

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

POSSIBILI DIFFERENZE NELLA FLESSIBILITÀ COGNITIVA DI BAMBINI CON ADHD TRA COMPITI DI APPRENDIMENTO ESPlicitO ED IMPLICITO

Possible differences in cognitive flexibility of children with ADHD between explicit and
implicit learning tasks

Relatore: Prof. Giovanni Mento

Correlatrice: Dott.ssa Giulia Stefanelli

Laureanda: Erica Polastri

Matricola: 2083020

Anno Accademico 2023-2024

INDICE

| | |
|--|-----------|
| ABSTRACT..... | 1 |
| CAPITOLO 1 – APPRENDIMENTO..... | 3 |
| 1.1 Introduzione al concetto di apprendimento..... | 3 |
| 1.1.1 Che cosa si intende per apprendimento..... | 3 |
| 1.1.2 Approcci teorici..... | 3 |
| 1.2 Apprendimento dichiarativo e non dichiarativo..... | 5 |
| 1.3 Apprendimento non dichiarativo o implicito..... | 7 |
| 1.3.1 Definizione..... | 8 |
| 1.3.2 Com'è stato studiato: paradigmi comportamentali..... | 8 |
| 1.4 Funzioni esecutive e flessibilità cognitiva..... | 10 |
| 1.5 Apprendimento implicito in contesti volatili..... | 12 |
| 1.5.1 Apprendimento associativo implicito e flessibilità cognitiva..... | 13 |
| CAPITOLO 2 – ADHD: Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività..... | 16 |
| 2.1 Definizione e caratteristiche cliniche ed epidemiologiche..... | 16 |
| 2.2 Modelli esplicativi dell'ADHD..... | 19 |
| 2.2.1 Inhibition deficit..... | 19 |
| 2.2.2 The Dual Pathway model..... | 20 |
| 2.2.3 Teoria dello Sviluppo Dinamico dell'ADHD..... | 22 |
| 2.3 Deficit neuropsicologici dell'ADHD..... | 23 |
| 2.4 L'apprendimento implicito nel Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività..... | 26 |
| CAPITOLO 3 – LA RICERCA..... | 28 |
| 3.1 Obiettivi..... | 28 |
| 3.2 Metodo..... | 29 |
| 3.2.1 I partecipanti..... | 29 |
| 3.2.2 Conformità etica..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.3 Strumenti..... | 30 |
| 3.2.3.1 Test di intelligenza e neuropsicologici..... | 30 |
| 3.2.3.2 Mario Task..... | 31 |
| 3.2.3.3 Questionari..... | 35 |
| 3.2.3.4 Procedura..... | 37 |
| 3.3 Ipotesi sperimentali..... | 38 |
| 3.4 Analisi dei dati..... | 39 |
| CAPITOLO 4 – I RISULTATI..... | 41 |
| 4.1 Risultati nei tempi di reazione al Mario Task..... | 41 |
| 4.2 Risultati nell'accuratezza al Mario Task..... | 43 |
| 4.3 Risultati del confronto tra Mario Task e WCST..... | 45 |
| CAPITOLO 5 – DISCUSSIONE..... | 47 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 52 |

ABSTRACT

Uno dei processi che ci permettono di adattarci al mondo che ci circonda e di sopravvivere è l'apprendimento. Riusciamo ad adeguarci ad una realtà instabile grazie alla capacità del nostro sistema cognitivo di apprendere le regolarità ambientali sulla base delle quali costruisce un modello su come funziona il mondo, e di aggiornarlo a fronte di situazioni che, invece, violano tali regolarità. Le rappresentazioni interne che costruiamo ci consentono di fare previsioni e di scegliere il comportamento migliore in ogni circostanza. Questo continuo processo di (ri-)costruzione della conoscenza può essere deliberato e consapevole (apprendimento esplicito/dichiarativo), oppure, come spesso accade, automatico e sfuggire alla cognizione individuale (apprendimento implicito/processuale). Indipendentemente dalla consapevolezza dell'individuo durante il suo processo di apprendimento, quest'ultimo è supportato dalle funzioni esecutive, un'insieme di abilità mentali che ci consentono di regolare le nostre risorse cognitive ed emotive per promuovere un comportamento orientato ad uno scopo. Allo stesso modo, i contenuti dell'apprendimento consentono all'individuo di modulare le proprie funzioni esecutive per adattarsi alla volatilità ambientale. Quanto appena scritto è vero all'interno di traiettorie evolutive tipiche, ma cosa accade nei casi in cui il percorso di sviluppo devia dalla traiettoria attesa? Il Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività (ADHD) rientra in questi ultimi casi e si riferisce ad un quadro clinico caratterizzato da disattenzione e/o iperattività/impulsività. Tradizionalmente, i sintomi tipici di questo quadro clinico vengono attribuiti ad una compromissione del funzionamento esecutivo, tipico anche di altri disturbi neuroevolutivi.

Nel presente elaborato mi sono concentrata sulla relazione tra flessibilità cognitiva ed apprendimento in un gruppo di bambini di età compresa tra i 4 ed i 14 anni con diagnosi di ADHD e ADHD con comorbilità (ASD, DSA). Gli obiettivi principali sono: valutare se, in

questa fetta di popolazione, la flessibilità cognitiva rimane una funzione stabile indipendentemente dal livello di consapevolezza con cui il bambino apprende, oppure se differisce tra contesti di apprendimento esplicito ed implicito, e se, i bambini con questa diagnosi, si servono di quanto implicitamente appreso per migliorare la propria prestazione ad un compito. A tal fine, sono state confrontate le performance ottenute dal gruppo sperimentale ad un compito neuropsicologico che valuta la flessibilità esplicita, il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), con un compito di apprendimento associativo implicito, *Mario Task*. Dalla ricerca oggetto del presente elaborato emergono due risultati principali: le prestazioni dei partecipanti al *Mario Task* sono apparse complessivamente stabili, indice del fatto che il compito non ha suscitato apprendimento associativo nei soggetti, e un'assenza di relazione tra le prestazioni al *Mario Task* e al WCST. L'assenza di un gruppo di controllo non rende possibile confermare che il mancato apprendimento dipenda dal quadro clinico dei partecipanti, né che flessibilità cognitiva esplicita ed implicita siano effettivamente indipendenti.

Tuttavia, i risultati potrebbero essere in linea con la letteratura precedente su bambini con Disturbo dello Spettro dell'Autismo (ASD), suggerendo una possibile compromissione, in questi bambini, nella capacità di modulare le proprie prestazioni sulla base delle regolarità apprese.

CAPITOLO 1

APPRENDIMENTO

1.1 Introduzione al concetto di apprendimento

1.1.1 Che cosa si intende per apprendimento

L'apprendimento è stato uno degli argomenti maggiormente studiati in psicologia, ciononostante, la complessità che lo caratterizza ha reso difficile formularne una definizione universalmente condivisa. Dalla maggior parte delle definizioni che molti autori hanno tentato di fornire, emergono alcuni concetti trasversali: cambiamento, interazione individuo-ambiente e persistenza. L'interazione reciproca tra l'individuo e le regolarità che caratterizzano il suo contesto di vita quotidiano genera, nel primo, dei cambiamenti duraturi che ne favoriscono l'adattamento (De Houwer, Barnes-Holmes & Moors, 2013).

Nel paragrafo di successivo passerò brevemente in rassegna il concetto di apprendimento secondo i principali approcci teorici in psicologia.

1.1.2 Approcci teorici

All'interno del panorama di ricerca in psicologia si è iniziato a parlare di apprendimento già a partire dalla prima metà del 900, epoca in cui il quadro teorico dominante era quello comportamentista, i cui maggiori esponenti sono stati John Watson e Burrhus Skinner (Moore, 2011). Secondo questo approccio l'apprendimento rappresentava l'insieme di cambiamenti comportamentali, osservabili e stabili nel tempo, conseguenza di modifiche ambientali (Mazzoni, 2016). All'interno di questa cornice veniva data un'enfasi esclusiva all'ambiente senza considerare il ruolo dell'individuo che veniva, pertanto, considerato passivo: era sufficiente modificare il contesto per plasmare la persona (Watson, 1997).

Inoltre, i comportamentisti attribuivano all'apprendimento una natura cumulativa e associazionista (condizionamento classico ed operante), tale per cui i cambiamenti che si osservavano nel comportamento non erano altro che il riflesso di un accumulo progressivo di nuove associazioni stimolo-risposta (Mazzoni, 2016). A questa visione dell'apprendimento si è contrapposto l'approccio cognitivista (Ulric Neisser, Richard Atkinson e Richard Shiffrin; Mason, 2019) che pose l'attenzione sul funzionamento cognitivo come intermediario tra input sensoriale e output. Gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno entrano nel sistema cognitivo dell'individuo dove vengono elaborati, integrati in schemi conoscitivi e recuperati allo scopo di orientare il comportamento (Mazzoni, 2016; Ertmer & Newby, 2013). In questa prospettiva il soggetto assume un ruolo attivo all'interno del processo di apprendimento (Ertmer & Newby, 2013).

Seppur comportamentismo e cognitivismo analizzino il processo di apprendimento da prospettive differenti, entrambi gli approcci propongono una visione parziale dello stesso, successivamente superata da un modello teorico maggiormente integrato, il cui principale esponente fu lo psicologo svizzero Jean Piaget: il costruttivismo. E' con questo approccio che si inizia a concepire l'apprendimento nei termini di un processo di costruzione della conoscenza (Mason, 2019). Questa prospettiva condivide con il cognitivismo l'idea dell'individuo come agente impegnato attivamente nell'integrazione delle nuove informazioni con quelle che sono le strutture mentali preesistenti, arricchendole e trasformandole, e sostituisce la concezione cumulativa dei comportamentisti con una visione gerarchica della conoscenza. Inoltre, nell'approccio vengono incluse anche le dimensioni motivazionali e socio-culturali come elementi che influenzano il processo di apprendimento (Mason, 2019).

Sulla scia del costruttivismo, un concetto che si è affermato più recentemente nell'ambito delle neuroscienze è quello di neurocostruttivismo la cui maggior esponente è Annette Karmiloff-Smith (Karmiloff-Smith, Thomas & Johnson, 2018). Questo approccio non è dissimile al cognitivismo e al costruttivismo nel concepire la conoscenza in termini di rappresentazioni mentali. Tuttavia, l'aspetto innovativo di questa cornice teorica è la dimensione neurobiologica come substrato di queste rappresentazioni. Esse vengono, infatti, definite come schemi di attivazione neurale che rappresentano l'apprendimento espresso attraverso un comportamento adattivo osservabile (Westerman et al., 2007; Tokuhama-Espinosa & Borja, 2023). Inoltre, un ulteriore elemento innovativo del neurocostruttivismo è la concezione secondo la quale l'essere umano non si limiterebbe a trasformare in rappresentazioni le informazioni esterne, ma le rappresentazioni stesse verrebbero a loro volta manipolate generando ulteriore conoscenza (Valenza & Turati, 2019). All'interno di questa prospettiva è stato proposto il *Modello di Ridescrizione Rappresentazionale* secondo il quale, durante lo sviluppo, le conoscenze implicite e procedurali acquisite precocemente verrebbero ri-descritte dall'individuo in un formato esplicito (Karmiloff-Smith, Thomas & Johnson, 2018). Le conoscenze acquisite, infatti, si organizzano in conoscenze dichiarative (conoscere cosa) e procedurali (conoscere come), acquisite mediante processi di apprendimento distinti che verranno approfonditi nel paragrafo successivo.

1.2 Apprendimento dichiarativo e non dichiarativo

In passato sono stati effettuati diversi studi su pazienti con amnesia (Milner, Corkin & Teuber, 1968; Graf & Schacter, 1985) che hanno messo in luce un profilo di compromissione cognitiva disomogeneo in questi pazienti. Un caso emblematico è stato quello del paziente H. M., il quale ha riportato danni a carico dell'ippocampo e di altre regioni temporo-mediali che,

sul piano cognitivo, si sono tradotti in deficit nell'acquisizione di nuove conoscenze esplicite a lungo termine, mentre non si erano riscontrate compromissioni a carico delle abilità motorie (Milner, Corkin & Teuber, 1968). Accanto ad H. M., si trovano anche altri pazienti amnesici con danni temporo-mediali meno estesi e con compromissioni cognitive più ridotte. Questi dati hanno portato ad ipotizzare che differenti regioni cerebrali potessero supportare distinti sistemi di memoria contribuendo al superamento di una concezione unitaria dell'apprendimento e dei processi mnestici (Loonis et al., 2017).

Sono stati diversi gli autori che hanno proposto magazzini di memoria differenti. Tra le distinzioni proposte c'è quella di Schacter (Graf & Schacter, 1987; Schacter, Cooper & Delaney, 1990) che distinse la memoria esplicita da quella implicita sulla base del livello di consapevolezza dei meccanismi di recupero dell'informazione mnestica. La rievocazione dei contenuti espliciti è guidata da volontà e consapevolezza; diversamente, alla memoria implicita si ha un accesso automatico e non cosciente (Graf & Schacter, 1987; Schacter, Cooper & Delaney, 1990). Un'altra distinzione, proposta da Squire (1992), è quella tra memoria dichiarativa e procedurale. Della prima fanno parte contenuti espliciti di natura verbale ed episodica che possono essere espressi verbalmente, da qui la componente dichiarativa, al contrario, la memoria procedurale immagazzina schemi d'azione o procedure cognitive il cui recupero ed espressione sfuggono alla consapevolezza (Choen & Squire, 1980). Questa seconda suddivisione è stata fatta sulla base della natura dell'informazione immagazzinata e sulle modalità con cui essa viene appresa oltre che recuperata.

Dal momento che la memoria supporta i processi di apprendimento, e dal momento che esistono sistemi di memoria distinti, è verosimile ipotizzare l'esistenza di meccanismi di apprendimento altrettanto differenziati che forniscono le informazioni ai magazzini (Shanks & St. John, 1994). A tal proposito sono state proposte diverse distinzioni tra le quali la più

nota è tra apprendimento dichiarativo e procedurale, successivamente definiti come apprendimento esplicito ed implicito. Il primo si riferisce ad un processo di acquisizione della conoscenza consapevole, intenzionale e mediato da istruzioni, diversamente dal secondo che si verifica al di fuori della coscienza individuale (Reber, 1989; Shanks & St. John, 1994). In altre parole, nel caso dell'apprendimento esplicito il soggetto è consapevole di star apprendendo e lo fa intenzionalmente, aspetti, questi, non presenti nel caso di apprendimento implicito. Di quest'ultimo caso un esempio emblematico può essere l'apprendimento di una lingua: è possibile parlare una lingua attraverso l'adeguata applicazione di regole grammaticali le quali, tuttavia, possono non essere consapevolmente riconosciute (Shanks & St. John, 1994). L'essere umano impara molto precocemente a mettere in sequenza le parole della propria lingua madre all'interno di una frase dotata di significato. Non ne è consapevole ma sta applicando delle regole grammaticali implicitamente acquisite che diverranno oggetto di riflessione consapevole solo più tardi, con l'ingresso nel sistema scolastico.

Apprendimento esplicito ed implicito sono due sistemi distinti ma che operano in sinergia reciproca dal momento che ciò che è appreso per via implicita può divenire oggetto di apprendimento esplicito (Karmiloff-Smith, Thomas & Johnson, 2018).

1.3 Apprendimento non dichiarativo o implicito

Il progetto di ricerca oggetto del presente elaborato si è servito di un compito sperimentale di apprendimento associativo, una tipologia di apprendimento implicito. Pertanto, nei paragrafi a seguire, verranno approfonditi i paradigmi comportamentali tradizionalmente utilizzati nell'ambito della ricerca per quantificare questo costrutto, in seguito, approfondirò la natura associativa dell'apprendimento implicito nella sua relazione con il controllo cognitivo.

1.3.1 Definizione

Riprendendo quanto sopra, l'apprendimento implicito rappresenta una forma di apprendimento che ci permette di acquisire le regolarità che caratterizzano il mondo che ci circonda attraverso un processo di tipo bottom-up non intenzionale (Reber, 1989).

1.3.2 Com'è stato studiato: paradigmi comportamentali

Ad oggi gli autori (Reber, 1967; Nissen & Bullemer, 1987; Berry & Broadbent, 1984) che si sono interessati all'apprendimento implicito hanno cercato di operazionalizzarlo ricorrendo a diversi paradigmi empirici. I principali e tipicamente utilizzati sono: l' *Artificial Grammar Learning* (AGL), il *Serial Reaction Time* (SRT) e il *Dynamic System Control* (DSC). Benché differenti dal punto di vista contenutistico e strutturale, tutti questi compiti si basano su tre componenti fondamentali: la presenza di regolarità interne al compito, una misura del livello con cui tali regolarità sono state apprese e una stima del grado di consapevolezza relativamente alle stesse (Saevland & Norman, 2016).

L'AGL si articola in due fasi: una di acquisizione e una di sperimentazione. Durante la prima viene chiesto ai partecipanti di memorizzare delle stringhe di lettere prive di significato semantico e generate artificialmente, il cui ordine all'interno della sequenza segue delle regole di cui i soggetti non sono a conoscenza. Nella successiva fase sperimentale, i partecipanti venivano informati dell'esistenza di tali regole e venivano presentate loro nuove sequenze letterali da classificare come "grammaticali" oppure "non grammaticali" sulla base del fatto che seguissero le regole o meno (Frensh & Runger, 2003). In questo compito, l'apprendimento implicito è stato dedotto dalle capacità di categorizzazione.

Un altro compito comunemente utilizzato è l'SRT. Esso prevede la presentazione di uno stimolo visivo che può comparire in una delle quattro possibili posizioni su di uno schermo.

La comparsa degli stimoli segue una sequenza di posizioni fissa e a ciascuna posizione corrisponde uno specifico pulsante di risposta che il partecipante deve premere. Queste prove sono seguite da altre la cui posizione di comparsa degli stimoli è casuale (Robertson, 2007). Le variabili misurate in questo compito sono i tempi di reazione e l'accuratezza delle risposte. In particolare, la differenza tra i tempi di risposta nelle due condizioni (sequenziale e casuale), in associazione alla mancata consapevolezza delle regolarità apprese, rappresenterebbero un indice di apprendimento implicito. In seguito, fu proposta una variante del compito, l'*Alternating Serial Reaction Time* (ASRT), che differiva dalla versione originale nella frequenza con cui venivano alternate le due tipologie di prove: esse non erano più distinte nelle due condizioni, ma venivano alternate in un rapporto 1:1 (Saevland & Norman, 2016).

Infine, un terzo paradigma è il DSC. L'obiettivo del compito è quello di mantenere costante il risultato finale attraverso la manipolazione di una serie di variabili. La relazione tra le variabili input e output è mediata dinamicamente dalle caratteristiche del sistema tale per cui al variare delle condizioni dello stesso, varia anche l'output generato dal medesimo input. Sono state proposte due versioni: il compito di *produzione di zucchero* e uno di *interazione con la persona*. Nella prima condizione, l'obiettivo consiste nel mantenere costante la quantità di zucchero prodotto da una fabbrica manipolando il numero di lavoratori; nella seconda condizione, invece, ai partecipanti veniva chiesto di mantenere stabile l'umore di un personaggio virtuale mediante la manipolazione di contenuti verbali (Costea et al., 2023).

L'AGL e l'SRT sono stati indagati anche su bambini di età scolare a sviluppo tipico e atipico (Pavlidou & Williams, 2014; Zwart et al., 2018)

Poiché la distinzione tra apprendimento esplicito ed implicito è stata fatta prevalentemente sulla base del concetto di consapevolezza, ed è su questo che poggiano i paradigmi appena

descritti, essi si sono serviti di resoconti verbali per verificare che l'individuo sia consapevole di quanto appena appreso (Frensh & Runger, 2003). L'avvenuta acquisizione delle conoscenze senza che queste potessero essere dichiarate, rappresentava un dato sufficiente a ritenere tali compiti uno strumento valido per valutare dei meccanismi di apprendimento implicito. Tuttavia, ai resoconti verbali sono state avanzate due critiche: la prima che non indagassero le medesime informazioni che hanno condotto all'apprendimento dimostrato implicitamente; la seconda che i resoconti verbali non siano sensibili tanto quanto i compiti (Frensh & Runger, 2003). Un'alternativa ai resoconti verbali la si è individuata nei test a scelta forzata.

Uno dei limiti caratteristici dei paradigmi di questo tipo è la loro scarsa ecologicità (Costea et al., 2023). Nella ricerca oggetto del presente elaborato, uno degli obiettivi è stato quello di progettare un test di valutazione dell'apprendimento implicito (*Mario Task*) nei bambini in età prescolare e scolare, che potesse ricreare un contesto di apprendimento più vicino all'ambiente naturale del partecipante rispetto ad un contesto caratterizzato da sole regolarità statiche, superando i limiti dei paradigmi tradizionali.

Lo scopo di questa tesi è di indagare la relazione tra l'apprendimento implicito di regolarità interne ad un ambiente volatile con la flessibilità cognitiva esplicita.

1.4 Funzioni esecutive e flessibilità cognitiva

Le funzioni esecutive, chiamate anche controllo esecutivo o controllo cognitivo, sono dei processi mentali tradizionalmente considerati di tipo top-down (Diamond, 2013) che permettono di controllare e regolare volontariamente funzioni mentali superiori, emozioni e comportamenti in vista del raggiungimento di un obiettivo. In letteratura sono stati proposti

numerosi modelli di funzionamento esecutivo, tra i quali il più accreditato è quello proposto da Miyake. L'autore individua tre principali componenti esecutive (Miyake et al., 2000):

- inibizione (inhibition);
- memoria di lavoro (working memory);
- flessibilità cognitiva (shifting).

La funzione inibitoria permette di modulare l'attenzione, il comportamento, i pensieri e le emozioni sulla base di priorità interne o esterne all'individuo (Diamond, 2020). La memoria di lavoro riflette la capacità di trattenere e manipolare una quantità limitata di informazioni rilevanti per lo svolgimento di compiti complessi quali l'apprendimento, la comprensione e il ragionamento (Baddeley & Hitch, 1994). Per ultima, la flessibilità cognitiva si riferisce all'abilità di modificare flessibilmente il proprio assetto mentale in risposta al cambiamento, conferendo a questa funzione un forte valore adattivo (Diamond, 2020).

Queste tre funzioni sono state inizialmente considerate dagli autori come separabili ma interdipendenti, rispondendo al "principio dell'unità nella diversità". In una revisione successiva del modello, le tre funzioni non vengono più considerate sullo stesso piano, ma l'inibizione viene posta alla base di *working memory* e *shifting* a supportarle (Miyake & Friedman, 2012). Difatti, per poter trattenere in memoria di lavoro le informazioni rilevanti è necessario inibire quelle che non lo sono. Allo stesso modo, per poter passare flessibilmente da una strategia all'altra è necessario inibire quella ritenuta sbagliata. Sulla base di queste tre componenti, a loro volta, poggiano abilità mentali superiori quali il ragionamento, il problem solving e la pianificazione.

Funzioni esecutive efficaci si sono dimostrate importanti a garantire una buona qualità di vita poiché associate a una buona salute mentale e fisica, successo scolastico e lavorativo, buone relazioni sociali e un adeguato sviluppo cognitivo e psicologico (Diamond, 2013).

Diversamente, deficit a loro carico sono stati riscontrati in numerose condizioni di salute mentale e del neurosviluppo.

1.5 Apprendimento associativo implicito in contesti volatili

L'apprendimento implicito fin qui descritto può essere di tipo associativo. L'apprendimento associativo implicito consiste nella capacità di cogliere delle regolarità statistiche tra stimoli o tra uno stimolo e il suo esito. Sulla base di queste associazioni, l'essere umano si crea dei modelli interni che gli permettono di stimare la probabilità di ricevere una gratificazione (Thorwart & Livesey, 2016). Ciononostante, non di rado accade che queste previsioni vengano violate generando ciò che viene definito *errore di previsione*, vale a dire una discrepanza tra esito atteso ed effettivo (Thorwart & Livesey, 2016). Queste situazioni rendono necessaria una riconfigurazione flessibile dei modelli rappresentazionali interni e un aggiornamento dell'efficacia attribuita ad un'azione, tenendo conto delle nuove informazioni in entrata. La misura di quanto il valore di un'azione deve subire un cambiamento viene definita *tasso di apprendimento* e dipende dalla *volatilità ambientale* (Simoens, Verguts & Braem, 2024). Quest'ultimo è un concetto che si riferisce al grado di incertezza che uno specifico contesto porta con sé. In altre parole, l'individuo è quotidianamente esposto ad eventi che co-occorrono in modo variabile, e ciò contribuisce a rendere le associazioni tra gli stimoli e i loro esiti non sempre facilmente prevedibili (Lawson, Mathys & Rees, 2017). Il tasso di apprendimento avrà un valore piccolo quando le probabilità di ottenere una ricompensa sono pressoché stabili (errori di previsioni occasionali), diversamente, assumerà un valore più alto in condizioni volatili, ossia in tutte quelle situazioni nelle quali la probabilità di ottenere una ricompensa non è facilmente prevedibile. In altre parole, il comportamento umano subirà maggiori cambiamenti in condizioni volatili rispetto ad

ambienti stabili e questo si mostra funzionale nel garantire l'adattabilità dell'individuo al contesto (Simoens, Verguts & Braem, 2024).

Per mantenere un comportamento finalizzato all'interno di un mondo incerto è quindi necessario essere sufficientemente flessibili.

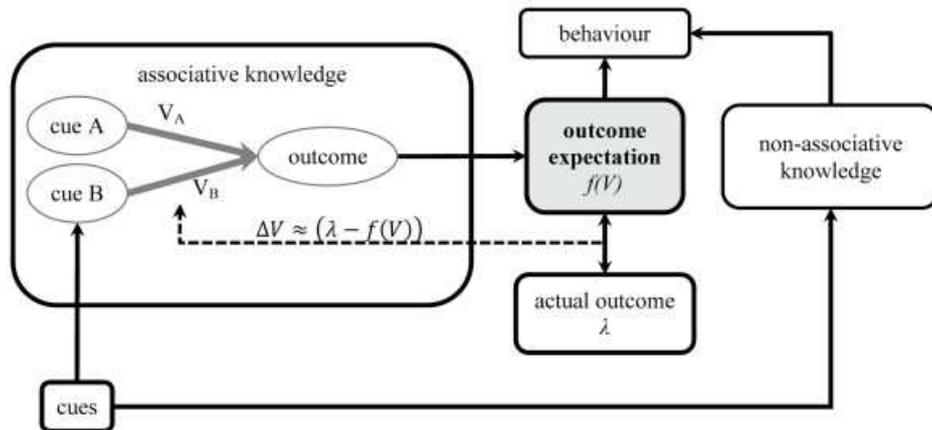


Figura 1: Interazione tra i Network Associativi e gli eventi del mondo (Thorwart & Livesey, 2016).

1.5.1 Apprendimento associativo implicito e flessibilità cognitiva

Da quanto emerso sopra, quindi, il controllo cognitivo rappresenta una funzione top-down, deliberata e consapevole, al contrario dell'apprendimento associativo, implicito e bottom-up.

In virtù di questi tratti distintivi, funzioni esecutive e apprendimento associativo sono sempre stati considerati costrutti contrapposti. Tuttavia, di recente è stata proposta una prospettiva alternativa che vede questi due aspetti in relazione reciproca (Abrahamse et al., 2016).

Difatti, se da un lato l'individuo modula le proprie risorse cognitive per acquisire nuove conoscenze, dall'altro si serve di stimoli contestuali ed errori di previsione per regolare le proprie funzioni esecutive ed adattarsi così alla volatilità delle richieste ambientali (Abrahamse et al., 2016; Chiu & Egner, 2019). Per quanto riguarda specificatamente la flessibilità cognitiva, sono stati condotti diversi studi (Leboe et al., 2008; Chiu & Egner,

2017; Braem & Egner, 2018; Farooqui & Manly, 2015) il cui obiettivo è stato quello di comprendere se e in che modo quest'ultima fosse influenzata da stimoli contestuali predittivi. Gli studi in questione si sono serviti di compiti tradizionali di task-switching, il cui obiettivo consisteva nella classificazione di stimoli di varia natura sulla base di regole distinte che mutavano durante la prova. Il cambio di regola veniva predetto con una probabilità variabile dalle caratteristiche di uno stimolo (identità, colore o posizione di comparsa). Normalmente, ciò che ci si aspetterebbe è di osservare una diminuzione dei tempi di risposta e una migliore accuratezza nelle condizioni stabili, ossia in quelle situazioni nelle quali la regola cambia saltuariamente. Diversamente, si dovrebbe osservare un peggioramento della performance quando il contesto richiede frequenti passaggi da un compito all'altro, riflesso di una riconfigurazione del set mentale (Monsell, 2003). Tuttavia, ciò che emerge da questi studi è una diminuzione dell'investimento cognitivo da parte dell'individuo in corrispondenza di un ambiente volatile rispetto ad uno stabile, giustificato dall'influenza esercitata dagli stimoli predittivi di un cambiamento nella regola (Leboe et al., 2008; Chiu & Egner, 2017). Un effetto analogo è stato registrato anche con l'utilizzo di stimoli subliminali (Farooqui & Manly, 2015). In sintesi, ciò che possiamo dire sulla base di quanto emerso da questi studi è che imparare ad associare uno stimolo ad un cambiamento imminente, aiuta l'individuo a distribuire le proprie risorse cognitive in modo più efficiente e con un costo cognitivo minore in termini di fatica (Braem & Egner, 2018). Quanto emerso suggerisce un cambiamento di prospettiva significativo, tale per cui la flessibilità cognitiva non viene più concepita esclusivamente come una funzione che agisce dall'alto per risolvere i problemi di livello inferiore, ma la sua regolazione dipende da processi di apprendimento associativo di base. Questo approccio teorico prende il nome di *Learning perspective on cognitive control* (Abrahamse et al., 2016; Braem & Egner, 2018).

Quanto appena detto rimane circoscritto allo sviluppo tipico. Tuttavia, in letteratura è ormai ampiamente dimostrata l'esistenza di deficit esecutivi a caratterizzare i profili di funzionamento cognitivo associati a diversi disturbi del neurosviluppo. Nel capitolo successivo mi concentrerò su una specifica popolazione a sviluppo atipico: il Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività (ADHD).

CAPITOLO 2

ADHD: DISTURBO DA DEFICIT D'ATTENZIONE E IPERATTIVITÀ

Nel presente elaborato mi concentrerò principalmente sul Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività e sull'eventuale relazione che lega la flessibilità cognitiva e gli apprendimenti implicito ed esplicito all'interno di questo quadro diagnostico. A prosecuzione di tale obiettivo, definirò dapprima questo disturbo del neurosviluppo delineandone le caratteristiche cliniche ed epidemiologiche, per poi riportare i principali modelli che hanno tentato di interpretarne l'eziologia e il profilo di compromissione neuropsicologica. Infine, approfondirò la relazione che lega l'apprendimento con il controllo esecutivo, in particolare la flessibilità cognitiva, che appare deficitaria in questo disturbo.

2.1 Definizione e caratteristiche cliniche ed epidemiologiche

Il Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività (ADHD, *Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder*) è un disturbo ad esordio infantile che possiede una matrice eziopatogenetica di natura neurobiologica.

Questa condizione è caratterizzata da livelli di disattenzione e/o iperattività ed impulsività che risultano essere inappropriati per il livello di sviluppo, eccessivi e persistenti, portando ad una compromissione dell'adattabilità dell'individuo in molti aspetti della sua vita (Tambelli, 2017).

Secondo l'approccio nosografico-categoriale classico, affinché si possa effettuare un inquadramento diagnostico di questo tipo è necessario che il comportamento dell'individuo soddisfi una serie di criteri definiti dal *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition* (DSM-5; APA, 2013). Il manuale individua due principali clusters sintomatologici, vale a dire disattenzione e/o iperattività/impulsività. Inoltre, sulla base della

prevalenza e dell'eventuale combinazione di questi due pattern, è possibile individuare tre possibili manifestazioni cliniche: la manifestazione prevalentemente disattenta, quella prevalentemente iperattiva/impulsiva e la manifestazione combinata (Kieling & Rohde, 2012; APA, 2013). Il bambino che presenta una diagnosi di ADHD nella sua componente disattenta fatica a sostenere un'attenzione prolungata sul gioco o su compiti che richiedono uno sforzo cognitivo importante, ai quali risponde mettendo frequentemente in atto strategie di evitamento o distraendosi con facilità. Questi deficit attentivi si riflettono anche in un'incapacità a portare a termine un incarico (Tambelli, 2017). Il sottotipo prevalentemente iperattivo/impulsivo mostra un'eccessiva attività motoria ed irrequietezza, ha difficoltà a stare seduto e a rispettare il proprio turno anche all'interno degli scambi relazionali, apparendo spesso invadente (Tambelli, 2017). Nel sottotipo combinato le sintomatologie disattenta e iperattiva/impulsiva convergono. Questi tre sottotipi non sono stabili ma possono permutare nel corso dello sviluppo (Franke et al., 2018). Infatti, in molti casi, si può osservare un cambiamento del sottotipo nel passaggio dall'infanzia, nella quale sono generalmente più diffusi sintomi iperattivi/impulsivi, all'adolescenza, nella quale il disturbo si manifesta prevalentemente attraverso un pattern disattento (Banaschewski et al., 2017; Franke et al., 2018). Quest'ultimo assume, in età adulta, una maggiore stabilità, mentre i sintomi di iperattività/impulsività, spesso, si traducono in irrequietezza ed instabilità emotiva (Banaschewski et al., 2017).

Indipendentemente dalla prevalenza, i sintomi di disattenzione e/o iperattività devono insorgere prima dei 12 anni e compromettere il funzionamento dell'individuo in due o più contesti di vita quotidiana (ambiente familiare, scolastico/lavorativo, sociale) (APA, 2013). Difatti, i pattern sintomatologici caratteristici di questo quadro clinico sono spesso associati a scarse performance scolastiche, relazioni sociali e familiari instabili e sofferenza emotiva

(Tambelli, 2017). L'impatto che una diagnosi di questo tipo può avere sulla vita del bambino dipende anche dalla gravità con cui si manifesta il disturbo. Il DSM-5 prevede la possibilità di specificare la severità del disturbo, che si può esprimere su tre livelli: lieve, moderato e grave. Un bambino che possiede pochi sintomi, oltre a quelli necessari alla diagnosi, e una compromissione contenuta si colloca nella fascia di severità lieve del disturbo. Il livello moderato è associato a sintomi e compromissioni di entità comprese tra lievi e gravi. Infine, il disturbo è definito severo quando il pattern sintomatico e i domini di vita compromessi sono molto estesi (APA, 2013).

Il livello di compromissione del funzionamento individuale dipende anche dall'eventuale presenza di altri disturbi in comorbidità all'ADHD. Il 70% dei bambini con questa diagnosi presenta altri quadri psicopatologici, i più frequenti sono: Disturbo dell'apprendimento, Disturbi d'ansia e dell'umore, Disturbo oppositivo-provocatorio (40-50%), della condotta (10-15%) e disabilità intellettive (Vicari & Caselli, 2017). Data l'eterogeneità della sintomatologia propria dell'ADHD, clinicamente può essere complesso riconoscere se essa possa essere attribuita ad un quadro di Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività, ad un altro quadro psicopatologico oppure alla compresenza di ADHD con un'altra psicopatologia sopra citata (Vicari & Caselli, 2017).

L'ADHD è uno dei disturbi nel neurosviluppo maggiormente diffusi a livello mondiale, con un tasso di incidenza superiore al 5% in bambini e adolescenti (Polanczyk et al., 2014). Inoltre, è caratterizzato da una manifestazione clinica a prevalenza maschile (Polanczyk et al., 2007).

Questo disturbo presenta un quadro clinico ad eziologia multifattoriale, ciò significa che esistono numerosi fattori coinvolti nell'origine dell'ADHD. Primo tra questi la genetica: i siblings ed i gemelli di un soggetto ADHD hanno una probabilità tra il 70 e l'80% di

sviluppare i medesimi sintomi, dimostrando il contributo di un pool di geni nell'eziologia del disturbo (Faraone & Larsson, 2019). Tuttavia, i fattori genetici, da soli, non sono sufficienti a giustificare l'esordio dello stesso. Accanto ad essi, infatti, si inseriscono una serie di fattori ambientali che possono influenzarne l'espressione (Faraone & Larsson, 2019). Tra questi l'esposizione ad agenti teratogeni, quali nicotina, alcol e stress materno, in epoca prenatale, ad esperienze avverse nelle primissime fasi di sviluppo (malnutrizione e carenza di esperienze emotive), ma anche basso peso alla nascita ed età paterna avanzata (Vicari & Caselli, 2017; Faraone et al., 2024) . Per quanto riguarda i fattori di rischio ambientali più estesi, troviamo anche un basso status socio-economico e scambi relazionali qualitativamente scarsi (Nigg et al., 2020).

2.2 Modelli esplicativi dell'ADHD

In letteratura, sono stati diversi gli autori che hanno tentato di individuare i deficit neuropsicologici che potessero giustificare le difficoltà attentive, l'agitazione motoria e l'impulsività caratteristiche di questo quadro clinico. I principali modelli neuropsicologici proposti sono i seguenti: *Inhibition deficit*, *The Dual Pathway model* e *La teoria dello sviluppo dinamico*.

2.2.1 Inhibition deficit

I profili ADHD presentano spesso un funzionamento compromesso della memoria di lavoro e di altre funzioni mentali superiori quali l'autoregolazione dell'affetto, l'interiorizzazione del discorso e la ricostituzione. Queste disfunzionalità, secondo il modello del deficit di inibizione di Barkley, sono riconducibili a deficit a carico di un unico costrutto: l'inibizione della risposta (Barkley, 1997). In altre parole, più che le funzioni esecutive nel loro

complesso, questo modello assume che una componente specifica, il controllo inibitorio, rappresenti un core deficit neuropsicologico in grado di spiegare a cascata la sintomatologia. Questa spiegazione è in linea col modello di Miyake & Friedman (2012), i quali hanno individuato l'inibizione come componente alla base di funzioni più complesse quali memoria di lavoro e flessibilità cognitiva.

2.2.2 The Dual Pathway model

Le funzioni esecutive, chiamate anche controllo cognitivo, rappresentano un insieme di abilità mentali che permettono all'essere umano di regolare, intenzionalmente, le proprie risorse attentive ed emozioni per promuovere un comportamento finalizzato ad uno scopo (Diamond, 2013). Queste abilità, in alcune condizioni cliniche come l'ADHD, deviano dalla traiettoria di sviluppo attesa, rendendo difficile per l'individuo adottare una condotta appropriata alle richieste esterne (Vicari & Caselli, 2017). Per molto tempo la disfunzione esecutiva è stata considerata la principale spiegazione neuropsicologica ai sintomi dell'ADHD (Barkley, 1997). Tuttavia, l'eterogeneità con cui si manifesta il disturbo ha portato ad ipotizzare che, da sola, possa non essere sufficiente a spiegare la disregolazione motoria e cognitiva proprie dello stesso (Sonuga-Barke, 2003).

Sonuga-Barke ha tentato di comprendere la complessità di questo quadro clinico proponendo un modello a due vie (*The Dual Patchway model*) che integra due domini di compromissione neuropsicologica: il funzionamento esecutivo (dominant executive function, EDF) e quello motivazionale (delay aversion, DEL).

Secondo questo modello (Fig. 2) i deficit attentivi e di regolazione motoria propri dell'ADHD, da un lato, dipendono da disfunzioni esecutive, in particolare a carico dell'inibizione, riflesso di altrettante disfunzioni a carico del circuito dorsale che le supporta,

e dall'altro, rappresentano delle modalità attraverso le quali il bambino cerca di gestire la frustrazione generata dall'impossibilità di ottenere una ricompensa immediata. In altre parole, la disattenzione e l'impulsività manifestate dai bambini con questa diagnosi hanno un significato funzionale finalizzato a massimizzare la loro tolleranza verso il tempo che li separa dalla ricompensa (Sonuga-Barke, 2003). L'ipersensibilità al ritardo in questi bambini è associata a disfunzioni a carico del circuito ventrale ed è moderata da fattori ambientali quali le risposte genitoriali ai comportamenti del figlio.

Questi due domini sono dissociabili dal punto di vista funzionale poiché mediati da processi psicologici e circuiti cerebrali funzionalmente distinti (Sonuga-Barke, 2003).

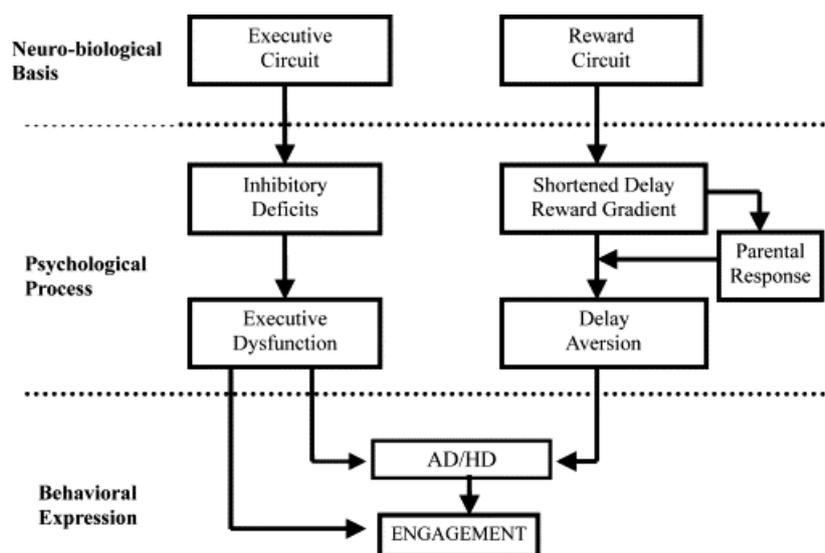


Figura 2: The Dual Pathway model (Sonuga-Barke, 2003).

2.2.3 Teoria dello sviluppo dinamico dell'ADHD

La teoria dello sviluppo dinamico adotta un approccio neurocostruttivista nell'interpretazione dei sottotipi combinato e prevalentemente iperattivo/impulsivo dell'ADHD, integrando numerosi aspetti descritti nei modelli precedenti (Sagvolden et al., 2005).

Gli autori ipotizzano l'esistenza di alterazioni a carico delle funzioni dopaminergiche alla base di questa neurodivergenza. Fattori di rischio genetici e ambientali (droghe e tossine), promuoverebbero un rilascio dopaminergico difettoso. La dopamina contribuisce a modellare l'architettura neuronale, consolidando le connessioni associate a comportamenti rinforzati poiché funzionali, ed estinguendo le connessioni neuronali espressione di comportamenti non rinforzati poiché maladattivi. Alterazioni nel rilascio dopaminergico si riflettono in una ipofunzionalità a carico dei sistemi mesolimbico, mesocorticale e nigrostriatale (Sagvolden et al., 2005).

Un sistema mesolimbico ipofunzionante comporterà un'alterazione nel rinforzo del comportamento e nell'estinzione del comportamento precedentemente rinforzato. Sul piano comportamentale, ciò si riflette in un'avversione al ritardo della ricompensa e la preferenza per ricompense piccole ma immediate, agitazione motoria in risposta ai cambiamenti e deficit nell'inibizione delle risposte. La disfunzionalità nel sistema mesocorticale si riflette in deficit attentivi ed esecutivi. Infine, l'inibizione nel funzionamento del sistema nigrostriatale è associato a scarsa regolazione motoria e difficoltà nella memorizzazione, nonché nell'apprendimento di contenuti impliciti (Sagvolden et al., 2005).

Come evidenziato anche nel *Dual Pathway Model*, la manifestazione comportamentale e clinica dell'ADHD è influenzata ed influenza le risposte sociali e genitoriali ai comportamenti stessi.

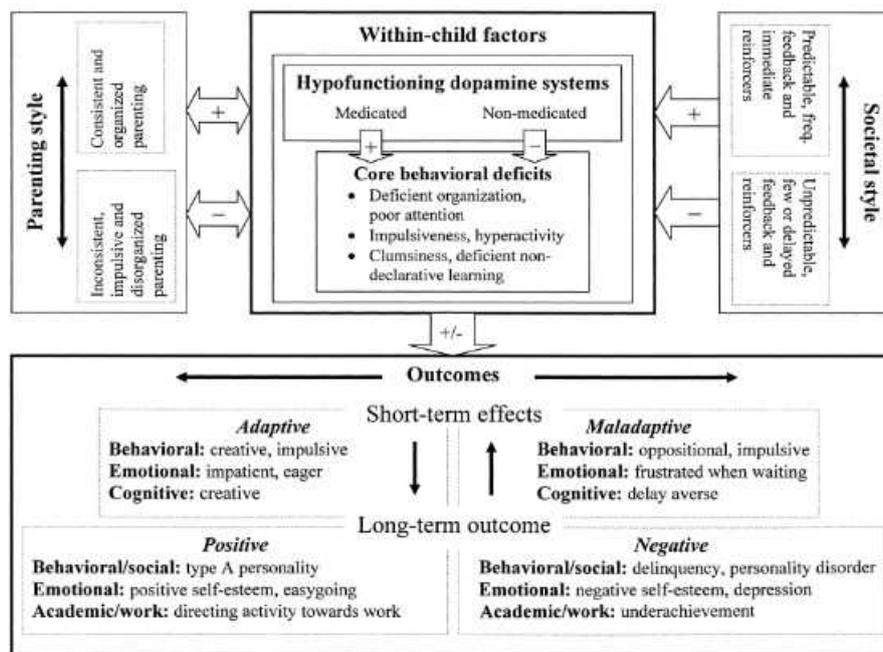


Figura 3: Teoria dello sviluppo dinamico dell'ADHD (Sagvolden et al., 2005).

2.3 Deficit neuropsicologici nell'ADHD

I deficit a carico dei processi di tipo top-down nei profili ADHD sono stati ormai ampiamente dimostrati (Sergeant, Geurts & Oosterlaan, 2002; Wilcutt et al., 2005; Coghill, Seth & Matthews, 2014; Kofler et al., 2019). Le fragilità in questione si esprimono in particolar modo a carico di attenzione, inibizione e memoria di lavoro (Vicari & Caselli, 2017).

In uno studio del 2014, Coghill, Seth e Matthews hanno confrontato il funzionamento neuropsicologico di un gruppo di bambini in età scolare con diagnosi di ADHD con un gruppo di bambini con un decorso evolutivo tipico nella stessa fascia d'età. Gli autori si sono serviti di una serie di test neuropsicologici per la valutazione delle seguenti dimensioni cognitive: memoria di lavoro, inibizione, avversione al ritardo, decision making, la tempistica e la variabilità della risposta. I bambini con diagnosi di ADHD hanno mostrato prestazioni deficitarie in tutti e sei i domini, anche se solo una piccola parte di loro con prestazioni

marcatamente deficitarie. Inoltre, i due gruppi mostrano prestazioni parzialmente sovrapposte a dimostrazione dell'eterogeneità del profilo neuropsicologico del disturbo (Coghill, Seth & Matthews, 2014).

In una meta-analisi sono stati considerati oltre 80 studi che hanno confrontato le funzioni esecutive tra gruppi clinici (ADHD) e di controllo. Anche in questo caso, nel gruppo ADHD le diverse componenti esecutive sono apparse fragili. Tra questi, gli aspetti maggiormente deficitari sono risultati essere nello specifico inibizione, memoria di lavoro, vigilanza e pianificazione (Willcut et al., 2005).

Nel 2002, Sergeant e colleghi hanno tentato di individuare i deficit specifici che differenziano l'ADHD da altri disturbi neuroevolutivi. Nell'intento si sono serviti dei seguenti test neuropsicologici: il compito del segnale di stop, lo stroop, il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), il Self Ordered Pointing (SOP) e la Torre di Londra. Coerentemente con quanto dimostrato negli studi precedentemente citati, il gruppo ADHD mostra deficit inibitori sia nella prova di stroop che nel compito del segnale di stop; anche la fluidità appare inferiore nel gruppo clinico rispetto ai controlli. Diversamente, la flessibilità cognitiva sembra differire più tra ADHD e Disturbo dello Spettro dell'Autismo che non tra ADHD e controlli (Sergeant, Geurts & Oosterlaan, 2002).

Nel complesso, quindi, questi studi confermano la presenza di deficit esecutivi nei profili ADHD, in particolar modo a carico dell'inibizione, i quali, tuttavia, non sembrano essere specifici di questo quadro. Un funzionamento esecutivo compromesso è, infatti, presente anche in altre condizioni cliniche quali il Disturbo dello Spettro dell'Autismo (ASD), la sindrome di Tourette e i Disturbi Oppositivo Provocatorio e della Condotta. Inoltre, la distribuzione di queste fragilità all'interno del gruppo ADHD è disomogenea: non tutti i bambini con questa diagnosi presentano deficit a carico del controllo esecutivo (Sergeant,

Geurts & Oosterlaan, 2002). Questi dati mettono in luce ancora una volta la forte eterogeneità del Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività. Tuttavia, un limite di questi studi risiede nell'utilizzo di singoli compiti per valutare numerosi aspetti cognitivi (Kofler et al., 2020). Il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), ad esempio, viene tradizionalmente utilizzato per la valutazione della flessibilità cognitiva (*set-shifting*), tuttavia, valuta una serie di altri costrutti quali la capacità di problem solving, l'utilizzo del feedback e l'inibizione (Sergeant, Geurts & Oosterlaan, 2002). Pertanto, non è chiaro se l'assenza di differenze nelle performance tra ADHD e controlli precedentemente citata riguardi la flessibilità cognitiva o altre dimensioni. In uno studio, Kofler e colleghi si sono proposti di indagare l'eterogeneità neuropsicologica dell'ADHD tentando di superare i limiti metodologici degli studi precedenti e dedicando maggior attenzione al ruolo della flessibilità cognitiva, funzione esecutiva meno esplorata rispetto ad inibizione e memoria di lavoro. Indipendentemente dall'utilizzo di strumenti di misurazione differenti, anche in questo lavoro è stata dimostrata una compromissione esecutiva complessiva nella quasi totalità dei bambini con ADHD. La memoria di lavoro si è dimostrata essere la componente più frequentemente compromessa (62% del gruppo clinico), a seguire la flessibilità cognitiva (38%) e l'inibizione (27%). La maggior parte dei bambini con diagnosi vedeva compromessa una o due di queste funzioni, mentre solo una minoranza (4%) rientrava all'interno di un quadro di compromissione severo con tutte e tre le funzioni deficitarie (Kofler et al., 2019). Infine, seppur presentassero i sintomi distintivi dell'ADHD, una parte di bambini non possedeva alcuna fragilità esecutiva, corroborando quanto già detto rispetto alla disomogeneità di questo profilo clinico.

2.4 L'apprendimento implicito nel Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività

Nel primo capitolo di questo elaborato (vedi paragrafo 1.5.1) è stata descritta la relazione che lega l'apprendimento associativo implicito con le funzioni esecutive, abilità che abbiamo visto essere compromesse nei soggetti con ADHD.

In riferimento a questo quadro clinico, è stata avanzata un'ipotesi secondo la quale i deficit esecutivi, nonché le difficoltà nell'adottare un comportamento conforme alle richieste esterne, derivano da un'incapacità nella generazione di previsioni precise (Nigg & Casey, 2005). In altre parole, secondo Nigg & Casey, i deficit a carico dei meccanismi di apprendimento associativo precedono i deficit esecutivi e ne influenzano il decorso evolutivo. Un funzionamento esecutivo deficitario, a sua volta, renderebbe difficile all'individuo poter modulare il proprio comportamento in risposta ad un imprevisto (Nigg & Casey, 2005; Barnes et al., 2010).

Un dato che ha contribuito a supportare l'esistenza di deficit di apprendimento implicito nei soggetti ADHD, è stata l'individuazione in questi ultimi di atipicità nel volume e nella funzionalità dei circuiti fronto-striatale e fronto-cerebellare, regioni coinvolte nell'apprendimento delle regolarità ambientali e delle violazioni alle stesse (Durston et al., 2007).

Aldilà degli aspetti neurobiologici, l'apprendimento implicito nel profilo ADHD è stato indagato anche dal punto di vista comportamentale. Nel 2009 è stato condotto uno studio (Karatekin, White & Bingham, 2009) su un gruppo ADHD di bambini ed adolescenti tra gli 8 e i 19 anni, a cui è stato somministrato il compito SRT (si veda paragrafo 1.3.2) in condizioni di apprendimento esplicito ed implicito. Le prestazioni al compito nella condizione implicita si sono dimostrate in linea con l'ipotesi di Nigg & Casey: i partecipanti ADHD sono stati poco accurati nel prevedere eventi futuri sulla base di regolarità passate apprese

implicitamente. Al contrario, le prestazioni al compito nella condizione di apprendimento esplicito sono apparse preservate (Karatekin, White & Bingham, 2009). In un altro studio dell'anno successivo (Barnes et al., 2010), sono stati considerati un gruppo di bambini con diagnosi di ADHD e un gruppo di controllo di età compresa tra i 7 e i 12 anni. Ai partecipanti è stato chiesto di svolgere due compiti di apprendimento implicito: l'ASRT (*Alternating Serial Reaction Time*; vedi paragrafo 1.3.2) e il CC (*Contextual Cueing*). Quest'ultimo consiste nell'individuazione di stimoli target all'interno di un insieme di stimoli distrattori organizzati in configurazioni differenti (Chun, 2000). Questi compiti misurano due tipologie diverse di apprendimento implicito: l'ASRT valuta l'apprendimento di sequenze, mentre il CC valuta l'apprendimento contestuale spaziale. I bambini con ADHD hanno mostrato meccanismi di apprendimento sequenziale deficitari ma un apprendimento contestuale spaziale nella norma (Barnes et al., 2010).

Riassumendo quanto appena detto, sembrerebbero esserci delle compromissioni anche a carico dell'apprendimento implicito, oltre che esecutivo, nei bambini con diagnosi di ADHD. Tuttavia, non è ancora chiara la relazione che lega questi due costrutti per questo quadro clinico.

Alla luce di quanto appena detto, la ricerca oggetto del presente elaborato ambisce a comprendere la relazione tra meccanismi di apprendimento implicito dell'apprendimento associativo in un contesto volatile e flessibilità cognitiva su richiesta esplicita nell'ADHD.

CAPITOLO 3

LA RICERCA

La ricerca oggetto del presente elaborato si inserisce all'interno di un progetto multicentrico intitolato CALM (sviluppo del controllo cognitivo adattivo: un lavoro multicentrico), coordinato dal Prof. Giovanni Mento, che vede coinvolti numerosi centri distribuiti sul territorio italiano.

In questo capitolo la si approfondirà, definendone dapprima gli obiettivi, per poi descrivere il metodo utilizzato e le ipotesi sperimentali. Infine, il paragrafo conclusivo sarà dedicato all'analisi dei dati.

3.1 OBIETTIVI

L'obiettivo generale della ricerca è quello di indagare le modalità con le quali si sviluppano le capacità di gestire l'attenzione, il comportamento e le emozioni, in funzione delle richieste ambientali, in condizioni di sviluppo tipico, atipico e di vulnerabilità epigenetica (siblings). All'interno di questo elaborato, in particolare, verrà indagato in che modo l'apprendimento delle regolarità ambientali in un contesto volatile possa essere utilizzato dai bambini con una diagnosi di ADHD per autoregolare il proprio comportamento e se questa capacità è correlata con la flessibilità cognitiva esplicita. A tal fine sono state confrontate le prestazioni ottenute ad un compito di apprendimento associativo probabilistico implicito (*Mario Task*) con quelle dimostrate in un classico compito di flessibilità cognitiva (WCST).

3.2 IL METODO

3.2.1 I partecipanti

Alla ricerca hanno partecipato volontariamente 124 soggetti (35 femmine e 89 maschi) di età compresa tra i 4 e i 14 anni. Di questi, 33 sono bambini di età compresa tra i 4 e gli 8 anni, 66 hanno tra i 9 e gli 11 anni e 25 sono preadolescenti tra i 12 e i 14 anni.

I soggetti sono stati reclutati presso i centri clinici “Piccolo Principe” di Ferrara, “La Nostra Famiglia” (sedi di San Donà di Piave, Treviso, Padova e Conegliano), Centro ADHD di Milano, Centro “Punto Tondo” di Conegliano (TV), studio “Cagnin Benetti” di Fiesso d’Artico (VE) e studio “Il Timone” di La Spezia.

I criteri di inclusione adottati sono i seguenti:

- Assenza di severi deficit sensoriali e motori;
- Assenza di quadri sindromici e/o neurologici;
- Possesso di un profilo di funzionamento cognitivo nella norma oppure un funzionamento cognitivo limite ma adattivo.

Dal campione sono stati esclusi 5 bambini per accuratezza < 60% al *Mario Task*, 5 bambini per prestazioni inferiori alla norma al test delle Matrici Progressivi di Raven e 1 bambino per problemi tecnici. Il campione finale si compone così di 113 soggetti di cui 29 femmine e 84 maschi.

3.2.2 Conformità etica

I genitori dei/le bambini/e hanno partecipato alla ricerca previo consenso scritto mentre i/le bambini/e hanno fornito il loro assenso oralmente. 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 Helsimki.

3.2.3 Strumenti

3.2.3.1 Test di intelligenza e neuropsicologici

In aggiunta al compito sperimentale *Mario task* (vedi paragrafo 3.2.3.2), il protocollo prevede la somministrazione di un test di ragionamento visuo-percettivo e di una serie di prove neuropsicologiche.

L'intelligenza non verbale è stata valutata mediante le *Raven's Coloured Progressive Matrices* (Raven, 2008). Esse prevedono la presentazione di matrici incomplete di stimoli visuo-spaziali da integrare con una tra una serie di figure proposte.

Accanto alla valutazione intellettuale, la somministrazione dei test neuropsicologici ha permesso di meglio definire il profilo cognitivo di ciascun partecipante. Le funzioni indagate sono: flessibilità cognitiva, memoria di lavoro ed inibizione.

La flessibilità cognitiva è stata valutata mediante il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST; Heaton, R. K., & Par, S., 2000) e la BVN "*Fluenze fonemiche*" (Bisiacchi et al., 2005). Il primo prevede la categorizzazione di 64 carte sulla base di numero, forma e colore delle figure presenti su di esse. I partecipanti non sono a conoscenza della natura delle regole di classificazione, ma vengono informati della loro esistenza e del loro cambiamento durante il corso della prova. L'obiettivo del compito consiste nel servirsi dei feedback ricevuti per dedurre le regole e classificare correttamente le carte. La prova di "*Fluenze fonemiche*", invece, richiede ai partecipanti di generare il maggior numero possibile di parole con una specifica iniziale, indagando l'abilità dei partecipanti di passare flessibilmente da una categoria all'altra.

L'abilità di trattenere e manipolare informazioni di natura fonologico-verbale in memoria di lavoro è stata indagata mediante la prova "*Memoria di cifre*" della batteria WISC-IV

(Wechsler, 2003). Il test prevede la memorizzazione di sequenze numeriche di lunghezza crescente che devono essere successivamente ripetute in ordine inverso.

Infine, le prove “*Inibizione*” della NEPSY (Urgesi, Tognin & Fabbro, 2007), “Stroop numerico” e “Completamento alternativo di frasi” della BIA (Marzocchi, Re & Cornoldi, 2010) valutano la capacità dei partecipanti di inibire risposte automatiche. Il compito dell’ “*Inibizione*” prevede la presentazione di figure diverse (cerchi e quadrati) o frecce in direzioni opposte (su e giù). Al soggetto viene chiesto di nominarle rapidamente ed in senso opposto, del tipo: dire “quadrato” se si vede un cerchio e viceversa; dire “su” se si vede una freccia che indica in giù e viceversa. Nel compito di “Stroop numerico” vengono mostrate al partecipante delle celle in ciascuna delle quali è presente un numero variabile di cifre. Per ciascuna di esse, il soggetto deve pronunciare il numero di cifre in esse contenute e non la loro identità. Infine, il test “*Completamento alternativo di frasi*” si compone di 20 frasi incomplete: 10 da terminare con una parola dotata di significato all’interno della proposizione, e 10 con una parola alternativa che non fosse semanticamente collegata. Le due tipologie di frasi vengono presentate alternate.

Il tempo di somministrazione complessivo di tutte le prove qui descritte è stato di circa 30 minuti.

3.2.3.2 Mario Task

Il compito di Mario è un compito computerizzato di apprendimento associativo ispirato a quello proposto da Lawson et al. 2017.

Il compito prevede quattro diversi stimoli visivi, due stimoli cue e due stimoli target. I cue sono rappresentati dai personaggi del videogioco della Nintendo © “Super Mario”, Yoshi e Toad, mentre gli stimoli target consistono nell’immagine di una stella e di un fiore.

Ogni trial incomincia con la presentazione di un punto centrale di fissazione (1000 ms), seguito dalla comparsa di uno dei due cue (Yoshi o Toad) che permane al centro dello schermo per una durata di 500 ms. Ogni personaggio del gioco pronuncia ad alta voce il proprio nome per aumentare la rilevanza tramite stimoli multisensoriali, facilitando il riconoscimento anche a livello uditivo. Dopo un intervallo di 1000 ms, durante il quale è presente sullo schermo l'immagine di un muro di mattoni, vengono presentati gli stimoli target (stella o fiore). Il partecipante ha al massimo 2000 ms di tempo per premere con l'indice il pulsante della tastiera associato al target il più rapidamente ed accuratamente possibile. Ciascun trial ha una durata massima di 4500 ms e l'associazione tra il pulsante e lo stimolo target è controbilanciata tra i partecipanti. Il compito del partecipante è quello di rispondere correttamente allo stimolo target premendo il tasto associato come da istruzioni. Nello specifico, in una condizione al partecipante è richiesto di premere il pulsante della tastiera corrispondente alla lettera "A" quando sullo schermo vede comparire Yoshi, e il pulsante corrispondente alla lettera "L" alla comparsa di Toad. Nella seconda condizione, l'associazione pulsante-personaggio è invertita (pulsante "A" per Toad e pulsante "L" per Yoshi). Le due condizioni sono bilanciate tra i partecipanti.

L'accuratezza delle risposte consente al partecipante di accumulare delle monete, il cui guadagno è reso noto in un riquadro posizionato nell'angolo inferiore sinistro dello schermo. Ad ogni risposta errata il numero delle monete rimane invariato (Fig. 4). Questi aspetti vengono resi noti al partecipante nel momento in cui gli si comunicano le istruzioni al compito.

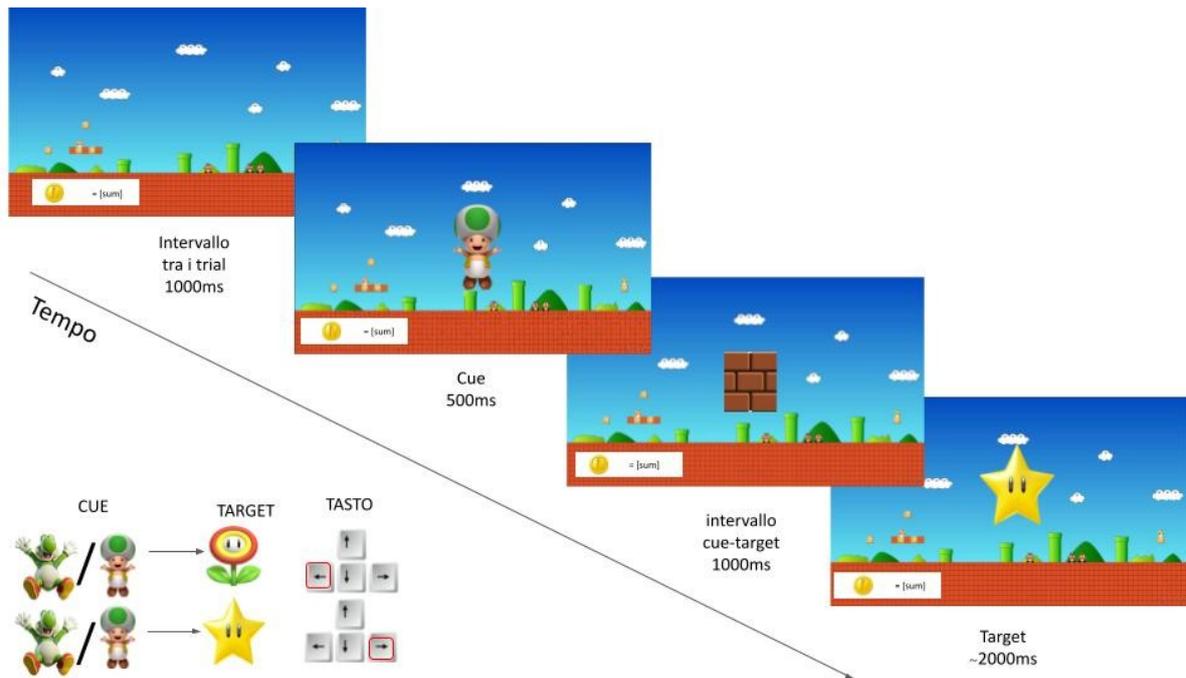


Figura 4: Struttura del Trial.

Per poter indagare l'effetto della motivazione sulla performance, nella seconda metà del compito viene introdotta attraverso la narrativa la componente motivante. Al bambino viene infatti data la possibilità di utilizzare le monete raccolte per giocare alla “Casa della Fortuna” rendendo così la condizione più motivante. Ai fini di questo elaborato mi concentrerò solo sulla condizione non motivante.

La parte non motivante del compito è composto da 6 blocchi: 4 predittivi contenenti 40 trial ciascuno e 2 non predittivi contenenti 20 trial ciascuno (Fig. 5). Di seguito sono descritte in dettaglio le condizioni predittive e non predittive.

30 sec max di pause



Figura 5: Struttura dei blocchi non motivanti.

I blocchi predittivi sono contrassegnati dalle lettere A e B, e prevedono che ognuno dei due stimoli cue compaia nella maggior parte dei trial associato ad uno degli stimoli target. Nello specifico, nel blocco A vedremo Yoshi precedere il fiore e Toad la stella nell'80% dei trial. Nel blocco B, invece, la relazione è invertita: Yoshi precede la stella e Toad il fiore nell'80% dei trial. Nei blocchi non predittivi, nominati "blocchi AB", gli stimoli cue compaiono associati agli stimoli target al 50%: sia Yoshi che Toad precedono la comparsa della stella lo stesso numero di volte che precedono il fiore (Fig. 6). I blocchi sono somministrati in maniera pseudo randomizzata e fissa tra i partecipanti. Questi ultimi non sono a conoscenza della manipolazione probabilistica e non sono state inserite pause tra un blocco e l'altro per evitare che essi potessero prevedere un cambiamento all'interno del compito. L'associazione cue-target viene modificata per creare un contesto con differenti livelli di prevedibilità. L'obiettivo è, infatti, quello di indagare in che modo i partecipanti modulano il loro controllo

cognitivo, nonché il loro comportamento, in funzione di quanto implicitamente appreso dall'ambiente.

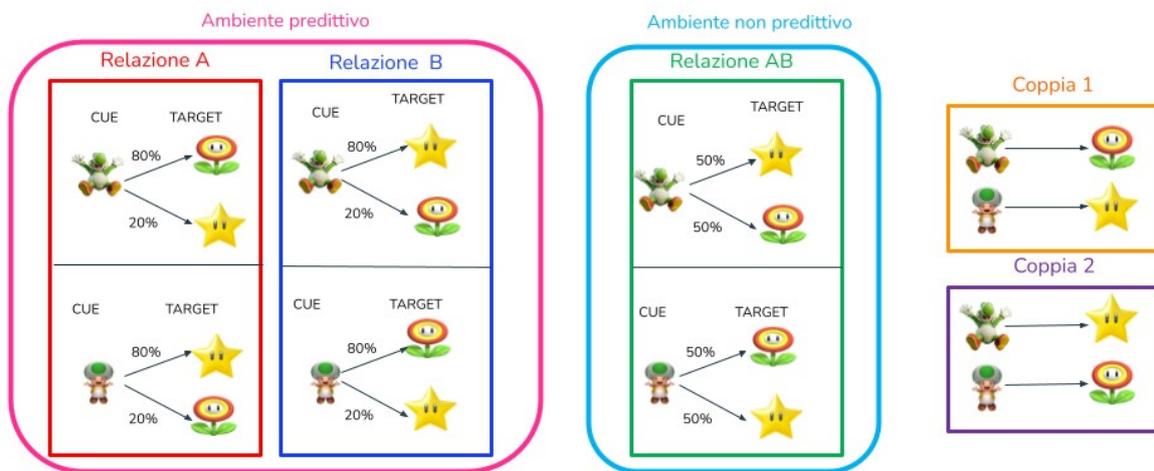


Figura 6: Disegno sperimentale.

Il compito vero e proprio è preceduto da una fase di prova (N=12) per verificare l'avvenuta comprensione delle regole. Durante questa fase, ad ogni risposta segue un feedback visivo ed uditivo circa l'adeguatezza della prestazione. Diversamente, nei blocchi sperimentali non viene fornito alcun feedback.

Il compito prevede una pausa di 1 minuto tra la prima e la seconda condizione, e una di 30 secondi entro ciascuna di esse. La durata complessiva del compito è di circa 30 minuti.

3.2.3.3 Questionari

Oltre al *Mario Task* e ai test di intelligenza e neuropsicologici, la ricerca prevedeva anche la compilazione da parte dei genitori dei seguenti questionari online: Conners, BRIEF-2, IUS-P e SRS.

La *Conners Parent Rating Scale – Revised* (Nobile et al., 2007) è uno strumento di valutazione della sintomatologia associata al Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) e di problemi cognitivi ed emotivi in bambini ed adolescenti. Esso si compone di 80 item rappresentanti delle affermazioni alle quali i genitori devono attribuire un livello di veridicità attraverso una scala Likert a 5 punti (da “non vero” a “molto vero”). Gli item compongono una serie di sotto-scale che valutano le seguenti dimensioni: oppositività, problemi cognitivi/disattenzione, iperattività, ansia-timidezza, perfezionismo, problemi sociali e psicosomatici, irrequietezza/impulsività e instabilità emotiva. Il *Behavioural Rating Inventory of Executive Function, Second Edition* nella versione per i genitori (BRIEF-2; Marano et al., 2016) è stato utilizzato allo scopo di indagare le funzioni esecutive di bambini ed adolescenti in contesto ecologico. Nello specifico, lo strumento indaga 9 dimensioni: l’inibizione, l’autocontrollo, la flessibilità, il controllo emotivo, la capacità di iniziativa, la memoria di lavoro, la pianificazione, l’automonitoraggio e l’organizzazione dei materiali. Questi fattori sono indagati attraverso 63 item che descrivono comportamenti ad essi relativi di cui i genitori devono valutarne la frequenza su una scala Likert a 3 punti (mai, qualche volta, spesso).

La *Intolerance of Uncertainty Scale* nella versione per i genitori (IUS-P; Bottesi et al., in prep) valuta le reazioni cognitive, emotive e comportamentali in risposta a situazioni incerte. La scala si compone di 12 item che descrivono possibili reazioni che il bambino può avere in situazioni ambigue che il genitore deve collocare su una scala Likert a 5 punti (da “Per niente come lui/lei” a “Completamente come lui/lei”) sulla base di quanto rispecchiano il/la proprio/a figlio/a.

Infine, la *Social Responsiveness Scale – Second Edition* (D’Ardia et al., 2021) è uno strumento che valuta sintomi e comportamenti sociali tipicamente presenti nel Disturbo dello

Spettro dell'Autismo (ASD). Esso si compone di 65 item distribuiti in 5 sotto-scale che valutano le seguenti dimensioni: cosapevolezza sociale (AWR), cognizione sociale (COG), motivazione sociale (MOT) e interessi limitati e comportamento ripetitivo (RRB). Anche questo strumento prevede che, per ciascun item, i genitori forniscano una risposta che si collochi su una scala Likert a 4 punti (da “Non vero” a “Quasi sempre vero”).

La compilazione dei questionari ha richiesto un tempo complessivo di circa 20 minuti ed è stata effettuata mediante la piattaforma *Qualtrics Survey* (Qualtrics, 2019).

3.2.4 Procedura

La fase di somministrazione è stata preceduta da una di reclutamento effettuata consultando le cartelle cliniche dei centri (vedi paragrafo 3.2.1), che hanno permesso di selezionare il gruppo sperimentale secondo i criteri di inclusione (vedi paragrafo 3.2.1). Una volta identificati i bambini idonei alla sperimentazione, sono stati contattati i genitori per la presentazione dello studio e per valutare il loro interesse a partecipare. Le famiglie che hanno acconsentito sono state invitate presso il centro clinico di riferimento dove sono state raccolte le loro firme al consenso informato alla partecipazione e al trattamento dei dati personali e dove, in seguito, è stata svolta la sessione sperimentale. Quest'ultima è stata effettuata in una stanza sufficientemente luminosa e priva di distrazioni dove è stato chiesto ai partecipanti di completare una serie di prove. Dapprima viene svolto il test per la valutazione del ragionamento non verbale, *Raven's Coloured Progressive Matrices* (Raven, 2008), seguita dal *Mario Task*. Queste due prove sono state somministrate per via computerizzata attraverso l'ausilio del software *Opensesame* (versione 3.314; Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). Il protocollo ha poi previsto lo svolgimento del *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST; Heaton, R. K., & Par, S., 2000), anch'esso computerizzato e supportato dalla piattaforma *Pebl*

(Mueller & Piper, 2014). Queste tre prove sono state presentate attraverso un computer portatile posizionato a circa 60 cm di distanza dal partecipante. Durante lo svolgimento delle prove la luminosità dello schermo è stata mantenuta al livello massimo, e l'audio ad un livello pari a 50. Su i due pulsanti della tastiera associati ai rispettivi stimoli target è stato applicato un adesivo in velcro per far sì che i partecipanti potessero mantenere l'attenzione sullo schermo ed evitare che, muovendo le mani, potessero premere inavvertitamente il tasto sbagliato. Inoltre, l'intera prestazione è stata monitorata dall'esaminatore, posizionato appena dietro il partecipante.

Le prove computerizzate sono seguite dalla somministrazione dei test neuropsicologici attraverso la procedura tradizionale carta-matita. La sessione sperimentale ha una durata complessiva di 90 minuti durante i quali sono previsti brevi ma frequenti momenti di pausa al fine di evitare un eccessivo affaticamento da parte del partecipante.

Ai genitori dei soggetti è stato, inoltre, richiesto di compilare una serie di questionari accessibili alla piattaforma *Qualtrics* (Qualtrics, 2019) mediante un QR code che è stato loro inviato. Essi sono stati invitati ad effettuare la compilazione contestualmente alla sessione sperimentale, tuttavia, qualora impossibilitati, il link ha permesso ai genitori di poter effettuare questa procedura comodamente da casa. Questa fase ha permesso di raccogliere informazioni sul suo funzionamento cognitivo, socio-emotivo e comportamentale in contesti di vita quotidiana, sul suo andamento scolastico e sulla sua salute fisica.

La sessione sperimentale è terminata con la consegna di stickers e di un diploma di piccolo/a ricercatore/rice come riconoscimento all'impegno e alla partecipazione nello studio.

3.3 Ipotesi sperimentali

In questo elaborato verranno indagate le seguenti ipotesi sperimentali:

1. La prima (H1) si riferisce all'indipendenza tra la flessibilità cognitiva espressa in contesti di apprendimento espliciti ed impliciti. Se questa ipotesi venisse confermata, ci aspetteremmo di osservare prestazioni di flessibilità cognitiva differenti tra *Mario Task* e il WCST.
2. La seconda (H2) riguarda, invece, la possibilità che il sistema sia più o meno flessibile indipendentemente dalla consapevolezza e quindi che l'apprendimento associativo implicito rappresenti un vincolo neurocostruttivo precoce su cui poggia la flessibilità cognitiva. Nella prospettiva della veridicità di tale ipotesi, non si dovrebbero assistere a differenze significative nelle prestazioni tra i due compiti.

3.4 Analisi dei dati

La presente ricerca ha utilizzato un disegno fattoriale 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). I blocchi considerati sono quelli non motivanti.

Per testare le nostre ipotesi abbiamo utilizzato dei modelli generalizzati lineari misti (GLMMs) con intercetta random per soggetto. Nello specifico, per quanto riguarda i tempi di reazione (RT) nei trials corretti, il modello è stato specificato come segue:

$$RT \sim \text{associazione} * \text{blocchi} + \text{Acc_n_1} + \text{preRT} + \text{età (anni)} + (1 | \text{subj})$$

dove Acc_n_1 rappresenta il post-error trial, ovvero la presenza o meno di errori nel trial precedente al fine di tener conto del cosiddetto rallentamento post-errore (Rabbitt, 1966), preRT (la variabile è stata standardizzata) rappresenta un predittore continuo che riflette i tempi di reazione del trial precedente 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:

$$\text{accuratezza} \sim \text{associazione} * \text{blocchi} + \text{Acc_n_1} + \text{età (anni)} + (1 | \text{subj})$$

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

Per poter effettuare il confronto tra le prestazioni al *Mario Task* e al WCST sono stati generati i *delta* dalla differenza tra la coppia 1 e la coppia 2 nei blocchi A e B. I *delta* rappresentano un indice della prestazione al *Mario Task* in termini di velocità di reazione e accuratezza e sono stati confrontati con le risposte perseverative e gli errori perseverativi del WCST attraverso l’utilizzo di un modello lineare.

$$\text{risposte perseverative} \sim 1 + \text{DeltaAcc} + \text{DeltaRT}$$

$$\text{errori perseverativi} \sim 1 + \text{DeltaAcc} + \text{DeltaRT}$$

CAPITOLO 4

I RISULTATI

Ai fini del presente elaborato, del campione complessivo ($n = 113$; vedi paragrafo 3.2.1) è stato considerato un sottocampione composto da 69 bambini (10 femmine e 59 maschi) di cui 37 ADHD e 32 ADHD con comorbidità (ASD, DSA).

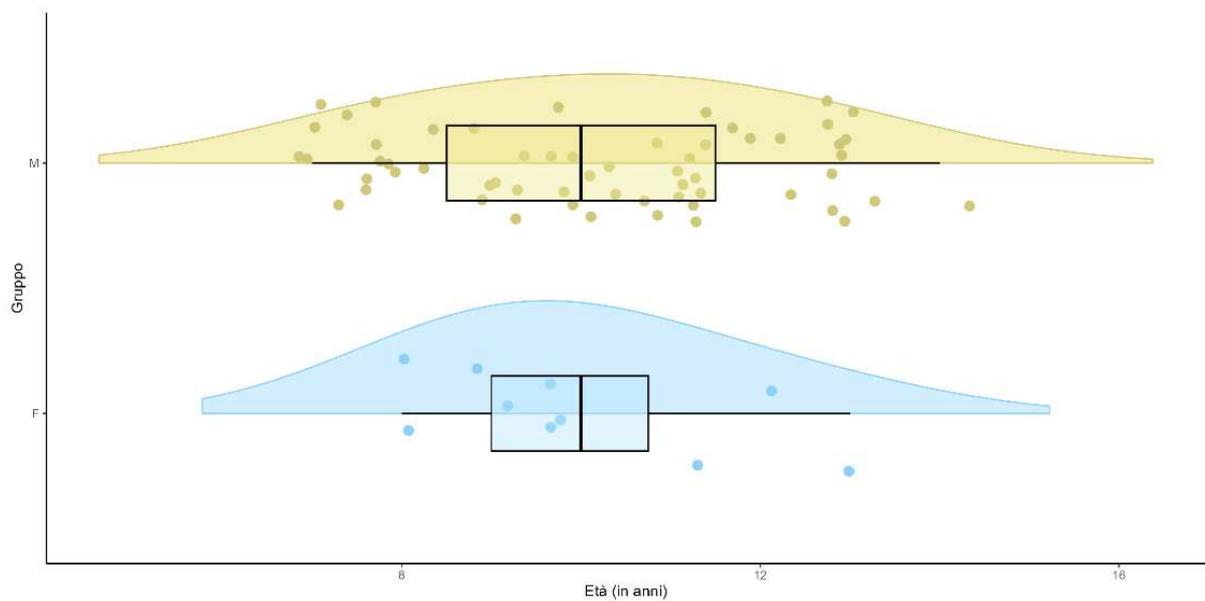


Figura 7: Caratteristiche demografiche del campione.

Sul campione considerato sono state analizzate le prestazioni ai compiti *Mario Task* e *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST) di cui si riportano i risultati di seguito.

4.1 Risultati nei tempi di reazione al Mario Task

Dai risultati emergono i seguenti effetti principali: effetto del blocco, effetto associazione, effetto sequenzialità ed un effetto legato all'età.

Per quanto riguarda l'effetto del blocco ($X^2(5) = 424.680$, $p < 0.001$) è possibile osservare un incremento nei tempi di reazione nel passaggio dal blocco A_1 al blocco B_1 per entrambe le coppie (coppia 1: A_1 vs B_1 = -0.093, SE = 0.014, $z(\text{inf}) = -6.412$, $p = <0.0001$; coppia 2: A_1 vs B_1 = -0.080, SE = 0.014, $z(\text{inf}) = -5.590$, $p = <0.0001$). Dopo un iniziale rallentamento, i tempi di reazione tendono a raggiungere una certa stabilità nei blocchi successivi per entrambe le coppie (coppia 1: B_1 vs AB_2 = -0.082, SE = 0.018, $z(\text{inf}) = -4.553$, $p = 0.0001$; coppia 2: B_1 vs AB_2 = -0.053, SE = 0.014, $z(\text{inf}) = -3.827$, $p = 0.002$). Questo effetto è facilmente visibile anche graficamente (Fig. 8).

Si registra anche un effetto della variabile associazione ($X^2(1) = 4.76$, $p < 0.05$), tale per cui la velocità con cui il partecipante risponde ai trial è influenzata dalla tipologia di associazione. In particolare, la velocità delle risposte aumenta nel caso di stimoli target attesi rispetto a stimoli non attesi. Tuttavia, questo è vero solo per il blocco AB_1 nel quale è possibile osservare tempi di reazioni più elevati, e quindi risposte più lente, alla coppia 1 rispetto alla coppia 2 (coppia 1 vs coppia 2 = 0.050, SE = 0.016, $z(\text{inf}) = 3.012$, $p = 0.002$).

L'effetto sequenzialità fa riferimento alla variabile preRT ($X^2(1) = 252.516$, $p < 0.001$), vale a dire ai tempi di reazione ai trial precedenti che sembrano aver influenzato la velocità con la quale il partecipante ha risposto ai trial successivi. In particolare, i tempi di reazione risultano aumentare progressivamente in funzione del progredire del compito.

Infine, coerentemente con quanto atteso, è stato registrato anche un effetto legato all'età ($X^2(1) = 12.469$, $p = 0.001$) tale per cui i bambini più grandi tendono a rispondere più rapidamente rispetto ai bambini più piccoli.

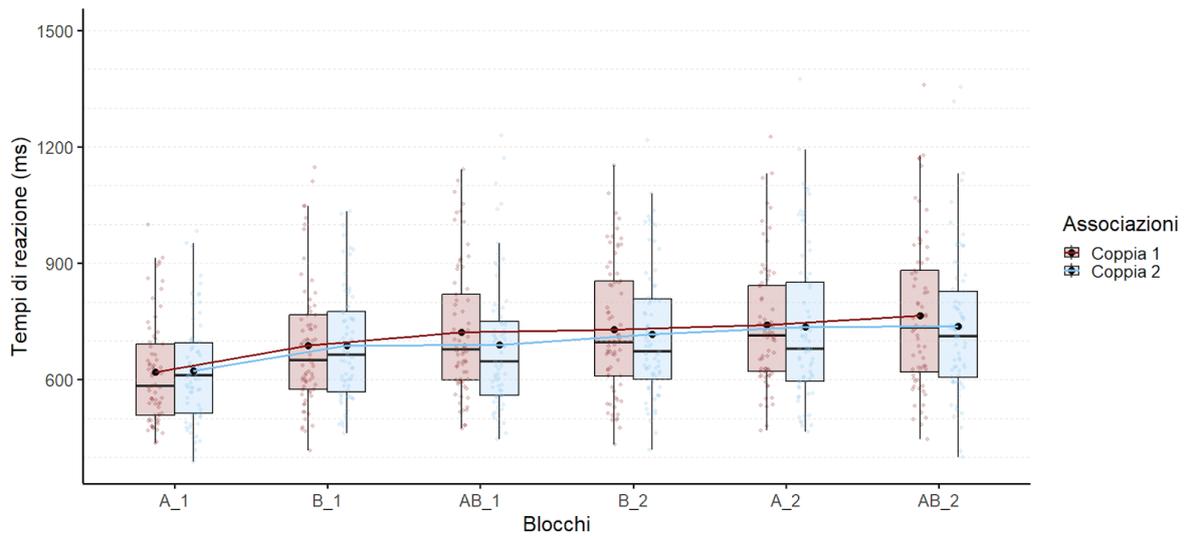


Figura 8: Grafico dei tempi di risposta dei soggetti suddivise in coppie, in relazione ai blocchi. E' possibile osservare i tempi di risposta (asse y) in rapporto alla performance rispetto ai blocchi A_1, B_1, AB_1, B_2, A_2 e AB_2 (asse x).

4.2 Risultati nell'accuratezza al Mario Task

Relativamente all'accuratezza al compito, i risultati mettono in luce i seguenti effetti principali: effetto del blocco, un effetto legato all'età e un effetto sequenzialità.

Per quanto riguarda l'effetto del blocco ($X^2(5) = 21.804$, $p < 0.001$), nel complesso, è possibile notare una stabilità nei livelli di accuratezza durante lo svolgimento del compito per quanto riguarda la coppia 1. Infatti, se si osservano i contrasti tra il blocco A_1 ed il blocco AB_2 (coppia 1: A_1 vs AB_2 = 0.408, SE = 0.144, $z(\text{inf}) = 2.836$, $p = 0.068$) non emergono differenze statisticamente significative nell'accuratezza. Per quanto riguarda la coppia 2, si osservano differenze significative nell'accuratezza tra il blocco B_1 ed il blocco A_2 (B_1 vs A_2 = 0.455, SE = 0.151, $z(\text{inf}) = 3.007$, $p = 0.04$), tra il blocco AB_1 e B_2 (AB_1 vs B_2 =

0.635, SE = 0.197, $z(\text{inf}) = 3.218$, $p = 0.02$) e tra il blocco AB_1 e AB_2 (AB_1 vs AB_2 = 0.575, SE = 0.190, $z(\text{inf}) = 3.027$, $p = 0.03$).

Anche in questo caso, così come per i tempi di reazione, emerge un effetto legato all'età ($X^2(1) = 10.986$, $p < 0.001$) tale per cui i bambini più grandi tendono a fornire risposte più accurate rispetto ai bambini più piccoli.

Inoltre, si può osservare anche un effetto sequenziale in termini di accuratezza statisticamente significativo che si riferisce alla variabile Acc_n_1 ($X^2(1) = 25.143$, $p < 0.001$). Quest'ultimo fa riferimento al fatto che, aver commesso un errore nel trial precedente, influenza l'accuratezza di risposta al trial successivo, con tempi di reazione mediamente più lenti.

Infine, diversamente ai tempi di reazione per i quali è stato registrato un effetto associazione, per l'accuratezza questo effetto non appare essere significativo. In altre parole, l'accuratezza delle risposte è indipendente dal tipo di coppia.

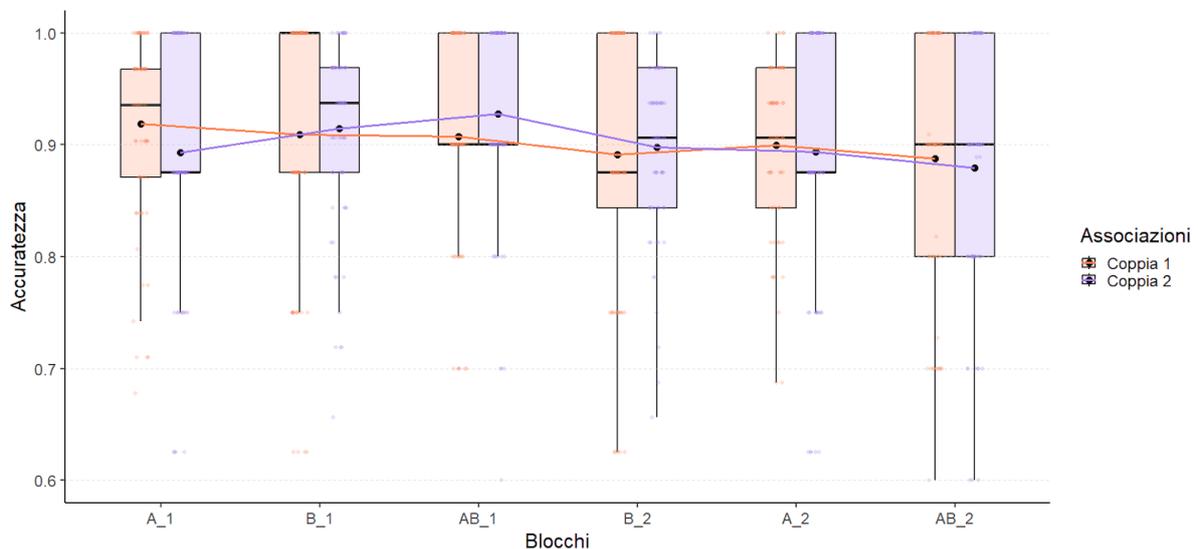


Figura 9: Grafico dell'accuratezza delle risposte dei soggetti suddivise in coppie, in relazione ai blocchi. Nel grafico è possibile osservare l'accuratezza delle risposte (asse y)

per ciascuna coppia in relazione ai singoli blocchi A_1 , B_1 , AB_1 , B_2 , A_2 e AB_2 (asse x).

4.3 Risultati del confronto tra Mario Task e WCST

Dal confronto tra *delta* tempi di reazioni e risposte perseverative non emerge alcuna relazione (Delta RT = -0.003, SE = 0.055, $t = -0.05$, $p = 0.96$), allo stesso modo non emerge alcuna relazione nemmeno tra *delta* tempi di reazione ed errori perseverativi (Delta RT = -0.005, SE = 0.033, $t = -0.15$, $p = 0.881$).

Dal confronto tra *delta* accuratezza e risposte perseverative non emerge alcuna relazione (Delta Acc= 11.535, SE = 42.179, $t = 0.273$, $p = 0.785$), allo stesso modo non emerge alcuna relazione nemmeno tra *delta* accuratezza ed errori perseverativi (Delta Acc = 0.440, SE = 24.822, $t = 0.018$, $p = 0.986$).

Nel complesso, la prestazione al *Mario Task* non appare predittiva della prestazione al WCST.

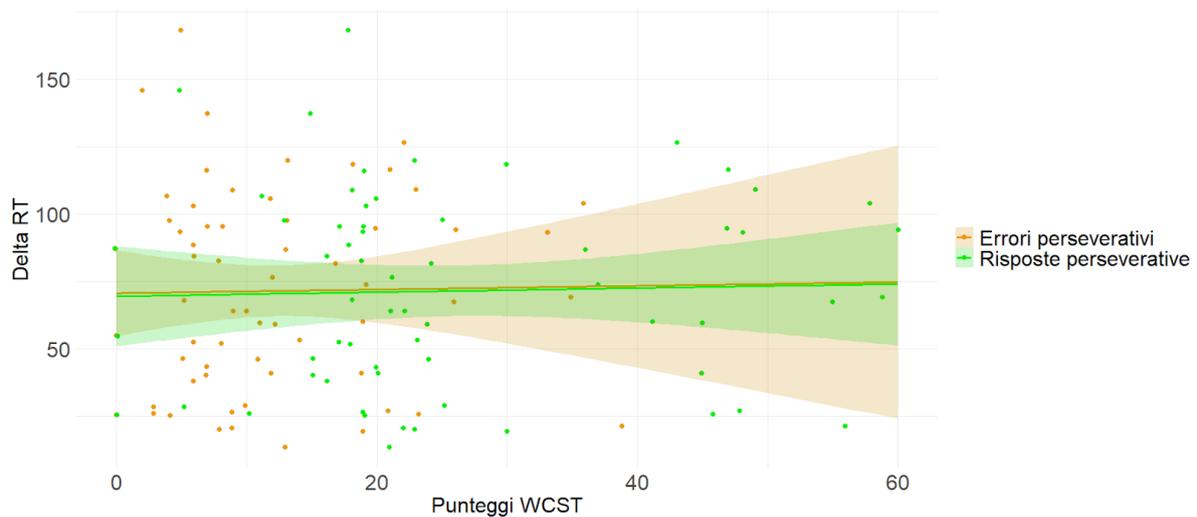


Figura 10: Scatter plot con linee di tendenza e intervalli di confidenza per il Delta dei tempi di reazione e WCST.

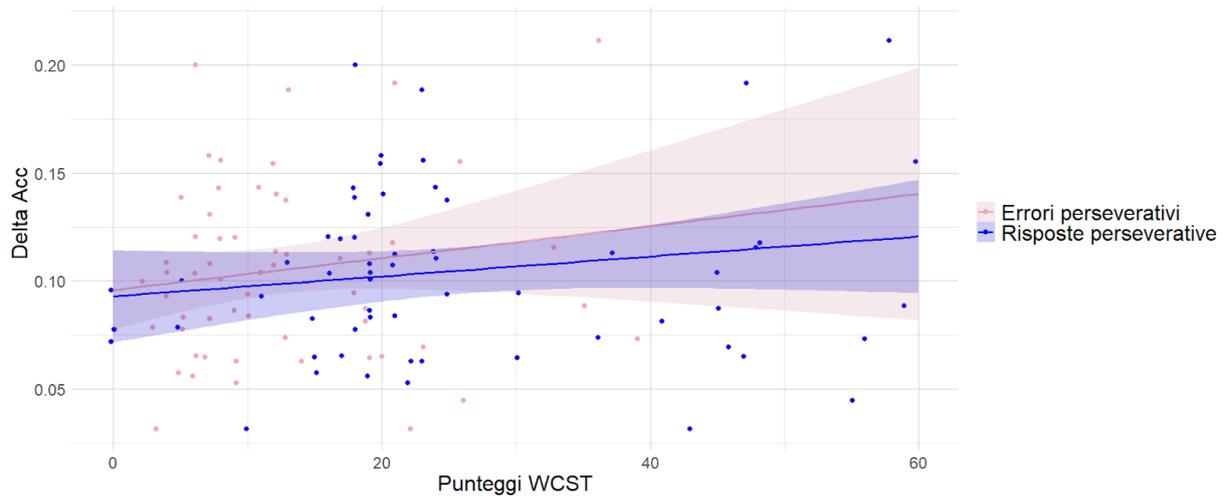


Figura 11: Scatter plot con linee di tendenza e intervalli di confidenza per il Delta dell'accuratezza e il WCST.

CAPITOLO 5

DISCUSSIONE

L'obiettivo del presente elaborato è quello di comprendere se ed in che modo i bambini in età pre-scolare e scolare con una diagnosi di Disturbo da Deficit d'Attenzione e Iperattività (ADHD) siano in grado di servirsi delle regolarità interne ad un ambiente volatile per autoregolare il proprio comportamento, e se questa abilità correla con la flessibilità cognitiva misurata su richiesta esplicita. A tal fine abbiamo considerato un campione di 69 bambini con diagnosi di ADHD e ADHD con comorbidità (ASD, DSA), dei quali sono state valutate le prestazioni ad un compito di apprendimento associativo implicito, il *Mario Task*, e quelle ad un tradizionale compito che misura la flessibilità cognitiva esplicita, il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST).

Come riportato nel capitolo precedente (vedi paragrafo 4.1), emerge un effetto di blocco sui tempi di reazione, evidente soprattutto nel passaggio dal blocco A_1 al blocco B_1 tra i quali si assiste ad un rallentamento nella velocità di risposta verosimilmente dovuto all'assestamento della performance conseguente al passaggio da una condizione predittiva ad un'altra. Questo iniziale incremento nei tempi di risposta è seguito da un andamento stabile per il resto del compito per tutte le coppie considerate.

La complessiva stabilità dei tempi di reazione durante buona parte del compito rappresenta un indice di mancato apprendimento associativo. Difatti, se i partecipanti avessero mostrato evidenza di apprendimento associativo, avrebbero dovuto rispondere più rapidamente nei blocchi A_1, A_2, B_1 e B_2 poiché altamente predittivi (validità 80:20 o 20:80), e più lentamente nei blocchi AB_1 e AB_2 poiché l'associazione è casuale. In quest'ultimo caso, l'associazione tra *cue* e *target* (validità 50:50) rende di fatto impossibile stabilire un modello

predittivo in grado di migliorare la performance in termini di velocizzazione dei tempi di risposta. Il mancato apprendimento suggerirebbe che nei bambini con ADHD la capacità di utilizzare l'apprendimento per migliorare la prestazione al compito sia compromessa. Questi risultati potrebbero essere in linea con quelli ottenuti da Lawson e collaboratori (2017) che mostrano tempi di risposta più elevati ad un compito di apprendimento associativo in persone adulte con disturbo del neurosviluppo (i.e., Disturbo dello Spettro dell'Autismo o ASD) rispetto ai controlli. Tuttavia, questa ipotesi rimane ad un livello puramente speculativo poiché l'assenza di un gruppo di controllo non permette di stabilire con certezza se il mancato apprendimento è una caratteristica endofenotipica dell'ADHD.

Relativamente all'accuratezza delle risposte (vedi paragrafo 4.2), i risultati mettono in luce delle prestazioni elevate in tutti e 6 i blocchi considerati, indice del fatto che il compito sia stato svolto senza difficoltà dai partecipanti. Inoltre, come per i tempi di reazione, anche l'accuratezza mantiene, per entrambe le coppie, una complessiva stabilità tra i blocchi durante il compito. Tuttavia, da un punto di vista qualitativo, si osservano delle differenze significative tra le coppie all'interno dei blocchi A_1, B_1 e AB_1. Nello specifico, all'interno del blocco A_1 i partecipanti hanno risposto più accuratamente alla coppia 1 rispetto alla coppia 2. Nel blocco successivo, B_1, l'accuratezza alla coppia 1 rimane stabile, invece, la coppia 2 aumenta di accuratezza. Nel blocco AB_1 l'accuratezza alla coppia 1 subisce un decremento ed è più bassa dell'accuratezza alla coppia 2. Nei blocchi successivi l'accuratezza rimane stabile e non si registrano differenze tra le coppie. L'incremento dei livelli di accuratezza per la coppia 2 dal blocco A_1 al blocco AB_1 e la stabilità dell'accuratezza alla coppia 1 tra i blocchi A_1 e B_1 ci suggeriscono che i partecipanti hanno mantenuto l'informazione appresa nei primi blocchi e l'hanno utilizzata in quelli successivi. Tuttavia, la stabilità nell'accuratezza di entrambe le coppie nella seconda parte del

compito è un indice del fatto che le informazioni precedentemente apprese non siano state in seguito mantenute. In altre parole, nella prima parte del compito sembrerebbe essersi verificato apprendimento, mentre nella seconda parte no.

Per quanto riguarda la tipologia di associazione, abbiamo visto che questa ha un effetto su i tempi di reazione. Ciò significa che la velocità con la quale i partecipanti hanno risposto ai trial è stata influenzata dalla tipologia di coppia. Tuttavia, questo effetto è apparso essere significativo solo all'interno del blocco AB_1 nel quale i partecipanti hanno fornito risposte più rapide alla coppia 2 rispetto alla coppia 1. Questo dato potrebbe essere dovuto al fatto che, a parità di prevedibilità, una coppia potrebbe possedere delle caratteristiche sensoriali che facilitano l'associazione più di quanto non accada per l'altra coppia. L'effetto associazione è presente per i tempi di reazione ma non per l'accuratezza. I partecipanti, infatti, rispondono accuratamente indipendentemente dal tipo di coppia.

Complessivamente, quindi, i risultati dimostrano che la prestazione è influenzata dalla struttura del compito più che dalla tipologia di associazioni.

Un ulteriore effetto significativo, sebbene atteso, è quello esercitato dalla sequenza dei trial e, in particolare, dal trial precedente (preRT e Acc_N-1) su i trial successivi. Nello specifico, i dati mostrano che la prestazione al compito è influenzata, sia in termini di velocità che correttezza della risposta, dalle caratteristiche del trial precedente. I partecipanti tendono infatti a diventare mediamente più lenti in generale col passare del tempo (effetto sequenziale sui tempi di reazione) ma soprattutto in seguito ad un errore (trial inaccurato). Questo fenomeno potrebbe essere dovuto ad una difficoltà nella regolazione attentiva caratteristica del disturbo.

Infine, abbiamo visto anche che, come atteso, le prestazioni al compito sono migliori nei bambini più grandi rispetto ai bambini più piccoli, sia in termini di velocità di risposta sia in termini di accuratezza.

Ulteriore obiettivo della ricerca oggetto del presente elaborato è stato quello di approfondire l'eventuale relazione che lega la flessibilità cognitiva esplicita con la capacità di aggiornare flessibilmente l'apprendimento associativo implicito sulla base della volatilità ambientale. Pertanto, le prestazioni al *Mario Task* sono state confrontate con quelle al WCST.

Dal confronto non è emersa, tuttavia, alcuna correlazione statisticamente significativa tra le prestazioni ai due compiti, indice del fatto che la prestazione al *Mario Task* non è predittiva della prestazione al WCST. Questo dato potrebbe suggerire una possibile indipendenza tra meccanismi alla base dell'apprendimento associativo probabilistico implicito e flessibilità cognitiva esplicita. Quanto emerso sarebbe in linea con studi precedenti che supportano l'ipotesi dell'esistenza di una dissociabilità funzionale tra controllo cognitivo implicito ed esplicito (Gonthier & Blaye, 2021; Gonthier, Ambrosi & Blaye, 2021).

In conclusione, dai risultati emersi all'interno di questo elaborato di tesi non è possibile concludere in maniera inequivocabile se i partecipanti con diagnosi di ADHD sono o meno in grado di stabilire apprendimento associativo e di aggiornarlo sulla base dei cambiamenti di volatilità ambientale a causa dell'assenza di un gruppo di controllo. L'assenza di effetti comportamentali legati alla validità predittiva indotta dall'associazione implicita sembrerebbe difatti suggerire una difficoltà per questa popolazione nel creare strutture di apprendimento su base implicita e conseguentemente utilizzare questa informazione per ottimizzare la prestazione al compito. Rimane, tuttavia, aperta la possibilità che il compito di per sé non sia riuscito a indurre questo tipo di associazione. Per discernere tra queste alternative sarà

fondamentale il confronto futuro col gruppo di controllo attualmente in fase di reclutamento. Anche per quanto riguarda la relazione tra flessibilità implicita ed esplicita non è chiaro se esista un'effettiva indipendenza tra i due costrutti e se questa dipenda dal quadro clinico considerato. Anche in questo caso per giungere a conclusioni più solide sarà necessario valutare le prestazioni ai compiti anche nel gruppo di controllo e confrontarle con il gruppo clinico. Un ulteriore limite della ricerca, oltre all'essenza del gruppo di controllo, è l'utilizzo di analisi statistiche frequentiste piuttosto che bayesiane. In vista di studi futuri, l'utilizzo di analisi statistiche più sofisticate che analizzino la variabilità tra i trial potrebbe permettere di mettere in luce degli effetti che non sono emersi in questa sede. Inoltre, nel presente studio, è stato considerato il gruppo clinico nel suo complesso senza fare distinzioni tra i bambini con ADHD e i bambini con ADHD e altri disturbi in comorbidità. Pertanto, potrebbe essere interessante esaminare ulteriormente le interazioni tra i blocchi e altre variabili, quali la diagnosi e l'età, per meglio comprendere se alcuni sottogruppi di partecipanti sono maggiormente influenzati da certi aspetti del compito.

BIBLIOGRAFIA

- Abrahamse, E., Braem, S., Notebaert, W., & Verguts, T. (2016). Grounding cognitive control in associative learning. *Psychological Bulletin*, 142(7), 693–728. <https://doi.org/10.1037/bul0000047>
- American Psychiatric Association, DSM-5 Task Force. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5™* (5th ed.). American Psychiatric Publishing, Inc.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485–493. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.485>
- 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>
- Banaschewski, T., Becker, K., Dopfner, M., Holtmann, M., Rosler, M., & Romanos, M. (2017). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Deutsches Arzteblatt International*, 114(9): 149-159. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2017.0149>
- Barnes, K. A., Howard, J. H., Jr, Howard, D. V., Kenealy, L., & Vaidya, C. J. (2010). Two forms of implicit learning in childhood ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(5): 494-505. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.494750>
- Berry, D., & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 209-231, <http://dx.doi.org/10.1080/14640748408402156>
- Bisiacchi, P. S., Cendron, M., Gugliotta, M., Tressoldi, P. E., & Vio, C. (2005). BVN 5-11: Batteria di valutazione neuropsicologica per l'età evolutiva. Trento, *Erickson*.
- Braem, S., & Egner, T. (2018). Getting a Grip on Cognitive Flexibility. *Current Directions in Psychological Science*, 27(6), 470–476. <https://doi.org/10.1177/0963721418787475>

- Chiu, Y.-C., & Egner, T. (2017). Cueing cognitive flexibility: Item-specific learning of switch readiness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(12), 1950–1960. <https://doi.org/10.1037/xhp0000420>
- Chiu, Y.-C., & Egner, T. (2019). Cortical and subcortical contributions to context-control learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 99, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.01.019>
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. *Science (New York, N.Y.)*, 210(4466), 207–210. <https://doi.org/10.1126/science.7414331>
- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5): 170-178. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01476-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01476-5)
- Coghill, D. R., Seth, S., & Matthews, K. (2014). A comprehensive assessment of memory, delay aversion, timing, inhibition, decision making and variability in attention deficit hyperactivity disorder: Advancing beyond the three-pathway models. *Psychological Medicine*, 44(9), 1989–2001. <https://doi.org/10.1017/S0033291713002547>
- Costea, A. R., Jurchiș, 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>
- D’Aria, C., Di Filippo, G., Donno, F., Keller, R., Petza, S., & Zuddas, A. (2021). SRS-2. Social Responsiveness Scale. Second Edition. *Hogrefe Editore*.
- De Houwer, J., Barnes-Holmes, D., & Moors, A. (2013). What is learning? On the nature and merits of a functional definition of learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(4), 631–642. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0386-3>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

- Diamond, A. (2020). Executive functions. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 173, pp. 225–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4>
- Durston, S., Davidson, M. C., Mulder, M. J., Spicer, J. A., Galvan, A., Tottenham, N., Scheres, A., Castellanos, F. X., Van Engeland, H., & Casey, B. J. (2007). Neural and behavioral correlates of expectancy violations in attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and allied disciplines*, 48(9): 881-889, <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01754.x>
- Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (2013). Behaviorism, Cognitivism, Constructivism: Comparing Critical Features From an Instructional Design Perspective. *Performance Improvement Quarterly*, 26(2), 43–71. <https://doi.org/10.1002/piq.21143>
- Faraone, S. V., & Larsson, H. (2019). Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Molecular Psychiatry*, 24(4): 562-575. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0070-0>
- Faraone, S. V., Bellgrove, M. A., Brikell, I., Cortese, S., Hartman, C. A., Hollis, C., Newcorn, J. H., Philipsen, A., Polanczyk, G. V., Rubia, K., Sibley, M. H., & Buitelaar, J. K. (2024). Attention-deficit/hyperactivity disorder. *Nature Reviews Disease Primers*, (2024) 10:11. <https://doi.org/10.1038/s41572-024-00495-0>
- Farooqui, A., & Manly, T. (2015). Anticipatory Control Through Associative Learning of Subliminal Relations: Invisible May Be Better Than Visible. *Psychological Science*, 26(3): 325-334. <https://doi.org/10.1177/0956797614564191>
- Franke, B., Michelini, G., Asherson, P., Banaschewski, T., Bilbow, A., Buitelaar, J. K., Cormand, B., Faraone, S. V., Ginsberg, Y., Haavik, J., Kuntsi, J., Larsson, H., Lesch, K. P., Quiroga, J. A. R., Réthelyi, J. M., Ribases, M., & Reif, A. (2018). Live fast? A review on the developmental trajectories of ADHD across the lifespan. *European Neuropsychopharmacology*, 28(19): 1059-1088. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2018.08.001>
- Frensch, P. A., & Rüniger, D. (2003). *Implicit Learning*. *Current Directions in Psychological Science*, 12(1), 13-18. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01213>

- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subject. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11(3), 501-518. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.11.3.501>
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1987). Selective effects of interference on implicit and explicit memory for new associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13(1), 45-53. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.1.45>
- Gonthier, C., & Blaye, A. (2021). Preschoolers are capable of fine-grained implicit cognitive control: Evidence from development of the context-specific proportion congruency effect. *Journal of experimental child psychology*, 210, 105211. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105211>
- Gonthier, C., Ambrosi, S., & Blaye, A. (2021). Learning-based before intentional cognitive control: Developmental evidence for a dissociation between implicit and explicit control. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 47(10), 1660–1685. <https://doi.org/10.1037/xlm0001005>
- Heaton, R. K., & Par, S. (2000). WCST-64: Computer Version 2.
- Karatekin, C., White, T., & Bingham, C. (2009). Incidental and intentional sequence learning in youth-onset psychosis and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Neuropsychology*, 23(4): 445-459. <https://doi.org/10.1037/a0015562>
- Karmiloff-Smith, A., Thomas, M. S. C., & Johnson, M. H. (2018). *Thinking Developmentally from Constructivism to Neuroconstructivism: Selected Works of Annette Karmiloff-Smith* (A. Karmiloff-Smith, M. S. C. Thomas, & M. H. Johnson, A c. Di; 1a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315516691>
- Kieling, C., & Rohde, L. A. (2012). Child and adolescent mental health research across the globe. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 51(9), 945– 947. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2012.07.002>

- Kofler, M. J., Irwin, L. N., Soto, E. F., Groves, N. B., Harmon, S. L., & Sarver, D. E. (2019). Executive Functioning Heterogeneity in Pediatric ADHD. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 47(2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10802-018-0438-2>
- Lawson, R. P., Mathys, C., & Rees, G. (2017). Adults with autism overestimate the volatility of the sensory environment. *Nature Neuroscience*, 20(9), 1293–1299. <https://doi.org/10.1038/nn.4615>
- Leboe, J. P., Wong, J., Crump, M., & Stobbe, K. (2008). Probe-specific proportion task repetition effects on switching costs. *Perception & Psychophysics*, 70(6), 935–945. <https://doi.org/10.3758/PP.70.6.935>
- Loonis, R. F., Brincat, S. L., Antzoulatos, E. G., & Miller, E. K. (2017). A Meta-Analysis Suggests Different Neural Correlates for Implicit and Explicit Learning. *Neuron*, 96(2), 521-534.e7. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.09.032>
- Marano, A., Innocenzi, M., Devescovi, A., D'Amico, S. Adattamento italiano a cura di (2016). Behaviour Rating Inventory Executive Function 2, assessment delle funzioni esecutive in età scolare (BRIEF-2), di Gerard, A., Peter, K. Isquith, Steven C. Guy, PhD, Lauren Kenworthy, 2000, *HOGEFREE Editore*.
- Marzocchi, G. M., Re, A. M., & Cornoldi, C. (2010). BIA-R: Batteria Italiana per l'ADHD – Revised. Valutazione dei bambini con deficit di attenzione/iperattività. *Erickson*.
- Mason, L. (2019). Approcci classici allo studio dell'apprendimento scolastico. In Mason, L., *Psicologia dell'apprendimento e dell'istruzione* (pp. 17-39). Il Mulino.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: an open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior research methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Mazzoni, G. (2016). Apprendimento. In Girotto, V., & Zorzi, M. (Acura di), *Manuale di psicologia generale* (pp. 199-200). Il Mulino.

- Milner, B., Corkin, S., & Teuber, H.-L. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6(3), 215–234. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90021-3)
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7)
- Moore, J. (2011). Behaviorism. *The Psychological Record*, 61, 449-464.
- Mueller, S. T., & Piper, B. J. (2014). The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *Journal of neuroscience methods*, 222, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.10.024>
- Nigg, D. T., & Casey, B. J. (2005). An integrative theory of attention-deficit/ hyperactivity disorder based on the cognitive and affective neurosciences. *Development and Psychopathology*, 17(3): 785-806. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050376>
- Nigg, J. T., Sibley, M. H., Thapar, A., & Karalunas, S. L. (2020). Development of ADHD: etiology, heterogeneity, and early life course. *Annual Review of Developmental Psychology*, 2(1): 559-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-060320-093413>
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *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)

- Nobile, M., Alberti, B., & Zuddas, A. (2007). CRS-R: Conners' Rating Scales Revised. *Giunti Psychometrics*.
- Pavlidou, E. V., & Williams, J. M. (2014). Implicit learning and reading: insights from typical children and children with developmental dyslexia using the artificial grammar learning (AGL) paradigm. *Research in Developmental Disabilities, 35*(7), 1457-1472. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.03.040>
- Polanczyk, G. V., De Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and metaregression analysis. *The American Journal of Psychiatry, 164*:942-948. <https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.6.942>
- Polanczyk, G. V., Willcutt, E. G., Salum, G. A., Kieling, C., & Rohde, L. A. (2014). ADHD prevalence estimates across three decades: An updated systematic review and meta-regression analysis. *International Journal of Epidemiology, 43*(2), 434-442. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt261>
- Qualtrics. (2019). Qualtrics software [software]. Utah: Provo.
- Raven, J. C., & Court, J. H. (1938). Raven's progressive matrices. *Western Psychological Services Los Angeles*.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 6*(6), 855-863. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(67\)80149-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(67)80149-X)
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General, 118*(3), 219-235. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.118.3.219>
- Reber, P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research. *Neuropsychologia, 51*(10), 2026-2042. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019>
- Robertson, E. M. (2007). The Serial Reaction Time Task: Implicit Motor Skill Learning?: Figure 1. *The Journal of Neuroscience, 27*(38), 10073-10075. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2747-07.2007>

- Sævland, W., & Norman, E. (2016). Studying Different Tasks of Implicit Learning across Multiple Test Sessions Conducted on the Web. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00808>
- Sagvolden, T., Johansen, E. B., Aase, H., & Russell, V. A. (2005). A dynamic developmental theory of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) predominantly hyperactive/impulsive and combined subtypes. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(03). <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000075>
- Schacter, D. L., Cooper, L. A., & Delaney, S. M. (1990). Implicit memory for unfamiliar objects depends on access to structural description. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(1), 5-24. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.119.1.5>
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder? *Behavioural Brain Research*, 130(1–2), 3–28. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00430-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00430-2)
- Shanks, D. R., & St. John, M. F. (1994). Characteristics of dissociable human learning systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(3), 367–395. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00035032>
- Simoens, J., Verguts, T., & Braem, S. (2024). Learning environment-specific learning rates. *PLOS Computational Biology*, 20(3), e1011978. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011978>
- Sonuga-Barke, E. J. S. (2003). The dual pathway model of AD/HD: An elaboration of neurodevelopmental characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(7), 593–604. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2003.08.005>
- Squire, L. R. (1992.). Memory and the Hippocampus: A Synthesis From Findings With Rats, Monkeys, and Humans. *Psychological review*, 99(2), 195–231. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.99.2.195>
- Tambelli, R. (2017). *Manuale di psicopatologia dell'infanzia*. Il Mulino.

- Thorwart, A., & Livesey, E. J. (2016). Three Ways That Non-associative Knowledge May Affect Associative Learning Processes. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.02024>
- Tokuhamma-Espinosa, T., & Borja, C. (2023). Radical neuroconstructivism: A framework to combine the how and what of teaching and learning? *Frontiers in Education*, 8, 1215510. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1215510>
- Urgesi, C., Tognin, V., & Fabbro, F. (2007). NEPSY-II: Manuale di somministrazione.
- Valenza, E., & Turati, C. (2019). *Promuovere lo sviluppo della mente. Un approccio neurocostruttivista*. Il Mulino.
- Vicari, S., & Caselli, M. C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva*. Il Mulino.
- Watson, J. B. (1997). *Behaviorism*. Transaction Publ.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler Intelligence Scale for Children, Fourth Edition (WISC-IV). *Giunti Psychometrics*.
- Westermann, G., Mareschal, D., Johnson, M. H., Sirois, S., Spratling, M. W., & Thomas, M. S. C. (2007). Neuroconstructivism. *Developmental Science*, 10(1), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00567.x>
- 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>
- Yang, J., & Li, P. (2012). Brain networks of explicit and implicit learning. *Plos One*, 7(8), e42993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042993>
- Zwart, F. S., Vissers, C. Th. W. M., Kessels, R. P. C., & Maes, J. H. R. (2018). Implicit learning seems to come naturally for children with autism, but not for children with specific language impairment: Evidence from behavioral and ERP data. *Autism Research*, 11(7), 1050–1061. <https://doi.org/10.1002/aur.1954>