle informazioni probabilistiche (Poldrack et al., 1999). Poldrack et al. (1999) hanno esplorato i meccanismi cerebrali coinvolti nell'acquisizione di competenze cognitive in contesti incerti, evidenziando il ruolo cruciale dei gangli della base nella regolazione dell'apprendimento associativo. La corteccia prefrontale a tal proposito giocherebbe un ruolo cruciale nel modulare le risposte basate su informazioni probabilistiche, aiutando l'individuo a gestire l'incertezza e a regolare il proprio comportamento in contesti in cui le probabilità degli esiti possono variare (Poldrack et al., 1999). E' poi particolarmente interessante comprendere come questo tipo di apprendimento sia cruciale per lo sviluppo della capacità decisionale e dell'adattamento, soprattutto nei bambini. (Gluck, M. A., Shohamy, D., & Myers, C., 2002).

I bambini devono spesso affrontare ambienti mutevoli e incerti, dove le regole che governano il mondo non sono sempre chiare o deterministiche. Imparare a navigare in questi contesti richiede non solo la capacità di apprendere associazioni semplici tra stimoli, ma anche di stimare le probabilità che determinati eventi si verifichino sulla base delle esperienze precedenti. Inoltre, l'apprendimento probabilistico sembra giocare un ruolo chiave nello sviluppo delle funzioni esecutive, in particolare nella flessibilità cognitiva, che consente agli individui di adattarsi a nuove regole o contesti mutevoli (Poldrack et al., 1999).

Alcune ricerche hanno visto che i bambini con disturbo del neurosviluppo, come l'ADHD, possono presentare difficoltà nell'apprendimento associativo implicito. Questi deficit sarebbero correlati a compromissioni nelle funzioni esecutive, come la memoria di lavoro, la flessibilità cognitiva e il controllo inibitorio, che sono essenziali per gestire situazioni di incertezza e che sono fortemente legate al processo di apprendimento probabilistico (Willcutt et al., 2005).

Bambini con ADHD tenderebbero a fare maggior affidamento su strategie di apprendimento deterministico piuttosto che probabilistico. Ciò significa che fanno più fatica ad adattarsi a situazioni dove le associazioni tra stimoli e ricompense sono incerte o variabili. Queste difficoltà di apprendimento associativo implicito potrebbero spiegare il perché i bambini con ADHD tendono a fare scelte impulsive e mostrano una ridotta capacità di apprendere dalle conseguenze

delle loro azioni (Willcutt et al., 2005).

L'apprendimento associativo implicito rappresenta quindi una forma avanzata di apprendimento che consente agli individui di ampliare la propria conoscenza a partire dall'esperienza, più nello specifico stimando la probabilità che determinati eventi si verifichino. In questo contesto, il concetto di volatilità ambientale diventa centrale. Essa descrive il grado in cui le associazioni tra stimoli ed esiti cambiano nel tempo. In ambienti altamente volatili, dove le associazioni tra azioni e risultati possono variare rapidamente, è necessaria una maggiore flessibilità cognitiva per adattarsi in modo efficace (Behrens et al., 2007). Pertanto, la capacità di apprendere e gestire la volatilità ambientale è strettamente legata all'apprendimento associativo implicito (Behrens et al., 2007).

2.4 Il costrutto della Volatilità Ambientale

La volatilità ambientale si riferisce alla variabilità e imprevedibilità delle condizioni che caratterizzano l'ambiente in cui un individuo vive e opera (Behrens et al., 2007). Questo concetto è cruciale per comprendere come gli individui apprendono e si adattano a situazioni mutevoli. Nel contesto del neurosviluppo, la capacità di interfacciarsi a contesti volatili può variare notevolmente in base a condizioni di neuro atipicità come l'ADHD e l'ASD. Nei bambini con ADHD, le difficoltà nel mantenere l'attenzione e nell'organizzazione possono compromettere la loro capacità di adattarsi rapidamente ai cambiamenti ambientali. Questi bambini possono avere complicanze nell'integrazione delle nuove informazioni e nella regolazione delle risposte comportamentali, rendendo difficile l'adattamento in ambienti altamente volatili. Analogamente, le persone con ASD mostrano rigidità nelle loro aspettative e una minore reattività ai cambiamenti ambientali. Questa rigidità può derivare da una distorsione nella rappresentazione della volatilità, influenzando negativamente la loro flessibilità (Geurts et al., 2009, Sonuga-Barke et al., 2012).

La volatilità ambientale è dunque un costrutto che presenta sfide significative per i processi cognitivi come l'apprendimento associativo e il controllo cognitivo. Adattarsi a contesti

dinamici e mutevoli è essenziale per il funzionamento ottimale e la sopravvivenza in ambienti complessi. La capacità di rispondere efficacemente ai cambiamenti improvvisi e inaspettati risulta fondamentale; pertanto è necessario che gli individui aggiornino continuamente le loro rappresentazioni mentali e strategie comportamentali in risposta a variazioni ambientali inattese (Lawson et al., 2017). In ambienti ad alta volatilità, i tassi di apprendimento devono essere elevati per adattarsi rapidamente ai cambiamenti. Al contrario, in ambienti stabili, è vantaggioso considerare i risultati su molte prove per ottenere una stima più precisa delle probabilità di ricompensa (Behrens et al., 2007). Questo approccio aiuta a ottimizzare l'apprendimento e a mantenere un comportamento adattivo.

In condizioni tipiche, questi processi consentono agli individui di adattarsi e reagire efficacemente a nuovi stimoli. Tuttavia, nei soggetti con ADHD, la volatilità ambientale può esacerbare le difficoltà esistenti nel controllo esecutivo, portando a sfide aggiuntive nell'adattamento.

In una ricerca Mushtaq e colleghi si focalizzano sull'incertezza come componente chiave della volatilità ambientale, suggerendo come la gestione di ambienti volatili non richieda solo processi di apprendimento implicito, ma anche funzioni di controllo cognitivo superiore per superare l'incertezza e adattarsi ai cambiamenti (Mushtaq et al. 2011).

In tale ottica l'apprendimento associativo implica la creazione di legami tra stimoli e risposte, spesso in modo implicito. Questo tipo di apprendimento può essere influenzato dalla volatilità ambientale, che complica la creazione di associazioni stabili a causa della necessità di adattarsi a nuove regole o pattern. Uno studio di Salet et al. (2021) ha esplorato l'apprendimento implicito del comportamento temporale in ambienti complessi e dinamici, dimostrando che, mentre l'apprendimento implicito può avvenire in contesti stabili, l'efficacia dell'apprendimento diminuisce in ambienti volatili che richiedono frequenti cambiamenti strategici. Nei soggetti con ADHD, l'apprendimento associativo può dunque essere ulteriormente compromesso dalla volatilità ambientale. Gli individui con ADHD spesso mostrano una maggiore variabilità nelle prestazioni cognitive, rendendo difficile l'apprendimento di pattern consistenti e prevedibili. La ricerca suggerisce che, mentre alcune capacità di apprendimento implicito possono rimanere intatte nei soggetti con ADHD, l'integrazione e l'uso efficace delle informazioni apprese per guidare il comportamento futuro sono spesso compromessi, specialmente in contesti volatili

che richiedono un controllo cognitivo adattivo (Salet et al., 2021; Mushtaq et al., 2011).

La volatilità ambientale richiede quindi una complessa interazione tra apprendimento associativo e controllo cognitivo. Mentre in condizioni tipiche gli individui riescono ad adattarsi a nuovi stimoli grazie al controllo cognitivo, chi ha ADHD presenta difficoltà sia nell'apprendimento associativo che nel controllo cognitivo, rendendo più difficile l'adattamento in contesti volatili. Weiss et al. (2021) evidenziano come in ambienti ad alta volatilità, l'adattamento più lento e il maggior carico cognitivo possano compromettere le prestazioni. Prospettive e studi futuri potrebbero essere utili per sviluppare interventi al fine di migliorare la gestione dell'incertezza in questi soggetti.

CAPITOLO 3

LA RICERCA

3.1 Obiettivi

Il presente elaborato si inserisce nell'ampio progetto di ricerca CALM (sviluppo del Controllo cognitivo Adattivo: un Lavoro Multicentrico), coordinato dal Prof. Giovanni Mento, e si è posto l'obiettivo di indagare come cambia la capacità dei bambini con sviluppo (a)tipico di apprendere implicitamente le regolarità statistiche dell'ambiente e come questi si adattano in diversi ambienti predittivi.

Nello specifico, questa ricerca ha lo scopo di valutare come la volatilità ambientale influisca sull'apprendimento associativo implicito nei bambini con Disturbo da Deficit dell'Attenzione e dell'Iperattività (ADHD), confrontandoli con i loro siblings a sviluppo tipico.

3.2 Metodo

3.2.1 Partecipanti

Al presente studio ha preso parte un campione iniziale di 124 bambini di età compresa tra i 4 e gli 14 anni, di cui 35 femmine e 89 maschi. I partecipanti sono stati suddivisi in tre gruppi per età: gruppo 1 (4-8 anni), gruppo 2 (9-11 anni) e gruppo tre (12-14 anni). Sono state reclutate persone con disturbi del neurosviluppo (ADHD, ASD, DSA e comorbidità) e fratelli/sorelle con o senza diagnosi, oltre ad un gruppo di controllo. I partecipanti dello studio sono stati ingaggiati presso vari centri clinici specializzati e riconosciuti per la diagnosi e il trattamento dell'ADHD. Tra questi, il Centro Italiano ADHD - sede di Milano in collaborazione con le sedi presenti sul territorio Italiano, l'IRCCS "E. Medea – La Nostra Famiglia" di Treviso (TV), l'IRCCS "E. Medea – La Nostra Famiglia" di Oderzo (TV), l'IRCCS "E. Medea – La Nostra Famiglia" di San Donà di Piave (VE), l'IRCCS "E. Medea – La Nostra Famiglia" di Conegliano (TV); la società cooperativa sociale "Il Piccolo Principe" di Ferrara, lo Studio "Il Timone" - La Spezia (SP) e il Centro Punto Tondo di Conegliano (TV).

I criteri di esclusione utilizzati sono stati:

1. La presenza di disabilità intellettiva grave
2. La presenza di patologie neurologiche

Sulla base di tali criteri sono stati esclusi: un bambino per problemi tecnici, 5 bambini che hanno mostrato un'accuratezza totale inferiore al 60% nel task e 5 bambini per un punteggio al test delle Matrici Progressive di Raven di 2 deviazioni standard al di sotto della media della popolazione. Il nostro campione finale dunque si compone di 113 individui di cui 29 femmine e 84 maschi.

Tutti i partecipanti inclusi nella ricerca presentavano una vista normale o corretta e non presentavano alcuna compromissione motoria.

Ai fini degli obiettivi del presente elaborato è stato poi estratto un sotto campione di bambini con diagnosi di ADHD che potessero essere confrontati per età con un gruppo di bambini con vulnerabilità (gruppo dei siblings) e un gruppo di controllo.

In totale i tre gruppi erano composti da 21 bambini di cui 7 femmine e 14 maschi: 7 controlli, 7 Siblings e 7 ADHD. Per il gruppo di età dai 4 ai 8 anni abbiamo considerato un bambino per gruppo, 5 bambini per l'età dai 9 ai 11 e uno per gruppo di 13 anni appartenenti al terzo gruppo (12-14). I bambini sono stati appaiati per età in anni.

Le caratteristiche demografiche del campione sono presentate nella **Figura 4**.

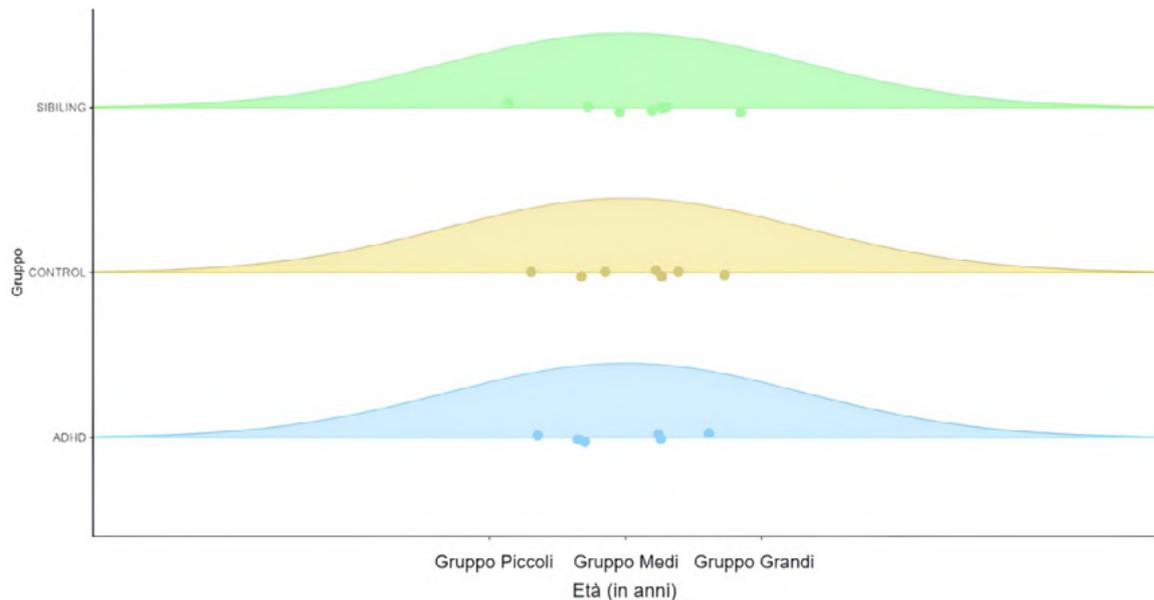


Figura 4: Caratteristiche demografiche del campione

Il grafico riportato rappresenta i tre gruppi sperimentali (ADHD, SIBLINGS e controlli) che costituiscono il campione (asse delle ordinate). I gruppi sono stati appaiati per età rispettivamente ai gruppi per età (riportati sull'asse delle ascisse): "Gruppo Piccoli" = 4-8 anni (1 soggetto per gruppo), "Gruppo Medi" = 9-11 anni (5 soggetti per gruppo) e "Gruppo Grandi" = 12-14 anni (1 soggetto per gruppo).

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. 387-a) e sono state condotte secondo i principi espressi dalla Dichiarazione di Helsinki.

3.2.3 Procedura sperimentale

Prima di avviare la sessione sperimentale, ogni famiglia è stata contattata attraverso la struttura di riferimento. Durante il primo contatto, il progetto di ricerca veniva introdotto brevemente, sottolineando l'importanza della partecipazione delle famiglie per prendere parte della comunità scientifica e contribuire allo studio multicentrico CALM, condotto in collaborazione con il Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova. A questo punto, ai

genitori e ai loro figli veniva offerta la possibilità di prendere parte alla ricerca.

Le famiglie che manifestavano interesse e disponibilità a partecipare venivano subito coinvolte in una fase organizzativa più dettagliata, durante la quale si stabiliva insieme il formato dell'appuntamento: potevano scegliere tra una sessione unica della durata di circa un'ora e mezza oppure due incontri più brevi di 45 minuti ciascuno, il tutto presso la struttura di riferimento. Questa flessibilità oraria garantiva che le esigenze di ciascuna famiglia fossero rispettate e che l'esperienza fosse gestita nel modo più agevole possibile.

Nel giorno e all'orario stabiliti, le famiglie venivano accolte nella sala d'attesa della struttura, dove veniva loro fornita una copia del consenso informato e dell'informativa sulla privacy, riguardante il trattamento dei dati personali. Genitori e figli avevano così l'opportunità di visualizzare con attenzione tutti i dettagli relativi allo studio, compresi gli obiettivi generali, le metodologie sperimentali impiegate e le possibili implicazioni scientifiche del progetto. L'approccio mirava a trasmettere un senso di trasparenza e fiducia nei confronti della ricerca, coinvolgendo i partecipanti attivamente fin dal primo momento. Una volta che la famiglia veniva accompagnata nella stanza dedicata alla somministrazione, si procedeva alla firma del consenso informato, che rappresentava l'ultimo passo formale prima di avviare l'effettiva sessione sperimentale. Questo processo, attentamente gestito, permetteva di garantire la conformità etica della ricerca, assicurando che tutti i partecipanti fossero pienamente consapevoli e d'accordo con il proprio coinvolgimento. Parallelamente, ai genitori veniva fornito un QR-code, che offriva accesso a una serie di questionari online disponibili tramite la piattaforma *Qualtrics* (Qualtrics, 2019). Questi questionari avevano lo scopo di raccogliere dati su diversi aspetti comportamentali ed emotivi della vita quotidiana del figlio o della figlia. Ai genitori veniva spiegato che la compilazione poteva avvenire nella stessa sala d'attesa, sfruttando i momenti di attesa durante l'esperimento, oppure comodamente da casa, utilizzando un computer o uno smartphone. I questionari potevano essere compilati da uno solo dei genitori o congiuntamente da entrambi, a seconda delle preferenze familiari. Successivamente, il bambino o la bambina veniva accompagnato/a in una stanza appositamente allestita per accoglierlo/a in un ambiente rassicurante e a misura di bambino. La stanza era progettata per favorire la concentrazione e il comfort, con un'illuminazione adeguata, un'atmosfera silenziosa e una disposizione degli

arredi pensata per ridurre al minimo le distrazioni. Il bambino veniva fatto sedere su una sedia confortevole, collocata a circa 60 cm dallo schermo del computer, per garantire una posizione ottimale sia per l'attenzione che per l'esecuzione dei compiti.

Prima di iniziare con la parte sperimentale, il ricercatore si assicurava che il bambino fosse completamente a proprio agio, instaurando un dialogo sereno e rassicurante. Si spiegava quindi, con un linguaggio semplice e comprensibile, quali attività si sarebbero svolte e quali sarebbero state le modalità di partecipazione. L'obiettivo era creare un clima di fiducia e collaborazione, in modo che il bambino potesse sentirsi sicuro e coinvolto in ogni fase della ricerca.

3.3 Materiali

Durante la sessione sperimentale ai bambini venivano somministrate alcune semplici prove cognitive presentate sotto forma di gioco così da non comportare stress e/o frustrazione. Tali prove non avevano valore clinico o diagnostico.

La valutazione dell'apprendimento associativo implicito è avvenuta attraverso la somministrazione di un task sperimentale specifico in corso di validazione denominato "Mario Task" (Stefanelli et al., in prep.) somministrato mediante il software *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

Il protocollo sperimentale infatti, era costituito principalmente da due fasi: una prima fase in cui al bambino/a veniva proposto il "Mario Task" (Stefanelli et al., in prep.) e una seconda fase di prove neuropsicologiche; alcune presentate in forma computerizzata, altre carta-matita.

3.3.1 Presentazione del Mario TASK

Per introdurre i bambini al *Mario Task*, veniva utilizzata una narrazione ludica e coinvolgente. L'audio del computer era impostato al 50%, e con un tono amichevole e rassicurante, ai bambini veniva spiegato che avrebbero partecipato a un gioco con Mario e i suoi amici. I personaggi del compito sperimentale erano tratti dal videogioco Nintendo © "Super Mario", un aspetto che contribuiva a suscitare sorpresa e interesse. È stato notevole osservare come sia i bambini che le bambine fossero coinvolte, attenti e curiosi fin dall'inizio, facilitando una solida alleanza relazionale tra il clinico e il partecipante. Il linguaggio utilizzato era familiare e divertente, con

domande come: “Ti va di giocare con noi a un gioco con Mario e i suoi amici? Conosci il gioco o hai visto il film? Dovrai aiutarli a raccogliere delle monetine!”

La prima fase del compito era una sessione di “allenamento” durante la quale i bambini avevano la possibilità di apprendere le modalità del gioco. Gli veniva spiegato che dovevano aiutare Mario e i suoi amici, Toad e Yoshi, a raccogliere il maggior numero di stelle e fiori, e che per farlo avrebbero dovuto prestare attenzione agli stimoli che apparivano sullo schermo. Quando vedevano una stella o un fiore, dovevano premere il tasto corretto, che veniva mostrato loro durante la spiegazione, per raccogliere le monetine. I bambini venivano incoraggiati a fare del loro meglio e a essere veloci, mentre un contatore in basso a sinistra mostrava il numero di monetine accumulate. Una volta terminata la fase di prova, ai bambini veniva data la possibilità di ripetere l’allenamento per assicurarsi che avessero compreso bene le regole. Quando il bambino si sentiva pronto, si procedeva con l’avvio del gioco vero e proprio, dalla durata di 30 minuti circa, intervallato da brevi pause per riposare. Al termine del gioco, i bambini venivano informati di aver superato il livello con successo e venivano ringraziati per l’aiuto dato a Mario e ai suoi amici. Come riconoscimento per il loro impegno, ricevevano degli stickers che rappresentavano le stelline raccolte, un piccolo premio per celebrare la conclusione di questa prima fase del compito sperimentale.

3.3.2 Il Mario TASK

Il compito di Mario, un task comportamentale computerizzata, costituisce il fulcro del protocollo sperimentale. Questo compito di apprendimento associativo è stato adattato dal lavoro di Lawson et al., 2017, incentrato sulla volatilità ambientale, e prevede una manipolazione delle associazioni pseudo casuali tra stimolo e target durante il compito. In altre parole, le associazioni tra lo stimolo (cioè il presentarsi di Toad o Yoshi) e il target (il fatto che seguirà una stella o un fiore) cambiano nei diversi blocchi di cui il compito sperimentale si compone. Tale struttura è stata progettata per introdurre diversi livelli di prevedibilità ambientale. Per esempio, in alcune occasioni, il bambino può aspettarsi di vedere un certo risultato con una probabilità dell’80% ($P=0,80$), altre volte solo con il 20% ($P=0,20$), e altre ancora con il 50% ($P=0,50$). In pratica, il compito cambia in base a quanto è facile o difficile prevedere cosa succederà, e

questo meccanismo ci permette di studiare come i bambini imparano e si adattano quando le situazioni sono più o meno prevedibili.

La somministrazione del compito di Mario ci consentirà di studiare come il contesto predittivo moduli la capacità dei partecipanti di apprendere implicitamente. Infatti, questo paradigma sperimentale ci offre l'opportunità di studiare come diversi gradi di volatilità influenzano sia l'apprendimento contestuale che le prestazioni comportamentali.

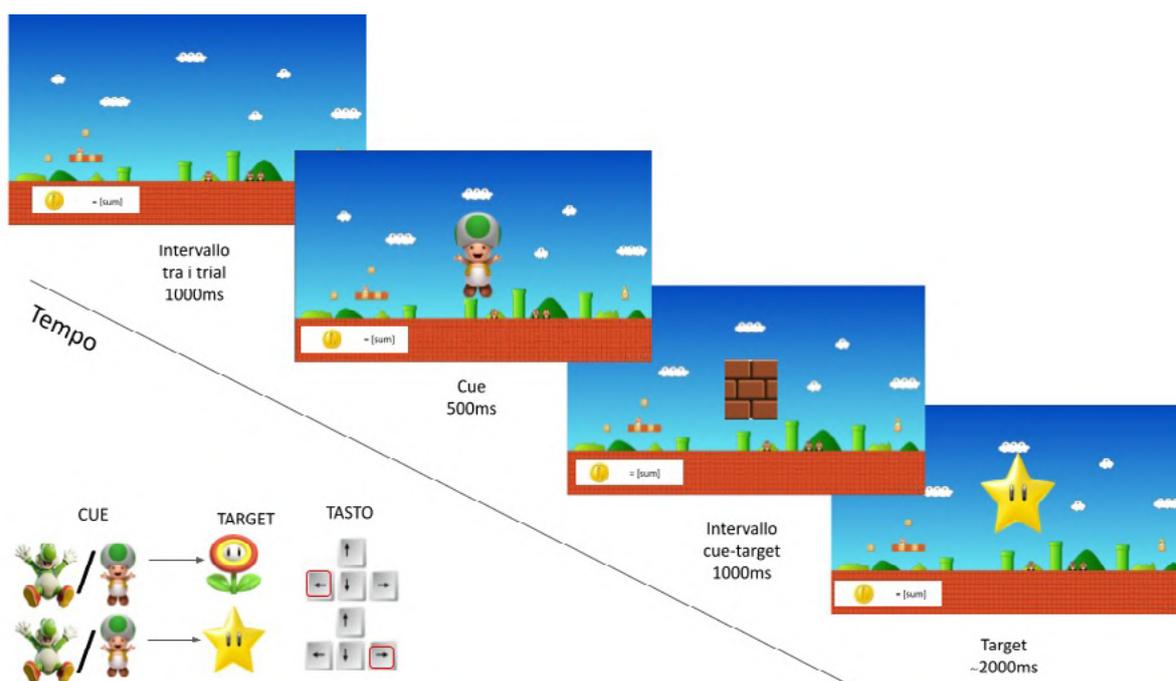


Figura 5: Struttura del Trial

Il compito inizia con la presentazione di una schermata iniziale della durata di 1000 ms, seguita dall'apparizione del primo elemento visivo (stimolo), che consiste in un'immagine di uno dei personaggi del gioco, Yoshi o Toad, visualizzata per 500 ms. Dopo un intervallo di 1000 ms, viene mostrato il secondo stimolo (target), rappresentato da un'immagine di una stella o di un fiore (**Figura 5**). L'obiettivo del partecipante è di premere il tasto corretto sulla tastiera il più velocemente e accuratamente possibile, entro 2000 ms dall'apparizione del target. I tasti da premere per rispondere erano controbilanciati tra i partecipanti.

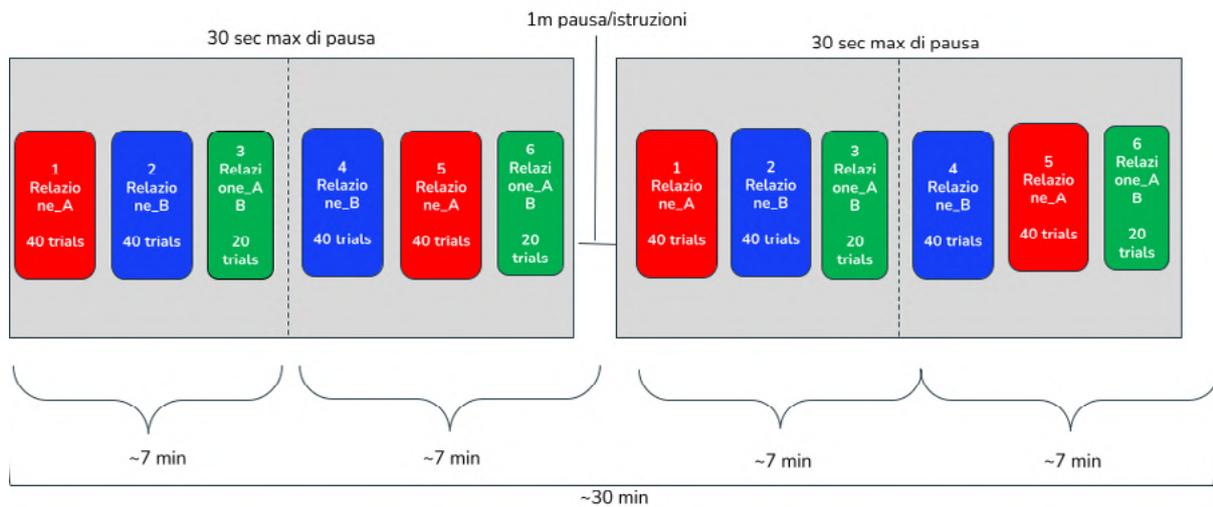


Figura 6: Struttura dei blocchi

È fondamentale sottolineare che i partecipanti non saranno consapevoli della manipolazione probabilistica durante il compito. Per garantire questo, non verranno inserite pause tra i blocchi, poiché un'interruzione potrebbe indurre i partecipanti a intuire il cambiamento delle caratteristiche di prevedibilità.

Il compito è strutturato in 12 blocchi di prove, suddivisi in blocchi predittivi (blocco A_1 e blocco B_2) da circa 40 prove ciascuno e blocchi non predittivi da 20 prove ciascuno. Nello specifico, la manipolazione probabilistica dei blocchi predittivi prevede l'80% di probabilità che dopo il cue (Yoshi o Toad) si presenti uno stesso stimolo target (fiore o stella rispettivamente) e il 20% di probabilità che si presenti lo stimolo target opposto (stella o fiore rispettivamente) (Relazione A). Il blocco predittivo 2 (Relazione B) seguirà l'andamento probabilistico opposto. Il terzo blocco non è predittivo (Relazione AB), dunque, la probabilità che il cue (Toad o Yoshi) sia seguito da target stella/fiore è del 50%. I blocchi saranno presentati in ordine fisso per ogni partecipante, per garantire la stessa distribuzione delle condizioni sperimentali. Ogni prova avrà una durata massima di 4500 ms, fornendo il tempo necessario ai partecipanti per processare lo stimolo e rispondere correttamente.

Prima di avviare i blocchi sperimentali, verrà somministrato un blocco di prova al fine di verificare la corretta comprensione delle istruzioni da parte dei partecipanti. Durante in questa

fase i partecipanti riceveranno un feedback visivo e uditivo in base alla loro performance che gli permetterà di correggere eventuali errori. Tuttavia, una volta iniziati i blocchi sperimentali, non sarà fornito alcun feedback, per non influenzare i processi di apprendimento associativo in corso.

Per ridurre l'affaticamento e mantenere alta l'attenzione dei partecipanti, saranno previste due brevi pause di circa 30 secondi ciascuna, oltre a una pausa più lunga di circa 1 minuto a metà del compito. Complessivamente, la durata totale del compito sarà di circa 30 minuti.

Tutti i blocchi, sebbene differenziati per livello di prevedibilità, presenteranno richieste sensorimotorie simili: gli stimoli visivi e le risposte motorie richieste rimarranno invariati lungo tutto il compito, garantendo che le variazioni nelle performance siano dovute esclusivamente alla manipolazione delle probabilità e non a cambiamenti nelle richieste cognitive o motorie.

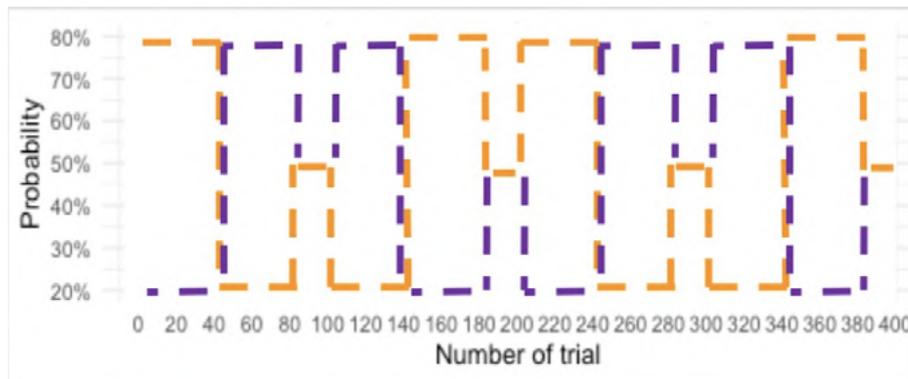
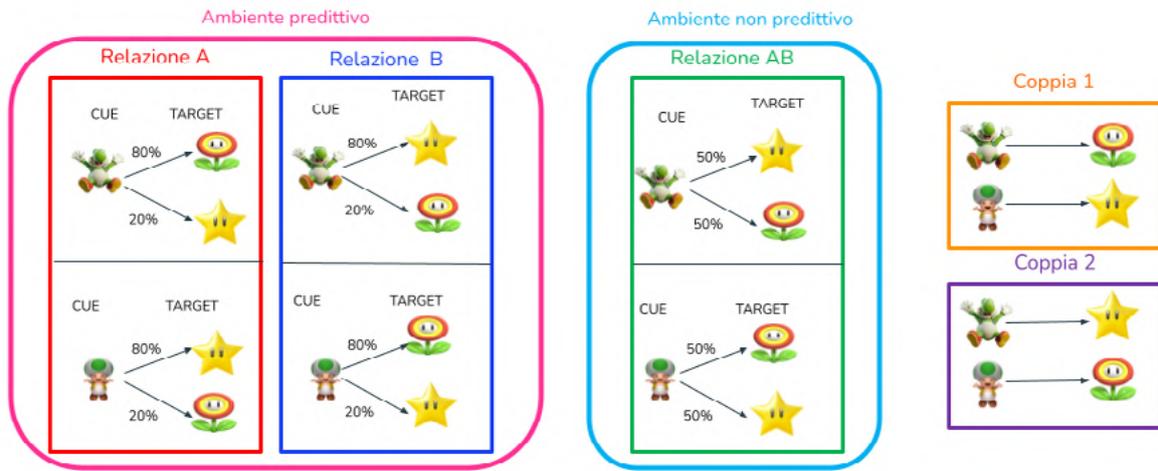


Figura 7: Disegno Sperimentale

La figura mostra il disegno sperimentale, in particolare la manipolazione delle associazioni tra stimolo e target. A sinistra è illustrato il contesto predittivo che vede la manipolazione del target presentarsi dopo il cue (Ambiente predittivo). Al centro l'ambiente non predittivo che prevede una randomizzazione tra cue e target con $P=50\%$ (Ambiente non predittivo). A destra (arancio e viola) sono rappresentate le coppie (coppia 1 e coppia 2) di associazione tra cue e target. Le linee tratteggiate mostrano la “verità di base” che cambia $P(\text{cue}|\text{target})$.

3.3.3 Le prove neuropsicologiche

La ricerca prevede la somministrazione di prove neuropsicologiche computerizzate/in modalità carta matita e questionari rivolti ai genitori. Per una descrizione delle prove (abilità valutate e durata di somministrazione) si veda la **Tabella 1**. I questionari ai genitori verranno invece somministrati mediante una piattaforma online (Qualtrics), che ne consente una compilazione agevole anche da casa e avranno una durata di circa 40 minuti. Per una descrizione dei questionari (abilità valutate e durata di somministrazione) si veda la **Tabella 2**.

Oltre alle prove sperimentali, verrà richiesto di fornire i punteggi grezzi relativi ad una serie di test neuropsicologici (si veda **Tabella 3**) che costituiscono parte integrante della normale pratica clinica. Solo nel caso in cui alcune di queste prove non siano già somministrate di routine dal clinico di riferimento, se ne richiede l'integrazione con l'aiuto di un/a tirocinante formato/a che avrà il compito di gestire la ricerca presso il centro di riferimento.

Tabella 1: Prove computerizzate

PROVE COMPUTERIZZATE*		
Nome del task	Cosa valuta	Durata
<i>Mario Task</i>	Compito di apprendimento associativo	30 minuti (Software Opensesame)
<i>RAVEN Coloured Progressive Matrices (Raven, 1938)</i>	Ragionamento non verbale	5 minuti (Software Opensesame)
<i>WISCONSIN CARD SORTING TASK (Heaton, R. K., & Par, S., 2000) – versione computerizzata a 64 carte</i>	Flessibilità cognitiva	10 minuti (Software Pebl)
TOTALE		45 MINUTI

*le prove computerizzate saranno somministrate nei centri attraverso i computer portatili dei tirocinanti.

Tabella 2: Questionari per i genitori

QUESTIONARI PER I GENITORI (PIATTAFORMA QUALTRICS)	
Nome del questionario	Cosa valuta
CPRS-R – Conners’ Rating Scales Revised Parent version (Conners et al., 2001; Italian adaptation by Nobile et al., 2007)	Aspetti comportamentali ed emotivi del/la bambino/a
BRIEF-2 – Behavior Rating Inventory of Executive Function (Gioia et al., 2000; Italian adaptation Marano, et al., 2016)	Funzioni esecutive del/la bambino/a nel contesto quotidiano
IUS-P – Intolerance of Uncertainty Scale Parent version (Boulter et al., 2014; Italian adaptation by Bottesi et al., in prep)	La capacità di gestire situazioni di incertezza del/la bambino/a
SRS- Social responsiveness scale (Italian adaptation D’Ardia et al., 2021)	Abilità sociali

Tabella 3: Prove neuropsicologiche carta e matita

PROVE INTELLETTIVE E NEUROPSICOLOGICHE CARTA E MATITA	
Nome della prova	Cosa valuta
<i>BVN 5-11, 12-18. "BACKWARD DIGIT SPAN" (Bisiacchi et al., 2005; Gugliotta et al., 2009)</i>	Memoria di lavoro verbale
<i>BIA. "STROOP NUMERICO" (Marzocchi et al., 2010)</i>	La capacità di inibizione, in particolare il controllo delle interferenze, e la valutazione dei processi inibitori in accesso
<i>BIA. "COMPLETAMENTO FRASI" (Marzocchi et al., 2010)</i>	La capacità di inibizione della risposta automatica
<i>NEPSY. "INIBIZIONE" (Urgesi et al., 2011)</i>	La capacità di inibire risposte automatiche
<i>BVN. "FLUENZE FONEMICHE" (Bisiacchi et al., 2005; Gugliotta et al., 2009)</i>	Accesso al magazzino semantico su indizio fonemico logico
<i>FE-PS. "INCARTO IL PACCHETTO" E "IL DONO" (Traverso et al., 2017) (solo 4-6 anni)</i>	Inibizione del comportamento impulsivo

Importante: nessun bambino/a deve essere testato senza aver prima raccolto il consenso informato firmato dalla famiglia. Le copie sono state conservate con cura e consegnate alla Dott.ssa Stefanelli/Dott.ssa Toffoli/Prof. Mento. Una copia di tale consenso va sempre lasciata alla famiglia.

Terminata la fase dei test neuropsicologici, al bambino veniva consegnato il “Diploma di giovane Ricercatore/trice” con scritto il suo nome, come premio finale per aver partecipato alla ricerca (*Figura 8*).



Figura 8: Diploma di Giovane Ricercatore/trice

3.4 Ipotesi sperimentali

3.4.1 Ipotesi 1: H1

- H1 a) effetto di gruppo per i tempi di reazione: ci aspettiamo che i siblings per quanto riguarda la variabile “tempi di reazione” presentino un andamento migliore degli individui con ADHD, e si collochino nel mezzo tra la popolazione clinica e il gruppo di controllo.
- H1 b) effetto di gruppo per l’accuratezza durante il compito: ci aspetteremmo che i partecipanti con ADHD presentino un’accuratezza inferiore rispetto ai siblings, che, a loro volta, si collocerebbero in una posizione media in termini di accuratezza tra gruppo ADHD e gruppo di controllo.

3.4.2 Ipotesi 2: H2

- H2 a) effetto blocco per validità per tempi di reazione : ci aspettiamo che in ogni blocco gli individui, in relazione alla presentazione di un ambiente predittivo o meno, rispondano in modo più veloce per i blocchi A e B, che presentano coppie predittive.
- H2 b) effetto blocco per validità per accuratezza: ci aspettiamo che i partecipanti siano più accurati, quindi che commettano meno errori, nella condizione in cui viene presentata loro una coppia predetta (blocchi A e B).

3.5 Analisi dei dati

Questo studio ha un disegno misto 2 (within-subjects, associazione: coppia_1, coppia_2) x 6 (within-subjects, blocchi: A_1, B_1, AB_1, B_2, A_2, AB_2) x 3 (between-subjects, gruppo: controllo, siblings, ADHD).

Abbiamo utilizzato dei modelli generalizzati lineari misti (GLMMs) con intercetta random per soggetto.

Nello specifico, per quanto riguarda tempi di reazione (RT) nei trials corretti, il modello è stato specificato come segue:

RT ~ associazioni * tipo blocchi * gruppo + Acc_n_1+ preRT + età (anni) + (1 | subj)

Nello specifico, come covariate ci sono i post-error trial (Acc_n_1) ovvero la presenza o meno di errori nel trial precedente al fine di tener conto del cosiddetto rallentamento post-errore (Rabbitt, 1966), un predittore continuo che riflette i tempi di reazione del trial precedente (preRT; la variabile è stata standardizzata) e che consente di tener conto della dipendenza temporale nei tempi di risposta (Baayen & Milin, 2010) e infine l'età in anni (la variabile è stata standardizzata). Il modello è stato stimato usando una distribuzione gaussiana inversa (link function = "log").

Per quanto riguarda l'accuratezza (i.e., 1 = corretto, 0 = sbagliato), il modello è stato specificato come segue:

accuratezza ~ associazioni * tipo blocchi * gruppo + Acc_n_1+ età (anni) + (1 | subj)

Il modello è stato stimato usando una distribuzione binomiale (family function = "binomial").

CAPITOLO 4

RISULTATI

4.1 Tempi di reazione

I risultati hanno evidenziato la presenza di un effetto principale significativo relativamente al tipo di blocco ($\chi^2(5) = 208.98$, $p < .001$) e al preRT ($\chi^2(1) = 40.74$, $p < .001$). Non è emerso alcun effetto di interazione significativo relativo alla variabile RT. Sono poi stati analizzati i contrasti per i blocchi e, come si deduce anche dal grafico in *Figura 9*, per il gruppo ADHD i tempi di reazione nel blocco B_1 sono superiori rispetto al blocco A_1 ($\beta = .11$, $SE = .01$, $z(\text{inf}) = 3.50$, $p = .0069$), nel blocco AB_1 sono superiori rispetto al blocco A_1 ($\beta = .10$, $SE = .01$, $z(\text{inf}) = 3.25$, $p = .0175$) e nel blocco AB_2 sono superiori rispetto al blocco A_1 ($\beta = .18$, $SE = .01$, $z(\text{inf}) = 5.31$, $p < .0001$).

Per il gruppo di controllo, invece, i contrasti hanno mostrato tempi di reazione inferiori nel blocco B_1 rispetto al blocco AB_2 ($\beta = -.14$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = -3.25$, $p = .0173$); tempi di reazione inferiori nel blocco AB_2 rispetto al blocco AB_1 ($\beta = -.16$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = -3.66$, $p = .004$); tempi di reazione superiori nel blocco AB_2 rispetto al blocco A_1 ($\beta = .24$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = 5.74$, $p < .0001$); tempi di reazione inferiori nel blocco A_1 rispetto al blocco A_2 ($\beta = -.18$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = -4.65$, $p < .0001$). I restanti contrasti non sono risultati significativi.

Infine, per il gruppo dei siblings, i contrasti hanno mostrato tempi di reazione inferiori nel blocco B_1 rispetto al blocco AB_2 ($\beta = -.19$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = -4.71$, $p < .0001$); tempi di reazione superiori nel blocco B_2 rispetto al blocco A_1 ($\beta = .16$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = -4.18$, $p = .0004$); tempi di reazione superiori nel blocco AB_1 rispetto al blocco A_1 ($\beta = .16$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = 3.78$, $p = .0024$); tempi di reazione superiori nel blocco AB_2 rispetto al blocco A_1 ($\beta = .28$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = 6.58$, $p < .0001$). I restanti contrasti non sono risultati significativi.

Per quanto riguarda il tipo di associazione Coppia 1 nel gruppo ADHD risulta esserci una differenza significativa in termini di tempi di reazione tra il blocco B_1 e il A_1 con i tempi di reazione di B_1 maggiori rispetto ad A_1 ($\beta = .16$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = 3.59$, $p = .0049$). Inoltre, i tempi di reazione sono maggiori nel blocco AB_2 rispetto a A_1 ($\beta = .20$, $SE = .04$, $z(\text{inf}) = 4.74$, $p = .0343$).

Con la presentazione della coppia 2 nel gruppo ADHD possiamo osservare come si riscontrino tempi di reazione maggiori per la condizione blocco AB_2 rispetto ad A_1 ($\beta = .17$, SE = .05, $z(\text{inf}) = 3.05$, $p = .0343$).

Nel gruppo di controllo, invece, i tempi di reazione nel blocco AB_1 sono inferiori rispetto al blocco A_2 ($\beta = -.21$, SE = .05, $z(\text{inf}) = -4.36$, $p = .0002$). Nei siblings invece figurano tempi di reazione maggiori per la condizione blocco AB_2 rispetto al blocco A_1 ($\beta = .33$, SE = .05, $z(\text{inf}) = 6.23$, $p < .0001$).

Per quanto riguarda il tipo di associazione Coppia 2 sono significativi solo i contrasti tra blocco AB_2 e blocco A_1 per tutti i tre i gruppi (ADHD: $\beta = .17$, SE = .05, $z(\text{inf}) = 3.05$, $p = .0343$; CONTROL: $\beta = .21$, SE = .06, $z(\text{inf}) = 3.28$, $p = .01$; SIBLING: $\beta = .24$, SE = .07, $z(\text{inf}) = 3.55$, $p = .006$). Sia il gruppo ADHD, sia il gruppo di controllo e i Siblings hanno tempi di reazione maggiori nel blocco finale del task rispetto al blocco iniziale.

E' stata poi esaminata la variabile associazione nello stesso blocco (AB_1) e si è notato che la coppia 1 presenta tempi di reazione minori rispetto alla coppia 2, nel gruppo di controllo (CONTROL: $\beta = -.20$, SE = .05, $z(\text{inf}) = -3.375$, $p = .0007$).

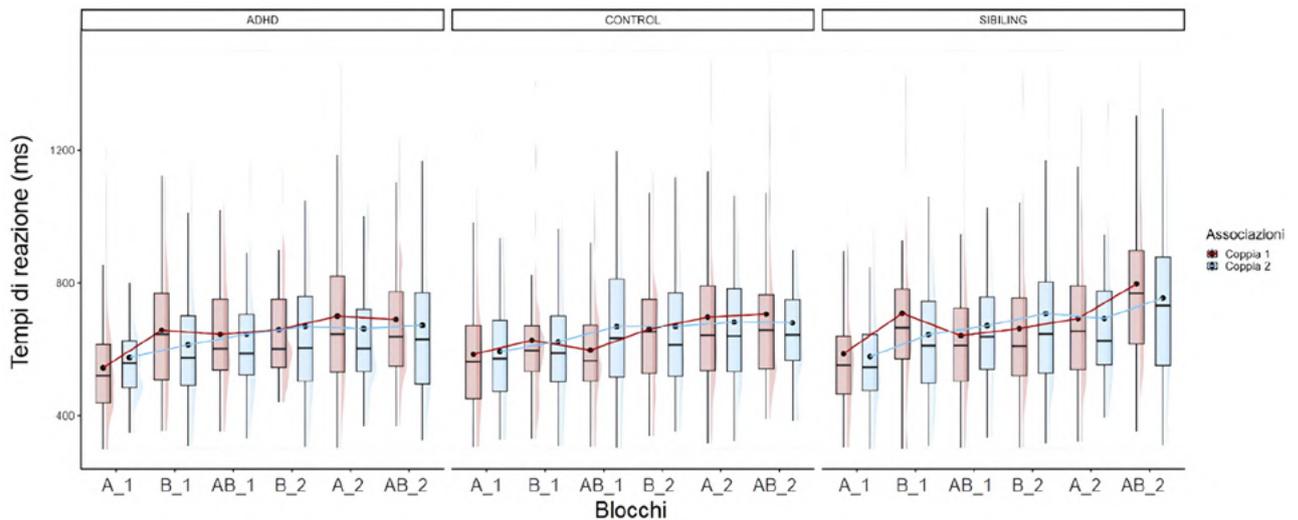


Figura 9: Grafico tempi di reazione

grafico box plot che mette in relazione sull'asse y i RT e sull'asse x i blocchi, per i due tipi di associazione (Coppia 1 è rappresentato in rosa, mentre Coppia 2 in azzurro). Nella parte sinistra del grafico sono rappresentati i dati relativi al gruppo ADHD, centralmente osserviamo i dati del gruppo di controllo; mentre il lato destro riporta i dati per il gruppo dei Siblings.

4.2 Accuratezza

I risultati riguardo la variabile dipendente accuratezza hanno evidenziato effetti principali significativi per le variabili: blocco ($\chi^2(5) = 14.18, p < .05$) e associazione ($\chi^2(1) = 3.85, p < .05$). Non viene osservato alcun effetto di interazione.

Dall'analisi dei contrasti e dal grafico riportato in **Figura 10**, non si osservano differenze significative di accuratezza tra i blocchi: né nel gruppo ADHD né nei controlli e tanto meno nel gruppo dei Siblings. Si assiste però a differenze significative tra i livelli della variabile associazione in alcuni blocchi. Nello specifico, nel gruppo SIBLINGS nel blocco A_1 l'accuratezza è maggiore nella Coppia 1 rispetto alla Coppia 2 (ADHD: $\beta = .85, SE = .42, z(\text{inf}) = 2.73, p = .04$).

Nel blocco A_1 l'accuratezza risulta differire significativamente tra gruppi, in particolare il gruppo ADHD mostra accuratezza maggiore rispetto ai siblings (ADHD - SIBLING: $\beta = 1.16, SE = .47, z(\text{inf}) = 2.46, p = .04$). Relativamente l'accuratezza i controlli nel blocco A_1 sembrerebbero essere più precisi e accurati dei siblings. (CONTROL - SIBLING : $\beta = 1.58, SE = .58, z(\text{inf}) = 2.73, p = .02$).

Infine, il gruppo dei siblings nel blocco A_1 mostrano una maggiore accuratezza se presentata

la coppia 1 piuttosto che la coppia 2 (coppia1 - coppia2: $\beta = .85$, $SE = .42$, $z(\text{inf}) = 2.02$, $p = .04$).

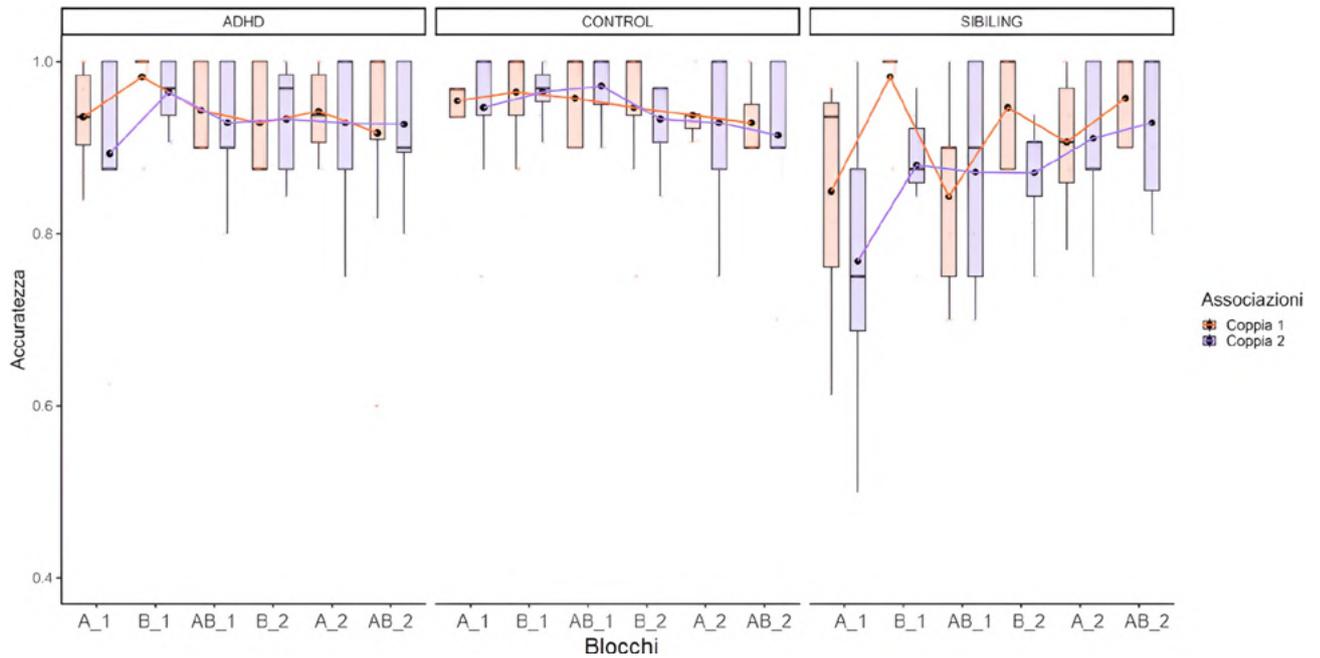


Figura 10: Grafico accuratezza

grafico box plot che mette in relazione sull'asse y l'accuratezza e sull'asse x i blocchi, per i due tipi di associazione (Coppia 1 è rappresentato in rosa, mentre Coppia 2 in azzurro). Nella parte sinistra del grafico si trovano i dati per il gruppo ADHD, a destra per il gruppo Siblings e centrali i controlli.

CAPITOLO 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 (CC) adattivo mediante compiti sperimentali appositamente ideati, in bambini a sviluppo tipico (TD) e in bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD). Nella sua seconda fase di ricerca, il progetto CALM 2 si è posto l'obiettivo di indagare come cambia la capacità dei bambini a sviluppo (a)tipico di apprendere implicitamente le regolarità statistiche dell'ambiente e come questi si adattano in diversi ambienti predittivi. In questo specifico elaborato ci si è limitati ad indagare come la volatilità ambientale influisca sull'apprendimento associativo implicito nei bambini con ADHD, confrontandoli con i loro siblings a sviluppo tipico. Al fine di raggiungere tale scopo è stato somministrato un compito sperimentale, il MARIO TASK (Stefanelli et al., in prep.) somministrato mediante il software *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012) ad un campione iniziale di 124 bambini di età compresa tra i 4 e gli 14 anni, di cui 35 femmine e 89 maschi. Ai fini degli obiettivi del presente elaborato è stato poi estratto un sotto campione di bambini con diagnosi di ADHD che potessero essere confrontati per età con un gruppo di bambini con vulnerabilità (gruppo dei *Siblings*) e un gruppo di controllo. In totale i tre gruppi erano composti da 21 bambini di cui 7 femmine e 14 maschi: 7 controlli, 7 *Siblings* e 7 ADHD. Il compito sperimentale utilizzato, ispirato a Lawson et al. (2017), mira a esplorare la volatilità ambientale attraverso associazioni pseudo-casuali tra stimolo e target nei vari trial. Durante il compito, i partecipanti affrontano livelli variabili di prevedibilità ambientale, con probabilità di vedere un certo risultato impostato a $P=0,80$, $P=0,20$ e $P=0,50$. 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 Andamento dei Tempi di Reazione : quali differenze tra ADHD, Siblings e Controlli?

Le analisi statistiche hanno evidenziato un effetto principale significativo per il fattore blocco, indicando differenze significative nei tempi di reazione tra i vari blocchi. Questo risultato suggerisce un rallentamento progressivo dei tempi di reazione nel corso del compito, come previsto. Coerentemente con l'ipotesi di un peggioramento delle prestazioni nel corso del compito, il rallentamento dei tempi di risposta può essere attribuito all'affaticamento mentale, ovvero a un calo progressivo dell'efficienza cognitiva che si manifesta con l'aumento delle prestazioni. L'andamento dei tempi di reazione nei vari blocchi evidenzia un peggioramento graduale delle prestazioni, una tendenza interpretabile come effetto di affaticamento mentale (van der Linden, Frese & Meijman, 2003). L'affaticamento mentale, spesso descritto come una riduzione progressiva delle capacità cognitive e della velocità di risposta durante compiti prolungati, è strettamente legato al declino delle risorse attente e al calo dell'efficienza cognitiva con il passare del tempo (Hopstaken et al., 2015). Non si tratta semplicemente di una sensazione di stanchezza, ma di un vero e proprio deterioramento delle risorse cognitive, che comporta una riduzione della qualità delle prestazioni. Anche Boksem, Meijman e Lorist (2005) hanno approfondito questo fenomeno, evidenziando come l'affaticamento mentale incida negativamente sul mantenimento dell'attenzione e sul controllo esecutivo, portando ad un aumento degli errori e a tempi di risposta più lenti. Questo deterioramento delle capacità cognitive compromette la precisione e la rapidità delle risposte, rendendo sempre più difficile per l'individuo sostenere la stessa qualità di prestazione con il progredire del compito.

L'analisi dei tempi di reazione (RT) nei tre gruppi (ADHD, fratelli e gruppo di controllo) ha evidenziato differenze significative che rispecchiano in parte le nostre ipotesi di ricerca.

I dati infatti mostrano (**Figura 9**) che il gruppo ADHD ha tempi di reazione più elevati, soprattutto nei blocchi B_1, AB_1 e AB_2, rispetto ai controlli e ai fratelli. L'andamento dei tempi di reazione nei soggetti con ADHD conferma l'ipotesi di un incremento progressivo, attribuibile a una maggiore vulnerabilità all'affaticamento mentale durante compiti ripetitivi o cognitivamente impegnativi. Nei soggetti con ADHD, infatti, le prestazioni cognitive dipendono in larga misura dal livello di interazione ambientale: gli stimoli che evocano un livello moderato di eccitazione cerebrale favoriscono buone prestazioni, mentre gli stimoli troppo deboli o eccessivi tendono a

compromettere il rendimento (Sikström & Söderlund, 2007).

Quando l'ambiente è troppo povero di stimoli, i soggetti con ADHD possono sperimentare una bassa eccitazione, che spesso compensano con iperattività nel tentativo di aumentare il livello di interazione. Al contrario, stimoli intensi o troppo salienti possono facilmente distrarre e interrompere il focus attento, portando ad una riduzione dell'efficienza nei compiti. Questa difficoltà nel mantenere un livello ottimale di eccitazione e attenzione contribuisce al decadimento delle prestazioni in termini di tempi di reazione, poiché richiede costante concentrazione risulta particolarmente impegnativo per gli individui con ADHD (Sikström & Söderlund, 2007). Tale debolezza è anche riflessa dalla mancanza di un significativo effetto di interazione nella variabile RT, indicando una risposta costantemente rallentata e peggiorativa nel gruppo ADHD indipendentemente dalle condizioni specifiche dei blocchi.

Se si osserva poi l'andamento dei RT nel gruppo ADHD, si evince che l'effetto di rallentamento nei tempi di reazione è significativo se si confronta il blocco iniziale (A_1) con il blocco finale (AB_2), considerando quindi l'intera durata del compito. Questo confronto globale mostra un peggioramento delle prestazioni che si accumulano gradualmente, supportando l'idea di un effetto di affaticamento mentale progressivo. Tuttavia, analizzando più nel dettaglio i tempi di reazione tra i singoli blocchi, non emergono differenze significative tra blocchi consecutivi, eccetto tra A_1 e B_1 ($p = .0069$). Questo risultato indica che il peggioramento significativo avviene in modo graduale e non improvviso, confermando quanto sopra riportato. È interessante notare che solo a metà del compito, con il confronto tra i blocchi A_1 e B_1, l'aumento nei tempi di reazione (RT) diventa significativo, suggerendo che il calo dell'efficienza cognitiva nel gruppo ADHD si manifesta progressivamente.

Poiché i bambini partecipanti sono stati attentamente abbinati per età, non si osserva alcun effetto legato all'età, consentendo un confronto più accurato tra i gruppi. Inoltre, il disegno sperimentale misto prevede coppie (coppie di associazioni tra cue e target) e blocchi lungo il compito, permettendo di sperimentare le variazioni prestazionali internamente al campione e tra i gruppi.

A differenza di quanto atteso e nonostante i rallentamenti complessivi, non sono emerse differenze

di gruppo: lungo tutto il compito sia i bambini del gruppo di controllo, sia i bambini con ADHD che i siblings hanno avuto un andamento molto simile caratterizzato da un decadimento dei RT. Tuttavia, sulla base della letteratura (Barkley, 1997; Karalunas, Geurts, Konrad, Bender, & Nigg, 2014) ci si aspettava una differenza di gruppo a sostegno i bambini con ADHD tendono ad avere tempi di reazione più lenti e meno stabili rispetto ai bambini con sviluppo tipico (TD) durante compiti prolungati o cognitivamente impegnativi.

I bambini invece, indipendentemente dal gruppo di appartenenza, tendono a rispondere con tempi simili e a mostrare un leggero rallentamento verso gli ultimi blocchi del compito. Poiché non si osservano differenze significative nell'effetto principale del gruppo e nessuna interazione, non è necessario evidenziare ulteriori distinzioni tra i gruppi. Questo andamento uniforme conferma che tutti i bambini tendono a comportarsi in modo simile in termini di tempi di reazione e a seguire la stessa direzione prestazionale durante il compito.

Un altro aspetto consistente da considerare nella discussione dei risultati è l'effetto sequenziale che si riferisce all'influenza che le risposte date in un trial hanno sui comportamenti o sulle risposte nei trial successivi, specialmente in compiti che richiedono tempi di reazione in sequenza (Botvinick et al., 2001; Danielmeier & Ullsperger, 2011). In contesti come questi, le risposte non sono completamente indipendenti tra loro: un errore o una prestazione specifica in una prova può avere un impatto significativo sulla reazione nella prova immediatamente successiva. Secondo Notebaert et al. (2009) questo fenomeno è noto anche come post-error slowing, e descrive la tendenza dei partecipanti a rallentare e ad aumentare l'accuratezza dopo un errore, per compensare e prevenire ulteriori imprecisioni.

5.2 L'Accuratezza nei Processi di Apprendimento Implicito: Differenze di Gruppo e Andamento Prestazionale nei Bambini con ADHD, Siblings e Controlli

L'accuratezza, come variabile binomiale, rappresenta una misura dicotomica delle risposte corrette o errate, comunemente utilizzata per valutare le prestazioni dei soggetti in compiti di apprendimento implicito (Snodgrass & Corwin, 1988). Nell'ambito di un compito di apprendimento implicito, come quello impiegato nella nostra ricerca, l'accuratezza fornisce informazioni essenziali sulla capacità dei soggetti di associare correttamente stimoli a risposte

attraverso un apprendimento graduale e spesso non consapevole (Cleeremans & McClelland, 1991). Questo tipo di apprendimento viene tipicamente valutato tramite la differenza di accuratezza nei blocchi successivi del compito e può riflettere l'efficacia con cui i soggetti apprendono e applicano le regole implicite.

Secondo quanto proposto dalla letteratura, ci si aspetta che i bambini con ADHD mostrino prestazioni inferiori in termini di accuratezza rispetto ai bambini del gruppo di controllo e, rispettivamente, dei loro fratelli a causa di difficoltà legate al mantenimento dell'attenzione e al controllo esecutivo (Barkley, 1997; Karalunas et al., 2014). Inoltre, studi come quelli di Rebecca Lawson (Lawson et al., 2014) suggeriscono che nel caso di disturbi del neurosviluppo vi è una difficoltà in termini di apprendimento associativo. Per i bambini con sviluppo tipico, invece, ci si aspetta che possano apprendere e aggiornare progressivamente le loro risposte, migliorando l'accuratezza in modo più stabile.

Nel nostro studio, tuttavia, i dati non supportano interamente le ipotesi attese della letteratura. Le analisi dei dati di accuratezza hanno mostrato effetti principali significativi relativi al blocco e all'associazione tra gli stimoli cue target senza evidenziare tuttavia un effetto di interazione tra queste ultime.

Analizzando i risultati più in dettaglio, emerge un quadro complesso rispetto alle ipotesi attese basate sulla letteratura. Per i bambini con ADHD, l'accuratezza risulta superiore rispetto ai fratelli in alcuni blocchi, un dato inatteso che potrebbe riflettere una risposta strategica o compensativa, soprattutto nel primo blocco. È possibile che, consapevoli delle proprie difficoltà attentive, i bambini con ADHD abbiano iniziato il compito con uno sforzo concentrato, adottando un atteggiamento più focalizzato nel tentativo di superare le difficoltà iniziali percepite e migliorare le proprie prestazioni. Questa strategia compensativa, messa in atto soprattutto all'inizio, potrebbe rappresentare un tentativo di mantenere il ritmo e l'accuratezza, ma tende a essere difficile da sostenere nei blocchi successivi. Infatti, col progredire del compito, emergono più chiaramente le vulnerabilità legate all'affaticamento mentale e alla perdita di attenzione tipiche dell'ADHD, con un conseguente decadimento nelle prestazioni (Barkley, 1997; Karalunas et al., 2014).

Il dato che mostra un'accuratezza maggiore nel gruppo di controllo rispetto ai fratelli conferma

parzialmente le aspettative teoriche e il modello teorico di apprendimento implicito, secondo cui, i bambini con sviluppo tipico tendono a migliorare gradualmente la propria accuratezza lungo il compito, perché sono in grado di apprendere le associazioni tra stimoli e risposte in modo progressivo e relativamente automatico. In questi individui si suppone che l'apprendimento implicito avviene senza la necessità di una consapevolezza esplicita delle regole o degli schemi presenti nel compito: essi riuscirebbero ad assimilare le associazioni implicite che strutturano i blocchi e ad aggiornare le proprie risposte per migliorare l'accuratezza nei blocchi successivi del compito.

Ciò che si è cercato di comprendere è se questo miglioramento progressivo fosse meno presente nei bambini con ADHD o presentasse un andamento differente che rispecchiasse il modo di funzionare tipico di questi soggetti, i quali spesso incontrano difficoltà nell'apprendere automaticamente le associazioni, a causa delle loro debolezze nell'attenzione sostenuta e nella gestione delle interferenze, caratteristiche che ostacolano il consolidamento delle risposte (Barkley, 1997). Pertanto, nel gruppo di controllo, questa tendenza a migliorare progressivamente attraverso l'apprendimento implicito riflette la capacità di acquisire e applicare costantemente le regole del compito per ottenere risultati.

Tuttavia, l'analisi dell'intera sequenza di blocchi rivela che le prestazioni dei bambini nel gruppo di controllo non seguono un andamento in linea con la struttura di apprendimento presentata nel blocco come atteso. Nel blocco A_1 e B_1, l'accuratezza è inizialmente in linea con quanto previsto, mostrando un aumento; tuttavia, dal terzo blocco in poi, l'accuratezza si appiattisce e, nei blocchi successivi, tende persino a ridursi, in particolare nei blocchi quinto e sesto. Questo andamento, in cui i livelli di accuratezza decrescono nei blocchi finali, ci porta a pensare che i controlli inizialmente siano in grado di cogliere la coppia maggiormente presente nel compito e apprendere l'associazione oltre che aggiornare le risposte, ma che poi questa abilità decada (Karalunas et al., 2014).

Sulla base della teoria, ci si aspetterebbe che i cambiamenti di accuratezza riflettano la struttura a blocchi del compito, in cui l'accuratezza dovrebbe idealmente aumentare nei blocchi, stabilizzarsi, e poi adattarsi in risposta alle variazioni dell'associazione cue-target (coppie). Questo andamento strutturato indicherebbe un apprendimento implicito e un aggiornamento

delle risposte. Tuttavia, il decadimento dell'accuratezza osservato nei blocchi finali suggerisce che il processo di apprendimento potrebbe non essere consolidato. Potrebbe trattarsi di un effetto legato a molteplici fattori quali saturazione cognitiva (Sweller, J.,1988), affaticamento mentale, motivazione e interesse decrescenti, fattori emotivi o stress, difficoltà nel rilevare regolarità o alla difficoltà nel mantenimento dell'attenzione, che vanifica progressivamente il beneficio dell'apprendimento implicito iniziale (Notebaert et al., 2009; Lawson et al., 2014).

Questo andamento del gruppo di controllo, relativamente all'accuratezza, potrebbe essere spiegato dal fatto che nei primi blocchi, l'entusiasmo e la motivazione legati alla novità del compito possono aver spinto i bambini a prestare maggiore attenzione, ottenendo così un'accuratezza più elevata. Tuttavia, col progredire del compito, l'interesse potrebbe essere diminuito a causa della ripetitività, portando un calo dell'attenzione, della pazienza e dell'accuratezza.

Un'altra possibile spiegazione riguarda l'affaticamento mentale, fenomeno ben documentato nei compiti che richiedono concentrazione prolungata. I bambini, più suscettibili alla stanchezza mentale rispetto agli adulti, possono avere una minore efficienza cognitiva nei blocchi finali, con conseguente calo nelle prestazioni (Boksem, Meijman & Lorist, 2005). Inoltre, si potrebbe ipotizzare che nei primi blocchi i bambini abbiano acquisito rapidamente alcune associazioni implicite, migliorando l'accuratezza iniziale, ma che col tempo abbiano raggiunto una sorta di "saturazione cognitiva" (Sweller, J.,1988), in cui il compito non offriva nuovi stimoli sufficienti a mantenere alta la motivazione o l'attenzione.

È possibile, inoltre, che all'inizio i bambini abbiano adottato strategie cognitive più intensive per memorizzare e associare correttamente gli stimoli, strategie che però si sono rivelate difficili da mantenere nel lungo termine. Nei blocchi successivi, i bambini potrebbero quindi essere passati a modalità di risposta più automatiche e meno accurate (Boksem, Meijman & Lorist, 2005). Anche il sovraccarico di stimoli ripetuti potrebbe aver influito: l'esposizione prolungata agli stessi stimoli può portare a una disattenzione progressiva, con risposte meno accurate e più meccaniche verso la fine del compito (Hopstaken et al., 2015).

Infine, non si può escludere una componente soggettiva: i bambini potrebbero aver reagito in modo diverso al compito in base alle loro caratteristiche individuali, con alcuni più inclini a mantenere l'attenzione e altri più facilmente distratti. Questa interpretazione apre un'ipotesi

futura, in cui esplorare come fattori individuali e la struttura stessa del compito possono interagire nel determinare le prestazioni.

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

Questi risultati vanno interpretati con cautela data la presenza di limiti importanti metodologici quali, in primis, una scarsa numerosità campionaria. Un campione ridotto riduce infatti la potenza statistica dello studio, limitando la capacità di rilevare gli effetti attesi e aumentare la generalizzabilità dei risultati (Cohen, 1988). Con un campione più ampio e una maggiore variabilità dei partecipanti, sarebbe possibile ottenere risultati più robusti e affidabili, permettendo di trarre conclusioni più sicure sulla relazione tra accuratezza e apprendimento implicito nei gruppi ADHD, fratelli e controlli.

Un ulteriore limite potrebbe riguardare l'efficacia del compito nel misurare l'apprendimento associativo. I risultati incoerenti nei blocchi finali dei controlli potrebbero indicare che il compito non è sufficientemente strutturato per mantenere il coinvolgimento e l'attenzione dei partecipanti nel lungo periodo, un aspetto cruciale per l'apprendimento implicito (Cleeremans & McClelland, 1991). Potrebbe quindi essere necessario un miglioramento del disegno sperimentale per garantire che il compito catturi adeguatamente il processo di apprendimento implicito, particolarmente importante nei soggetti con ADHD, i quali presentano già di per sé difficoltà nel mantenimento dell'attenzione su compiti prolungati.

Infine, un ulteriore limite è rappresentato dalle differenze individuali che caratterizzano la condizione ADHD, accompagnate dalla modalità di somministrazione del MARIO TASK, che potrebbe aver introdotto una componente soggettiva nelle risposte. Le variazioni individuali all'interno del gruppo ADHD, come le diverse manifestazioni di impulsività e di difficoltà attentiva, possono aver influenzato in modo differenziale le risposte ai compiti. La somministrazione del compito potrebbe non aver consentito un controllo adeguato su queste differenze, rendendo complessa l'interpretazione dei risultati e il confronto con i gruppi di fratelli e controlli.

BIBLIOGRAFIA

- American Psychiatric Association. (2000). Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-IV-TR (4th ed., text revision). American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Washington, DC: Author.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2, pp. 89-195). Academic Press.
- Balogh, L., Pulay, A. J., & Réthelyi, J. M. (2022). Genetica nella clinica ADHD: in che modo i test genetici possono supportare l'attuale pratica clinica? *Frontiers in Psychology*, 13, 751041. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.751041>
- 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., & Fischer, M. (2010). The unique contribution of emotional impulsiveness to impairment in major life activities in hyperactive children as adults. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(5), 503-513.
- Barkley, R. A. (2011). The Important Role of Executive Functioning and Self-Regulation in ADHD. *J Child Neuropsych*, 113, 41-56.
- Barnes, KA, Howard, JH, Howard, DV, Kenealy, L., & Vaidya, CJ (2010). Due forme di apprendimento implicito nell'ADHD infantile. *Neuropsicologia dello sviluppo*, 35 (5), 494–505. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.494750>

- Behrens, T. E., Woolrich, M. W., Walton, M. E., & Rushworth, M. F. (2007). Learning the value of information in an uncertain world. *Nature Neuroscience*, 10(9), 1214-1221. <https://doi.org/10.1038/nn1954>
- Bidwell, L. C., Willcutt, E. G., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2007). Testing for neuropsychological endophenotypes in siblings discordant for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 62(9), 991-998.
- Biederman, J., Faraone, S. V., Monuteaux, M. C., & Grossbard, J. R. (2004). How informative are sibling data in studies of familiarity in ADHD? *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 43(6), 751-757.
- Bisiacchi, P. S., Cendron, M., Gugliotta, M., Tressoldi, P. E., & Vio, C. (2023). BVN 5-11. Batteria di valutazione neuropsicologica per l'età evolutiva.
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Brain research. Cognitive brain research*, 25(1), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
- Bottesi, G., Iannatone, S., Carraro, E., & Lauriola, M. (in prep). The assessment of Intolerance of uncertainty in youth: An examination of the Intolerance of Uncertainty Scale-Revised in Italian nonclinical boys and girls. *Research on Child and Adolescent Psychopathology*, 51(2), 209–222. <https://doi.org/10.1007/s10802-022-00944-y>
- 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>

- Boulter, C., Freeston, M., South, M., & Rodgers, J. (2014). Intolerance of uncertainty as a framework for understanding anxiety in children and adolescents with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(6), 1391–1402. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-2001-x>
- Chen, Q., Brikell, I., Lichtenstein, P., Serlachius, E., Kuja-Halkola, R., Sandin, S., & Larsson, H. (2017). Familial aggregation of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(3), 231–239. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12616>
- Clark, R. E., & Squire, L. R. (1998). Classical conditioning and brain systems: The role of awareness. *Science*, 280(5360), 77-81. <https://doi.org/10.1126/science.280.5360.77>
- Cleeremans, A., Jiménez, L., & French, RM (2002). Apprendimento implicito e coscienza: una prospettiva dinamica e graduale.
- Coghill, D., Soutullo, C., d'Aubuisson, C., Preuss, U., Lindback, T., Silverberg, M., & Buitelaar, J. (2008). Impact of attention-deficit/hyperactivity disorder on the patient and family: results from a European survey. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1753-2000-2-31>
- Constantino, J. N., Lajonchere, C., Lutz, M., Gray, T., Abbacchi, A., McKenna, K., & Todd, R. D. (2006). Autistic social impairment in the siblings of children with pervasive developmental disorders. *American Journal of Psychiatry*, 163(2), 294–296. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.163.2.294>
- Costea, A. R., Jurchiş, R., Visu-Petra, L., Cleeremans, A., Norman, E., & Opre, A. (2023). Implicit and explicit learning of socio-emotional information in a dynamic interaction with a virtual avatar. *Psychological research*, 87(4), 1057–1074. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01709-4>

- Danielmeier, C., & Ullsperger, M. (2011). Post-error adjustments. *Frontiers in psychology*, 2, 233. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00233>
- D'ardia, C., Di Filippo, G., Donno, F., Keller, R., Petza, S., & Zuddas, A. (2021). Social Responsiveness Scale. Italian Adaptation. Hogrefe.
- Duffy, K. A., Rosch, K. S., Nebel, M. B., Seymour, K. E., Lindquist, M. A., Pekar, J. J., Mostofsky, S. H., & Cohen, J. R. (2021). Increased integration between default mode and task-relevant networks in children with ADHD is associated with impaired response control. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 50, 100980. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100980>
- Eakin, L., Minde, K., Hechtman, L., Ochs, E., Krane, E., Bouffard, R., Greenfield, B., & Looper, K. (2004). The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders*, 8(1), 1-10.
- Fair, D. A., Bathula, D., Nikolas, M. A., & Nigg, J. T. (2012). Distinct neuropsychological subgroups in typically developing youth inform heterogeneity in children with ADHD. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(17), 6769-6774.
- Faraone, S. V., Biederman, J., & Friedman, D. (2001). Validity of DSM-IV subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder: A family study perspective. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39(3), 300-307. <https://doi.org/10.1097/00004583-200103000-0001>
- Faraone, S. V., & Larsson, H. (2019). Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Molecular Psychiatry*, 24(4), 562-575.

- Faraone, S. V., Perlis, R. H., Doyle, A. E., Smoller, J. W., Goralnick, J. J., Holmgren, M. A., & Sklar, P. (2005). Molecular genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1313-1323. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.11.024>
- Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in cognitive sciences*, 13(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.006>
- Gheysen, F., Van Opstal, F., Roggeman, C., Van Waelvelde, H., & Fias, W. (2011). The neural basis of implicit perceptual sequence learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 137. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00137>
- Gluck, M. A., Shohamy, D., & Myers, C. (2002). How do people solve the “weather prediction” task?: Individual variability in strategies for probabilistic category learning. *Learning & Memory*, 9(6), 408-418. <https://doi.org/10.1101/lm.45202>
- Goos, L. M., Crosbie, J., Payne, S., & Schachar, R. (2009). Validazione ed estensione del modello endofenotipico nei modelli di ereditarietà ADHD in uno studio familiare sul controllo inibitorio. *American Journal of Psychiatry*, 166(6), 711–717. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2009.08040621>
- Harpin, V. A. (2005). The effect of ADHD on the life of an individual, their family, and community from preschool to adult life. *Archives of Disease in Childhood*, 90(Suppl 1), i2–i7. <https://doi.org/10.1136/adc.2004.059006>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Cutiss, G. (2000). WCST. Wisconsin Card Sorting Test.
- Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., & Kompier, M. A. (2015). A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. *Psychophysiology*,

52(3), 305–315. <https://doi.org/10.1111/psyp.12339>

- Hughes, C., & Ensor, R. (2009). How do families help or hinder the emergence of early executive function? *New Directions for Child and Adolescent Development*, 123, 35-50.
- Jablonowski, J., Taesler, P., Fu, Q., & Rose, M. (2018). Implicit acoustic sequence learning recruits the hippocampus. *PloS one*, 13(12), e0209590. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209590>
- Karalunas, SL, Geurts, HM, Konrad, K., Bender, S., & Nigg, JT (2014). Revisione annuale della ricerca: Variabilità del tempo di reazione nell'ADHD e nei disturbi dello spettro autistico: misurazione e meccanismi di un fenotipo transdiagnostico proposto. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55 (6), 685–710. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12217>
- Kendall, J., Leo, M. C., Perrin, N., & Hatton, D. (2003). The psychosocial context of siblings of children with ADHD. *Journal of Family Nursing*, 9(4), 398-413.
- Kieling, C., & Rohde, L. A. (2012). The epidemiology of ADHD. In R. A. Barkley (Ed.), *Attention-deficit hyperactivity disorder: A handbook for diagnosis and treatment* (pp. 25-54). Guilford Press.
- Kleppesto, TH, Eilertsen, EM, van Bergen, E., Sunde, HF, Zietsch, B., Nordmo, M., ... Torvik, FA (2024). Trasmissione intergenerazionale dei comportamenti ADHD: percorsi genetici e ambientali. *Medicina psicologica*, 54 (7), 1309–1317. doi: 10.1017/S003329172300315X
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2010). Working memory deficits and social problems in children with ADHD. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(6), 805-817.

- Losh, M., Childress, D., Lam, K., & Piven, J. (2008). Defining key features of the broad autism phenotype: a comparison across parents of multiple- and single-incidence autism families. *American journal of medical genetics. Part B, Neuropsychiatric genetics : the official publication of the International Society of Psychiatric Genetics*, 147B(4), 424–433. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.30612>
- Luman, M., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. (2005). The impact of reinforcement contingencies on AD/HD: A review and theoretical appraisal. *Clinical Psychology Review*, 25(2), 183–213. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2004.11.001>
- Mahrous, N. N., Albaqami, A., Saleem, R. A., Khoja, B., Khan, M. I., & Hawsawi, Y. M. (2024). The known and unknown about attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) genetics: a special emphasis on Arab population. *Frontiers in Genetics*, 15, 1405453. <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1405453>
- Macks, R. J., & Reeve, R. E. (2007). L'adattamento dei fratelli non disabili di bambini con autismo. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1060–1067. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0249-0>
- Marano, A., Innocenzi, M., Devescovi, A., & D'Amico, S. (2016). Behavior Rating Inventory of Executive Function 2, assessment delle funzioni esecutive in età scolare (BRIEF-2), di Gerard A. Gioia, Peter K. Isquith, Steven C Guy, PhD, Lauren Kenworthy, 2000, HOGREFE Editore, 2016, Marano, A., Innocenzi M, Devescovi, A., D'Amico S. adattamento italiano a cura di, HOGREFE Editore.
- Marzocchi, G. M., Pecini, C., Usai, M. C., & Viterbori, P. (2022). *Le funzioni esecutive nei disturbi del neurosviluppo. Dalla valutazione all'intervento.* Hogrefe. ISBN 978-8898542857.

- Marzocchi, G. M., Re, A. M., & Cornoldi, C. (2010). BIA. Batteria italiana per l'ADHD per la valutazione dei bambini con deficit di attenzione-iperattività.
- Marzocchi, G. M., & Valagussa, S. (2011). Le funzioni esecutive in età evolutiva: Modelli neuropsicologici, strumenti diagnostici, interventi riabilitativi. Angeli.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*.
- Mikami, A. Y., & Pfiffner, L. J. (2008). Sibling relationships among children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 12(4), 409-417.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Musen, G., & Squire, L. R. (1993). Implicit learning of color-word associations using a Stroop paradigm. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 19(4), 789–798. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.19.4.789>
- Neece, C. L., Green, S. A., & Baker, B. L. (2012). Parenting stress and child behavior problems: A transactional relationship across time. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 117(1), 48-66. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-117.1.48>
- Nigg, J. T., Blaskey, L. G., Stawicki, J. A., & Sachek, J. (2004). Evaluating the endophenotype model of ADHD neuropsychological deficit subtypes: Results for parents and siblings of children with ADHD combined and inattentive subtypes. *Journal of Abnormal Psychology*, 113(4), 614-625.

- Nissen, MJ, & Bullemer, P. (1987). Requisiti attentivi dell'apprendimento: prove da misure di performance. *Cognitive Psychology*, 19 (1), 1–32. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8)
- Notebaert, W., Houtman, F., Van Opstal, F., Gevers, W., Fias, W., & Verguts, T. (2009). Rallentamento post-errore: un resoconto orientativo. *Cognizione*, 111 (2), 275-279. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.02.002>
- Ormrod, J. E. (2011). *Human Learning* (6th ed.). Pearson
- Parks, C. M., & 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, 2502. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02502>
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Oxford University Press.
- Piaget, J. (1936). *Origins of Intelligence in the Child*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Polanczyk, G., de Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: A systematic review and metaregression analysis. *American Journal of Psychiatry*, 164(6), 942-948. <https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.6.942>
- Poldrack, R. A., Prabhakaran, V., Seger, C. A., & Gabrieli, J. D. (1999). Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology*, 13(4), 564–574. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.13.4.564>
- Pugliese, C. E., Anthony, L., Strang, J. F., Dudley, K., Wallace, G. L., & Kenworthy, L.

- (2015). Increasing adaptive behavior skill deficits from childhood to adolescence in autism spectrum disorder: Role of executive function. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(6), 1579–1587. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2309-1>
- Raven, J., & Court, J. H. (1938). *Raven's progressive matrices*. Oxford Psychologists Press ; Psychological Corp.
 - Re, A. M., Pedron, M., & Lucangeli, D. (2010). *ADHD e learning disabilities: Metodi e strumenti di intervento*. Angeli.
 - Robertson, EM (2007). Il compito del tempo di reazione seriale: apprendimento implicito delle abilità motorie? *The Journal of Neuroscience*, 27 (38), 10073–10075. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2747-07.2007>
 - Rommelse, N. N., Altink, M. E., Oosterlaan, J., Buschgens, C. J., Buitelaar, J., & Sergeant, J. A. (2008). Support for an independent familial segregation of executive and intelligence endophenotypes in ADHD families. *Psychological Medicine*, 38(11), 1595-1606.
 - Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, 1926-1928.
 - Sanjeevan, T., Cardy, R. E., & Anagnostou, E. (2020). Procedural Sequence Learning in Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, 11, 560064. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560064>
 - Santrock, J. W. (2019). *Children* (14th ed.). McGraw-Hill
 - Schachar, R. (2014). Genetica del disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD): aggiornamenti recenti e prospettive future. *Current Developmental Disorders Reports*, 1,

41-49. <https://doi.org/10.1007/s40474-013-0004-0>

- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2011). *Motor Learning and Performance: From Principles to Application*.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning Theories: An Educational Perspective* (6th ed.). Pearson.
- Sergeant, J. A. (2000). The cognitive-energetic model: An integrative theory of ADHD. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(1), 7-12.
- 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
- Shanks, D. R. (2010). Learning: From association to cognition. *Annual Review of Psychology*, 61, 273-301. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100519>
- Sikström, S., & Söderlund, G. (2007). Rilascio di dopamina dipendente dallo stimolo nel disturbo da deficit di attenzione/iperattività. *Psychological Review*, 114 (4), 1047–1075. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.1047>
- Simon, V., Czobor, P., Bálint, S., Mészáros, A., & Bitter, I. (2009). Prevalence and correlates of adult attention-deficit hyperactivity disorder: Meta-analysis. *British Journal of Psychiatry*, 194(3), 204-211.
- Sjöwall, D., Roth, L., Lindqvist, S., & Thorell, L. B. (2013). Multiple deficits in ADHD: executive dysfunction, delay aversion, reaction time variability, and emotional deficits. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 54(6), 619–627. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12188>

doi.org/10.1111/jcpp.12006

- Skinner BF (1938). *Behavior of Organisms*. New York: Macmillan.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and Human Behavior*. Macmillan.
- Slusarek, M., Velling, S., Bunk, D., & Eggers, C. (2001). Motivational effects on inhibitory control in children with ADHD. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(3), 355-363. <https://doi.org/10.1097/00004583-200103000-00016>
- Sonuga-Barke, E. J., & Fairchild, G. (2012). Neuroeconomics of attention-deficit/hyperactivity disorder: differential influences of medial, dorsal, and ventral prefrontal brain networks on suboptimal decision making?. *Biological psychiatry*, 72(2), 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.04.004>
- Sonuga-Barke, E. J. S. (2002). Psychological heterogeneity in AD/HD—a dual pathway model of behaviour and cognition. *Behavioural Brain Research*, 130(1-2), 29-36. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00432-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00432-6)
- 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., Taylor, E., Sembi, S., & Smith, J. (1992). Hyperactivity and delay aversion? I. The effect of delay on choice. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33(2), 387-398. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1992.tb00874.x>
- Stein, M. A. (2008). Impairment associated with adult ADHD. *CNS Spectrums*, 13(S12), 9–11. <https://doi.org/10.1017/S1092852900003187>

- Sweller, J. (1988). Carico cognitivo durante la risoluzione dei problemi: effetti sull'apprendimento. *Scienza cognitiva* , 12 (2), 257-285.
- Thapar, A., Cooper, M., Eyre, O., & Langley, K. (2013). What have we learnt about the causes of ADHD? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2012.02611.x>
- Thissen, AJAM, Rommelse, NNJ, Hoekstra, PJ, Hartman, C., Heslenfeld, D., Luman, M., ... Buitelaar, JK (2014). Disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD) e funzionamento esecutivo in adolescenti affetti e non affetti e nei loro genitori: sfidare il costrutto dell'endofenotipo. *Psychological Medicine* , 44 (4), 881–892. doi:10.1017/S0033291713001153
- Van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta psychologica*, 113(1), 45–65. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(02\)00150-6](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(02)00150-6)
- Van Der Meere, J. (1996). The role of inattention in hyperactivity disorders. In: Sandberg S, editor. *Monographs on child and adolescent psychiatry: Hyperactivity disorders*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Der Meere, J., Gunning, B., & Stemerding, N. (1999). The effect of methylphenidate and clonidine on response inhibition and state regulation in children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(2), 291–298. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00443>
- Van der Meere, J. (2005). State regulation and attention-deficit hyperactivity disorder. In D. M. Gozal (Ed.), *Attention deficit hyperactivity disorder: From genes to patients* (pp. 413-433). Totowa, NJ: Human Press Inc.

- Vicari, S., & Caselli, M. C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva*. Bologna: Il Mulino.
- Weiss, A., Chambon, V., Lee, J. K., & others. (2021). Interacting with volatile environments stabilizes hidden-state inference and its brain signatures. *Nature Communications*, 12, 2228. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22396-6>
- 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-Analytic Review. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1336-1346. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>

RINGRAZIAMENTI

Desidero dedicare questo spazio finale della mia tesi per ringraziare sinceramente tutte le persone che hanno contribuito, con il loro sostegno e la loro guida, al mio percorso universitario e professionale.

In primo luogo, il mio più sentito ringraziamento va al Professor Giovanni Mento, referente del progetto di ricerca CALM, per avermi accolto nel suo team e per la fiducia riposta nelle mie capacità. La sua professionalità e il suo impegno costante nel portare avanti questo progetto sono stati per me fonte di ispirazione e di crescita.

Un ringraziamento particolare va anche alla Dottoressa Giulia Stefanelli e alla Dottoressa Lisa Toffoli, che hanno seguito ogni fase del mio percorso con grande cura e dedizione, guidandomi con competenza sia nella raccolta dei dati sia nella stesura della presente tesi.

Esprimo inoltre la mia gratitudine al Centro Italiano ADHD, alla Dottoressa Elena Vlacos per avermi offerto questa occasione di crescita professionale, ai bambini e alle famiglie che hanno partecipato alla ricerca, dimostrando fiducia nel progetto e permettendone la realizzazione.