



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

Il controllo cognitivo adattivo nel Disturbo da Deficit dell'Attenzione e dell'Iperattività (ADHD): come l'aspettativa temporale implicita influenza il controllo inibitorio

Adaptive cognitive control in Attention-deficit/hyperactivity-disorder (ADHD): how implicit temporal expectancy shapes inhibitory control

Relatore:

Prof. Giovanni Mento

Correlatrice:

Dott.ssa Lisa Toffoli

Laureanda: Lisa Tralli

Matricola: 2016877

Indice

Introduzione.....	1
1 IL CONTROLLO COGNITIVO.....	3
1.1 Che cos'è il controllo cognitivo.....	3
1.2 Modelli teorici del controllo cognitivo	3
1.3 L'evoluzione del controllo cognitivo nel corso dello sviluppo	9
1.4 Controllo cognitivo adattivo	13
1.4.1 <i>Studi e modelli del controllo cognitivo adattivo.....</i>	<i>13</i>
1.4.2 <i>Il controllo cognitivo in relazione all'apprendimento associativo</i>	<i>17</i>
1.4.3 <i>Il controllo cognitivo adattivo nell'età evolutiva</i>	<i>18</i>
2 DISTURBO DA DEFICIT DELL'ATTENZIONE E DELL'IPERATTIVITÀ	22
2.1 I criteri diagnostici e l'evoluzione del disturbo	22
2.2 Modelli neuropsicologici dell'ADHD	24
2.3 Il controllo cognitivo adattivo nell'ADHD	29
3 LA RICERCA	32
3.1 Gli obiettivi della ricerca	32
3.2 I partecipanti.....	32
3.3 Conformità etica	34
3.4 Metodo	34
3.4.1 <i>Procedura</i>	<i>34</i>
3.5 Materiali.....	35
3.5.1 <i>Dynamic Temporal Prediction task (Mento et al., in prep.)</i>	<i>35</i>
3.5.2 <i>Questionari online per i genitori</i>	<i>38</i>

3.6	Ipotesi sperimentali	39
3.7	Analisi dei dati	41
4	RISULTATI.....	44
4.1	H1: contesto predittivo locale (<i>Foreperiod effect</i>).....	44
4.2	H2a: contesto predittivo globale.....	45
4.3	H2b: apprendimento implicito precoce e tardivo	46
4.3.1	<i>Delta 1: apprendimento precoce</i>	46
4.3.2	<i>Delta 2: apprendimento tardivo</i>	47
4.4	H3: inibizione.....	49
4.4.1	<i>H3a e H3b</i>	49
5	DISCUSSIONE	52
5.1	Adattamento implicito locale (<i>Foreperiod effect</i>).....	52
5.2	Adattamento implicito globale (Delta 1 e Delta 2)	53
5.3	Controllo inibitorio in contesto predittivo.....	54
5.4	Limiti e direzioni future.....	55
	Bibliografia	57
	Ringraziamenti.....	63

Introduzione

Il controllo cognitivo è un insieme di processi finalizzati alla messa in atto di comportamenti complessi volti al raggiungimento di un obiettivo (Diamond, 2013). Secondo un recente filone di ricerca, il controllo cognitivo è influenzato dalle caratteristiche di regolarità del mondo esterno, tra cui la predicibilità degli eventi in base alle regolarità spazio-temporali (Braem & Egner, 2018).

Il presente elaborato di ricerca ha indagato, in traiettorie a sviluppo tipico e atipico (Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività, ADHD), la capacità di adattare i processi di controllo cognitivo e il comportamento in funzione del contesto da parte di bambini/e di età compresa fra i 7 e 15 anni. In particolare, si è indagato come la capacità di controllo inibitorio di risposte automatiche è diversamente influenzata da aspettative temporali implicite nello sviluppo tipico e nell'ADHD.

In questo elaborato verranno esaminati e presentati i risultati ottenuti da un nuovo compito sperimentale, il *Dynamic Temporal Prediction Go-NoGo* (DTP GNG; Mento et al., in prep.), in cui è stato manipolato il contesto predittivo. Il DTP GNG permette di valutare non solo la rapidità e l'accuratezza nell'adattare la propria prestazione comportamentale al variare di regole temporali locali (trial per trial) e globali (blocco per blocco) implicite nel compito, ma anche la capacità di ottimizzare il controllo inibitorio in funzione di tali regolarità.

I risultati emersi da questo studio suggeriscono che l'adattamento implicito locale potrebbe essere meno vulnerabile nello sviluppo atipico in quanto presente in entrambi i gruppi, con una traiettoria evolutiva precoce e stabile già dagli 8 anni. Per quanto riguarda l'adattamento implicito globale, è emerso un apprendimento precoce soltanto nel gruppo di controllo, mentre l'apprendimento tardivo è presente anche in soggetti con ADHD, i quali potrebbero essere in grado di introiettare precocemente un modello interno, ma non riuscire a ottimizzare velocemente la prestazione motoria. Infine, per quanto riguarda l'accuratezza, non si sono osservate delle differenze significative tra i gruppi sia nei trial Go che nei trial NoGo, indice del fatto che entrambi i gruppi sono in grado di gestire in modo efficiente il controllo inibitorio, seppur adottando strategie diverse. Il contesto predittivo potrebbe quindi favorire una funzione solitamente compromessa nell'ADHD, ovvero l'inibizione.

Tale progetto presenta degli elementi innovativi rispetto al contesto sperimentale tradizionale utilizzato finora per studiare i processi inibitori di persone con ADHD, con importanti implicazioni per future ricerche e applicazioni nella pratica clinica.

1 IL CONTROLLO COGNITIVO

1.1 Che cos'è il controllo cognitivo

Il termine “funzioni esecutive”, noto in letteratura anche come “controllo cognitivo” (Diamond, 2013), è stato introdotto dalla neuropsicologa Muriel Lezak nel 1983 per descrivere tutte quelle “abilità cognitive che rendono un individuo capace di comportarsi in maniera adattiva, indipendente e finalizzata” (Vicari & Caselli, 2017).

Il controllo cognitivo può essere quindi definito come un insieme di capacità che permettono all'individuo di pianificare, anticipare e progettare attività in modo strategico e flessibile al fine di raggiungere uno scopo, controllare e modificare il proprio comportamento adeguandolo al contesto circostante, inibire una risposta o posticiparla ad un momento più appropriato, focalizzarsi su un compito e portarlo a termine, risolvere i problemi che la vita presenta e gestire e regolare le proprie emozioni (Anderson & Reidy, 2012).

Si tratta quindi di abilità essenziali per far fronte ai compiti cognitivi quotidiani o per affrontare situazioni nuove mettendo in atto comportamenti nuovi e consoni al contesto e alle richieste ambientali, potendo così rielaborare il passato ed esercitare controllo sul futuro (Marzocchi & Valagussa, 2011; Zelazo, 2015).

1.2 Modelli teorici del controllo cognitivo

In letteratura sono presenti due famiglie di modelli che cercano di spiegare il costrutto del controllo cognitivo: i modelli unitari e i modelli multicomponentiali. I primi descrivono il controllo cognitivo come un costrutto unitario caratterizzato da un'unica componente, mentre i secondi concettualizzano il controllo cognitivo come un costrutto multicomponentiale, suddiviso in componenti totalmente o parzialmente indipendenti (Marzocchi & Valagussa, 2011; Vicari & Caselli, 2017).

Di seguito verranno presentati due modelli unitari: il modello del Sistema Attenzionale Supervisore (SAS) di Norman e Shallice (1986) ed il modello della Memoria di Lavoro di Baddeley (1974 e 2000) (Anderson & Reidy, 2012).

Il modello di Norman e Shallice (Figura 1) presuppone che il comportamento sia divisibile in azioni o schemi automatici e volontari (Gurney et al., 2009). Questi schemi, attivati e influenzati da stimoli sensoriali, determinano la messa in atto di comportamenti appropriati al contesto. In modo particolare, quando l'individuo compie delle azioni elementari ed automatiche viene attivato il sistema automatico, detto selezione competitiva (Gurney et al., 2009). Al contrario, in situazioni nuove viene attivato il sistema attentivo supervisore (SAS) che esercita un controllo sui processi cognitivi. Questo sistema permette all'individuo di pianificare ed organizzare una nuova risposta, correggere eventuali errori ed evitare risposte usuali. La compromissione di tale sistema determina la messa in atto di comportamenti ripetitivi e perseveranti ed una scarsa concentrazione ed attenzione, dovuti rispettivamente all'impossibilità di produrre azioni diverse dal solito e appropriate alla situazione (Gurney et al., 2009).

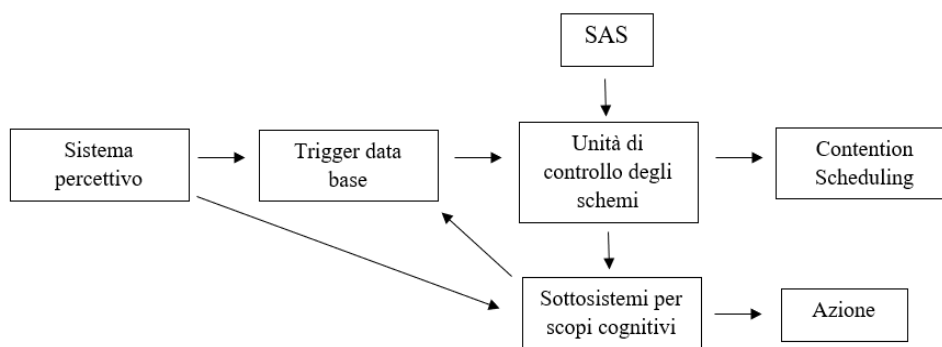


Figura 1: Struttura del modello del Sistema Attentivo Supervisore di Norman e Shallice (1986) (Marzocchi & Valagussa, 2011).

Il modello di Baddeley (1974), invece, pone l'attenzione sulla memoria di lavoro suddividendola in tre componenti: esecutivo centrale, loop fonologico e taccuino visuo-spaziale (Baddeley, 2010). Da un lato, il loop fonologico è responsabile dell'elaborazione e del mantenimento dell'informazione fonetica e fonologica, permettendo la conversione di stimoli visivi in stimoli verbali, dall'altro lato, il taccuino visuo-spaziale è responsabile dell'elaborazione delle informazioni verbali e visuo-spaziali in ingresso. Queste due sottocomponenti sono regolate e controllate dall'esecutivo centrale, il quale permette di manipolare, immagazzinare ed integrare le informazioni all'interno della memoria di lavoro. In modo particolare, consente di focalizzare l'attenzione su stimoli rilevanti o su

diversi set di risposta, di svolgere più attività contemporaneamente e di recuperare informazioni utili dalla memoria a lungo termine (Baddeley, 2010).

Successivamente, in una revisione del 2000 (Figura 2), è stata aggiunta una quarta componente: il buffer episodico. Tale componente permette di unire diverse informazioni in modo tale da creare degli episodi integrati che rappresentano l'ambiente, così da poter modificare le proprie azioni in funzione dell'esperienza passata (Baddeley, 2010).

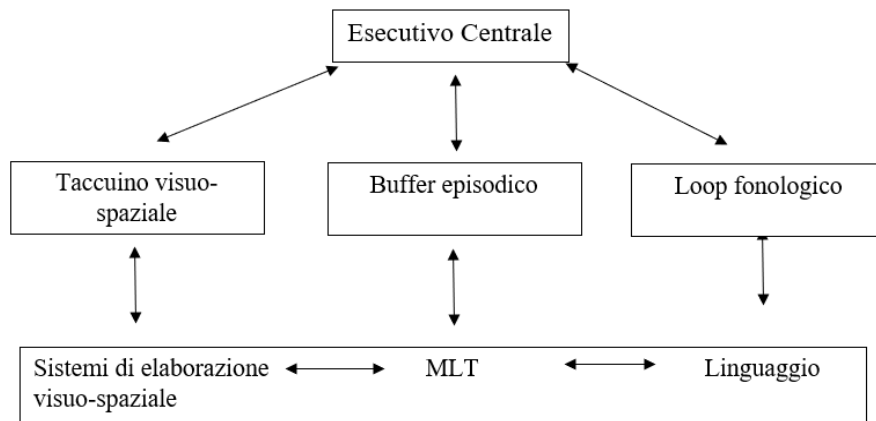


Figura 2: Struttura del modello della Memoria di Lavoro di Baddeley (2000) (Marzocchi & Valagussa, 2011).

Negli anni successivi però, alcune ricerche hanno fornito evidenze a favore dei modelli frazionati, in cui il dominio del controllo cognitivo è costituito da componenti differenti ed interrelate tra di loro (Marzocchi & Valagussa, 2011).

Al momento uno dei modelli maggiormente condivisi dalla comunità scientifica è quello di Miyake e Friedman del 2000, che hanno proposto la presenza di tre componenti del controllo cognitivo:

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

La memoria di lavoro implica la capacità di monitorare e codificare le informazioni in entrata e di aggiornare le informazioni divenute irrilevanti con nuovi dati più adeguati per il compito che si sta svolgendo (Diamond, 2020). L'*updating* viene definito come un processo che controlla l'attivazione, l'inibizione e l'aggiornamento dei contenuti presenti all'interno della propria memoria di lavoro (Vicari & Caselli, 2017).

L'inibizione implica la capacità di arrestare le proprie risposte comportamentali, procrastinarle o selezionarle (Baggetta & Alexander, 2016). In particolar modo, il controllo inibitorio implica essere in grado di controllare la propria attenzione, il proprio comportamento e i propri pensieri o emozioni in funzione di stimoli esterni ed interni (Diamond, 2020).

La flessibilità cognitiva invece, implica la capacità di modificare le proprie risposte comportamentali al variare delle condizioni ambientali, spostando la propria attenzione da un compito o stato mentale a un altro attraverso la capacità di disancorare l'attenzione da uno stimolo irrilevante ed ancorarla ad uno stimolo più pertinente per il compito o la situazione (Baggetta & Alexander, 2016).

Miyake e colleghi (2000) mediante l'analisi fattoriale verificarono se le tre componenti del controllo cognitivo fossero unitarie o almeno parzialmente separabili tra loro (Figura 3). Ciò che emerse è che la memoria di lavoro, l'inibizione e la flessibilità cognitiva sono processi strettamente correlati tra loro, che possiedono alcune abilità di base comuni (unità), sebbene ciascun elemento rimanga al tempo stesso un'entità distinta e separabile (diversità) (Miyake & Friedman, 2012).

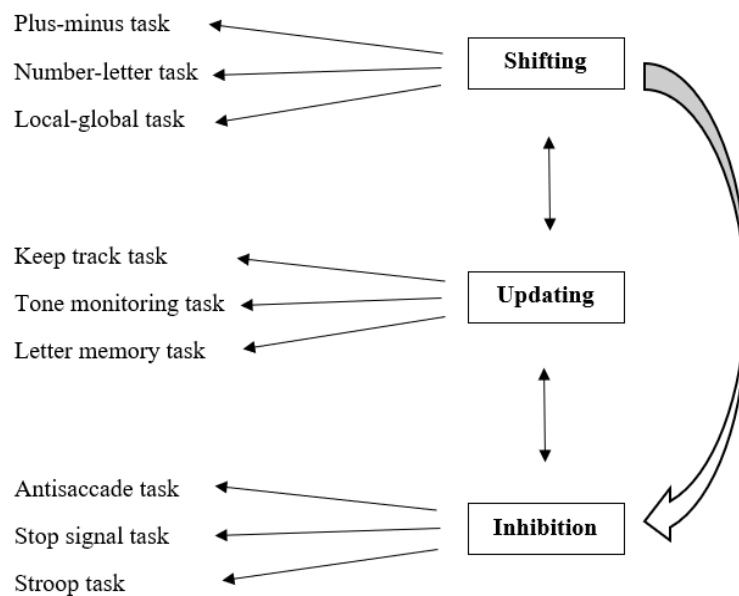


Figura 3: Schematizzazione dei processi cognitivi del modello di Miyake e Friedman (2000) e le prove utilizzate per la loro valutazione (Miyake et al., 2000).

In una revisione successiva del modello, Miyake e Friedman (2012), includono un fattore comune definito *Common EF* (Figura 4), che permette all'individuo di conservare in memoria gli obiettivi delle azioni precedentemente intraprese, le informazioni ad esse collegate e di mantenere l'attenzione (Miyake & Friedman, 2012). Ciascuna abilità può essere scomposta in ciò che è comune a tutte e tre le funzioni cognitive (principio di unicità) e allo stesso tempo mantenere delle caratteristiche uniche, non presenti nelle altre funzioni (principio di diversità) (Miyake & Friedman, 2012). Nel modello descritto, il fattore comune corrisponde con il fattore di inibizione (Miyake & Friedman, 2012).

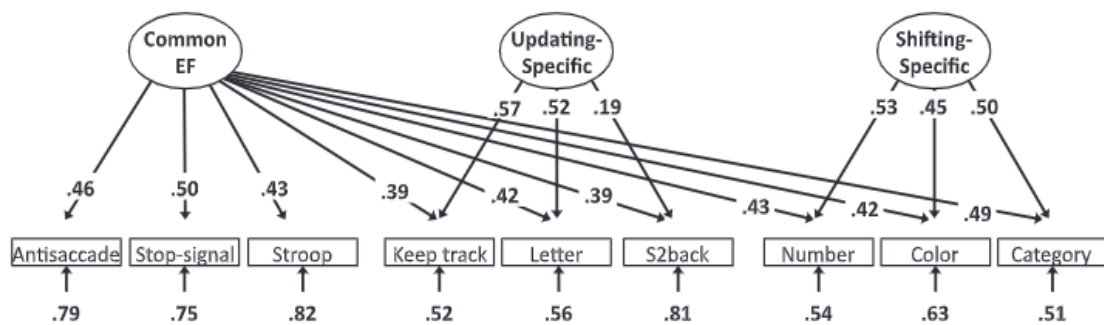


Figura 4: Modello aggiornato di Miyake e Friedman (2012) (Friedman & Miyake, 2017).

In seguito, Adele Diamond riprese il modello multicomponentiale proposto da Miyake, condividendo la suddivisione del controllo cognitivo nei tre domini principali: inibizione, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva (Diamond, 2020). Diversamente da Miyake però, teorizzò che dalle tre funzioni principali derivano i processi di ordine superiore come la pianificazione, il ragionamento e il *problem solving*, aspetti fondamentali per l'intelligenza fluida (Baggetta & Alexander, 2016; Diamond, 2020).

In questo modello l'inibizione presenta due sottocomponenti: l'autocontrollo/inibizione della risposta e il controllo dell'interferenza (Diamond, 2020). L'autocontrollo consiste sia nella capacità di sopprimere una risposta dominante o un impulso per dare una risposta più appropriata alla situazione sia nella capacità di rimanere concentrati su un compito portandolo a termine senza alcuna distrazione (Diamond, 2020). La sottocomponente del controllo dell'interferenza, invece, implica la capacità di focalizzare l'attenzione su un elemento rilevante, inibendo gli stimoli irrilevanti presenti nell'ambiente circostante che interferiscono con lo svolgimento del compito (Diamond, 2020; Ruffini et al., 2021).

Tra i principali compiti sperimentali che valutano il controllo inibitorio troviamo lo *Stroop task* (Stroop, 1935), in cui viene chiesto ai partecipanti di nominare il più velocemente possibile il colore con cui è scritta la parola presentata sullo schermo. Il compito è composto da prove congruenti, dove il colore e la parola corrispondono (ad esempio, parola “blu” scritta in blu) e da prove incongruenti, dove il colore e la parola non corrispondono (ad esempio, parola “blu” scritta in rosso). Tale compito permette di indagare la capacità di inibire la risposta automatica di lettura della parola per indicare il colore (Miyake et al., 2000). Inoltre, troviamo i compiti *Go-NoGo*, in cui viene chiesto al soggetto di rispondere alla comparsa di stimoli target e di sopprimere la risposta alla comparsa di altri stimoli definiti distrattori. Analogamente, il *Flanker task*, è un compito di inibizione della risposta utilizzato per valutare la capacità di sopprimere una risposta inadeguata in un particolare contesto. Si richiede infatti al soggetto di rispondere ad uno stimolo target senza porre attenzione agli stimoli distrattori posti lateralmente, i quali possono seguire la stessa direzione dello stimolo target o la direzione opposta. Infine, nell’*Antisaccade task* si richiede al soggetto di inibire la saccade automatica elicitata dalla comparsa improvvisa di uno stimolo laterale, rivolgendo lo sguardo nella direzione opposta dello stimolo (Friedman & Robbins, 2022).

La memoria di lavoro viene definita come un sistema in cui le informazioni spaziali, verbali e visive vengono manipolate, aggiornate, elaborate ed integrate mentre sono temporaneamente trattenute nella memoria a breve termine (Ruffini et al., 2021). Tale componente viene spesso valutata attraverso l’*N-back task*, in cui viene presentata una sequenza di stimoli e viene chiesto al soggetto di indicare quando lo stimolo corrente coincide con quello presentato n prove precedenti (Friedman & Robbins, 2022). Similmente, il *Letter-Memory task* consiste nella presentazione su uno schermo di un elenco di lettere per un tempo di 2000 ms. Il compito, adattato da Morris e Jones nel 1990, consiste nel ricordarsi e pronunciare ad alta voce le ultime 4 lettere dell’elenco presentato (Miyake et al., 2000).

Infine, la flessibilità cognitiva implica la capacità di modificare rapidamente l’azione e di pensare fuori dagli schemi considerando punti di vista diversi (Ruffini et al., 2021). Tale capacità viene comunemente valutata attraverso paradigmi di *task switching*, in cui viene richiesto di passare flessibilmente da un compito o una regola all’altra. Un esempio di questo tipo di paradigma è il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), che consiste nel riordinare una serie di carte sulla base di tre diverse dimensioni (forma, colore, numero). Il compito del soggetto è quello di apprendere, mediante una serie di prove ed errori, la

regola per riordinare le carte, la quale varia nel corso del compito (Grant & Berg, 1948). Infine, nel compito *Local-Global* viene presentata sullo schermo del computer una figura geometrica (Navon, 1977), la quale è composta da altre piccole figure. A seconda del colore della figura (blu o nero), viene chiesto ai partecipanti di indicare il numero di linee della figura globale (blu) o il numero di linee delle figure locali (nero). In ogni prova il colore degli stimoli varia portando il partecipante a cambiare strategia e ad essere flessibile (Miyake et al., 2000).

Nel modello della Diamond non esiste un comune meccanismo unitario sottostante alle tre funzioni, come invece viene concettualizzato nel modello di Miyake e colleghi (Baggetta & Alexander, 2016).

1.3 L'evoluzione del controllo cognitivo nel corso dello sviluppo

Soltanto 30 anni fa si pensava che i processi alla base del controllo cognitivo emergessero solo in età scolare, in seguito alla maturazione completa dei lobi frontali, aree cerebrali fondamentali per lo sviluppo delle capacità cognitive di ordine superiore (Anderson & Reidy, 2012). Al giorno d'oggi è ormai risaputo che lo sviluppo del controllo cognitivo inizia molto più precocemente già nella prima infanzia e prosegue lungo l'intero arco di vita (Marzocchi & Valagussa, 2011). Di conseguenza, la memoria di lavoro, la flessibilità cognitiva e l'inibizione possono essere studiate già nei bambini di età prescolare (Valeri & Stievano, 2007).

In uno studio condotto da Smidt e colleghi (2004) sono stati individuati dei periodi sensibili, in cui si riscontra una maggiore propensione ad acquisire certe abilità. In modo particolare, il controllo attenzionale e l'inibizione emergono molto precocemente e tendono a stabilizzarsi dai 5 anni; la flessibilità cognitiva si sviluppa tra i 3 e i 5 anni mentre la memoria di lavoro matura dai 3 ai 7 anni (Marzocchi & Valagussa, 2011). Infine, la pianificazione sembrerebbe emergere gradualmente tra i 5 e i 7 anni (Marzocchi & Valagussa, 2011).

Le prime abilità di inibizione compaiono nei primi mesi di vita, infatti, a partire dai 4 mesi di età si è in grado di inibire le saccadi automatiche per orientarsi verso uno stimolo saliente. Successivamente, a partire dai 3 anni, iniziano ad osservarsi delle capacità inibitorie sempre più sofisticate sul piano comportamentale. All'età di 4 anni i bambini

svolgono con successo sia compiti di inibizione semplici che complessi. I compiti semplici, come ad esempio l'*Antisaccade task*, consistono nella capacità di sopprimere una risposta dominante, mentre i compiti complessi richiedono una maggiore implicazione della memoria di lavoro poiché si basano sulla capacità di mantenere in memoria una regola e di utilizzarla nel momento opportuno al fine di inibire una risposta dominante, come nello *Stroop task* (Best & Miller, 2010). I compiti *Go-NoGo* sono i più adatti per valutare le capacità inibitorie in epoca prescolare. Tra questi, un compito appropriato a bambini che frequentano la scuola materna è il compito Orso/Drago, in cui il bambino viene istruito a seguire le istruzioni del cucciolo di orso, astenendosi dal seguire le istruzioni del drago. Solo circa la metà dei bambini di 3 anni è in grado di resistere alle istruzioni del drago, e questa capacità aumenta nei bambini più grandi fino a quando a 5 anni riescono tutti a completare correttamente la prova (Anderson & Reidy, 2012). Un altro compito *Go-NoGo* che i bambini di 3 anni riescono a portare a termine è il famoso *Simon Says*, dove lo sperimentatore dà un comando e il bambino è invitato a seguirlo imitandolo, ma solo quando il comando è preceduto da “Simon dice”, altrimenti il bambino deve inibire la risposta e restare fermo (Anderson & Reidy, 2012). Nel compito *Day Night* invece, viene richiesto al bambino di inibire una risposta verbale dominante. La prova consiste nel dire “giorno” quando viene presentata la carta nera con disegnata una luna e delle stelle e di dire “notte” quando viene presentata la carta bianca con disegnato un sole giallo (Anderson & Reidy, 2012). I bambini in età prescolare hanno difficoltà a svolgere compiti complessi di inibizione della risposta, in cui viene richiesto al bambino di imparare due serie di risposte/alternative che sono in conflitto con il comportamento istintivo (Anderson & Reidy, 2012). Di conseguenza, per i bambini di età inferiore a 3 anni e mezzo risulta essere difficile portare a termine la prova, mentre bambini di età pari o superiore a 5 anni riescono ad ottenere buoni risultati in termini di accuratezza e rapidità (Anderson & Reidy, 2012).

In sintesi, si osserva un rapido sviluppo del controllo inibitorio tra i 3 e i 6 anni, il quale continua a maturare nelle epoche successive (Anderson & Reidy, 2012).

La memoria di lavoro migliora durante la prima infanzia. In modo particolare, durante il primo anno di vita il bambino acquisisce la capacità di manipolare e aggiornare le informazioni trattenute in memoria (Garon et al., 2008). A questa età il bambino è in grado di compiere correttamente alcuni compiti in cui è implicata la memoria di lavoro come, ad esempio, il *Backward Digit Span*. Il compito consiste nel memorizzare una serie di cifre e di ripeterle al contrario, ovvero dall'ultima cifra dettata fino alla prima

(Friedman & Robbins, 2022). Infine, la flessibilità cognitiva ha uno sviluppo più tardivo, poiché prima che i bambini siano in grado di passare con successo tra uno stato mentale e l'altro, devono essere in grado di mantenere nella memoria di lavoro una risposta e successivamente inibirne l'attivazione per attivarne un'altra (Best & Miller, 2010). Durante il periodo scolare la flessibilità cognitiva migliora e i bambini riescono a portare a termine in maniera accurata compiti di *task switching* (Garon et al., 2008). Lo sviluppo della flessibilità cognitiva continua fino all'adolescenza (Best & Miller, 2010).

Le capacità di pianificazione e organizzazione si sviluppano rapidamente tra i 7 e i 10 anni di età e continuano a migliorare gradualmente durante l'adolescenza (Diamond, 2020). I bambini piccoli utilizzano strategie semplici che di solito sono inefficienti, accidentali o frammentate, ma tra i 7 e gli 11 anni il comportamento strategico diventa sistematico, organizzato ed efficiente (Diamond, 2020).

In sintesi, l'inibizione mostra un miglioramento evidente durante l'età prescolare con uno sviluppo più lento nelle fasi successive, mentre la memoria di lavoro e la flessibilità cognitiva mostrano un miglioramento più lineare e graduale durante lo sviluppo (Best & Miller, 2010). Queste diverse traiettorie forniscono un supporto per il modello di Miyake e colleghi (2000) confermando che le tre componenti sono alquanto diverse e che il grado di unità e diversità varia con l'età (Best & Miller, 2010). Al tempo stesso, però, lo sviluppo tardivo della flessibilità cognitiva, grazie alla precedente maturazione dell'inibizione e della memoria di lavoro, supporta l'idea che le componenti siano correlate e in relazione tra loro (Best & Miller, 2010).

I processi del controllo cognitivo sono anche legati al funzionamento emotivo, comportamentale e sociale (Anderson & Reidy, 2012). Infatti, è stato proposto da Zelazo e colleghi una suddivisione del costrutto in due processi: da una parte i processi *cool* che riguardano le abilità cognitive complesse, controllate e lente che vengono utilizzate durante situazioni astratte e decontestualizzate e dall'altra parte i processi *hot*, che rappresentano risposte affettive automatiche a situazioni importanti e implicano la regolazione dell'affetto e della motivazione (Anderson & Reidy, 2012). Le abilità strettamente cognitive, *cool*, sono caratterizzate dalla pianificazione strategica, organizzazione, definizione degli obiettivi, monitoraggio del comportamento, *problem solving*, inibizione, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva. Le abilità *hot* consentono invece di gestire le proprie emozioni e di controllare le proprie tendenze ad avvicinarsi o evitare oggetti o persone significative; infatti, tra queste abilità vengono incluse l'empatia, la teoria della mente, la regolazione emotiva e il *decision making* affettivo.

Questi due processi cognitivi solitamente lavorano insieme per adeguare il comportamento alle situazioni della vita quotidiana, come ad esempio rispettare le regole a scuola e assumere dei comportamenti appropriati, interagire con amici e fratelli ed andare in bicicletta (Meuwissen & Zelazo, 2014; Zelazo, 2015).

La distinzione tra controllo cognitivo *cool* e *hot* può essere osservata dai 3 anni di età, poiché a quell'età sono sufficientemente sviluppate la memoria di lavoro e la capacità di inibizione, permettendo al bambino di mantenere informazioni nella mente e di impedire risposte automatiche (Zelazo, 2015). Un paradigma ampiamente utilizzato per misurare i processi *cool* è il *Dimensional Change Card Sort*, in cui viene chiesto ai bambini di ordinare una serie di immagini in base a una dimensione, ad esempio il colore, e successivamente in base ad un'altra dimensione, ad esempio la forma (Meuwissen & Zelazo, 2014; Zelazo, 2015). Invece, un paradigma utilizzato per misurare i processi *hot* è il compito *Gift Delay*, in cui viene detto ai bambini che stanno per ricevere un regalo di aspettare con gli occhi chiusi mentre questo viene impacchettato (Meuwissen & Zelazo, 2014; Zelazo, 2015). Per molti bambini diventa molto difficile non guardare cosa sta succedendo; infatti, ciò che rende il compito particolarmente complicato è la necessità di controllare il forte desiderio di avvicinarsi al regalo (Meuwissen & Zelazo, 2014; Zelazo, 2015). Difficoltà precoci nei processi *hot* e *cool* hanno un valore predittivo circa lo sviluppo successivo, in particolare uno scarso controllo dei processi *hot* in età prescolare predice l'insorgenza di comportamenti disattenti-iperattivi e problemi emotivi e sociali, mentre difficoltà a carico dei processi *cool* si associano a successive difficoltà accademiche, tra cui scarse abilità in matematica e nella lettura (Zelazo, 2015).

Complessivamente, da questi studi emerge una concettualizzazione del controllo cognitivo come una capacità individuale, stabile ed indipendente dall'ambiente (*top-down*).

Nel paragrafo successivo verrà messa in discussione la visione classica del controllo cognitivo.

1.4 Controllo cognitivo adattivo

1.4.1 Studi e modelli del controllo cognitivo adattivo

Il controllo cognitivo è stato classicamente concettualizzato come l'insieme dei processi cognitivi di ordine superiore, come ad esempio l'inibizione e la memoria di lavoro, i quali influenzano a loro volta i processi di livello inferiore in maniera *top-down*, consentendo agli individui di regolare il proprio comportamento diretto all'obiettivo (Friedman & Miyake, 2017). Per questo motivo, il controllo cognitivo è sempre stato visto in contrapposizione ai meccanismi di apprendimento associativo di base che mediano il legame degli stimoli alle risposte nel comportamento abituale (Braem & Egner, 2018). È noto come l'apprendimento associativo produca dei collegamenti stimolo-risposta veloci ed automatici, mentre il controllo cognitivo richieda attenzione e volontà per produrre un'azione lenta ma strategica (Braem & Egner, 2018).

Un recente filone di ricerca ha tuttavia messo in dubbio questa visione classica. Studi recenti infatti ipotizzano che il controllo cognitivo sia un processo emergente generato ed influenzato inconsapevolmente dalle caratteristiche di regolarità presenti nel mondo esterno (Braem & Egner, 2018). Difatti, fin dalla più tenera età, gli individui sono in grado di estrapolare dal mondo esterno pattern di regolarità statistica, meccanismo di apprendimento innato noto come *statistical learning* (Schapiro & Turk-Browne, 2015). Attraverso questo meccanismo le regolarità statistiche presenti nell'ambiente vengono introiettate generando un modello predittivo interno della realtà, il quale permette di ottimizzare le risorse cognitive in modo adattivo. Infatti, grazie alla generazione di predizioni su eventi salienti del mondo esterno è possibile selezionare in senso anticipatorio le risposte comportamentali più adeguate per rispondere alle richieste interne ed esterne (Schapiro & Turk-Browne, 2015). Questo ci permette di interagire con il mondo esterno in modo proattivo, preparandoci in maniera adattiva agli eventi (Schapiro & Turk-Browne, 2015).

Da questi studi viene quindi introdotto il concetto di controllo cognitivo adattivo, che regola dinamicamente l'elaborazione di informazioni in risposta a cambiamenti nell'ambiente o a segnali di monitoraggio interni (Braem & Egner, 2018).

In questo senso, Braem ed Egner (2018) definiscono la flessibilità cognitiva come l'apice del controllo cognitivo, ovvero la capacità generale di cambiare in modo flessibile

obiettivi e set di compiti determinando un comportamento adattivo (Braem & Egner, 2018). Nello specifico, secondo il loro modello, la flessibilità può essere guidata e condizionata da processi di apprendimento associativo di basso livello e può essere innescata da spunti contestuali e subliminali di tipo *bottom-up* presenti nell'ambiente; ad esempio, la posizione dello stimolo sullo schermo (Braem & Egner, 2018). Tali feedback permettono di modulare il controllo cognitivo anche in assenza di consapevolezza (Braem & Egner, 2018). Per dimostrare tale teoria gli autori hanno effettuato un esperimento utilizzando il paradigma del costo di cambio, tipico dei compiti di *task-switching*, nel quale vengono rilevate prestazioni più lente e meno accurate quando il soggetto deve fornire una risposta modificando il tipo di compito o regola precedentemente utilizzata, rispetto a quando questi si ripetono. Nello studio i partecipanti dovevano classificare le parole in base alla categoria (vivente o non vivente) o alla dimensione (più grande o più piccolo di un pallone da basket), a seconda che il *cue* fosse una vocale o una consonante. A loro insaputa, a seconda del gruppo sperimentale a cui erano stati assegnati, avevano una maggiore o minore possibilità di ottenere una grande ricompensa in seguito a cambi di compito rispetto alle ripetizioni. Successivamente i partecipanti erano liberi di scegliere quale compito eseguire (cambio o ripetizione), e non venivano fornite più ricompense. Nonostante il fatto che i partecipanti nella prima fase non fossero consapevoli del bias nell'assegnazione della ricompensa, nella seconda fase hanno mostrato di scegliere liberamente più spesso il compito precedentemente ricompensato maggiormente, suggerendo che la flessibilità cognitiva può essere condizionata in maniera implicita (Braem & Egner, 2018).

Si pensa che i processi di apprendimento associativo siano di natura specifica, poiché le associazioni apprese sono note per legarsi al contesto in cui si verificano (Braem & Egner, 2018). Ad esempio, se un contesto spaziale, come la posizione dello schermo, è predittivo di compiti più impegnativi, nel tempo questo contesto ad alta richiesta cognitiva arriva a suggerire implicitamente il recupero del set attenzionale appropriato, rendendo così i partecipanti più bravi a soddisfare le richieste di compiti elevati in quel determinato contesto spaziale (Braem & Egner, 2018). Anche la flessibilità cognitiva può essere innescata da stimoli specifici. Infatti, è stato dimostrato che la prontezza nel passare da un compito all'altro può essere innescata da spunti contestuali specifici (Braem & Egner, 2018). Questa ipotesi è stata avvalorata utilizzando tre diversi set di compiti, in cui veniva richiesto di categorizzare volti di individui specifici in base al sesso, all'età e all'emozione. Alcuni volti sono stati presentati di più quando vi era un cambio di compito,

mentre altri sono stati presentati di più quando i compiti si ripetevano. I risultati hanno dimostrato che gli stimoli statisticamente maggiormente associati al cambio di compito hanno effettivamente facilitato la flessibilità, indipendentemente dal compito che si stava svolgendo. Ciò che i partecipanti hanno imparato è stato quello di associare spunti specifici con una predisposizione generale a passare da un compito all'altro piuttosto che passare a un particolare compito alternativo. Questo risultato dimostra che le associazioni stimolo-risposta sono specifiche, mentre le associazioni apprese stimolo-controllo sono generalizzabili (Braem & Egner, 2018).

Per misurare il controllo cognitivo, come si evince dallo studio sopra riportato, i compiti utilizzati sono caratterizzati dalla manipolazione della “proporzione di congruenza” (PC), ovvero della numerosità di condizioni di congruenza rispetto a quelle di incongruenza (nelle quali il soggetto deve filtrare le informazioni irrilevanti). Ciò che si osserva è un effetto di facilitazione verso la condizione che risulta essere più frequente; pertanto, quando vi è un numero maggiore di condizioni di incongruenza, solitamente associate ad una prestazione più lenta e meno accurata, vi è una riduzione dell’interferenza e un conseguente miglioramento della prestazione. Ciò suggerisce che il soggetto è in grado di trarre delle informazioni di regolarità dall’ambiente per ottimizzare la prestazione. Per dimostrare l’effetto dell’apprendimento associativo nel modulare il controllo cognitivo è possibile utilizzare quattro indici in cui vengono manipolate le proporzioni di congruenza:

1. Effetto della sequenza di congruenza o *Congruency Sequential effect* (CSE);
2. Effetto di congruenza proporzionale a livello di lista o *List-wide proportion congruency effect* (LWPCE);
3. Effetto di congruenza proporzionale specifico del contesto o *Context-specific proportion congruency effect* (CSPCE);
4. Effetto di congruenza proporzionale specifico dell’oggetto o *Item-specific proportion congruency effect* (ISPCE).

L’indicatore più utilizzato del controllo adattivo nelle attività di conflitto è l’effetto CSE (Braem et al., 2019). Il CSE descrive come l’effetto di congruenza si riduca a seguito di prove incongruenti rispetto a quelle congruenti (Braem et al., 2019). In tal senso, esso è una misura di adattamento reattivo e di breve durata a un conflitto appena sperimentato tra rappresentazioni di risposta concorrenti (Braem et al., 2019).

Il secondo indicatore è l’effetto LWPCE, in cui viene manipolata la proporzione di prove. In particolare, vi è una maggiore proporzione di prove incongruenti rispetto alla proporzione di prove congruenti. Se si prende come esempio il paradigma dello *Stroop*

task, in un blocco saranno presentate il 75% delle parole associate al colore incongruente mentre il 25% saranno associate al colore congruente; nel blocco successivo la proporzione sarà invertita. L'esito atteso è un effetto di congruenza minore nei blocchi di prove incongruenti rispetto a quelli congruenti. Tale effetto misura gli adattamenti globali e proattivi del controllo attraverso la probabilità di sperimentare il conflitto in un particolare blocco di prove (Braem et al., 2019).

Il terzo e quarto modo per manipolare la congruenza delle proporzioni consiste nel collegarla rispettivamente a contesti o elementi specifici (Braem et al., 2019). Il CSPCE descrive come l'effetto di congruenza può cambiare quando la congruenza della proporzione viene manipolata attraverso la variazione di due o più contesti. In questi compiti viene manipolata la proporzione di prove congruenti ed incongruenti legate ad una caratteristica contestuale, come ad esempio la posizione in cui compare lo stimolo sullo schermo. Rimanendo all'interno dell'effetto *Stroop*, ad esempio, il CSPCE può essere manipolato associando il 75% delle parole che compaiono sopra il punto di fissazione a colori incongruenti e il 25% a colori congruenti, al contrario sotto il punto di fissazione la percentuale si inverte. Il risultato è che si ottengono effetti di congruenza più piccoli nel contesto (in questo caso, la posizione nello schermo) associato ad una proporzione più alta di stimoli incongruenti (Braem et al., 2019).

Infine, l'ISPCE descrive come l'effetto di congruenza per un particolare item varia con la frequenza con cui appare in prove incongruenti rispetto a quelle congruenti (Braem et al., 2019). In questi compiti le proporzioni delle prove congruenti e incongruenti si associano a una caratteristica specifica rilevante per il compito (Braem et al., 2019). Ad esempio, sempre nello *Stroop task*, determinati colori (es, rosso e bianco) venivano associati a prove incongruenti, mentre altri colori (nero e verde) erano associati a prove congruenti (Bugg & Crump, 2012). Ciò che ci si aspetta è che l'effetto di congruenza sia più piccolo per gli item target che appaiono più frequentemente con distrattori incongruenti che per item target che appaiono più frequentemente con distrattori congruenti (Braem et al., 2019).

In uno studio di Gonthier et al. (2021) si è osservato, mediante la somministrazione del *Flanker task*, che gli effetti LWPC e ISPC sono presenti già nei bambini di 5-6 anni, nonostante siano generalmente inconsapevoli della proporzione dell'effetto di congruenza (PC). La presenza di tali effetti conferma che i bambini piccoli sono in grado di apprendere implicitamente la probabilità di conflitto, regolando l'attivazione del controllo cognitivo in base al tipo di blocco o al tipo di prova (Gonthier & Blaye, 2021).

Difatti, i bambini in età prescolare sono capaci di modulare il controllo cognitivo, che consente loro di diminuire selettivamente il conflitto sperimentato per stimoli che sono presentati in un contesto per lo più incongruente rispetto agli stimoli presentati in un contesto per lo più congruente (Gonthier & Blaye, 2021). Questi risultati convergono con altri studi di Chevalier e colleghi (2015) che suggeriscono che i bambini piccoli siano capaci di un controllo cognitivo implicito efficace se supportato dal contesto (Gonthier & Blaye, 2021).

1.4.2 Il controllo cognitivo in relazione all'apprendimento associativo

Nel complesso, dagli studi precedenti è emerso che le funzioni che ci permettono di essere flessibili sono guidate dall'apprendimento di base di tipo associativo e si attengono agli stessi principi di apprendimento delle forme di comportamento di più basso livello (Braem & Egner, 2018). In linea con questo nuovo inquadramento teorico, la prospettiva dell'apprendimento sul controllo cognitivo di Abrahamse e colleghi (2016) sostiene che le rappresentazioni percettive, motorie e di obiettivo che vengono co-attivate durante un compito specifico si legano l'una con l'altra in una rete associativa che codifica il contesto generale (Abrahamse et al., 2016). Di conseguenza, l'obiettivo non guida soltanto l'elaborazione dello stimolo dall'alto verso il basso (*top-down*), ma si attiva dal basso verso l'alto (*bottom-up*) quando viene identificato lo stimolo associato. Ciò porta alla capacità di adattare i processi del controllo cognitivo alle caratteristiche del compito e dell'ambiente circostante. A favore di tale teoria, è stato dimostrato che il controllo cognitivo condivide le stesse caratteristiche dell'apprendimento associativo, quali la specificità di contesto, la sensibilità alla ricompensa e la capacità di operare anche in assenza di consapevolezza (Abrahamse et al., 2016).

Tali caratteristiche sono state indagate in uno studio che ha preso in esame l'inibizione della risposta, il controllo attentivo, il cambio del compito e l'adattamento al conflitto, dimostrando che:

- il controllo cognitivo è contesto-specifico. Le rappresentazioni degli obiettivi vengono attivate da *cue* contestuali a cui sono state associate. Durante un compito si attivano anche le rappresentazioni che risultano essere irrilevanti per lo svolgimento corretto di quella particolare prova. Queste rappresentazioni si

legano l'una all'altra, influenzando il controllo cognitivo con caratteristiche irrilevanti per il compito stesso, indicando che il contesto guida e allo stesso tempo limita il controllo cognitivo (Abrahamse et al., 2016);

- il controllo cognitivo opera anche in assenza di consapevolezza. La rappresentazione dell'obiettivo, in seguito allo stabilirsi di un'associazione, può essere innescata da elementi presentati in modo subliminale (Abrahamse et al., 2016). Inoltre, si è riscontrato che gli effetti della proporzione di congruenza si sviluppano anche se l'individuo non è consapevole della propria manipolazione;
- il controllo cognitivo è sensibile alla ricompensa. Si ritiene che le associazioni stimolo-risposta possano essere rinforzate dall'introduzione di una ricompensa (Abrahamse et al., 2016). Nello studio sulla flessibilità cognitiva di Braem ed Eegner (2018) si è dimostrato la presenza di una maggiore frequenza di comportamenti di cambio di compito quando il partecipante era stato precedentemente ricompensato pur non essendo consapevole del bias di assegnazione del rinforzo.

Da queste nuove prospettive si desume che il controllo cognitivo sia interrelato con le condizioni ambientali, attraverso le quali si è in grado di controllare e modificare tale processo.

1.4.3 Il controllo cognitivo adattivo nell'età evolutiva

I bambini nel corso dello sviluppo, grazie all'interazione con l'ambiente circostante, acquisiscono la capacità di adattare flessibilmente il proprio comportamento e il proprio controllo cognitivo in risposta alle situazioni esterne in continuo cambiamento.

Tale capacità si sviluppa in seguito al passaggio da una modalità di controllo cognitivo reattiva a una modalità proattiva. La distinzione di queste due modalità è stata descritta nel modello del *dual mechanism control* di Braver (2012). Secondo questo modello, il controllo cognitivo proattivo permette agli individui di anticipare e prevenire l'interferenza prima che si verifichi (Chevalier et al., 2015). In particolare, le rappresentazioni degli obiettivi vengono attivate prima della messa in atto dell'azione e vengono mantenute continuamente attive, ottimizzando così la preparazione e riducendo al minimo l'interferenza da fonti di distrazione interne o esterne. Di conseguenza, i

comportamenti possono essere continuamente modificati per facilitare il raggiungimento dell'obiettivo (Braver, 2012). Tuttavia, questa modalità richiede il consumo di molte risorse cognitive, a causa del mantenimento attivo delle informazioni rilevanti per l'obiettivo (Braver, 2012; Chevalier et al., 2015).

Al contrario, il controllo cognitivo reattivo viene impiegato in un secondo momento e si basa sul rilevamento e la risoluzione delle interferenze dopo che si sono verificate (Chevalier et al., 2015). Infatti, le rappresentazioni degli obiettivi vengono attivate e recuperate solo nel momento in cui risultano necessarie. Il controllo reattivo richiede un minor sforzo cognitivo a causa dell'attivazione transitoria delle informazioni rilevanti per l'obiettivo, permettendo nel mentre lo svolgimento di altri compiti (Braver, 2012; Chevalier et al., 2015). Tuttavia, in questa modalità vi è una maggiore dipendenza dagli eventi scatenanti stessi perché se non sono sufficientemente salienti o discriminatori non determineranno la riattivazione dell'obiettivo (Braver, 2012). Il controllo reattivo può dipendere quindi da forti segnali associativi dal basso verso l'alto che consentono di recuperare o di riaccedere agli obiettivi memorizzati oppure da meccanismi di rilevamento dei conflitti che segnalano quando il controllo deve essere sollecitato (Chevalier et al., 2015).

Queste due modalità vengono utilizzate in maniera flessibile a seconda delle richieste contestuali a partire da circa 8 anni d'età. I bambini più piccoli sembrerebbero affidarsi maggiormente al controllo reattivo, nonostante in certe situazioni risulti più ottimale il controllo proattivo (Chevalier et al., 2015). A tal proposito, Chatham e colleghi (2009) hanno monitorato l'impegno mentale precoce e tardivo associato al controllo proattivo e reattivo utilizzando come indice la dilatazione pupillare. Quando è stato chiesto di rispondere a specifiche associazioni tra *cue* e stimolo target, i bambini di 3 anni hanno mostrato un maggiore sforzo mentale tardivo, attraverso l'aumento della dilatazione delle pupille, dopo la comparsa dello stimolo target. Questo suggerisce che non hanno anticipato lo stimolo, mentre i bambini di 8 anni hanno mostrato un maggiore sforzo mentale precoce prima della comparsa dello stimolo target determinando un passaggio dal controllo reattivo a quello proattivo. Questo passaggio sembrerebbe verificarsi intorno ai 6 anni di età, anche se il controllo proattivo continua a svilupparsi fino alla tarda adolescenza (Chevalier et al., 2015).

Secondo Munakata et al. (2012) il passaggio dal controllo reattivo a quello proattivo è fondamentale per la messa in atto di comportamenti adattivi e flessibili e per lo sviluppo della capacità di mantenere attive le rappresentazioni astratte agli obiettivi. Ciò comporta

che l'utilizzo prevalente del controllo cognitivo reattivo in epoca prescolare sia dovuto ad una limitata capacità cognitiva di mantenere attive per tempi prolungati le informazioni rilevanti (Chevalier et al., 2015). In particolare, il passaggio dal controllo reattivo a quello proattivo dipenderebbe dallo sviluppo del metacontrollo, ovvero la capacità di coordinare in maniera ottimale le strategie al fine di mettere in atto il comportamento più adatto alla situazione. Pertanto, i bambini piccoli possono essere in grado di esercitare il controllo in modo proattivo, ma senza la consapevolezza dei costi e benefici di tale modalità; di conseguenza, potrebbe essere attivata soltanto quando si presentano particolari condizioni che la favoriscono. Con l'età si acquisiscono maggiori informazioni sui costi e sui benefici delle possibili strategie da utilizzare nelle varie situazioni, portando più frequentemente alla selezione ed esecuzione delle strategie più efficienti sulla base del contesto (Chevalier et al., 2015). A favore di questa teoria, Chevalier et al. (2015) dimostrarono che lo sviluppo e l'utilizzo del controllo cognitivo proattivo può essere elicitato in bambini di 5 anni. Ai partecipanti è stato somministrato il compito di *cue task-switching*, in cui è stato manipolato l'intervallo di tempo tra la comparsa del *cue* e la comparsa dello stimolo target. Nello studio sono state definite 3 condizioni sperimentali in base alla comparsa del *cue* e dello stimolo target, in modo tale da poter valutare la messa in atto delle due modalità di controllo:

- condizione *Proactive Impossible*, in cui il *cue* e lo stimolo target comparivano simultaneamente, impedendo la preparazione anticipatoria;
- condizione *Proactive Possible*, in cui la comparsa precoce del *cue* consentiva la preparazione anticipatoria, anche se non necessaria poiché il *cue* permaneva anche dopo la comparsa dello stimolo target;
- condizione *Proactive Encouraged*, in cui il *cue* compariva unicamente prima della presentazione dello stimolo target, impedendo l'utilizzo del controllo reattivo.

Coerentemente con quanto atteso, i risultati di questo studio hanno evidenziato che bambini di 10 anni impiegano, tutte le volte che le condizioni lo permettono, la strategia di controllo cognitivo proattivo, mentre bambini di 5 anni impiegano tale strategia solamente nella condizione *Proactive Encouraged*. Questo conferma che l'utilizzo di strategie proattive può essere presente anche in età prescolare (Chevalier et al., 2015).

In conclusione, questi studi hanno evidenziato che i bambini di 5 anni impiegano maggiormente il controllo cognitivo reattivo, ma in determinate circostanze possono impiegare con successo anche modalità di controllo proattivo. La preferenza del controllo reattivo deriverebbe da differenze legate all'età nel coordinamento metacognitivo delle

modalità di controllo e non da limitazioni nella capacità di memoria di lavoro (Chevalier et al., 2015).

È importante sottolineare che il controllo proattivo è possibile grazie all'introiezione e all'uso di modelli predittivi interni della realtà. Al contrario, l'utilizzo di una modalità reattiva non necessita di informazioni predittive precedentemente acquisite. Lo sviluppo del controllo cognitivo adattivo dipende dalla capacità di bilanciare queste due modalità in maniera ottimale e di passare da una modalità all'altra in funzione delle richieste contestuali.

Nel capitolo successivo verranno descritte le principali compromissioni a carico del controllo cognitivo presenti nel Disturbo da Deficit dell'Attenzione e dell'Iperattività (ADHD).

2 DISTURBO DA DEFICIT DELL'ATTENZIONE E DELL'IPERATTIVITÀ

2.1 I criteri diagnostici e l'evoluzione del disturbo

L'ADHD è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da sintomi persistenti e pervasivi di disattenzione, iperattività o impulsività (Duffy et al., 2021; Kieling & Rohde, 2012). Secondo i criteri del Manuale Diagnostico Statistico dei Disturbi Mentali V (DSM-V), tale disturbo è caratterizzato dalla presenza di due pattern sintomatologici, vale a dire disattenzione e iperattività/impulsività, i quali definiscono tre sottotipi del disturbo: tipo prevalentemente iperattivo/impulsivo, tipo prevalentemente disattento e tipo combinato (Kieling & Rohde, 2012).

I sintomi di disattenzione si manifestano maggiormente quando si svolgono compiti che superano le capacità di elaborazione cognitiva dell'individuo, per esempio compiti che richiedono un'elevata velocità di elaborazione o elevate capacità di memoria di lavoro (Kieling & Rohde, 2012). Una scarsa attenzione può determinare difficoltà nel seguire le istruzioni e nell'organizzare i compiti, facile distraibilità, passare da un'attività all'altra senza concluderne una, ignorare i dettagli o evitare errori negligenti (Kieling & Rohde, 2012). L'iperattività, invece, può essere osservata in comportamenti come agitare mani e piedi, dimenarsi sulle sedie, alzarsi in situazioni in cui non è opportuno farlo agendo come se si fosse guidati da un motore (Kieling & Rohde, 2012).

I criteri di iperattività sembrano manifestarsi principalmente nei bambini, mentre negli adulti si presentano maggiormente sintomi di irrequietezza e disattenzione (Kieling & Rohde, 2012). Complessivamente, il disturbo comporta la compromissione del funzionamento personale, sociale, familiare e scolastico/lavorativo (Kieling & Rohde, 2012). Infatti, a livello dei domini dei sintomi, la disattenzione è stata maggiormente associata a problemi scolastici, mentre l'iperattività-impulsività tende ad essere collegata a problemi all'interno del contesto familiare (Chiu et al., 2021). In particolare, per quanto riguarda i problemi scolastici il disordine è spesso associato a difficoltà nell'apprendimento di lettura, scrittura e calcolo e nella capacità di portare a termine i compiti (Fabio et al., 2022; Loe & Feldman, 2007). Mentre, per quanto riguarda il contesto familiare, il disturbo è associato a problemi di adesione alle regole, messa in atto

di comportamenti inappropriati e a difficoltà nella gestione dello stress e della frustrazione (Fabio et al., 2022; Loe & Feldman, 2007).

I dati epidemiologici indicano una prevalenza mondiale del 5,29% tra gli individui di età inferiore a 18 anni e una prevalenza del 2,5% negli adulti (Kieling & Rohde, 2012). Inoltre, la prevalenza di ADHD è maggiore nei maschi rispetto alle femmine, con rapporti maschi/femmine che variano da 4:1 a 9:1 (Marzocchi & Valagussa, 2011). La minore prevalenza di ADHD nelle femmine può essere il risultato dell'espressione di diversi geni presenti solamente nei maschi o in alternativa tale dato può essere spiegato dal fatto che i maschi tendono a manifestare maggiormente il disturbo attraverso espressioni comportamentali di tipo esternalizzante (es, iperattività e oppositività), e di conseguenza il disturbo risulta essere maggiormente riconoscibile (Kieling & Rohde, 2012).

I primi sintomi compaiono nella prima infanzia e continuano a persistere nell'età adulta, nonostante diminuiscano di intensità con l'avanzare dell'età (Kieling & Rohde, 2012).

Durante la prima infanzia i bambini mostrano prevalentemente un'elevata e costante attività motoria caratterizzata da frequenti cambi di gioco, impulsività, difficoltà nel controllare e modulare le proprie azioni in risposta a richieste ambientali e sociali, difficoltà nell'ascoltare gli altri e basso livello di consapevolezza del rischio che comporta una costante supervisione da parte dell'adulto (Vicari & Caselli, 2017; Kieling & Rohde, 2012). Con l'inizio della scuola primaria le richieste cognitive aumentano e le difficoltà diventano ancora più evidenti (Kieling & Rohde, 2012). In particolare, i bambini mostrano mancanza di concentrazione, difficoltà a richiamare alla memoria le nozioni studiate, a portare a termine in modo organizzato i compiti, a rimanere composti e seduti al proprio posto in classe ed incapacità nel rispettare le regole imposte dall'insegnante (Kieling & Rohde, 2012; Vicari & Caselli, 2017). I molteplici fallimenti scolastici possono provocare sentimenti di demoralizzazione, disapprovazione e bassa autostima, fattori di rischio per traiettorie evolutive disadattive che possono condurre alla slatentizzazione di disturbi dell'umore, della condotta o di abuso di sostanze in adolescenza (Kieling & Rohde, 2012). Dal punto di vista relazionale e sociale, questi bambini presentano difficoltà nel costruire e mantenere nel tempo relazioni di amicizia, vengono spesso rifiutati dai coetanei e tendono a scegliere come compagni di gioco altri bambini con difficoltà comportamentali simili alle loro (Kieling & Rohde, 2012). Il comportamento disfunzionale include anche eccessiva loquacità, rumorosità, non conformità e aggressività verso i coetanei e difficoltà nella gestione delle emozioni, tra cui rabbia e frustrazione (Kieling & Rohde, 2012).

Durante l'adolescenza, l'iperattività diventa meno visibile nonostante siano ancora presenti difficoltà nel portare a termine i compiti, nel pianificare ed organizzare le attività ed eccessiva attività motoria in classe (Vicari & Caselli, 2017). I problemi con i coetanei diventano più evidenti e spesso ricercano interazioni con bambini più piccoli (Vicari & Caselli, 2017). L'affetto è scarsamente regolato e spesso mostrano risposte sia negative che positive in eccesso rispetto alla situazione, diventano facilmente frustrati, con improvvisi scoppi di rabbia e irritabilità (Kieling & Rohde, 2012).

Con l'avanzare dell'età i sintomi principali di iperattività e impulsività decrescono gradualmente, mentre permane la mancanza di concentrazione e la disorganizzazione. Gli adulti con ADHD presentano difficoltà nell'analizzare e pianificare le attività di studio o di lavoro, spesso dimenticano i loro impegni e risultano impazienti ponendo fine prematuramente alle relazioni o al lavoro. Dal punto di vista relazionale, infatti, sono stati riscontrati elevati livelli di insoddisfazione coniugale e discordia che portano poi a maggiori tassi di divorzio. Mentre, nell'ambito lavorativo, sono state riscontrate prestazioni scadenti, una storia di rendimento scolastico inferiore che portano a posizioni lavorative di minor prestigio (Kieling & Rohde, 2012).

Nell'insieme, l'ADHD è un disturbo pervasivo dello sviluppo che comporta differenti problematiche nei diversi domini cognitivi.

2.2 Modelli neuropsicologici dell'ADHD

Nell'ambito della psicopatologia dello sviluppo il controllo cognitivo sta diventando uno dei temi maggiormente discussi sia in ambito clinico che di ricerca, dal momento che molti disturbi dell'età evolutiva presentano numerose compromissioni nei processi del controllo cognitivo (Valeri & Stievano, 2007). Difatti, in ambito clinico, le compromissioni del controllo cognitivo sono correlate a difficoltà nell'attenzione sostenuta, nella perseverazione, nella pianificazione, nell'organizzazione, nell'intraprendere azioni e attività, nell'immagazzinamento e nella manipolazione delle informazioni in memoria ed ad uno scarso uso del feedback (Valeri & Stievano, 2007).

Le alterazioni dei processi del controllo cognitivo sono ampiamente riconosciute come caratteristiche primarie dell'ADHD; in particolare, sono stati riscontrati deficit

nell'inibizione, nella flessibilità cognitiva, nella pianificazione, nella memoria di lavoro e nell'attenzione sostenuta (Chiu et al., 2021; Holmes et al., 2010).

Numerosi studi hanno inoltre riportato un deficit nei meccanismi attentivi di base. In particolare, è stata riscontrata una compromissione a carico del sistema di allerta che comporta tempi di reazione più lenti e una maggiore variabilità di risposta rispetto ai bambini con sviluppo tipico (Konrad et al., 2006).

Al tempo stesso, studi svolti da Martinussen e colleghi (2005) hanno suggerito alla base del disturbo la compromissione della memoria di lavoro visuo-spaziale rispetto a quella verbale. Mentre, studi effettuati da Willcutt e collaboratori (2005) hanno riscontrato performance deficitarie in compiti in cui era necessaria la messa in atto di abilità di pianificazione, come ad esempio nel compito della Torre di Hanoi (TOH) (Marzocchi & Valagussa, 2011). Il compito prevedeva una capacità di pianificazione mentale e di selezione delle strategie sia prima che durante l'esecuzione motoria (Domuta & Pentek, 2003). Inoltre, nella stessa meta-analisi è emerso che soggetti con ADHD non riescono a svolgere accuratamente prove volte a valutare la capacità di inibire una risposta dominante o divenuta automatica durante l'esercizio (Marzocchi & Valagussa, 2011).

Molti autori hanno proposto diversi locus disfunzionali del disturbo, tuttavia, i deficit più rilevanti sembrano coinvolgere il controllo inibitorio, sia nella forma più complessa relativa alla gestione dell'interferenza che nella più semplice relativa all'inibizione di risposte motorie (Konrad et al., 2006). Di seguito, verranno presentati tre principali modelli neuropsicologici che hanno cercato di spiegare tale sintomatologia: il modello di Barkley (1997), il modello di Sergeant (1999) e il modello di Sonuga-Barke (2002).

Il modello ibrido di Barkley (Figura 5), sostiene che la compromissione generale del controllo cognitivo si fonda su deficit specifici nell'inibizione che si manifestano molto precocemente. Il deficit inibitorio viene considerato come il precursore dello sviluppo di problemi a carico di processi di controllo più complessi, quali memoria di lavoro, autoregolazione motoria e affettiva e flessibilità cognitiva (Barkley, 2011). L'ADHD può essere quindi considerato un disturbo di autoregolazione, caratterizzato dall'incapacità di regolare il proprio comportamento in risposta alle richieste ambientali (Barkley, 2011). Secondo questo modello anche la memoria di lavoro e il linguaggio risultano poco sviluppati e attivi nei bambini con ADHD. Inoltre, è presente un'alterata percezione del tempo che impedisce loro di cambiare il proprio comportamento in risposta alle esigenze ambientali e un'incapacità di rappresentarsi un obiettivo nella mente e di raggiungerlo (Marzocchi & Valagussa, 2011; Vicari & Caselli, 2017).

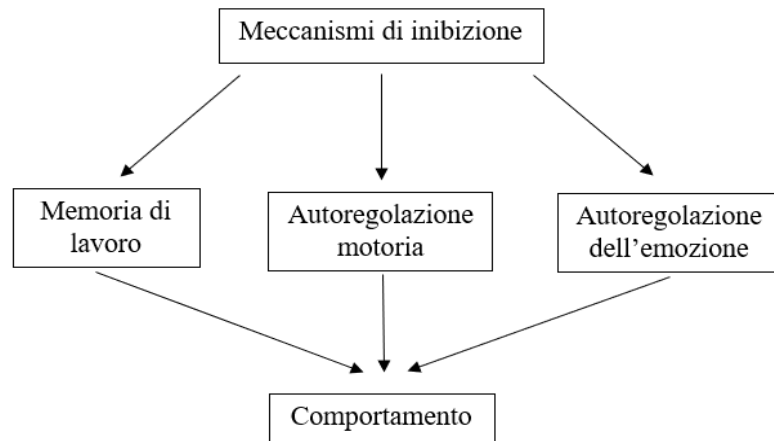


Figura 5: Struttura del modello ibrido di inibizione di Barkley (1997) (Vicari & Caselli, 2017).

Sonuga-Barke (2002) ha proposto il modello a due vie (Figura 6) secondo il quale i bambini con ADHD non sono in grado di dilazionare la gratificazione in maniera strategica. È stato riscontrato infatti, che bambini con ADHD presentano difficoltà a tollerare l'attesa e sono difficili da motivare perciò tendono a scegliere piccole ricompense ma immediate, rispetto a grandi ricompense ma ritardate (Marzocchi & Valagussa, 2011; Vicari & Caselli, 2017). Il disturbo sarebbe causato da una disregolazione di due circuiti neurobiologici distinti: un circuito esecutivo (*inhibitory control*) e un circuito motivazionale (*delay aversion*).

In particolare, la compromissione di questi due circuiti determina da una parte alcune difficoltà nel controllo cognitivo causate da una debole inibizione della risposta, mentre dall'altra parte una riduzione del gradiente di ricompensa del ritardo. Pertanto, l'alterazione del circuito motivazionale determina difficoltà nella procrastinazione dell'azione e nelle così dette funzioni calde, mentre l'alterazione del circuito esecutivo determina la disfunzione inibitoria di tipo esecutivo descritta anche da Barkley (Sonuga-Barke, 2003).

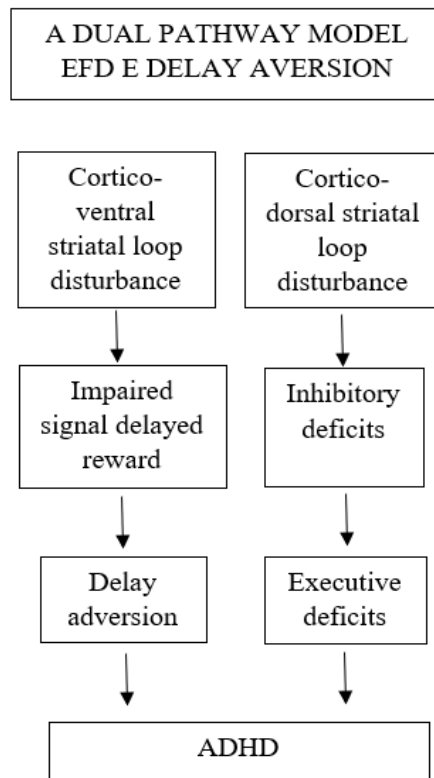


Figura 6: Struttura del modello a due di Sonuga-Barke (2002) (Vicari & Caselli, 2017).

Infine, Sergeant e Van der Meere, nel modello cognitivo-energetico (Figura 8), hanno riportato che le persone con ADHD risultano incapaci di modulare il proprio stato fisiologico per soddisfare le richieste ambientali. È quindi probabile che la capacità di regolare lo stato di attivazione e di mantenere lo sforzo nel tempo sia compromessa (Sonuga-Barke, 2003). In particolare, Van der Meere (1996), ha affermato che i bambini con ADHD presentano particolari difficoltà a regolare il loro stato di attivazione quando sono alle prese con compiti che presentano variazioni nei tempi di presentazione degli stimoli. Infatti, nelle prove con tempi più lunghi tra uno stimolo e l'altro i bambini manifestano una scarsa attivazione dovuta alla lentezza nella presentazione degli stimoli, al contrario nelle prove con tempi più brevi tra uno stimolo e l'altro la prestazione deficitaria è associata ad una sovra-attivazione dovuta alla velocità di presentazione degli stimoli (Sonuga-Barke, 2003).

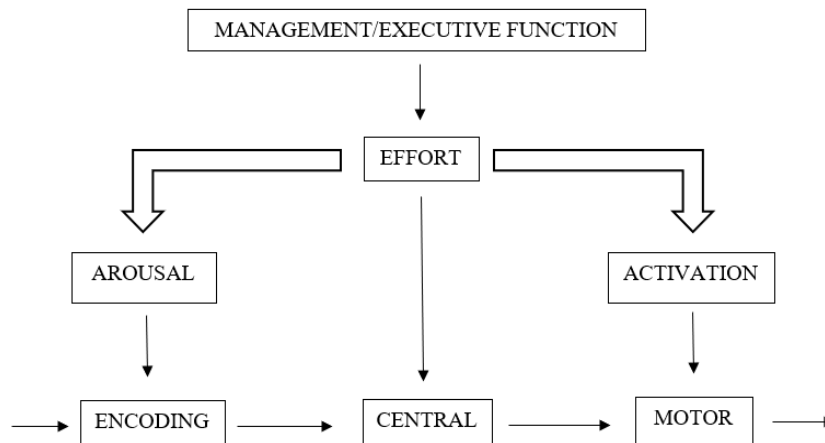


Figura 7: Struttura del modello cognitivo-energetico di Sergeant e Van der Meere (1999) (Vicari & Caselli, 2017).

A supporto di tali modelli sono stati svolti degli studi per valutare la compromissione dell'inibizione motoria nel presente disturbo. In particolare, in uno studio sono state somministrate tre attività computerizzate a un gruppo di bambini con ADHD tra i 7 e gli 11 anni, al fine di misurare i quattro domini dell'inibizione: inibizione reattiva e proattiva, inibizione motivazionale e controllo dell'interferenza (Cremone-Caira et al., 2021). L'inibizione reattiva misura la capacità di arrestare velocemente la risposta motoria all'occorrenza, mentre l'inibizione proattiva comporta la capacità di rallentare in maniera strategica la risposta quando si è messi in condizione di prevedere l'occorrenza di risposte da inibire. L'inibizione motivazionale misura invece la capacità di evitare perdite nelle attività che includono feedback o ricompensa contingente. Infine, il controllo dell'interferenza consiste nella capacità di sopprimere gli stimoli irrilevanti che possono interferire con una risposta (Cremone-Caira et al., 2021). In questo studio, è stato utilizzato lo *Stroop task* per misurare il controllo dell'interferenza, mentre il compito *Stop-Change* è stato utilizzato per misurare l'inibizione reattiva e proattiva attraverso l'utilizzo di un segnale di arresto uditivo o visivo (Cremone-Caira et al., 2021). In quest'ultimo compito veniva chiesto ai bambini di premere il più velocemente possibile un pulsante a destra o a sinistra della tastiera per indicare la posizione di un'immagine sul lato rispettivo dello schermo. Successivamente, nelle prove di cambio (25%), compariva un segnale di arresto acustico o visivo, come ad esempio un suono o il cambiamento del colore di un'immagine centrale, che indicava al bambino di dover interrompere la risposta

dominante per fornire una nuova risposta, premendo un terzo pulsante (Cremone-Caira et al., 2021).

Infine, l'inibizione motivazionale è stata misurata attraverso *Hungry Donkey task*, in cui i bambini dovevano dare da mangiare ad un asino aprendo quattro porte con guadagno e perdite variabili. Due di queste porte portavano un guadagno netto, mentre le altre due portavano una perdita netta. Tra le porte vantaggiose, una forniva delle perdite maggiori ma con una frequenza inferiore, mentre l'altra forniva perdite inferiori ma con una frequenza maggiore; lo stesso per le porte svantaggiose (Cremone-Caira et al., 2021).

Ciò che è emerso da questo studio è che nel compito di *Stroop*, bambini con ADHD presentano tempi di risposta maggiori nelle prove incongruenti senza mostrare un vantaggio in termini di accuratezza, come si verifica invece in bambini con sviluppo tipico. Inoltre, sono stati riscontrati deficit inibitori associati alla ricompensa e alla motivazione. Nel compito *Stop-Change* bambini con ADHD hanno presentato una compromissione sia nel dominio dell'inibizione reattiva che nel dominio dell'inibizione proattiva. In particolare, rispetto a bambini con sviluppo tipico hanno bisogno di più tempo per inibire le risposte al segnale di arresto e passare correttamente a una risposta alternativa e hanno utilizzato un rallentamento meno strategico delle risposte durante il compito (Cremone-Caira et al., 2021).

Nel loro insieme, questi risultati forniscono prove a favore di deficit rilevanti nel dominio dell'inibizione per quanto riguarda bambini con un disturbo da deficit dell'attenzione e dell'iperattività.

2.3 Il controllo cognitivo adattivo nell'ADHD

Le abilità cognitive possono essere influenzate da processi impliciti che avvengono in assenza di consapevolezza. Un esempio classico è l'acquisizione del linguaggio nei primi mesi di vita, che comporta l'introduzione di regole semplici e complesse senza che ve ne sia esplicita consapevolezza.

Come sostenuto da Barkley, i deficit nell'inibizione in soggetti con ADHD comportano a loro volta deficit nella memoria di lavoro e nel linguaggio. Ciò suggerisce che difficoltà nel linguaggio in bambini con ADHD possono dipendere dalle compromissioni a carico dell'apprendimento implicito, meccanismo che permette all'individuo di apprendere dei

modelli e delle regolarità statistiche senza consapevolezza (Domuta & Pentek, 2003). Questa ipotesi è stata verificata in uno studio di Domuta e Pentek (2003) attraverso la somministrazione di un compito di grammatica artificiale, che permette di valutare la capacità del soggetto di apprendere una grammatica ideata in laboratorio. L'esperimento prevedeva una fase di apprendimento seguita da una fase test. Nella fase di apprendimento, veniva chiesto ai partecipanti di memorizzare una serie di stringhe di lettere, create da un sistema di regole grammaticali artificiali. Ogni elemento veniva presentato singolarmente. In questa prima fase i partecipanti non erano consapevoli che gli stimoli seguivano un modello di regole grammaticali. Nella fase test invece, veniva chiesto ai partecipanti di classificare le stringhe di lettere in "stimoli grammaticali" e "stimoli non grammaticali", sulla base delle regole a cui erano stati esposti precedentemente (Domuta & Pentek, 2003). L'apprendimento implicito veniva considerato riuscito quando la percentuale di stringhe classificate correttamente era superiore al livello casuale. Ciò che emerge è che i bambini ordinarono correttamente le stringhe di lettere senza alcuna istruzione esplicita. Questo risulta essere coerente con l'idea che i bambini in età prescolare possono acquisire implicitamente la conoscenza di una grammatica artificiale. Inoltre, i risultati rilevarono prestazioni inferiori nell'apprendimento implicito della grammatica artificiale da parte di bambini con ADHD rispetto ai bambini tipici, supportando la presenza di un deficit a carico dell'apprendimento implicito in questo disturbo (Domuta & Pentek, 2003).

Gli esiti ottenuti da questo studio possono essere spiegati tenendo in considerazione le basi neurologiche dell'apprendimento implicito e delle alterazioni neurologiche riscontrate in bambini con ADHD. Difatti, Curran (1995) scoprì che una disfunzione dei gangli della base e di alcune regioni del tronco encefalico hanno degli effetti critici sull'apprendimento implicito comportando anche dei problemi a livello di movimento e di attenzione, caratteristiche deficitarie nell'ADHD (Domuta & Pentek, 2003).

Uno studio più recente di Parks e colleghi (2018) ha utilizzato un paradigma di apprendimento statistico sia uditivo che visivo. Nel compito di apprendimento statistico uditivo i partecipanti venivano esposti a un linguaggio artificiale. La lingua consisteva in sei parole trisillabiche senza senso: "tutibu", "babupu", "pidadi", "patubi" e "dutaba". Dopo l'esposizione al linguaggio artificiale, ai partecipanti venne chiesto di completare un test a scelta tra due alternative per valutare se erano in grado di identificare le parole insegnate precedentemente. Simile all'attività uditiva, l'attività visiva consisteva nel riconoscimento di una forma tra una sequenza familiare tra due o quattro risposte

possibili. Successivamente, veniva chiesto ai partecipanti di selezionare la forma che meglio completava la sequenza (Parks & Stevenson, 2018). Tali studi hanno riportato come risultato una compromissione delle capacità di apprendimento statistico nell'ADHD. Infatti, i bambini con ADHD hanno dimostrato di essere meno sensibili a livello neurale alle violazioni in sequenze che seguono una struttura probabilistica (Parks & Stevenson, 2018). Di conseguenza, è stata ipotizzata nell'ADHD un'alterazione dei circuiti neurali responsabili della previsione di segnali probabilistici nell'ambiente, che comporterebbe una compromissione nella capacità di rilevare le violazioni e di adattare il proprio comportamento nella maniera più adeguata (Parks & Stevenson, 2018).

Complessivamente, questi studi suggeriscono una compromissione dei meccanismi di apprendimento implicito probabilmente mediati da una disfunzione dei gangli della base a carico di bambini con diagnosi di ADHD. Questo potrebbe a sua volta spiegare una compromissione del controllo adattivo dal momento che questo si basa sulla capacità di utilizzare regole implicitamente apprese dall'ambiente per adattare il proprio comportamento. Tuttavia, sebbene sia molto promettente, al momento gli studi che hanno corroborato il legame tra disfunzione dell'apprendimento implicito e del controllo cognitivo adattivo in bambini con ADHD sono ancora molto pochi in letteratura.

3 LA RICERCA

3.1 Gli obiettivi della ricerca

Gli esseri umani sono in grado, attraverso il meccanismo dello *statistical learning*, di estrapolare delle regolarità statistiche presenti nel mondo esterno al fine di crearsi delle aspettative sull'ambiente circostante e ottimizzare di conseguenza il comportamento (Schapiro et al., 2015). La presente ricerca ha come obiettivo quello di comprendere se le regolarità statistiche esperite nel contesto sensoriale sono in grado di influenzare l'attenzione e il comportamento di bambini e bambine con diagnosi di ADHD. In particolare, l'obiettivo specifico di questo elaborato è quello di indagare la capacità di adattare implicitamente il proprio comportamento inibitorio in funzione dei cambiamenti nelle regolarità temporali tra uno stimolo di allerta e uno stimolo imperativo in un gruppo di bambini/e con disturbo da deficit dell'attenzione e dell'iperattività (ADHD) confrontati con un gruppo di pari età a sviluppo tipico. Complessivamente, nel gruppo ADHD ci si aspettava una maggiore difficoltà nell'adattamento della prestazione in funzione del variare nelle regolarità del contesto ed una maggiore difficoltà inibitoria (Barkley, 2011; Sonuga-Barke, 2003).

3.2 I partecipanti

Al presente studio hanno partecipato 88 bambini di età compresa tra i 7 e i 15 anni, di cui 50 maschi e 38 femmine.

I partecipanti sono stati suddivisi in un gruppo sperimentale composto da 44 bambini con disturbo da deficit dell'attenzione e dell'iperattività (ADHD) (età media = 10, sd = 1,69) e in un gruppo di controllo composto da 44 bambini con sviluppo tipico (TD) (età media = 9,98, sd = 1,53). I due gruppi sono stati appaiati per età, sesso e classe frequentata. Le caratteristiche demografiche del campione sono presentate in Tabella 1.

Successivamente, al fine di indagare la traiettoria di sviluppo del costrutto preso in esame, i partecipanti sono stati suddivisi in 3 cluster in base all'età:

- bambini (*young-children*; 7-8 anni): 9 bambini per il gruppo TD e 9 per il gruppo ADHD;

- pre-adolescenti (*old-children*; 9-11 anni): 26 bambini per il gruppo TD e 26 per il gruppo ADHD;
- adolescenti (*adolescents*; 12-15 anni): 9 bambini per il gruppo TD e 9 per il gruppo ADHD.

I partecipanti dei gruppi sperimentali sono stati reclutati presso il “Centro Medico Rindola” di Vicenza (VI), presso l’IRCC “E. Medea- La Nostra Famiglia” di Conegliano (Treviso) e presso il centro “La Fenice” di Noale (Venezia), mentre il gruppo di controllo è stato reclutato presso la Scuola Primaria “Pio X” di Tavo (Padova) e presso l’Istituto “Bonaccorso da Montemagno” di Quarrata (Pistoia).

Nella presente ricerca sono stati esclusi bambini/e che presentavano un disturbo dello spettro autistico, disabilità intellettiva ($QI < 70$) o funzionamento intellettivo limite (definito come QI compreso tra 70 e 85), disturbi sensoriali, quadri sindromici o malattie neurologiche come, ad esempio, epilessia.

Tutti i partecipanti inclusi avevano una vista normale o corretta e possedevano un quoziente intellettivo non verbale nella norma, valutato attraverso la somministrazione delle *Matrici Progressive di Raven* (CPM; Raven & Court, 1938).

Gruppo	Cluster	Età media \pm sd (range)	Sesso		N
			M	F	
TD	Bambini	8 \pm 0 (8-8)	6	3	9
	Pre-adolescenti	9,8 \pm 0,6 (9-11)	17	9	26
	Adolescenti	12,4 \pm 0,5 (12-13)	2	7	9
ADHD	Bambini	7,9 \pm 0,3 (7-8)	6	3	9
	Pre-adolescenti	9,9 \pm 0,7 (9-11)	17	9	26
	Adolescenti	12,7 \pm 0,9 (12-15)	2	7	9

Tabella 1: Caratteristiche demografiche del campione

3.3 Conformità etica

I genitori dei/le bambini/e che hanno preso parte alla ricerca hanno fornito il loro consenso scritto mentre i/le bambini/e hanno fornito il loro assenso orale alla partecipazione. Tutte le procedure sperimentali sono state approvate dal Comitato Etico della Scuola di Psicologia dell'Università di Padova (protocollo n. 4024) e sono state condotte secondo i principi espressi dalla Dichiarazione di Helsinki.

3.4 Metodo

3.4.1 Procedura

Prima di iniziare le sessioni sperimentali, è stato fornito alle famiglie il consenso informato, il quale ci è stato restituito firmato prima della somministrazione.

Le sessioni sperimentali sono state svolte presso i centri clinici di riferimento per quanto riguarda il gruppo ADHD e presso gli istituti scolastici di appartenenza per quanto riguarda il gruppo di controllo.

Ogni partecipante veniva fatto accomodare in una stanza adeguatamente illuminata e silenziosa e fatto sedere ad una distanza di circa 60 cm dallo schermo del computer portatile. Gli stimoli venivano presentati in un monitor di 15,6 pollici con una risoluzione di 1044 x 768 pixels. Ogni sessione sperimentale aveva una durata massima di 45 minuti intervallati da diverse pause al fine di evitare un eccessivo affaticamento da parte dei/delle bambini/e.

Il compito dei partecipanti era quello di rispondere il più velocemente e accuratamente possibile agli stimoli presentati sullo schermo premendo uno o più tasti.

3.5 Materiali

3.5.1 *Dynamic Temporal Prediction task* (Mento et al., in prep.)

Il protocollo sperimentale prevedeva la valutazione del controllo cognitivo adattivo attraverso la somministrazione di una batteria testistica attualmente in corso di validazione denominata “*Padua Adaptive Cognitive Control*” (PACC; Mento et al., in prep.), mediante il software *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

La PACC è composta da cinque prove che indagano rispettivamente il controllo inibitorio, il controllo dell’interferenza, la flessibilità cognitiva e l’autoregolazione e sono:

- *Dynamic Temporal Prediction Task 2* (DTP-2; Mento & Granziol, 2020);
- *Dynamic Temporal Prediction Go-NoGo* (DTP GNG; Mento et al., in prep.);
- *Attentional Network Test* (ANT; Rueda et al., 2004);
- *Switch Task for Children* (TS; Rogers & Monsell, 1995);
- *The Balloon Analogue Risk Task for Children* (BART-C; Lejuez et al., 2002).

Tuttavia, la presente tesi si è concentrata nell’analizzare esclusivamente i risultati del compito *DTP Go-NoGo*, una versione modificata del *DTP task* (Mento & Granziol, 2020), che permette di indagare come il soggetto riesce ad adattare la prestazione comportamentale in funzione della predicibilità del contesto. In modo particolare, il compito permette di valutare la rapidità (tempi di reazione), l’accuratezza e la capacità inibitoria dell’individuo in funzione del variare di regole locali (trial per trial) e globali (blocco per blocco) implicite nel compito *Go-NoGo*.

Il compito inizia con una schermata introduttiva (Figura 8) in cui vengono riportate le istruzioni per svolgere il gioco, le quali venivano prima lette dal bambino e poi ripetute assieme allo sperimentatore per accertarne la comprensione. Il compito del bambino era “fotografare” una serie di animaletti il più velocemente possibile premendo un tasto quando comparivano all’interno dell’obiettivo della macchina fotografica di colore viola e di inibire la risposta quando comparivano all’interno dell’obiettivo di colore giallo, stando attenti a non anticipare la risposta.



Figura 8: Schermata introduttiva del DTP GNG

Prima di iniziare il compito il bambino svolgeva una sessione di pratica (10 trials). Durante questa prima fase venivano dati dei feedback visivi sull'accuratezza e sulla velocità della prestazione:

- uno smile giallo sorridente con il pollice in su se la risposta risultava accurata e rapida (150 – 1000 ms dalla comparsa dello stimolo);
- uno smile giallo che sbadiglia se la risposta risultava lenta (>1500 ms dalla comparsa dello stimolo);
- uno smile imbarazzato se la risposta era anticipata (< 150 ms dalla comparsa dello stimolo).

Ogni trial iniziava con la visualizzazione di uno stimolo visivo di avvertimento (S1), ovvero l'immagine dell'obiettivo di una macchina fotografica, che permette al soggetto di prepararsi all'arrivo dello stimolo target. Lo stimolo target è rappresentato da uno stimolo visivo imperativo (S2), rappresentato dalla figura di un animale (di trial in trial l'animale poteva essere uno tra i seguenti: cane, pappagallo, coniglio, gatto, pecora, gufo e tartaruga) che appare all'interno dell'obiettivo. Il compito consiste nel premere il più velocemente possibile la barra spaziatrice con il dito indice della mano dominante ogni volta che lo stimolo target compare all'interno dell'obiettivo viola (trial Go, Figura 9a) e nell'inibire la risposta quando l'obiettivo è di colore giallo (trial NoGo, Figura 9b).

La struttura del compito ha previsto l'utilizzo di regole locali e globali. Per indagare l'effetto del contesto predittivo locale è stato manipolato, sia nei trials Go che nei trials

NoGo, l'intervallo temporale, detto *Stimulus Onset Asynchrony* (SOA), tra lo stimolo di avvertimento (S1) e lo stimolo target (S2), definendo un intervallo temporale breve di 400 ms ed un intervallo temporale lungo di 1000 ms (Figura 9).

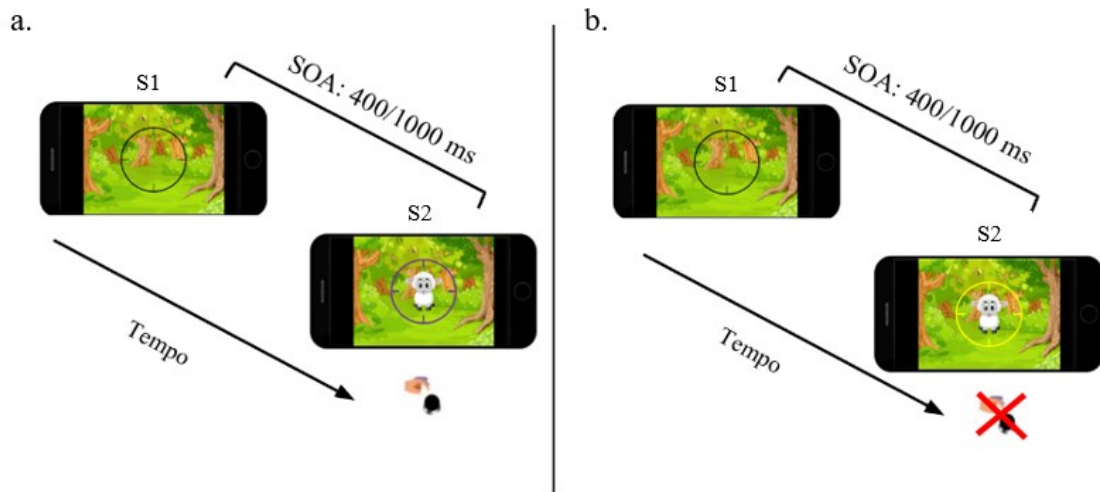


Figura 9: Struttura del trial Go (a) e struttura del trial NoGo (b).

Per indagare, invece, gli effetti del contesto predittivo globale è stata manipolata la percentuale di ognuno dei due possibili intervalli definendo un blocco sperimentale veloce determinato da una maggiore percentuale di intervalli temporali brevi e un blocco sperimentale lento determinato da una maggiore percentuale di intervalli temporali lunghi. All'interno del task il blocco lento e il blocco veloce si ripetono per due volte consecutive, per un totale di 4 blocchi (N = 40 trials ciascuno) in ordine fisso tra i partecipanti (Figura 10). Tale struttura ha consentito l'indagine circa la capacità del bambino di adattare la sua prestazione alla variazione del contesto predittivo (lento/veloce). Nello specifico, si è indagata una forma precoce di adattamento (variazione tra il primo e il secondo blocco) e una forma tardiva di adattamento (tra il terzo e il quarto blocco). (Figura 10).



Figura 10: Alternanza delle regole locali e globali durante il compito.

All'interno di ciascun tipo di blocco (lento o veloce) è stata inserita una maggiore proporzione di trial Go rispetto a trial NoGo al fine di indurre una maggiore propensione alla risposta rispetto che all'inibizione (Tabella 2).

		LOCALE			
		Intervallo breve (400ms)		Intervallo lungo (1000ms)	
		Go	NoGo	Go	NoGo
GLOBALE	Blocco veloce	50%	20%	22.5%	7.5%
	Blocco lento	22.5%	7.5%	50%	20%

Tabella 2: Struttura del disegno sperimentale.

3.5.2 Questionari online per i genitori

Ai genitori dei partecipanti venne chiesto di compilare un questionario online, mediante la piattaforma online *Qualtrics* (Qualtrics, 2019) al fine di valutare alcune informazioni di base sul contesto famiglia e su aspetti comportamentali, emotivi e sociali del/la bambino/a, come ad esempio comportamenti impulsivi e regolazione delle emozioni.

Oltre ad informazioni generali sullo sviluppo del/la bambino/a e della famiglia, all'interno del questionario erano presenti due scale:

- *Conners Rating Scales - Revised* (CRS-R; Conners, 2001);
- *Behavior Rating Inventory of Executive Function 2* (BRIEF-2; Marano et al., 2016).

La scala CRS-R permette di identificare comportamenti tipici dell'ADHD e altre difficoltà presenti in comorbidità come problemi comportamentali, accademici, familiari ed emotivi (ansia e depressione) in bambini e adolescenti di età compresa tra i 6 e i 18 anni. Essa è composta da tre versioni: una per i genitori, una per gli insegnanti e una di autovalutazione che viene compilata dal bambino stesso. La presente ricerca si è servita soltanto della versione per i genitori in cui viene chiesto di rispondere ad alcune affermazioni circa il comportamento del proprio/a figlio/a nell'ultimo mese.

Tali domande vertono sulla presenza o assenza di comportamenti aggressivi e iperattivi, comportamenti compulsivi o di perfezionismo, difficoltà in classe con la comprensione della matematica o della lingua parlata e scritta e difficoltà sociali ed emotive.

La scala è composta da 80 item su scala Likert 0-3, dove 0 corrisponde a “non è vero” e 3 a “molto vero”.

La scala BRIEF-2, invece, permette di valutare il funzionamento e lo sviluppo dei processi del controllo cognitivo in bambini e adolescenti di età compresa tra i 5 e i 18 anni, individuando difficoltà di apprendimento, di attenzione, disturbi emotivi (depressione) e disturbi pervasivi dello sviluppo. In modo particolare, tale scala permette di individuare la presenza o assenza di capacità quali l’inibizione, l’automonitoraggio, la flessibilità cognitiva, la regolazione delle emozioni, la memoria di lavoro, la pianificazione/organizzazione e il monitoraggio del materiale ed infine, l’avvio e il completamento del compito. La versione somministrata ai genitori richiede di rispondere ad alcune affermazioni circa il comportamento del/la bambino/a messo in atto negli ultimi 6 mesi in situazioni quotidiane. La scala è composta da 63 item su scala Likert a 3 punti dove “M” corrisponde a mai, “Q” a qualche volta e “S” a sempre.

La compilazione dei due questionari, da svolgersi in un’unica sessione, aveva una durata complessiva di circa 20 minuti. La somministrazione dei questionari ha coinvolto solo il Centro Medico Rindola (VI) e la Scuola Primaria “Pio X” di Tavo (PD). Dal momento che la numerosità delle risposte (N = 36, di cui N = 3 soggetti ADHD) non permette di condurre delle analisi statistiche affidabili, i risultati non verranno presentati in questo elaborato.

3.6 Ipotesi sperimentali

La principale ipotesi sperimentale è che si possono osservare tra il gruppo di controllo (TD) e il gruppo sperimentale (ADHD) sia delle similarità che delle differenze nel controllo cognitivo adattivo e, di conseguenza, nella capacità di adattare la propria risposta nel contesto predittivo temporale.

In particolare, ci si aspetta:

- H1: per quanto riguarda il contesto predittivo locale (SOA breve e lungo), in entrambi i gruppi, tempi di reazione inferiori quando l’intervallo temporale (SOA)

tra lo stimolo di avvertimento (S1) e lo stimolo target (S2) è lungo (1000 ms) rispetto a quando è breve (400 ms) (Los, 1996; Niemi & Näätänen, 1981). Tale ipotesi deriva da un fenomeno noto come *foreperiod effect*, il quale comporta un vantaggio nei tempi di risposta quando l'intervallo di preparazione a livello locale (all'interno del singolo trial) è lungo (1000 ms) rispetto a quando è corto (400 ms). Infatti, il passaggio unidirezionale del tempo crea implicitamente un bias circa la prossima comparsa del target, ovvero all'aumentare del tempo aumenta la probabilità percepita di comparsa dello stesso e, di conseguenza, la preparazione della risposta (Los, 1996; Niemi & Näätänen, 1981).

- H2: per quanto riguarda il contesto predittivo globale, nel gruppo di controllo, tempi di reazione inferiori nei blocchi veloci (maggiore percentuale di SOA brevi) e maggiori nei blocchi lenti (maggiore percentuale di SOA lunghi), in linea con i risultati di Mento & Granzio (2020). Nel gruppo ADHD, invece, non ci si aspetta alcuna modulazione dei tempi di risposta in funzione del blocco (*slow vs fast*). Infatti, studi precedenti suggeriscono che popolazioni a sviluppo atipico possano mostrare difficoltà nell'utilizzo efficiente di un modello predittivo interno e una difficoltà nell'adattare il proprio comportamento al cambiamento flessibile dello stimolo in un contesto predittivo globale (Girardi et al., 2021; Duma et al., 2021; Mento et al., 2020) (H2a). Inoltre, ci si aspetta una differenza tra i due gruppi per quanto riguarda la capacità di adattare il proprio comportamento in risposta alla variazione del contesto predittivo (lento/veloce). In modo particolare, per quanto riguarda il gruppo di controllo ci si attende un adattamento tardivo in tutte le fasce d'età, mentre un adattamento precoce solo nei preadolescenti e adolescenti (Del Popolo Cristaldi et al., in prep.). Per quanto concerne il gruppo ADHD, non è possibile definire un'ipotesi precisa a causa della mancanza di studi in questo ambito (H2b).
- H3: per quanto riguarda l'inibizione complessiva, una minore capacità di inibire in bambini ADHD rispetto al gruppo di controllo (H3a). Inoltre, ci si aspetta che la prestazione dei bambini con sviluppo tipico sia modulata dal tipo di blocco, risultando meno accurati nel blocco veloce perché vi è una maggiore spinta all'azione. Al contrario, nel gruppo sperimentale non ci si aspetta alcuna modulazione dell'inibizione in funzione del blocco (H3b).

3.7 Analisi dei dati

La presente ricerca ha utilizzato un disegno sperimentale misto: 2 (gruppo) x 2 (SOA) x 2 (trial type) x 3 (cluster) x 4 (blocco), in cui le variabili indipendenti si componevano dei seguenti livelli:

- gruppo: TD (*typical development*) vs ADHD (*attention deficit hyperactivity disorder*), con lo scopo di indagare se vi fosse fra le due popolazioni una differenza nella prestazione in termini di accuratezza e rapidità di risposta;
- SOA: FP breve (400 ms) vs FP lungo (1000 ms), con lo scopo di rilevare il *foreperiod effect* (risposte più rapide per SOA lunghi);
- trial type: Go (propensione all'azione) vs NoGo (inibizione della risposta); tale confronto è stato fatto al fine di indagare la capacità di inibizione motoria al variare del contesto predittivo locale implicito nel compito;
- cluster: *young-children* vs *old-children* vs *adolescents*; con lo scopo di indagare se la capacità di adattare la propria prestazione comportamentale in funzione della predicibilità del contesto cambiasse nel corso dello sviluppo;
- blocco: Blocco 1 (*slow*) vs Blocco 2 (*fast*) vs Blocco 3 (*slow*) vs Blocco 4 (*fast*); tale confronto aveva l'obiettivo di misurare la capacità di inibizione motoria al variare del contesto predittivo globale implicito nel compito. Permette quindi di valutare la capacità di adattare la performance alle richieste del compito sfruttando le regolarità temporali.

Come variabili dipendenti sono state analizzate:

- accuratezza: intesa come percentuale di risposte corrette. È stata considerata infatti come variabile dicotomica (corretto vs non corretto);
- *Inverse Efficiency Score* (IES): misura la velocità di risposta calcolata in funzione dell'accuratezza (*speed-accuracy trade off*), in modo tale da evitare che diversi tempi di reazione dipendano da una diversa accuratezza della risposta. Lo IES è il risultato del rapporto tra i tempi di reazione (RT) e la differenza tra 1 e la percentuale di errori (PE):

$$\frac{RT}{1 - PE}$$

Successivamente, è stato trasformato logaritmicamente al fine di normalizzare la distribuzione.

- Delta 1: inteso come misura dell'apprendimento implicito precoce. Tale variabile viene calcolata come la differenza dei tempi di reazione (RT) tra il secondo (*fast*) e il primo (*slow*) blocco;
- Delta 2: inteso come misura dell'apprendimento implicito tardivo. Tale variabile viene calcolata come la differenza dei tempi di reazione (RT) tra il quarto (*fast*) e il terzo (*slow*) blocco.

Le variabili Delta 1 e Delta 2 sono indici numerici che, se negativi, indicano una prestazione più veloce nei blocchi di tipo *fast* (2 e 4) rispetto ai blocchi di tipo *slow* (1 e 3). Ciò significa che i partecipanti hanno appreso implicitamente il cambio di regola globale e di conseguenza hanno modulato il proprio comportamento al fine di ottenere una prestazione più veloce senza un aumento di errori di anticipazione della risposta. Al contrario, punteggi positivi delle due variabili riflettono un rallentamento della risposta durante i blocchi di tipo *fast* (2 e 4). Questo indica che i partecipanti non hanno adattato il proprio comportamento in funzione delle regole globali implicite nel compito, ma al contrario, hanno mostrato un peggioramento della prestazione con tempi di risposta più lenti.

L'ipotesi H1 è stata testata fittando dei Modelli Lineari Misti (LMMs) con intercetta random per il soggetto. I modelli impiegati hanno utilizzato come variabile dipendente gli IES filtrati tra 150 ms e 1500 ms, e trasformati logaritmicamente per normalizzare la distribuzione. Sono stati confrontati mediante l'*Akaiake Information Criterion* (AIC) diversi LMMs ed è stato scelto il migliore (indice AIC più basso) con le seguenti variabili indipendenti: gruppo e SOA. In particolare, sono stati considerati solo i dati relativi al SOA breve in quanto risultati preliminari (Del Popolo Cristaldi et al., in prep.) suggeriscono che in questa condizione gli effetti di apprendimento risultano massimizzati.

L'ipotesi H2a è stata testata tramite il LMM più adeguato secondo il criterio AIC con variabile dipendente IES e variabili indipendenti gruppo e blocco. Per analizzare l'ipotesi H2b sono stati impiegati due modelli lineari con variabile dipendente Delta 1 in un caso e Delta 2 nell'altro. In entrambi i modelli sono state utilizzate variabili indipendenti quali il gruppo e il cluster.

Infine, per quanto riguarda l'analisi dell'ipotesi H3 è stato scelto un Modello Lineare Generalizzato (GLMMs) con distribuzione binomiale attraverso il criterio AIC, in cui l'accuratezza è stata inserita come variabile dipendente mentre il gruppo e il tipo di trial come variabili indipendenti.

4 RISULTATI

4.1 H1: contesto predittivo locale (*Foreperiod effect*)

I risultati hanno messo in luce un effetto significativo principale del gruppo ($F_{(1, 59)} = 4.51$, $p = .03$) e del SOA ($F_{(1, 34)} = 30.68$, $p < .001$) (Figura 11).

Nello specifico, si osserva una diminuzione dei tempi di reazioni nei SOA lunghi (1000 ms) sia per quanto riguarda il gruppo di controllo (TD) che il gruppo sperimentale (ADHD), confermando l'ipotesi sperimentale H1 (Figura 12).

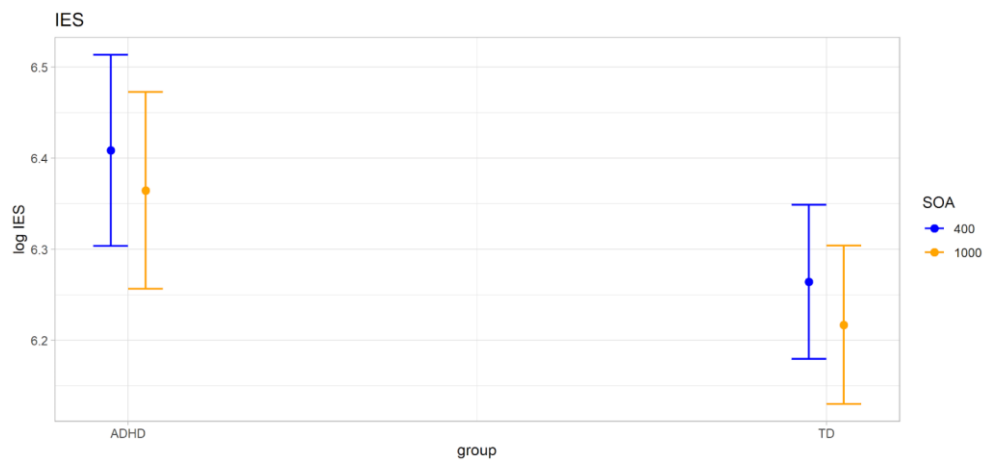


Figura 11: Grafico che mostra la distribuzione degli IES ai SOA brevi (blu) e ai SOA lunghi (arancione) per ciascun gruppo.

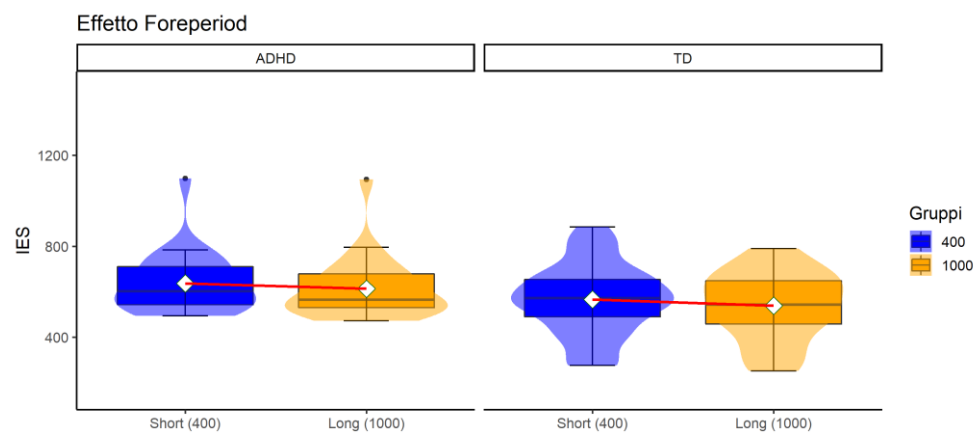


Figura 12: Grafico che riporta l'andamento degli IES nei due gruppi in funzione del tipo di SOA, rispettivamente breve (blu) e lungo (arancione).

4.2 H2a: contesto predittivo globale

Dai risultati è emerso un effetto significativo principale del blocco ($F_{(3, 17)} = 4.58, p = .003$) (Figura 13). Nello specifico, come è possibile osservare nella Figura 14, sia il gruppo di controllo che il gruppo sperimentale presentano una velocizzazione dei tempi di reazione tra il blocco *Slow 2* e *Fast 2*, ma si differenziano a livello qualitativo nella prima parte del compito, dove si osserva un maggior rallentamento tra il blocco *Slow 1* e *Fast 2* solo nel gruppo ADHD. Questi risultati supportano solo in parte l'ipotesi H2a, confermando la presenza di apprendimento nel gruppo TD ma anche nel gruppo ADHD, seppur solo tardivamente.

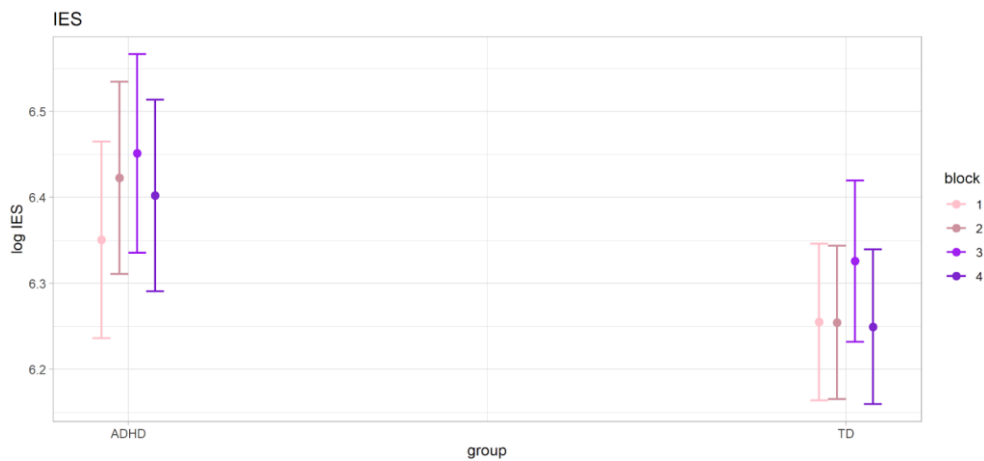


Figura 13: Grafico che mostra la distribuzione degli IES in base al blocco 1 slow (rosa), blocco 2 fast (rosa scuro), blocco 3 slow (viola), blocco 4 fast (viola scuro).

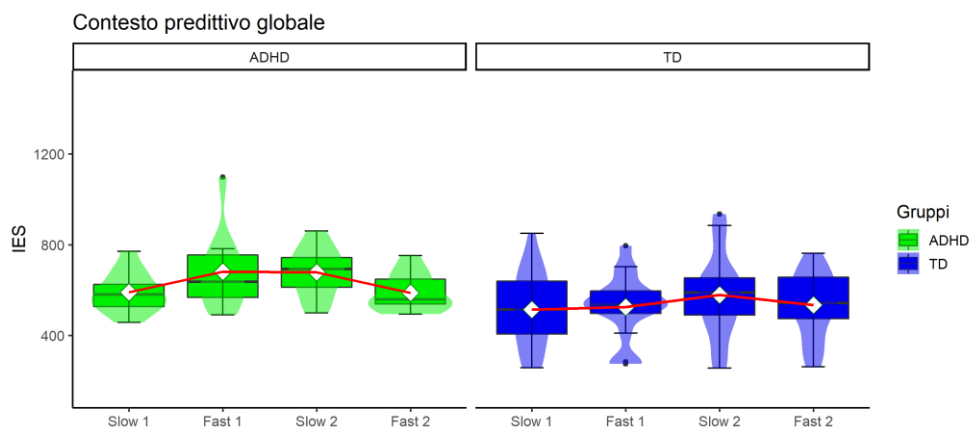


Figura 14: Grafico che mostra l'andamento degli IES nei due gruppi in funzione del tipo di blocco (slow/fast).

4.3 H2b: apprendimento implicito precoce e tardivo

Dai risultati mostrati in Figura 15, si osserva complessivamente un adattamento precoce soltanto nel gruppo di controllo (Delta 1), mentre non risultano particolari differenze tra i gruppi per quanto riguarda l'adattamento tardivo (Delta 2).

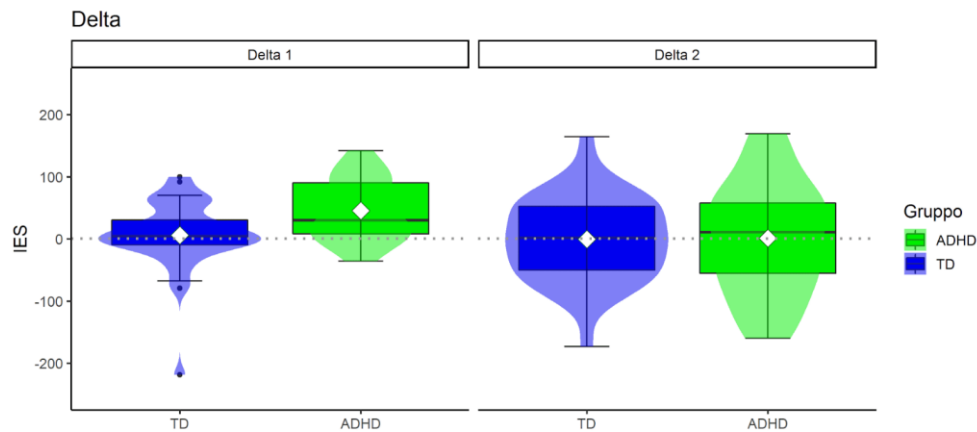


Figura 15: Grafico che mostra la distribuzione di Delta 1 e Delta 2 nei due gruppi.

4.3.1 Delta 1: apprendimento precoce

È emerso un effetto significativo principale del gruppo ($F_{(1)} = 436.97, p < .001$), del cluster ($F_{(2)} = 135.01, p < .001$) e dell'interazione tra gruppo e cluster ($F_{(2)} = 9.65, p < .001$). Analizzando i confronti appaiati dei gruppi all'interno di ciascun cluster si è evidenziata una differenza significativa tra TD e ADHD sia nei bambini ($t_{(1708)} = 10.99, p < .001$), che nei preadolescenti ($t_{(1708)} = 16.38, p < .001$), che negli adolescenti ($t_{(1708)} = 9.90, p < .001$). I confronti appaiati dei cluster all'interno di ciascun gruppo hanno invece messo in luce una differenza significativa tra bambini e adolescenti (TD: $t_{(1708)} = 6.33, p < .001$; ADHD: $t_{(1708)} = 10.20, p < .001$) e tra preadolescenti e adolescenti (TD: $t_{(1708)} = 9.96, p < .001$; ADHD: $t_{(1708)} = 12.24, p < .001$). Nello specifico, come mostrato nella Figura 16, il gruppo di controllo presenta un miglior apprendimento precoce (indici di Delta 1 più negativi) rispetto al gruppo sperimentale, in tutte le età. Inoltre, in entrambi i gruppi si osserva l'andamento evolutivo atteso, con un apprendimento precoce maggiore in adolescenza. Questi risultati confermano l'ipotesi H2b.

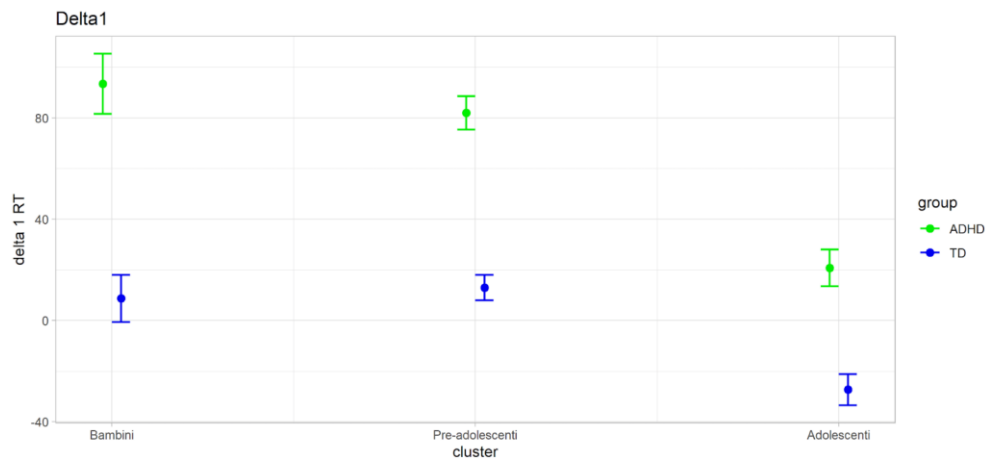


Figura 16: Grafico che mostra la distribuzione di Delta 1 nei due gruppi in funzione del cluster.

4.3.2 Delta 2: apprendimento tardivo

Per quanto riguarda Delta 2, è emerso un effetto significativo principale del gruppo ($F_{(1)} = 6.6293$, $p = .01$), del cluster ($F_{(2)} = 42.1058$, $p < .001$) e dell'interazione tra il gruppo e il cluster ($F_{(2)} = 31.6845$, $p < .001$). Analizzando i confronti appaiati dei gruppi all'interno di ciascun cluster si è evidenziata una differenza significativa tra TD e ADHD sia nei bambini ($t_{(1708)} = 4.01$, $p < .001$), che nei preadolescenti ($t_{(1708)} = 5.81$, $p < .001$), che negli adolescenti ($t_{(1708)} = -4.62$, $p < .001$). I confronti appaiati dei cluster all'interno di ciascun gruppo hanno invece messo in luce una differenza significativa tra bambini e preadolescenti ($t_{(1708)} = -4.71$, $p < .001$) e tra i preadolescenti e adolescenti ($t_{(1708)} = 9.24$, $p < .001$) nel gruppo ADHD, una differenza significativa tra bambini e preadolescenti ($t_{(1708)} = -7.27$, $p < .001$) e tra bambini e adolescenti ($t_{(1708)} = -7.01$, $p < .001$) nel gruppo TD. Nello specifico, come osservabile in Figura 17, in linea con quanto ipotizzato (H2b) il gruppo di controllo presenta un miglior apprendimento tardivo (indici di Delta 2 più negativi) rispetto al gruppo sperimentale, in tutte le fasce d'età tranne che in adolescenza. Tuttavia, al contrario di quanto atteso, in entrambi i gruppi si osserva un trend opposto a quello evolutivo atteso con una riduzione dell'apprendimento implicito tardivo nei preadolescenti rispetto ai bambini, e un'ulteriore riduzione dello stesso in adolescenza ma solo nel gruppo TD.

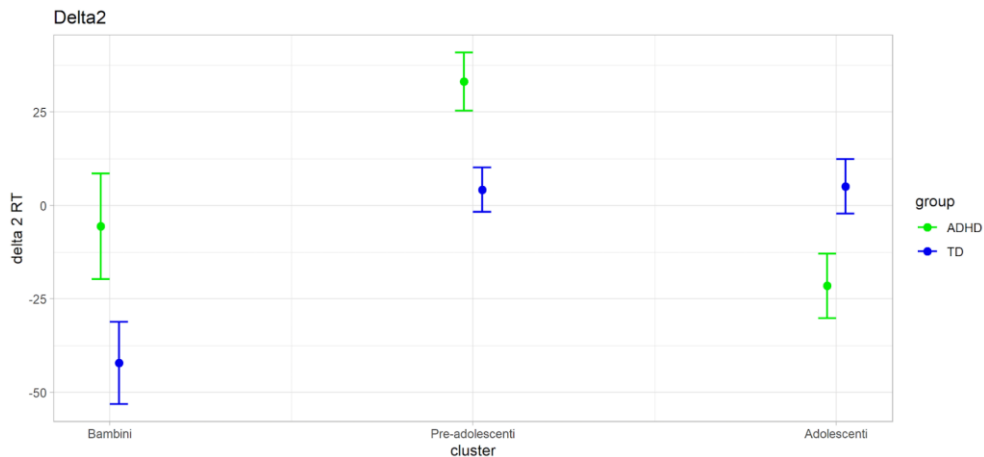


Figura 17: Grafico che mostra la distribuzione di Delta 2 nei due gruppi in funzione del cluster.

Complessivamente, come osservabile in Figura 18, per quanto riguarda il gruppo di controllo, si osserva un apprendimento implicito precoce solo negli adolescenti (Delta 1) e tardivo (Delta 2) in tutte le età. A livello tardivo però, gli adolescenti TD mostrano un minor adattamento implicito, che potrebbe riflettere una gestione strategica del contesto al fine di ottimizzare il controllo inibitorio (velocizzano meno nell'ultimo blocco *fast* al fine di evitare il rischio di sbagliare). Per quanto riguarda il gruppo sperimentale, invece, non si osserva apprendimento precoce (Delta 1) in nessuna fascia d'età, mentre si osserva apprendimento tardivo (Delta 2) sia nei bambini che negli adolescenti (Figura 18).

In conclusione, nel gruppo di controllo si è riscontrata una modulazione dei tempi di risposta in funzione del blocco, confermando quanto ipotizzato (H2a). Come atteso (H2b) solo gli adolescenti hanno mostrato apprendimento implicito precoce ma, al contrario di quanto ipotizzato, l'apprendimento implicito tardivo è risultato meno efficiente in adolescenza rispetto alle fasce d'età inferiore. Infine, i risultati ottenuti dal gruppo sperimentale sono in contrasto con le ipotesi H2a e H2b dal momento che il gruppo ADHD presenta una modulazione dei tempi di risposta in funzione del blocco e un apprendimento implicito tardivo, tranne che in pre-adolescenza.

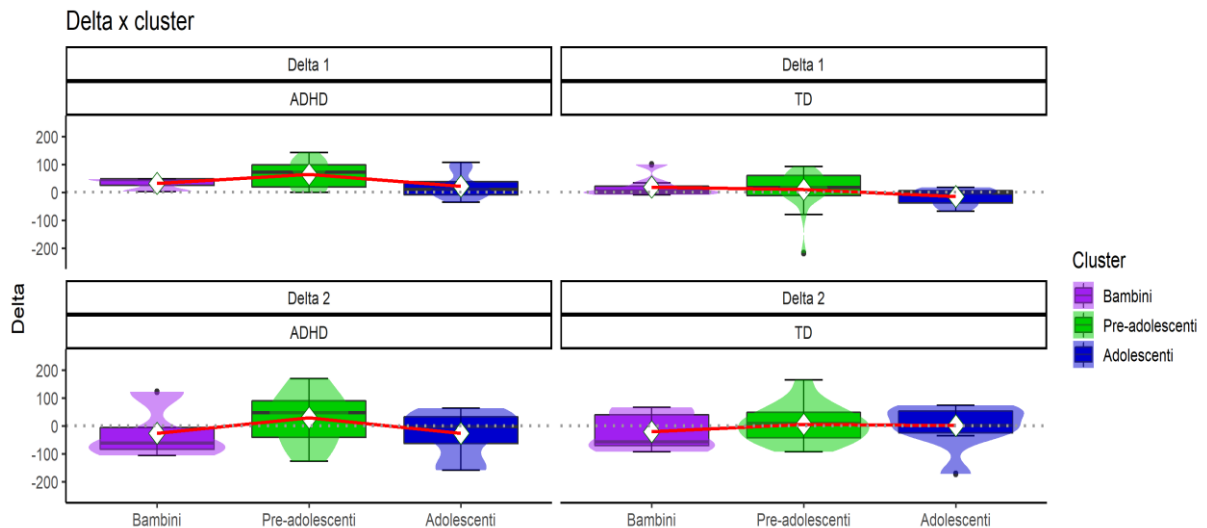


Figura 15: Grafico che mostra la distribuzione di Delta 1 e Delta 2 nei due gruppi in funzione del cluster.

4.4 H3: inibizione

4.4.1 H3a e H3b

Per quanto riguarda l'accuratezza, è emerso un effetto significativo principale del gruppo ($\chi^2_{(1)} = 9.41, p = .002$), del tipo di trial ($\chi^2_{(1)} = 266.95, p < .001$) e dell'interazione tra gruppo e trial ($\chi^2_{(1)} = 25.90, p < .001$). Analizzando i confronti appaiati tra i due gruppi all'interno di ciascun tipo di trial, è emersa una differenza significativa tra TD e ADHD solo nei trial Go ($z_{(inf)} = -5.74, p < .001$). Inoltre, analizzando i confronti appaiati tra i due tipi di trial all'interno di ciascun gruppo, è emersa una differenza significativa tra i trial Go e i trial NoGo sia nel gruppo ADHD ($z_{(inf)} = 11.17, p < .001$) che nel gruppo TD ($z_{(inf)} = 12.99, p < .001$). Come osservabile in Figura 19, entrambi i gruppi mostrano una maggiore accuratezza nei trial Go rispetto ai trial NoGo. Tuttavia, solo nei trial Go il gruppo di controllo mostra una performance migliore rispetto al gruppo sperimentale. Al contrario, non è presente nessuna differenza tra i gruppi nella condizione NoGo, in contrasto con l'ipotesi H3a (Figura 20).

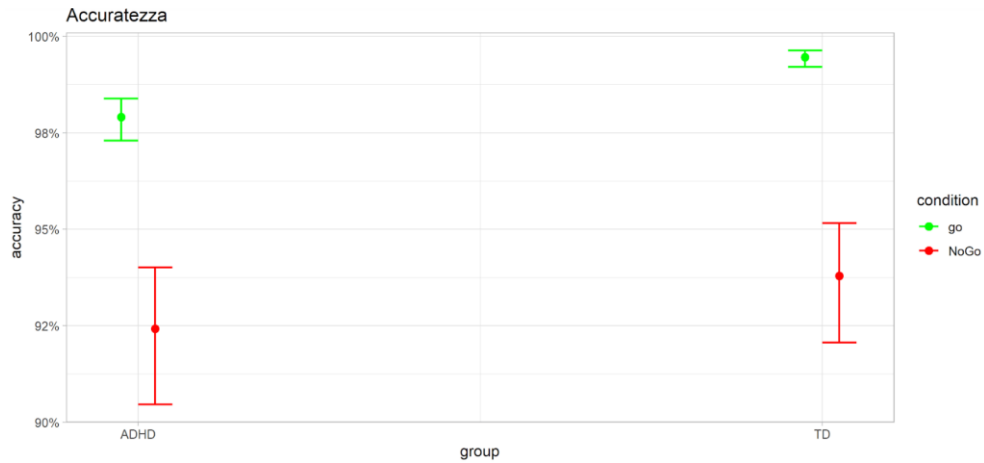


Figura 16: Grafico che mostra il livello di accuratezza nei due gruppi in funzione del tipo di trial (Go-NoGo).

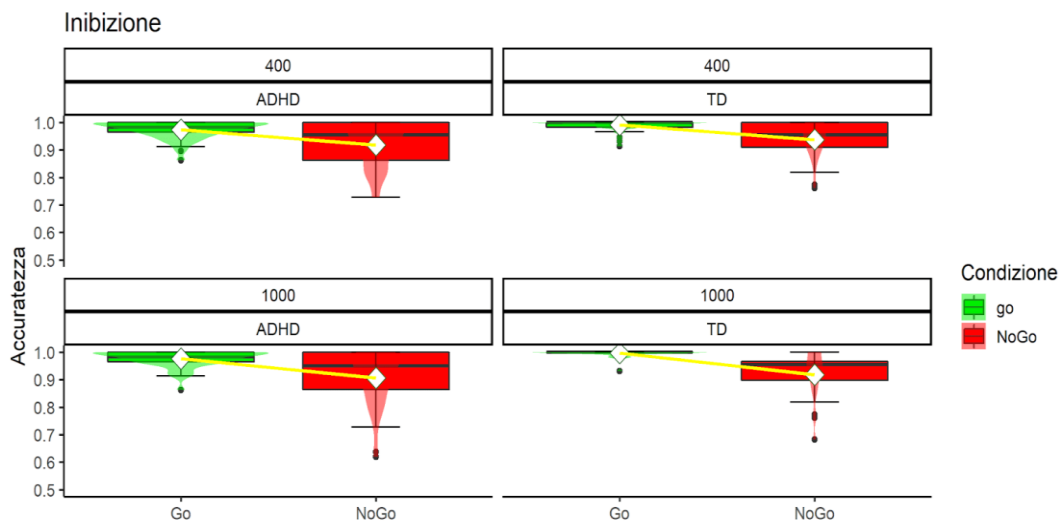


Figura 17: Grafico che mostra l'inibizione in funzione del SOA e del tipo di trial.

Il modello migliore per spiegare la varianza dei dati non includeva il blocco tra le variabili indipendenti e pertanto l'ipotesi H3b non risulta supportata. A livello qualitativo, la Figura 21 mostra che nei diversi blocchi i due gruppi hanno mantenuto una prestazione a soffitto per quanto riguarda i trial Go, mentre nei trial NoGo si osserva un andamento differente. Nello specifico, la prestazione nel gruppo ADHD sembra modulato dal tipo di blocco, con maggiore controllo inibitorio nei blocchi *slow* rispetto ai *fast*; al contrario,

nel gruppo TD si osserva un lieve peggioramento della performance lungo il compito senza modulazioni da parte del contesto.

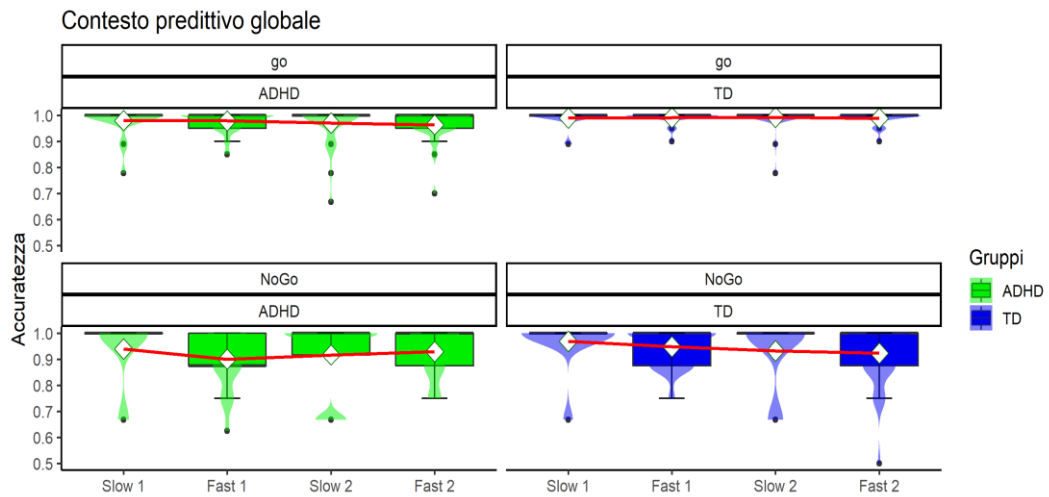


Figura 18: Grafico che mostra l'accuratezza dei due gruppi in funzione del tipo di trial.

5 DISCUSSIONE

Il presente elaborato di tesi si è posto l'obiettivo di indagare il controllo cognitivo adattivo, ovvero la capacità di apprendere implicitamente le regolarità presenti nel contesto al fine di adattare di conseguenza il comportamento, nello sviluppo tipico e atipico. Nello specifico, ci si è soffermati sulla componente dell'inibizione motoria e su come essa può essere influenzata dalle caratteristiche del compito stesso. A tale scopo, è stato utilizzato un nuovo compito sperimentale denominato *Dynamic Temporal Prediction Go-NoGo* (DTP GNG). Si tratta di un compito *Go-NoGo*, in cui è stata adottata una manipolazione della proporzione di trial con SOA brevi e lunghi che ha definito due tipi di blocco (lento/veloce), i quali si alternano lungo il compito (lento-veloce-lento-veloce). Questa manipolazione permette di indagare la capacità di adattare la prestazione comportamentale in funzione della predicibilità del contesto. Il controllo cognitivo adattivo è stato indagato a livello locale (livello del trial) mediante il *foreperiod effect* (Los, 1996; Niemi & Näätänen, 1981) e a livello globale (alternanza blocchi lungo il compito) mediante due indici che riflettono l'apprendimento globale precoce (Delta 1) e tardivo (Delta 2). Il controllo inibitorio è stato indagato analizzando l'accuratezza ai trial NoGo al variare del contesto predittivo lungo il compito.

Alla presente ricerca hanno preso parte 88 bambini/e appaiati per pari età e sesso in due gruppi: gruppo sperimentale composto da 44 bambini/e con disturbo da deficit dell'attenzione e dell'iperattività (ADHD) e gruppo di controllo composto da 44 bambini/e a sviluppo tipico (TD).

5.1 Adattamento implicito locale (effetto *foreperiod*)

In linea con quanto ipotizzato, dall'analisi dei risultati si è rilevato un effetto predittivo locale (*foreperiod effect*) in entrambi i gruppi, con tempi di reazione inferiori quando l'intervallo temporale (SOA) tra lo stimolo di avvertimento (S1) e lo stimolo target (S2) era lungo (1000 ms) rispetto a quando era breve (400 ms). Questo fenomeno è dovuto al fatto che all'aumentare del tempo aumenta la probabilità percepita di comparsa dello stimolo e, di conseguenza, la preparazione alla risposta (Los, 1996; Niemi & Näätänen, 1981). Questi risultati suggeriscono che l'adattamento implicito locale, presente in tutte

le fasce d'età e in entrambi i gruppi, risulta avere una traiettoria evolutiva precoce e stabile già dagli 8 anni e potrebbe essere meno vulnerabile nello sviluppo atipico, in linea con precedenti studi (Mento & Granzio, 2020; Mento et al, 2020).

5.2 Adattamento implicito globale (Delta 1 e Delta 2)

Come precedentemente ipotizzato, per quanto riguarda l'adattamento implicito globale ci si aspetta una modulazione dei tempi di reazione (RTs) in funzione del blocco solo nel gruppo di controllo. I risultati hanno parzialmente confermato quanto atteso; infatti, la prestazione è risultata modulata dal tipo di blocco non solo nel gruppo a sviluppo tipico ma anche nel gruppo ADHD. In particolare, in entrambi i gruppi si è osservato una velocizzazione dei tempi di reazione tra gli ultimi due blocchi (dal blocco *Slow 2* al blocco *Fast 2*). Per approfondire tale adattamento al compito sono stati calcolati due indici che riflettono rispettivamente l'apprendimento implicito precoce e l'apprendimento implicito tardivo: Delta 1, calcolato come la differenza dei tempi di reazione tra il secondo (*Fast 1*) e il primo (*Slow 1*) blocco e Delta 2, calcolato come la differenza dei tempi di reazione tra il quarto (*Fast 2*) e il terzo (*Slow 2*) blocco. Dai risultati emersi, l'apprendimento implicito precoce (Delta 1) risulta essere presente sia in preadolescenza che in adolescenza per quanto riguarda il gruppo di controllo, mentre non risulta essere presente in nessuna fascia di età per quanto riguarda il gruppo sperimentale. Questo risultato è coerente con l'ipotesi espressa inizialmente, secondo la quale soggetti con ADHD, rispetto a soggetti a sviluppo tipico, presentano delle difficoltà ad apprendere le regolarità predittive del contesto e, di conseguenza, ad adattare le risposte alle richieste del compito. Inoltre, i risultati sono in linea con evidenze neurologiche che rilevano in soggetti con ADHD la presenza di alterazioni nei circuiti neurali responsabili della previsione di segnali probabilistici nell'ambiente che causano una compromissione nella capacità di rilevare le violazioni all'interno del contesto e di adattare il proprio comportamento di conseguenza (Parks & Stevenson, 2018). Nel complesso, in entrambi i gruppi l'apprendimento implicito precoce segue l'andamento evolutivo con un miglioramento progressivo dall'età scolare alla prima adolescenza, confermando che i processi del controllo cognitivo si sviluppano lungo l'arco di vita perfezionandosi con l'avanzare dell'età.

Diversamente da quanto ipotizzato invece, l'apprendimento implicito tardivo (Delta 2) risulta essere presente sia nei bambini che negli adolescenti con ADHD. Tale risultato, in contrasto con quanto atteso, potrebbe trovare una spiegazione nel fatto che soggetti con ADHD presentano delle difficoltà nella gestione strategica del comportamento, poiché velocizzano la risposta senza porre attenzione al numero di errori commessi. Il DTP GNG, infatti, non richiede solo di rispondere in modo rapido e accurato, ma anche di inibire la risposta alla presenza di un particolare stimolo. Di conseguenza, si ritiene che tale modulazione adattiva nei tempi di risposta sia avvenuta a spese del controllo inibitorio. Nel gruppo di controllo, invece, l'apprendimento tardivo segue un trend opposto a quello evolutivo, con un peggioramento progressivo dello stesso dall'età scolare all'adolescenza. Una potenziale spiegazione è che tale apparente peggioramento dipenda in realtà dalla necessità di controbilanciare strategicamente le spinte proattive del contesto al fine di gestire il controllo inibitorio lungo il compito. Pertanto, essi ridurrebbero la velocità della risposta nei blocchi *fast* al fine di mantenere delle prestazioni più accurate. Complessivamente, ciò che è emerso dai risultati è che nel gruppo di controllo, come atteso, è presente sia l'apprendimento implicito precoce che tardivo, mentre nel gruppo sperimentale è presente soltanto l'apprendimento implicito tardivo. Una potenziale spiegazione è che l'apprendimento precoce richiede un utilizzo più efficiente e flessibile dei meccanismi alla base dell'apprendimento implicito di regolarità statistiche e, successivamente, una capacità di adattamento proattivo del controllo inibitorio. Tuttavia, sebbene questi dati mettono in evidenza una differenza significativa tra i due gruppi nel gestire questi meccanismi, da questi risultati non è possibile dedurre con precisione l'esatta natura dei meccanismi compromessi nell'ADHD, i quali potrebbero essere in grado di introiettare precocemente un modello interno ma tuttavia non riuscire a ottimizzare questa informazione appresa trasferendola in maniera efficiente al sistema motorio per velocizzare l'azione.

5.3 Controllo inibitorio in contesto predittivo

Per quanto riguarda l'accuratezza, entrambi i gruppi presentano una prestazione migliore nei trial Go; tuttavia, non sono state osservate differenze significative tra i gruppi nei trial NoGo, in contrasto con quanto ipotizzato. Questo risultato indica che entrambi i gruppi

riescono a gestire in modo efficace il controllo inibitorio, seppur adottando strategie differenti. A livello qualitativo, infatti, si evidenzia nel gruppo sperimentale una prestazione influenzata dal tipo di blocco, con maggiore controllo inibitorio nei blocchi lenti (*slow*) rispetto ai blocchi veloci (*fast*), mentre nel gruppo di controllo non si evidenzia alcuna modulazione da parte del contesto, con un lieve peggioramento della prestazione lungo il compito.

Questi risultati non sono in linea con evidenze che mettono in luce deficit inibitori nell'ADHD (Cremone-Caira et al., 2021). Ad esempio, un precedente studio condotto su questa popolazione clinica, attraverso l'utilizzo di un paradigma *Go-NoGo*, ha riscontrato una difficoltà inibitoria negli ADHD rispetto ai controlli (Smith et al., 2004). Questo è in contrasto anche con i principali modelli neuropsicologici dell'ADHD, tra cui quello di Barkley (1997), che individua nell'inibizione il fulcro centrale dei deficit in questo disturbo. È possibile pertanto ipotizzare che, nonostante alcuni studi suggeriscano deficit nell'apprendere e adattarsi alle regolarità implicite del contesto, nell'ADHD sia comunque presente una forma di controllo cognitivo adattivo, seppur differente per qualità e sviluppo da condizioni tipiche. Di conseguenza, questa forma preservata di controllo cognitivo adattivo potrebbe favorire in alcune circostanze la gestione del controllo inibitorio che è solitamente deficitario in questo disturbo. Infatti, nei blocchi lenti in cui i tempi di risposta risultano globalmente rallentati, essi sono stati maggiormente in grado di inibire rispetto ai blocchi veloci. Al contrario, è possibile che nel contesto del presente compito i partecipanti a sviluppo tipico, avendo una più efficiente modulazione del controllo cognitivo, abbiano strategicamente ridotto l'influenza dello stesso sulla propria prestazione al fine di favorire l'inibizione stessa.

5.4 Limiti e direzioni future

Il presente studio riporta una serie di limiti che possono aver influenzato i risultati e che necessitano di essere approfonditi. In primo luogo, la presenza di un campione ridotto di soggetti non ha permesso un'adeguata analisi dei questionari svolti dai genitori, non consentendo pertanto di correlare il profilo emotivo-comportamentale individuale con le prestazioni al compito. Inoltre, la numerosità dei soggetti nei vari cluster non risulta omogenea. In secondo luogo, la semplicità del compito somministrato può aver influito

sulla sensibilità nel cogliere gli effetti. In particolare, la facilità del compito e la lunga durata possono aver influenzato negativamente l'attivazione e la motivazione dei soggetti durante lo svolgimento della prova.

Pertanto, è auspicabile che ricerche future si prefiggano di allargare il campione e di verificare la presenza di possibili associazioni tra l'andamento del soggetto al compito DTP GNG e misure individuali. Inoltre, sarebbe opportuno apportare delle modifiche nella struttura del compito, in modo tale da rendere il compito più motivante, avvincente e sfidante. Infine, i risultati riguardanti l'inibizione (accuratezza ai trial NoGo) sono un interessante spunto per indagare ulteriormente le differenze qualitative nel controllo inibitorio in contesto predittivo sia in soggetti con ADHD che in soggetti a sviluppo tipico. In particolare, future ricerche potrebbero confrontare la performance dei due gruppi in un DTP GNG con manipolazione delle regolarità temporali e un DTP GNG senza manipolazione delle regolarità temporali, al fine di comprendere l'effettivo apporto del contesto predittivo nel favorire o meno l'inibizione in bambini con ADHD.

Complessivamente, dal punto di vista clinico sarebbe utile validare il DTP GNG come strumento di valutazione neuropsicologica, al fine di misurare il controllo cognitivo adattivo e a sua volta utilizzare il compito come strumento di intervento per andare a favorire le funzioni solitamente deboli, come in questo caso l'inibizione.

In conclusione, il presente progetto di ricerca è uno dei primi studi che ha investigato il controllo cognitivo adattivo in una popolazione clinica e che ha utilizzato la manipolazione del contesto per andare a misurare ed influenzare le componenti del controllo cognitivo. Tali risultati sono importanti poiché aiutano a comprendere la rilevanza del contesto nel favorire e potenziare le componenti del controllo cognitivo.

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>
- Anderson, P. J., & Reidy, N. (2012). Assessing executive function in preschoolers. *Neuropsychology Review*, *22*(4), 345–360. <https://doi.org/10.1007/s11065-012-9220-3>
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, *20*(4). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and Operationalization of Executive Function. *Mind, Brain, and Education*, *10*(1), 10–33. <https://doi.org/10.1111/mbe.12100>
- Barkley, R. A. (2011). The Important Role of Executive Functioning and Self-Regulation in ADHD. *J Child Neuropsych*, *113*, 41-56.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Development*, *81*(6), 1641-1660 <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Braem, S., Bugg, J. M., Schmidt, J. R., Crump, M. J. C., Weissman, D. H., Notebaert, W., & Egner, T. (2019). Measuring Adaptive Control in Conflict Tasks. *Trends in Cognitive Sciences*, *23*(9), 769–783. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.07.002>
- Braem, S., & Egner, T. (2018). Getting a Grip on Cognitive Flexibility. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(6), 470–476. <https://doi.org/10.1177/0963721418787475>
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Bugg, J. M., & Crump, M. J. C. (2012). In support of a distinction between voluntary and stimulus-driven control: A review of the literature on proportion congruent effects. *Frontiers in Psychology*, *3*(SEP). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00367>

- Chevalier, N., Martis, S. B., Curran, T., & Munakata, Y. (2015). Metacognitive processes in executive control development: The case of reactive and proactive control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(6), 1125–1136. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00782
- Chiu, H., Genc, S., Malpas, C. B., Sciberras, E., Nicholson, J. M., Efron, D., & Silk, T. J. (2021). Prefrontal and frontostriatal structures mediate academic outcomes associated with ADHD symptoms. *Brain Disorders*, 4, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.dscb.2021.100023>
- Conners, C. K. (2001). *Conners' Rating Scales-revised: CRS-R*. North Tonawanda, NJ: Multi-Health Systems.
- Cremonese-Caira, A., Trier, K., Sanchez, V., Kohn, B., Gilbert, R., & Faja, S. (2021). Inhibition in developmental disorders: A comparison of inhibition profiles between children with autism spectrum disorder, attention-deficit/hyperactivity disorder, and comorbid symptom presentation. *Autism*, 25(1), 227–243. <https://doi.org/10.1177/1362361320955107>
- Curran, T. (1995). On The Neural Mechanisms of Sequence Learning. *PSYCHE*, 2(12). <http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-12-curran.html>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2020). Executive functions. *Handbook of Clinical Neurology*, 173, 225–240. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4>
- Domuta, A., & Pentek, I. (2003). Implicit Learning in ADHD Preschool Children. *Poster presented at the 12th Annual CHADD International Conference*, Chicago, IL.
- Duffy, K. A., Rosch, K. S., Nebel, M. B., Seymour, K. E., Lindquist, M. A., Pekar, J. J., Mostofsky, S. H., & Cohen, J. R. (2021). Increased integration between default mode and task-relevant networks in children with ADHD is associated with impaired response control. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100980>
- Duma, G. M., Danieli, A., Morao, V., Da Rold, M., Baggio, M., Toffoli, L., Zanatta, A., Vettorel, A., Bonanni, P., Mento, G. (2021). Implicit cognitive flexibility in self-limited focal epilepsy of childhood: An HD-EEG study. *Epilepsy and Behaviour*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2020.107747>

- Fabio, R. A., Andricciola, F., & Capri, T. (2022). Visual-motor attention in children with ADHD: The role of automatic and controlled processes. *Research in Developmental Disabilities*. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104193>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, *86*, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 72–89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, *134*(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Girardi, G., Fernandez, L. G., Leboyer, M., Latimier, A., Chokron, S., & Zalla, T. (2021). Temporal preparation in adults with autistic spectrum disorder: The variable foreperiod effect. *Autism Research*, *14*(11), 2393-2404. <https://doi.org/10.1002/aur.2573>
- Gonthier, C., & Blaye, A. (2021). Preschoolers are capable of fine-grained implicit cognitive control: Evidence from development of the CSPC effect. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105211>
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, *38*(4), 404–411. <https://doi.org/10.1037/h0059831>
- Gurney, K., Hussain, A., Chambers, J., & Abdullah, R. (2009). Controlled and automatic processing in animals and machines with application to autonomous vehicle control. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *5768 LNCS(PART 1)*, 198–207. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04274-4_21
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Alloway, T. P., Elliott, J. G., & Hilton, K. A. (2010). The diagnostic utility of executive function assessments in the identification of ADHD in Children. *Child and Adolescent Mental Health*, *15*(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3588.2009.00536.x>
- Kieling, R., & Rohde, L. A. (2012). ADHD in children and adults: Diagnosis and prognosis. *Current Topics in Behavioral Neurosciences*, *9*, 1–16. https://doi.org/10.1007/7854_2010_115

- Konrad, K., Neufang, S., Hanisch, C., Fink, G. R., & Herpertz-Dahlmann, B. (2006). Dysfunctional attentional networks in children with attention deficit/hyperactivity disorder: Evidence from an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry*, *59*(7), 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.08.013>
- Lejuez, C. W., Richards, J. B., P. Read, J., W. Kahler, C., E. Ramsey, S., L. Stuart, G., R. Strong, D., & A. Brown, R. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The balloon analogue risk task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(2), 75-84. <https://doi.org/10.1037//1076-898X.8.2.75>
- Loe, I. M., & Feldman, H. M. (2007). Academic and educational outcomes of children with ADHD. *Journal of Pediatric Psychology*, *32*(6), 643-654. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jslo54>
- Los, S. A. (1996). On the origin of mixing costs: Exploring information processing in pure and mixed blocks of trials. *Acta psychologica*, *94*, 145-188. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)00050-X](https://doi.org/10.1016/0001-6918(95)00050-X)
- Marano, A., Innocenzi, M., Devescovi, A., D'Amico, S. *adattamento italiano* (2016). Behavior Rating Inventory of Executive Function 2, assessment delle funzioni esecutive in età scolare (BRIEF-2), di Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). HOGREFE Editore.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *44*(4), 377-384. <https://doi.org/10.1097/01.chi.0000153228.72591.73>
- Marzocchi, G. M., & Valagussa, S. (2011). *Le funzioni esecutive in età evolutiva: modelli neuropsicologici, strumenti diagnostici, interventi riabilitativi*. Milano: Franco Angeli.
- 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>
- Mento, G., & Granzol, U. (2020). The developing predictive brain: How implicit temporal expectancy induced by local and global prediction shapes action preparation across development. *Developmental Science*, *23*(6).

- Mento, G., Scerif, G., Graziol, U., Franzoi, M., & Lanfranchi, S. (2020). The Effect of Probabilistic Context on Implicit Temporal Expectations in Down Syndrome. *Frontiers in Psychology, 11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00369>
- Meuwissen, A. S., & Zelazo, P. D. (2014). Hot and Cool Executive Function: Foundations for Learning and Healthy Development. *Zero to Three, 35*, 18-23.
- 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>
- Morris, N., & Jones, D. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology, 81*(2), 111-121. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology, 9*(3), 353-383. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin, 89*(1), 133-162. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.133>
- Parks, K. M. A., & Stevenson, R. A. (2018). Auditory and visual statistical learning are not related to ADHD symptomatology: Evidence From a research domain criteria (RDoC) approach. *Frontiers in Psychology, 9*(DEC). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02502>
- Qualtrics. (2019). Qualtrics software [software]. Utah: Provo.
- Raven, J. C., & Court, J. H. (1938). Raven’s progressive matrices. Western *Psychological Services Los Angeles, CA*.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience, 139*(1), 5–21. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.061>
- Rogers, R. D. & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(2), 207-231. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>

- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, *42*(8), 1029-1040.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012>
- Ruffini, C., Marzocchi, G. M., & Pecini, C. (2021). Preschool Executive Functioning and Child Behavior: Association with Learning Prerequisites? *Children*, *8*, 964
<https://doi.org/10.3390/children>
- Schapiro, A., & Turk-Browne, N. (2015). Statistical Learning. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, *3*, 501–506. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00276-1>
- Smith, J. L., Johnstone, S. J., Barry, R. J. (2004). Inhibitory processing during the Go/NoGo task: An ERP analysis of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, *115*(6), 1320-1331.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.12.027>
- Sonuga-Barke, E. J. S. (2003). The dual pathway model of AD/HD: An elaboration of neuro-developmental characteristics. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *27*(7), 593–604. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2003.08.005>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1983). *Stochastic modeling of elementary psychological processes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Valeri, G., & Stievano, P. (2007). Neuropsicologia dello sviluppo e funzioni esecutive Developmental neuropsychology and executive functions. *Giornale di Neuropsichiatria dell'Età Evolutiva*, *27*, 195-204.
- Vicari, S., & Caselli, M.C. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva. Prospettive teoriche e cliniche*. Bologna: Il Mulino.
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analysis review. *Biol Psychiatry*, *57*(11), 1336-1346.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>
- Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review*, *38*, 55–68.
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.001>

Ringraziamenti

A conclusione di questo elaborato, desidero ringraziare tutte le famiglie che hanno partecipato a questo progetto di ricerca permettendone la realizzazione.

Si ringrazia la dirigente scolastica e gli insegnanti della Scuola Primaria “Pio X” di Tavo (PD) e dell’Istituto Bonaccorso da Montemagno di Quarrata (PT) e i dirigenti e i professionisti del Centro Medico Rindola (VI), del centro “La Fenice” di Noale (Venezia) e dell’IRCC “E. Medea” La Nostra Famiglia di Conegliano (TV) per la loro disponibilità e collaborazione.

Un doveroso ringraziamento va alla Dott.ssa Elena Cazzari e a tutto il team del Centro Medico Rindola che con infinita gentilezza e disponibilità mi hanno accompagnato durante l’intero periodo di tirocinio. Grazie per avermi fatto sentire parte integrante del gruppo, per avermi spronata a migliorare e per aver riposto fiducia nelle mie capacità, prima ancora che lo facessi io.

Vorrei esprimere la mia gratitudine al Professore Giovanni Mento per aver curato la realizzazione del presente progetto di ricerca e per avermi permesso di parteciparvi, riponendo fiducia in me.

Ringrazio la Dott.ssa Lisa Toffoli che mi ha seguito passo dopo passo, con puntualità, pazienza e disponibilità, in questo percorso. Grazie per avermi fornito strumenti, migliorie e suggerimenti utili ai fini della stesura dell’elaborato.

Ringrazio di cuore la mia collega Elisa Santi per aver condiviso con me gioie e fatiche di questo intero percorso universitario e per essere per me fonte di confronto ed ispirazione.

Un ringraziamento personale va alle mie amiche Annalisa, Valentina, Nicole, Elena e Claudia che mi sono sempre state vicine anche da lontano, regalandomi momenti di spensieratezza.

Infine, un ringraziamento speciale va alla mia famiglia e a Leonardo che da sempre mi sostengono e supportano nella realizzazione di ogni mio progetto.