

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di Laurea Magistrale in

Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

Deficit nella pianificazione motoria alla base delle risposte prepotenti nei bambini con ADHD

Deficit in motor planning underlying inhibition of prepotent
responses in children with ADHD

Relatrice:

Prof.ssa Teresa Farroni

Correlatrice:

Dott.ssa Irene Valori

Laureanda:

Indri Krizia

Matricola: 2015050

Anno Accademico: 2021/2022

Indice

1.	Introduzione	1
1.1.	Il disturbo da deficit di attenzione ed iperattività.....	3
1.1.1	Le origini del disturbo.....	4
1.1.2	Le funzioni esecutive	5
1.2.	Controllo inibitorio delle risposte prepotenti: costruito e misure.....	7
1.3.	Analisi del movimento: dalla pianificazione alla messa in atto	13
1.4.	Cinematica del comportamento impulsivo.....	17
1.5.	Meccanismi associati a difficoltà di inibizione motoria	21
2.	Metodo	25
2.1	Obiettivi	25
2.2.	Partecipanti.....	27
2.3.	Procedura.....	31
2.4	Apparato sperimentale	33
2.5	Il compito	35
2.6.	I questionari.....	37
2.7.	Analisi dei dati.....	39
2.8.	Risultati	43
	Accuratezza	43
	Misure cinematiche.....	44
	RT	45
	MD.....	46
	TPV.....	47
	Correlazioni tra punteggi ai questionari e indici cinematici	48
3.	Discussione	51
4.	Conclusioni	57
5.	Bibliografia	59

1. Introduzione

In questo lavoro di ricerca ci siamo posti l'obiettivo di indagare i meccanismi sottostanti allo sviluppo di comportamenti, scelte e interessi analizzandoli in un gruppo di bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività.

La letteratura attuale ci propone una cospicua quantità di evidenze che mostrano un funzionamento esecutivo deficitario a favore di soggetti con questo disturbo, e nello specifico sembra esserci una maggior difficoltà nei processi inibitori sia in bambini che in adulti iperattivi. Le conseguenze di questa problematica potrebbero sfociare in diversi aspetti patologici, come Disturbo da Uso di Sostanze, Gambling Disorder, Internet Disorder e un elevato "*Sensation seeking*", dunque una costante ricerca di emozioni forti e pericolose.

Il nostro interesse si è concentrato in particolare sullo studio del movimento che finalizza una risposta comportamentale inibitoria, per comprendere ed esplorare se e in che modo questo si differenzi tra bambini con sviluppo tipico o ADHD, e come questo abbia dei risvolti sul funzionamento quotidiano degli stessi.

A partire da queste premesse abbiamo esplorato le capacità inibitorie attraverso l'utilizzo di un accelerometro in un gruppo di bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività attraverso un compito "*Go-No-Go*" rivisitato, correlando poi i risultati ottenuti a dei questionari somministrati ai loro genitori, volti ad indagare rispettivamente la presenza di stereotipie, il profilo sensoriale e il funzionamento esecutivo dei propri figli.

1.1. Il disturbo da deficit di attenzione ed iperattività

Il Disturbo da Deficit di Attenzione ed Iperattività (ADHD) viene definito dal DSM-5 come un disturbo del neurosviluppo ad origine eziologica multifattoriale, che comprende difficoltà attentive e/o iperattività. Con il passaggio dal DSM-IV all'ultimo aggiornamento del manuale, è stato spostato dall'area dei "Disturbi del comportamento dirompente" a quella dei "Disturbi del neurosviluppo", ad indicare come non ci sia solamente una manifestazione comportamentale bensì anche un correlato neurobiologico sottostante.

Quando si parla di ADHD si intende un insieme eterogeneo di sintomi, che il DSM fa rientrare in 18 criteri diagnostici, dei quali è sufficiente la presenza di 6 o più prima dei 12 anni per poterne fare diagnosi. Tra di essi troviamo l'incapacità di mantenere l'attenzione sui compiti o sulle attività di gioco o lavoro, la percezione che non ascoltino quando gli si parla direttamente, il mancato portare a termine compiti scolastici; la perdita di oggetti necessari allo svolgimento di attività; l'avversione verso compiti che richiedono uno sforzo mentale protratto.

Rispetto al manuale precedente vi è un elemento di novità, ovvero la suddivisione in sottotipi: a prevalente iperattività, a prevalente disattenzione, oppure misto. Sono presenti delle specificazioni: "In remissione parziale": non tutti i criteri sono soddisfatti negli ultimi 6 mesi; "Lieve": sono presenti pochi sintomi oltre a quelli richiesti per porre diagnosi, che comportano compromissioni minori del funzionamento sociale, scolastico o lavorativo; "Moderato": sintomi e

compromissione funzionale tra lievi e gravi; “Grave”: sono presenti molti sintomi oltre a quelli richiesti per porre diagnosi o questi comportano una marcata compromissione del funzionamento.

In aggiunta all’iperattività e alla disattenzione, vi è un altro pattern tipico di questo disturbo che è l’impulsività, con la quale si fa riferimento ad azioni affrettate che avvengono all’istante e senza premeditazione. Questa può riflettere un desiderio di ricompensa immediata oppure un’incapacità di ritardare la gratificazione (American Psychiatric Association - APA, 2013).

Si tratta di un disturbo con una prevalenza di circa 5% nei bambini e il 2,5% negli adulti. È più frequente nei maschi, in un rapporto 3:1 che diminuisce poi in età adulta diventando 1,6:1 (Vicari & Caselli, 2017).

1.1.1 Le origini del disturbo

Ad oggi sono diverse le teorie che cercano di spiegarne l’origine, sia in termini genetici che in termini neuropsicologici. Quando si parla di genetica, si fa riferimento ad una componente molto importante: si tratta di un disturbo ad elevata ereditarietà, anche se attualmente, non si è ancora riusciti a trovare il gene o i geni responsabili del deficit (Vicari & Caselli, 2017). A livello neuropsicologico, una recente revisione ci indica come, nei soggetti con ADHD, ci siano dei deficit in diverse aree cerebrali (Mehta et al., 2019).

Per quanto riguarda la corteccia prefrontale, evidenze dimostrano come ci sia un ridotto volume dell’area, associato a deficit di attenzione, pianificazione,

comportamento e processi cognitivi (Cortese S., 2012). Inoltre, alcuni autori hanno suggerito come ci sia un ritardo nella maturazione e nello sviluppo in questa specifica porzione che determina la persistenza del deficit anche in età adulta (Gilliam M, 2011).

Sono state rilevate riduzioni nel volume del nucleo caudato, anch'esso correlato ad attenzione e controllo del comportamento. Studi di *neuroimaging*, mostrano un funzionamento anomalo della corteccia cingolata anteriore durante compiti di inibizione e controllo motorio, sia in termini di ridotta attivazione, che in termini di volume della porzione cerebrale che risulta ridotto rispetto al controllo tipico (Mehta et al., 2019).

1.1.2 Le funzioni esecutive

Stime attuali dimostrano come approssimativamente il 33%-55% dei bambini con ADHD abbia delle carenze a carico delle funzioni esecutive (Kofler et al., 2019), un insieme di processi cognitivi di ordine superiore che consentono di controllare e regolare volontariamente le altre funzioni cognitive, di mettere in atto comportamenti diretti ad uno scopo, di utilizzare il problem solving nella quotidianità, di porre attenzione al compito al fine di raggiungere un obiettivo e di riprogrammarlo nel caso in cui ci fosse necessità (Diamond, 2013).

In letteratura troviamo tre modelli principali esplicativi di questo costrutto.

Nel 1997, Baddley ha teorizzato un modello unitario delle funzioni esecutive, che vede la presenza di un esecutivo centrale a coordinare loop fonologico, taccuino visuo-spaziale e buffer episodico.

Norman e Shallice nel 1986 hanno costruito un modello che vede un sistema attentivo supervisore che presiede e controlla tutti i sottosistemi cognitivi.

Miyake nel 2000, analizzando un cospicuo numero di articoli in letteratura e utilizzando il metodo statistico dell'analisi fattoriale, ritiene che tutto l'insieme delle funzioni esecutive fino a quel momento individuate siano raggruppabili in tre processi: inibizione, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva. Lo stesso gruppo di ricerca, nel 2012 ha fatto un aggiornamento del modello riducendo i fattori da tre a due: memoria di lavoro e flessibilità cognitiva, perché l'inibizione viene ritenuta comune ad entrambe (Karch & Kray, 2016).

1.2. Controllo inibitorio delle risposte prepotenti: costrutto e misure

Il controllo inibitorio è una delle componenti delle funzioni esecutive che consente di controllare l'attenzione, i comportamenti, i pensieri e permette di mettere in atto risposte adeguate al contesto di vita in cui ci si trova (Diamond, 2013).

In neuropsicologia classicamente si fa riferimento a tre diversi compiti per la misura di questo costrutto: in particolare, due di essi riguardano l'inibizione del comportamento a livello motorio, uno invece no. Quest'ultimo richiede al soggetto l'inibizione della risposta utilizzando esclusivamente la comunicazione verbale.

Nel classico paradigma sperimentale dello "*Stop Signal Task*", i partecipanti si trovano a dover svolgere un compito di scelta tra opzioni, che viene in precedenza illustrato dallo sperimentatore. Questo è il compito dominante, ovvero che si svolge nella maggior parte dei *trial* e che prende nome di stimolo "*Go*". Occasionalmente, lo stimolo "*Go*" viene seguito da un segnale di stop, che può essere sia di tipo uditivo che di tipo visivo e che viene presentato dopo un intervallo di tempo variabile. Viene spiegato ai soggetti che, nel momento in cui vi è questo segnale (segnale di stop) loro non devono dare risposta, così da poter misurare la capacità di inibizione. Un esempio di esecuzione di questo tipo di compito è il seguente: i partecipanti, posti di fronte ad un computer devono rispondere al compito "*Go*" indicando la direzione corretta della freccia che appare loro sullo schermo (se la freccia indica a destra loro devono premere il tasto a destra, allo stesso modo a sinistra); in una piccola parte di *trial*, lo stimolo

“Go” viene seguito da un segnale uditivo di stop dove è richiesto di omettere la risposta (Matzke et al., 2018).

Un altro test molto utilizzato in neuropsicologia è il “Go/No-Go”. Si tratta di un compito in cui la risposta ad uno stimolo deve essere messa in atto oppure inibita a seconda di ciò che viene richiesto dallo sperimentatore e in relazione allo stimolo che si presenta al soggetto. Un’applicazione che troviamo in letteratura è la seguente: al soggetto, seduto davanti ad un PC, vengono presentati degli stimoli, dei rettangoli in questo caso, posti in verticale (stimoli go) o in orizzontale (stimoli no-go). Quello che viene richiesto è di rispondere il più velocemente possibile ogni volta si presenti sullo schermo lo stimolo go (in questo caso il rettangolo in verticale) e di omettere la risposta nel caso invece compaia lo stimolo no go (rettangolo in orizzontale). La probabilità di comparsa degli stimoli go e no go viene scelta a priori. Solitamente la presenza la percentuale di “go” va circa da un 70%-80% del numero di stimoli presentati (Kofler et al., 2019).

Infine, per la misura dell’inibizione viene utilizzato anche il “*Test di Stroop*”. In questo vengono presentate ai partecipanti serie di parole che identificano colori (es. “rosso”, “blu” ecc.). I partecipanti devono nominare il colore con cui le parole sono scritte, ignorando il significato della parola stessa. Ad esempio, se la parola scritta è “giallo”, ma la stampa è in verde, il soggetto deve dire “verde” e non giallo (Stroop, J. R., 1935).

È stato visto come, i soggetti con ADHD, abbiano complessivamente delle performance peggiori in questo tipo di compiti rispetto ai controlli tipici; in particolare in letteratura si trovano diverse evidenze a favore di prestazioni carenti nei compiti “Go/No-Go” e in quelli di “*Stop signal*”.

In uno studio di Berlin e collaboratori del 2004 sono stati utilizzati due diversi compiti di inibizione per confrontare gruppo con iperattività con gruppo tipico: il “*Test di Stroop*” e il “*Go-No-Go*”. Quello che è stato visto è che ci sono state delle differenze tra i due gruppi, in entrambi i test. In particolare, nel “*Test di Stroop*” si sono riscontrati un maggior numero di errori al compito da parte dei bambini con ADHD e dei tempi di risposta più lunghi. Per quanto riguarda invece il compito “*Go-No-Go*”, è stato trovato un numero maggiore di omissioni di risposta e anche in questo caso una quantità di errori maggiore e dei tempi di reazione più lunghi (Berlin et al., 2004).

Un'altra evidenza a favore di deficit inibitori nei bambini con ADHD, riguarda un compito di “*Stop Signal*” tonale, quindi con suoni come stimoli. Il compito somministrato consisteva in tre diverse condizioni: “*No-tone*”, dove non vi era alcun suono a misura pura del tempo di reazione dei bambini; “*Ignore-tone*” suono per studiare l’influenza di un suono intermittente nella performance: compare prima del segnale di stop, e viene chiesto ai bambini di ignorarlo; “*Ignore-tone 2*”, messo in relazione con il segnale di stop per determinare se la presenza di un tono intermittente non significativo andasse a modificare i tempi di reazione dei bambini, ma anche questo veniva chiesto di ignorarlo. Quello che è emerso è che i tempi di reazione in risposta al compito erano più lenti nel gruppo ADHD; anche i tempi di reazione motori sono risultati essere più lunghi: in particolare le differenze maggiori sono state riscontrate nella fase del compito in cui veniva chiesto di discernere due diversi toni e scegliere solamente quello corretto (possibile effetto distraente dell’altro). Non sono state trovate differenze nella condizione di ignorare un solo suono (Alderson et al., 2008).

In uno studio longitudinale di Schoemaker e colleghi (2014), sono stati esaminati i risultati a diversi compiti per misurare il funzionamento esecutivo di duecento bambini con ADHD, disturbo del comportamento dirompente e comorbidità tra i due disturbi. I test utilizzati per le misure dell'inibizione sono stati tre: un compito "Go-No-Go", uno di ritardo della gratificazione e uno "Shape-school task". Ciò che è emerso è che i bambini con ADHD e quelli con i due deficit in comorbidità avevano performance peggiori a tutti e tre i compiti inibitori, sia in termini di numero di errori che di tempi di risposta più lenti. È stato visto anche, essendo uno studio longitudinale, che vi era un miglioramento nei compiti con l'aumentare dell'età dei soggetti (Schoemaker et al., 2014).

Uno studio su gemelli, ha visto performance più scarse in un compito "Go-No-Go" nei fratelli con elevata disattenzione ed iperattività, definita da questionari ed interviste somministrate ai genitori e agli insegnanti. Anche in questa evidenza, i bambini con una maggiore impulsività hanno commesso un più alto numero di errori, hanno ottenuto un tempo di reazione più lungo agli stimoli e una maggiore difficoltà ad inibire la risposta nel compito "No-Go" (Bezdjian et al., 2009).

A livello di misure neurofisiologiche, penso sia interessante citare anche questo studio, che si è occupato di misurare i Potenziali Evento Relati (ERPs) in bambini con ADHD impegnati in un compito di inibizione "Go/No-Go". Per quanto riguarda le performance comportamentali non è stato trovato nulla di nuovo rispetto a ciò che si legge in letteratura: il gruppo ADHD ha mostrato di essere più impulsivo e veloce nella risposta ma anche meno accurato rispetto al gruppo tipico. Confrontando le misure neurofisiologiche, sono state riscontrate delle differenze nell'ampiezza delle onde (specificatamente nella N2, regione frontale del cervello) che in breve indica come ci

siano delle differenze nella preparazione all'inibizione della risposta, che risulta essere più forte e con un picco di attivazione precoce negli ADHD rispetto ai controlli, che in termini comportamentali si trasforma in una minor pianificazione e quindi più impulsività (Smith et al., 2004).

A partire da queste evidenze che mostrano chiaramente delle differenze in termini sia di performance che di attivazione cerebrale tra bambini tipici e bambini con ADHD; ci siamo chiesti se e in che modo la cinematica del movimento in compiti di inibizione si diversificasse tra queste due coorti di soggetti e se questo potesse essere un indicatore del funzionamento dei bambini. In particolare, il nostro interesse si è focalizzato sullo studio della pianificazione e del controllo del movimento sottostanti la corretta inibizione di un'azione motoria prepotente. Sono state formulate queste ipotesi di ricerca in quanto, essendo a conoscenza della presenza di deficit inibitori in soggetti con ADHD, riscontrata negli studi presenti in letteratura, il nostro obiettivo è stato quello di porci un'ulteriore domanda, ovvero in che modo si diversificasse la modalità di esecuzione di compiti inibitori tra i soggetti tipici e quelli aventi questo disturbo. Per cercare di dare una risposta ai nostri quesiti, è stato scelto lo studio della cinematica del movimento perché in letteratura non vi è la presenza di evidenze che l'hanno studiata, e comprendendola, è possibile intervenire per modificare non solo la risposta finale al compito (quindi la correttezza o meno della risposta), ma anche la modalità attraverso la quale si giunge alla risoluzione del compito. Studiando la cinematica, è stato possibile fare delle ulteriori inferenze sul profilo dei soggetti, al di là dell'accuratezza o meno della risposta.

1.3. Analisi del movimento: dalla pianificazione alla messa in atto

Il primo studioso ad aver fatto una distinzione tra pianificazione del movimento e controllo dello stesso è stato Woodworth, che nel 1889, con degli studi preliminari, ha inferito l'esistenza di due diversi sistemi deputati l'uno alla pianificazione, l'altro al controllo on-line del movimento. A seguito di numerosi studi e revisioni, Glover e collaboratori (2004) hanno teorizzato il modello della "Pianificazione-controllo", con il quale vengono suddivisi due sistemi sequenziali che consentono la messa in atto di un comportamento finalizzato (Glover, 2004).

In questo modello, la pianificazione è un sistema che opera prima della messa in atto del movimento, lo anticipa, pianificandolo appunto. Essa lavora ad alto livello, determinando obiettivi, sequenze di movimento, scelte per raggiungere lo scopo prefissato. Dipende da diversi fattori, come l'ambiente circostante all'azione da svolgere e lo stato interno del soggetto che svolge l'azione. Oltre ai processi di selezione, la pianificazione determina anche la sincronizzazione e la velocità del movimento finalizzato. Una volta che il movimento è stato pianificato e iniziato, entra in funzione il sistema di controllo, che, come dice la stessa denominazione, consente di controllare e modificare qualora fosse necessario, il movimento pre-pianificato. Si tratta di una verifica on-line che opera molto velocemente e che permette di correggere gli eventuali errori in relazione a ciò che accade nell'ambiente circostante e all'azione stessa (Glover, 2004).

Evidenze dimostrano come questo modello possa essere limitato ad un insieme di azioni, ma non possa essere applicato alla molteplicità di pattern motori caratterizzanti l'essere umano.

Longo e Bertenthal, in un loro elaborato, operano una distinzione tra azioni volontarie e azioni automatiche, che, sulla base dei loro studi sono regolate da sistemi diversi. Una ripartizione da fare è tra azioni dirette e azioni mediate, che sembrano essere influenzate anche da altri circuiti cerebrali come i neuroni specchio. Spesso, nei contesti ecologici la pianificazione non si limita solo a ciò che intende Glover nei suoi studi, dunque a selezionare e a mettere in atto un pattern motorio, ma anche ad inibire delle risposte che vengono automaticamente attivate dall'ambiente circostante. Quindi, sembra che i meccanismi alla base siano molto più complessi rispetto a ciò che viene espresso dal modello "Pianificazione-controllo" (Longo & Bertenthal, 2004).

Come si possono quantificare la pianificazione e il controllo?

In cinematica esistono diversi indici che consentono di misurare le diverse fasi del movimento. Nel nostro progetto di ricerca, ne abbiamo individuati alcuni che ci permettono di comprendere in che modo la pianificazione e il controllo del movimento si differenziano tra di loro in risposta a dei compiti comportamentali.

- "RT": il tempo di reazione, la fase che intercorre dalla comparsa dello stimolo all'avvio dell'attività.
- "MD": durata dell'azione, l'intervallo di tempo che trascorre dall'inizio del movimento al termine di esso.

- La percentuale di tempo che precede il picco di velocità (TPV%): è un indice di asimmetria che corrisponde al punto esatto in cui la curva del movimento ha il suo picco. Idealmente, se la curva è simmetrica il tempo di accelerazione del movimento e quello di decelerazione dello stesso sono uguali; dunque, graficamente il 50% della curva la troviamo a destra rispetto al picco di velocità e il 50% della curva a sinistra (Angeli et al., 2021).

A seconda del momento in cui si ha il picco di velocità rispetto alla durata totale del movimento (MD), si può inferire il tempo impiegato dal soggetto per la pianificazione del movimento e quello per il controllo: un TPV alto equivale a una decelerazione più breve e dunque ad una maggior necessità di pianificazione; viceversa una richiesta di controllo superiore (Angeli et al., 2021).

1.4. Cinematica del comportamento impulsivo

Con comportamento impulsivo si fa riferimento all'incapacità da parte di un soggetto di inibire una risposta sia in termini anticipatori che in relazione ad un evento esterno, dunque una risposta già attivata. Si definisce allo stesso modo la tendenza a dare una risposta molto rapida (Lage et al., 2012).

In soggetti sani in età adulta, un'alta impulsività può essere attribuita ad un mancato controllo inibitorio. In aggiunta, c'è anche una difficoltà ad ignorare le informazioni irrilevanti e a sopprimere i comportamenti inadeguati. Fa parte di questo costrutto l'incapacità di posticipare la gratificazione, che nel nostro caso è un elemento caratteristico del Disturbo da Deficit di Attenzione ed Iperattività ma anche ad esempio di persone con una dipendenza da gioco d'azzardo (con cui spesso vi è comorbidità) (Izzo et al., 2018). In letteratura questo fenomeno viene chiamato "Decision making impulsivo" o "Impulsività cognitiva" (Bechara & Van Der Linden, 2005).

Uno studio ha dimostrato che soggetti con un'alta impulsività hanno tempi di reazione maggiori rispetto ai poco impulsivi. È stato valutato utilizzando un compito di comparazione di figure dove i partecipanti dovevano scegliere se le figure presentate erano uguali tra di loro oppure no. Ciò che è emerso, oltre alle differenze nei tempi, è che vi era una maggior lentezza da parte dei soggetti impulsivi quando era presente un'incompatibilità tra stimolo e risposta, ad indicare l'utilizzo di una strategia diversa nella pianificazione del comportamento (Expósito & Andrés-Pueyo, 1997).

In generale è stato visto che chi ha maggiore impulsività è più veloce nel rispondere; dunque, la durata del movimento per dare la risposta è minore, seppur i tempi di

reazione tra la comparsa dello stimolo e l'inizio dell'azione siano più lenti. È presente anche una minor accuratezza rispetto alla controparte (Lage et al., 2012).

Recentemente due studi si sono occupati di misurare le differenze nei movimenti tra i soggetti con diversi livelli di impulsività. In entrambe le evidenze sono state fatte delle analisi cinematiche del movimento per andare a misurarle in relazione al compito da svolgere, così da poter cronometrare precisamente i tempi dell'azione (Lemke, 2005; Lemke et al., 2005). È stato utilizzato un compito "Go-No-Go" a cui, oltre alle due condizioni classiche è stato aggiunto un terzo stimolo distrattore, per comprenderne l'influenza. I risultati ci dicono come le discrepanze tra i due gruppi debbano essere ricondotte alla parte del movimento pre-programmata (quindi alla pianificazione), anche se non sono stati analizzati gli aggiustamenti post picco di velocità (come, ad esempio, il controllo post-errore).

Adulti sani risultanti avere un'alta impulsività misurata da un questionario self report, hanno dimostrato un minor tempo per raggiungere il picco di velocità nel movimento rispetto ai meno impulsivi, dunque un minor tempo di programmazione rispetto agli altri.

Leage e collaboratori si sono chiesti se gli impulsivi potessero dimostrare una maggiore difficoltà nel sopprimere le risposte prepotenti (2012). Quello che ci si poteva aspettare è che questi commettessero più errori in un compito "Go-No-Go" nella condizione "No-Go", dove era necessario inibire. È possibile anche che gli impulsivi che hanno una risposta molto rapida pre-programmino la stessa ma si trovino obbligati a riorganizzare il movimento qualora ci fosse un cambiamento nella condizione (da qui una maggiore lunghezza del movimento e diversi picchi di

velocità). Quello che è emerso è che i poco impulsivi hanno dimostrato una programmazione del movimento più lunga rispetto al controllo. Sorprendentemente, non sono state trovate differenze nel picco di velocità, anche se non sono state condotte delle analisi approfondite e non sono stati presi in considerazione gli aggiustamenti nel movimento.

In termini motori, gli autori hanno osservato che i soggetti impulsivi sono meno abili a inibire la risposta. È stato visto poi che nella condizione di controllo questi soggetti risultavano meno accurati rispetto all'altro gruppo, anche se a mano a mano che il compito si faceva più difficile l'accuratezza aumentava, probabilmente a significare una maggior pre-programmazione vista la difficoltà. Questo rinforza la tesi che le performance sono influenzate dal contesto (Lage et al., 2012).

E nel Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività dove l'impulsività è un fattore centrale? I bambini con ADHD hanno uno sviluppo motorio e comportamentale atipico, come una più lenta performance in compiti cronometrati, una larga variabilità nella velocità dell'esecuzione del compito e una carente capacità di movimento fine (Yan & Thomas, 2002). Yan e Thomas in un loro studio (2002) hanno analizzato le traiettorie del movimento del braccio in bambini con ADHD e tipici e hanno visto che quest'ultimi hanno una curva simmetrica nella velocità, mentre gli altri hanno movimenti più lunghi, più numerosi picchi di velocità e più alta variabilità nel movimento (Yan & Thomas, 2002). Questo potrebbe significare che i bambini tipici programmano e controllano il movimento per la stessa quantità di tempo, mentre i bimbi con iperattività controllano il movimento online; dunque, mentre svolgono l'azione e quindi la curva cinematica non è simmetrica.

Klimkeit e collaboratori affermano che i soggetti con Deficit di Attenzione ed Iperattività sono più lenti rispetto ai tipici nel dare una risposta premendo un bottone ma non differiscono nel tempo di esecuzione del movimento di risposta (Klimkeit et al., 2005). Sono inoltre più lenti nella preparazione motoria, ma non più lenti nella risposta (Eliasson et al., 2007).

L'analisi cinematica risulta quindi uno strumento fondamentale per lo studio di pianificazione e controllo motorio, e consente di capire come questi meccanismi sono associati a traiettorie di sviluppo atipico e manifestazioni cliniche come l'impulsività che caratterizza l'ADHD.

1.5. Meccanismi associati a difficoltà di inibizione motoria

Nel comportamento umano, esistono dei movimenti non controllati associati a difficoltà di inibizione motoria: le stereotipie motorie. Con questo termine si intende un insieme di movimenti involontari, ripetitivi, ritmici, coordinati e non intenzionali, anche se, a volte, sembrano avere uno scopo (Muthugovindan & Singer, 2009). Solitamente le prime manifestazioni emergono entro i tre anni di età; sono movimenti parossistici della durata da pochi secondi a diversi minuti, sono presenti più volte al giorno e hanno dei pattern fissi. Non sono uguali per ogni bambino, ma ognuno ha il proprio repertorio. I comportamenti ripetitivi stereotipati sono comuni in bambini con Disturbo dello Spettro dell'Autismo, ADHD, ritardo mentale e deprivazioni sensoriali, ma allo stesso modo vengono riscontrati anche in bambini con sviluppo tipico (Muthugovindan & Singer, 2009).

Vista la cospicua presenza di ricerche in letteratura che affermano la presenza di difficoltà inibitorie a carico di bambini con ADHD ci siamo chiesti se ci potesse essere un'associazione tra i deficit inibitori tipici del disturbo e la presenza di comportamenti ripetitivi e stereotipati. Ciò che già si sa, è che le stereotipie non sono un pattern comportamentale tipico dell'ADHD, ma sono state trovate delle associazioni tra i sintomi tipici del disturbo e la presenza delle stesse nei bimbi (Brierley et al., 2021). Nello specifico, utilizzando come scala di valutazione la Repetitive Behaviour Scale – Revised (RBS-R, 2000), è stata riscontrata una sovrapposizione tra i comportamenti dei bambini con Disturbo dello Spettro dell'Autismo e ADHD, constatando la presenza

in entrambi i gruppi di stereotipi motorie, comportamenti autolesivi, compulsioni e aderenza alle routine (Brierley et al., 2021). Abbiamo voluto investigare quindi in che modo la presenza di questi comportamenti potesse essere associata alla performance in un compito di inibizione della risposta prepotente.

Un altro meccanismo che abbiamo voluto esplorare per comprenderne l'influenza è il profilo sensoriale, termine con il quale si fa riferimento all'abilità del sistema nervoso centrale di assimilare, processare e organizzare risposte appropriate alle informazioni provenienti dall'ambiente. Avere una elaborazione sensoriale atipico potrebbe andare ad inficiare la capacità di adattamento al contesto quotidiano, all'ambiente circostante, alle competenze sociali ed emotive fino ad influenzare l'apprendimento, le emozioni e l'attenzione (Shimizu et al., 2014).

Tipicamente, deficit a carico di questo sistema sono presenti nei bambini con disturbo dello spettro dell'autismo, ma evidenze mostrano delle differenze nei processi sensoriali anche nei bambini ADHD. Dunn e Bennet (2002), utilizzando il Sensory Profile, un questionario somministrato ai genitori, hanno riportato delle differenze sensoriali in tutti i 14 ambiti esplorati dal questionario, tra i quali il tatto, l'elaborazione uditiva, le risposte sociali e gli outcome comportamentali (Dunn & Bennett, 2002).

Shimizu e colleghi (2014), per approfondire ciò che già era stato constatato da Dunn nel 2002, hanno somministrato diversi questionari (WISC-III, CCPT, AWMA, BRIEF, CBCL, SSP) a 74 bambini tipici e 37 con ADHD. I risultati ottenuti mostravano differenze in 11 su 14 sezioni dello "Short Sensory Profile- SSP" (versione ridotta del "Sensory Profile" utilizzato da Dunn e Bennet), dove i punteggi del gruppo atipico erano inferiori rispetto al controllo; differenze di punteggio sono state osservate

in 7 di 9 fattori della stessa scala escludendo i domini di “Sensibilità orale” e “Sensibilità sensoriale”. Sono emersi profili diversi in tutti e 4 i pattern di risposta esaminati dal questionario: “Evitamento della situazione”, “Sensation Seeking”, “Sensibilità sensoriale” e “Scarsa risposta agli stimoli”. Sono stati appurati anche deficit in risposte emotive e sociali e reazioni emotive difformi. Tutto ciò in associazione alla presenza di comportamenti non adattivi (Shimizu et al., 2014).

Infine, per esplorare in toto il funzionamento esecutivo, abbiamo utilizzato la scala EF-Q (Schweiger & Marzocchi, 2008) nella versione italiana per genitori (ne esiste una versione anche per gli insegnanti), in modo tale da avere un quadro completo delle capacità esecutive dei partecipanti allo studio e comparare il compito motorio da noi somministrato a ciò che è emerso dai questionari.

2. Metodo

2.1 Obiettivi

Lo studio in questione si propone di indagare i meccanismi sottostanti allo sviluppo di comportamenti, scelte e interessi analizzandoli in un gruppo di bambini con Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività. A partire dalle evidenze presenti in letteratura che specificano la presenza di deficit inibitori a carico dei soggetti ADHD, ci siamo chiesti se e come questi potessero andare a differenziare le performance dei bambini ADHD rispetto ad un gruppo di controllo tipico. Nello specifico, utilizzando un compito “*Go-No-Go*” rivisitato, abbiamo voluto indagare in cosa si potessero distinguere i bambini ADHD da quelli tipici durante l’inibizione di risposte prepotenti. A partire da queste domande iniziali, ci siamo concentrati sull’analisi del movimento dei due gruppi, rilevato tramite l’accelerometro, per comprendere se venissero utilizzate delle strategie di pianificazione e controllo motorio differenti in relazione allo stesso compito e se queste potessero essere influenzate dall’età dei soggetti. Grazie alla somministrazione di diversi questionari ai genitori del gruppo ADHD, abbiamo potuto esplorare anche se ci potessero essere dei risultati preliminari che suggerissero delle relazioni tra performance motorie e presenza di stereotipie, deficit sensoriali e funzionamento esecutivo.

2.2. Partecipanti

Lo studio ha coinvolto due gruppi di bambini, uno con sviluppo tipico e uno con Deficit di Attenzione ed Iperattività. Il gruppo ADHD è composto da 17 bambini e ragazzi (4 femmine) dai 6 ai 15 anni ($M=9.4$, $SD=2.2$), (Tabella 1). Di questo gruppo abbiamo ottenuto informazioni sulla diagnosi, sulle comorbidità e sul QI dalle valutazioni neuropsicologiche svolte dal centro di riferimento. Di alcuni bambini non possediamo informazioni sul quoziente intellettivo perché la valutazione neuropsicologica non era stata ancora conclusa. Nel controllo tipico (TD) hanno partecipato 26 bambini (10 femmine), dai 6 ai 13 anni ($M=9.2$, $SD=2.1$). Abbiamo dovuto escludere dai partecipanti 3 bambini (2 nel gruppo ADHD e 1 nel gruppo TD) per dei problemi tecnici che non hanno consentito loro di completare almeno il 50% dei trial proposti. Sono stati selezionati solo bambini privi di alcuna forma di daltonismo, in quanto sarebbe andato ad inficiare la capacità dei bambini di discriminare gli stimoli sulla base dei quali è costruito il compito di inibizione.

Codice identificativo	Età	Diagnosi	QI
100	10	Disturbo da Deficit di Attenzione con Iperattività, sottotipo combinato, di grado moderato (F90.0), Disturbo specifico della lettura (dislessia) di grado severo (F81.0), Disturbo Evolutivo Espressivo della Scrittura (Disgrafia) (F81.8), di grado moderato	82
101	11	Disturbo da Deficit di Attenzione-Iperattività (F90.0)	

102	15	Disturbo da deficit di attenzione-Iperattività, sottotipo combinato (F90.0). Disturbo specifico della Lettura (F81.0) di grado moderato, disturbo specifico della scrittura (F81.1) di grado moderato, sindrome Ansiosa Generalizzata dell'infanzia (F93.80)	81
104	12	Disturbo da Deficit di Attenzione-Iperattività (F90.0)	123
105	8	Disturbo da Deficit di Attenzione-Iperattività, sottotipo combinato, di grado moderato (F90.0)	102
106	10	Disturbo da deficit di Attenzione-Iperattività, sottotipo combinato (F90.0) di grado moderato	93
108	12	Disturbo da Deficit di Attenzione-Iperattività, sottotipo combinato (F90.0), di grado moderato. Disturbo specifico della Lettura (F81.0), di grado severo	
109	8	Profilo caratterizzato da funzionamento cognitivo molto superiore rispetto alla norma (gifted), associate a marcate difficoltà di autoregolazione attentiva, comportamentale e vulnerabilità emotiva.	140
110	9	Disturbo da Deficit di Attenzione-Iperattività, sottotipo combinato, di grado moderato (F90.0)	99
111	10	Disturbo da deficit dell'Attenzione-Iperattività, sottotipo disattento (F90.0) di grado moderato. Disturbo specifico della Lettura, di grado moderato (F81.0)	88
112	11	Disturbo da Deficit di Attenzione con Iperattività, sottotipo combinato di grado moderato (F90.0). Fobia scolare (F40.2).	94

		Disturbo specifico della Compitazione (disortografia) di grado moderato (F81.1)	
113	9	Disturbo da Deficit di Attenzione con Iperattività, sottotipo combinato, di grado moderato (F90.0)	110
116	12	Disturbo da Deficit di attenzione- iperattività, sottotipo disattento (F90.0) di grado moderato	112
117	7	Disturbo da deficit di attenzione-iperattività, sottotipo combinati (F90.0) di grado moderato	130
118	13	Disturbo da deficit di attenzione-iperattività, sottotipo disattento, di grado lieve (F90.0). Disturbo specifico della lettura (dislessia) di grado severo (F81.0)	109
119	7	Disturbo da deficit di attenzione-iperattività sottotipo combinato (F90.0) Di grado moderato	102
120	9	Disturbo specifico della lettura (F81.0) di grado severo; disturbo da deficit di attenzione senza iperattività (F98.8) di grado moderato	113

Tabella 1. Partecipanti ADHD, età, comorbidità e QI.

2.3. Procedura

I due gruppi di partecipanti (TD e ADHD) hanno svolto il compito in due sedi diverse: i bambini con Deficit dell'Attenzione/Iperattività sono stati incontrati in un centro specializzato per questo tipo di disturbo a Fiesso D'Artico (VE) mentre il gruppo di controllo tipico è stato testato in diversi Paesi della Provincia di Udine. Tutti i partecipanti allo studio, prima di iniziare il compito, hanno avuto l'autorizzazione dei genitori tramite la firma del consenso informato. La ricerca è stata approvata dal Comitato Etico locale dell'area 17.

I bambini sono stati fatti accomodare ad un tavolo, in una stanza luminosa e silenziosa, priva di elementi di potenziale distrazione e senza altre persone oltre al somministratore del compito. Gli è stato poi fatto indossare al polso della mano dominante l'accelerometro, strumento che ha consentito la misurazione dell'accelerazione del movimento. A seguire, è stato chiesto loro di poggiare la mano dominante nella posizione di partenza, dove era presente un sensore di presenza posto ad una specifica distanza dallo schermo touch del computer, in modo tale che il braccio del partecipante fosse completamente disteso per toccare lo schermo (*Figura 1*). È stato quindi poi presentato il compito di inibizione, una versione del "Go-No-Go" rivisitata in modo tale da poter avere una misura cinematica anche della risposta non dominante. Il compito ha misurato la capacità dei partecipanti di selezionare la risposta dominante oppure quella alternativa. Durante tutta la durata del compito, i movimenti dei bambini sono stati monitorati dall'accelerometro a 3 assi posto sul polso della mano dominante. La procedura aveva la durata di circa 15 minuti.

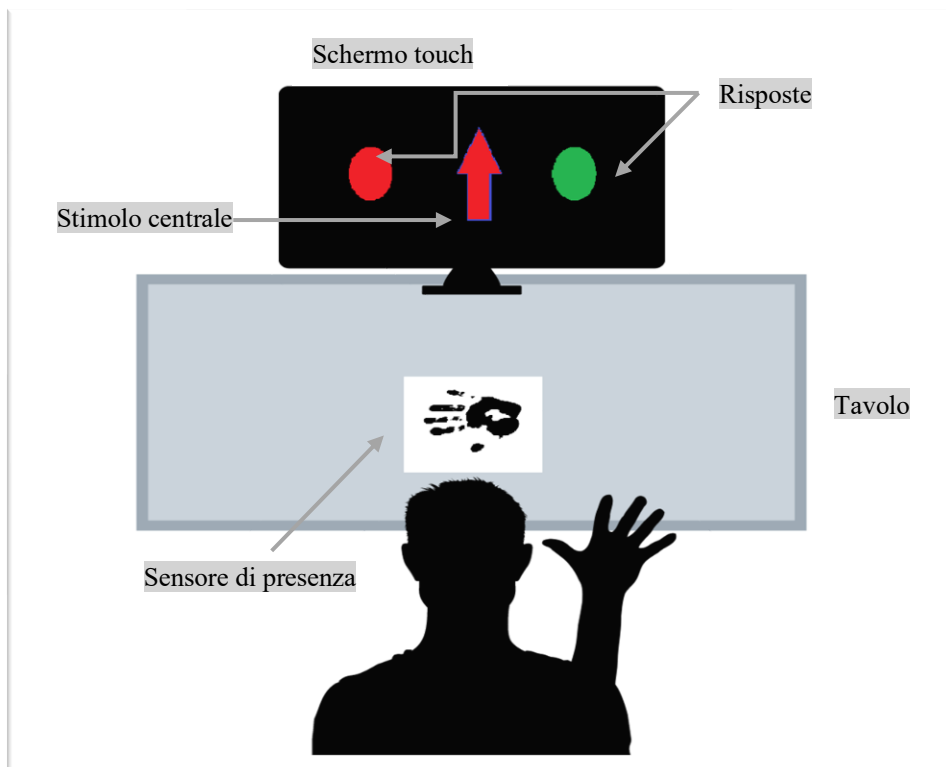


Figura 1. Set-up sperimentale (immagine realizzata con Canva (canva.com, s.d.))

2.4 Apparato sperimentale

In questo studio, per poter misurare la cinematica dei movimenti dei partecipanti, è stato utilizzato uno strumento semplice da utilizzare, leggero e relativamente economico: un accelerometro da polso, oggetto molto simile ad un orologio. Nello specifico è stato impiegato GENEActiv Original, accelerometro a 3 assi (misure: 43 mm × 40 mm × 13 mm, peso senza cinturino: 16 g). Lo strumento misura l'accelerazione grazie ad un sensore MEMS, in un intervallo ± 8 g, con una risoluzione a 12 bit (3.9 mg) e ha una frequenza di registrazione di 100Hz.

Per poter somministrare il compito, è stato utilizzato un computer portatile (Lenovo G50-80, Intel Core i5-5200U (2.2 GHz), 4 GB DDR3L SDRAM, 500 GB HDD, 15.6" HD LED (1366 × 768), Intel HD Graphics 5500, Windows 10 64-bit), nel quale è stata installata un'applicazione basata su JavaFX. I partecipanti hanno potuto rispondere al compito toccando uno schermo touch da 19 pollici (LG-T1910BP, tempo di risposta 5 ms). Il sensore posto al punto di partenza per rilevare la presenza della mano è stato personalizzato a partire dal modello di Arduino Leonardo e funziona da tastiera inviando i dati al computer tramite una porta USB. È connesso ad un condensatore di terra (100pF) e ad un sensore composto da un foglio di rame avvolto da una copertura di plastica (dimensione 20 x 12 cm, spessore 0,1 mm). Il programma del sensore di presenza è stato scritto utilizzando la libreria di rilevamento: la Arduino Capacitive Sensing Library.

2.5 Il compito

Per misurare l'inibizione alla risposta prepotente, in questo studio è stato utilizzato un adattamento del compito classico "Go-No-Go".

Nella nostra rivisitazione, sono state utilizzate come stimolo centrale delle frecce, che potevano essere rosse o verdi e potevano essere rivolte verso l'alto o verso il basso. Ai partecipanti è stato chiesto di selezionare e premere una delle due risposte (un cerchio rosso o un cerchio verde) poste ai lati della freccia centrale. È stato quindi comunicato di scegliere la risposta dello stesso colore dello stimolo centrale quando la freccia puntava verso l'alto/ verso il basso (il tipo di istruzione è stato controbilanciato tra partecipanti), (risposta dominante); viceversa è stato detto loro di premere la risposta con il colore opposto allo stimolo centrale quando la freccia puntava nella direzione opposta (quindi o verso l'alto o verso il basso, sempre controbilanciato tra partecipanti) (risposta non dominante) (*Figura 2*).

Il compito è stato costruito nel seguente modo: la probabilità di dover dare la risposta dominante è stata messa al 75%; al contrario, la probabilità di comparsa di risposta non dominante era del 25%. In questo modo, siamo stati in grado di misurare la cinematica sia del movimento dominante che di quello non dominante. Il tempo di risposta massima era stato fissato a 2,000ms, a seguito del quale la risposta veniva ritenuta omessa. Nel momento in cui i partecipanti alzavano la mano dal sensore prima che il compito apparisse sullo schermo, questo veniva definito dal programma "anticipazione" e il sistema passava allo stimolo successivo, eliminandolo. Ogni partecipante ha svolto un minimo di 160 trial validi (comprendenti le risposte sia corrette che non corrette) fino ad un massimo di 180 qualora ci fossero state delle

omissioni o anticipazioni. Per scelta, decisa a priori, non sono stati somministrati più di 180 stimoli. I trials sono stati suddivisi in due blocchi, a seconda della posizione della risposta verde/rossa situata sulla destra o sulla sinistra dello schermo touch. Per mantenere l'attenzione dei partecipanti sono stati utilizzati dei brevi video di cartoni animati della durata di 30 secondi ogni 40 trial.

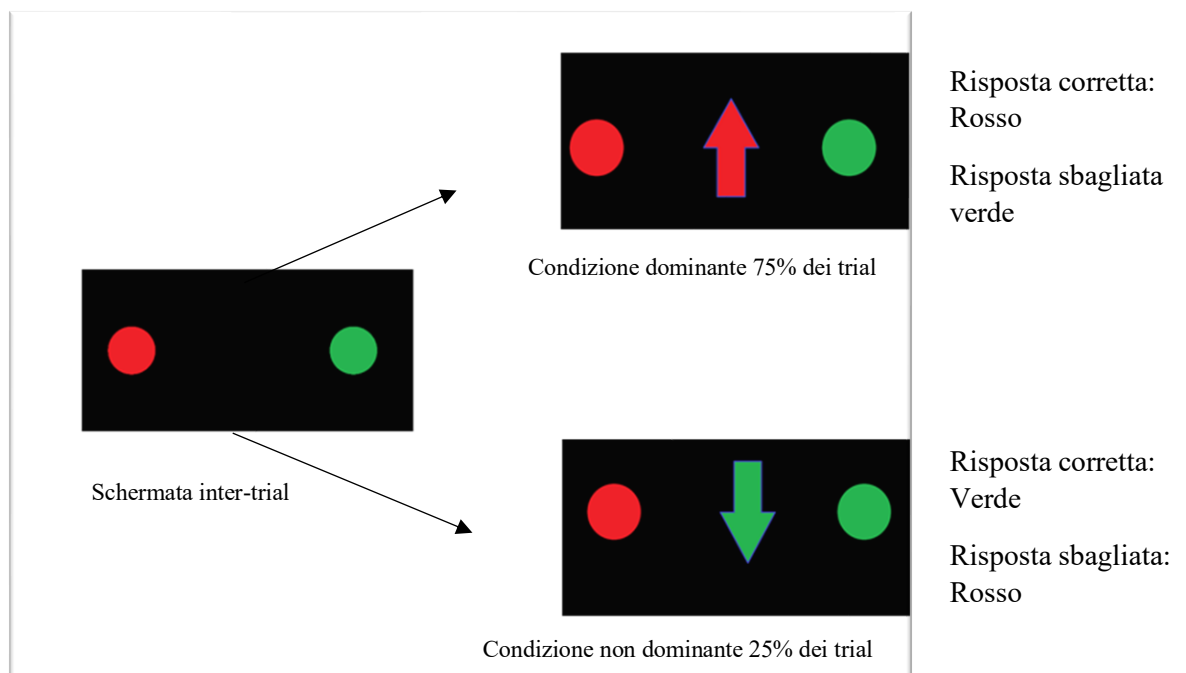


Figura 2. Esempio compito di inibizione

2.6. I questionari

Ai genitori dei bambini del gruppo ADHD, contestualmente al compito svolto dai figli, sono stati fatti compilare tre diversi questionari per valutare la possibile influenza di stereotipie, funzionamento esecutivo e profilo sensoriale sulla prestazione al compito sperimentale. I questionari somministrati sono stati i seguenti:

- RRB2: “The Repetitive Behavior Scale Revised” è un questionario per valutare la presenza e la gravità di stereotipie. È stata utilizzata la versione italiana a cura di F. Muratori e S. Calderoni. Si tratta di una scala che va a studiare diversi tipi di comportamenti, suddivisibili in comportamenti di basso livello che includono i movimenti stereotipati, la manipolazione ripetitiva di oggetti, il comportamento auto aggressivo e i comportamenti di alto livello dove troviamo l’attaccamento agli oggetti, il linguaggio ripetitivo, l’aderenza alle routine e gli interessi circoscritti. È una scala Likert a 4 punti (0=comportamento assente; 3= comportamento messo in atto spesso creando problemi). Gli item sono raggruppati in 6 sotto scale: “Comportamento stereotipato”, “Auto-aggressività”, “Comportamento compulsivo”, “Comportamento ritualistico”, “Immodificabilità del comportamento” e “Interessi ristretti”. È presente anche un punteggio generale dato dai genitori che va da 1-100 riguardo alla percezione del funzionamento del proprio figlio (Fulceri et al., 2016).
- SSP: “Short Sensory Profile”, un questionario sul profilo sensoriale che ha come obiettivo quello di indagare le risposte tipiche nella ricerca di stimolazioni sensoriali. Gli item sono suddivisi in 7 sotto scale: “Sensibilità

tattile”, “Sensibilità gustativa/olfattiva”, “Sensibilità al movimento”, “Iporesponsività/ricerca di sensazioni”, “Filtraggio uditivo”, “Bassa energia/debolezza”, “Sensibilità visiva/uditiva”. È una scala Likert a 5 punti compilata dal genitore (1=sempre: il bambino risponde con questa modalità il 100% delle volte; 5=mai: il bambino risponde con questa modalità lo 0% delle volte). È stata utilizzata la versione italiana.

- “EFQ”: questionario che misura il funzionamento esecutivo nella versione italiana per genitori. Questo consiste in 32 item che descrivono il comportamento dei bambini in diverse circostanze, suddiviso in 8 sotto scale con 4 item per scala: “Inibizione”, “Shifting”, “Controllo emotivo”, “Iniziativa”, “Attenzione”, “Planning”, “Organizzazione dei materiali” e “Automonitoraggio”. È una scala Likert a 5 punti (1= per niente; 5=molto). Il punteggio totale è dato dalla somma di tutti i punteggi delle sotto scale. Il punteggio massimo è di 20 per ogni sottoscala (Crippa et al., 2015).

2.7. Analisi dei dati

I partecipanti hanno fornito 6576 risposte valide. Sono state escluse le risposte dove l'RT o l'MD era inferiore a 100ms, perché definibili come anticipazioni. Le risposte dove il TPV era fuori dall'intervallo tra il 5-95% del tempo del movimento sono state escluse considerandole come movimenti esterni al compito. Dopo l'esclusione di questi trial ($217/6576=3.3\%$), il dataset finale è costituito da 6359 osservazioni.

Per analizzare le performance dei partecipanti abbiamo considerato 4 variabili dipendenti.

- **L'accuratezza** che indica la percentuale delle risposte corrette sul numero totale delle risposte valide (dopo aver scartato anticipazioni e omissioni);
- **RT (reaction time)** misura il tempo che trascorre dall'apparizione dello stimolo centrale all'inizio del movimento (quando la mano viene alzata dal sensore di presenza);
- **MD (movement duration)** misura la durata del movimento (da quando viene alzata la mano dal sensore a quando viene data la risposta);
- **TPV (time to peak velocity)** che è la percentuale di durata del movimento passata dall'inizio dello stesso al picco di velocità.

La calibrazione e la pre-elaborazione dei dati di accelerazione grezzi, nonché il calcolo dei valori TPV sono stati condotti seguendo i passaggi riportati in un lavoro precedente (Angeli et al., 2021).

Per quanto riguarda il metodo statistico, è stato scelto un approccio esplorativo per testare diverse ipotesi potenziali che collegano ciascuna variabile dipendente ai predittori di interesse. Utilizzando criteri di informazione (Wagenmakers & Farrell,

2004), è stata valutata la significatività statistica delle diverse ipotesi di ricerca, che sono state specificate come dei modelli statistici separati e messi a confronto tra di loro. Sono stati impiegati i modelli generalizzati ad effetti fissi per tenere conto del design a misure ripetute dell'esperimento (cioè, prove raggruppate per ognuno dei partecipanti) e per specificare la distribuzione di ciascuna variabile dipendente. Per ogni variabile dipendente è stato messo a confronto un insieme di modelli attraverso i pesi Akaike (ovvero la probabilità di ciascun modello, dati i dati e l'insieme dei modelli considerati), utilizzando il pacchetto “*AICcmodavg*” (Wagenmakers & Farrell, 2004) in *R*.

Per confrontare i modelli scelti e testare gli effetti previsti dal modello migliore sono stati utilizzati i “*Likelihood ratio tests*”. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite con *R* (R Development Core Team, 2008).

Abbiamo studiato separatamente se e come ciascuna variabile dipendente (Accuratezza, RT, MD, TPV) potesse essere influenzata dagli effetti fissi di: Condizione (within-subjects, fattore categoriale a due livelli: dominante contro non dominante), Gruppo (between-subjects, fattore categoriale a due livelli ADHD contro TD) ed Età (variabile numerica continua). Tutti i modelli hanno tenuto conto dell'effetto casuale dei partecipanti (cioè la variabilità interpersonale). Abbiamo considerato i cinque modelli che seguono.

- ***M0*** (modello nullo): non c'è differenza tra le variabili indipendenti, la variabilità è dovuta solamente alle differenze individuali dei partecipanti;
- ***M1***: ha specificato l'ipotesi di un effetto dato dalla Condizione;

- **M2**: ha specificato l'ipotesi di Condizione + Gruppo (dominante vs non dominante + ADHD vs TD);
- **M3**: ha specificato l'ipotesi Condizione + Gruppo + Età (dominante vs non dominante + ADHD vs TD + Età);
- **M4**: ha specificato l'ipotesi dell'interazione a due vie tra Condizione * Gruppo, aggiunto all'effetto dell'Età.

2.8. Risultati

Accuratezza

I bambini con ADHD hanno fornito 2234 risposte corrette e 137 errate. I bambini TD hanno fornito 3777 risposte corrette e 211 errate (le percentuali di risposte corrette in base al Gruppo e alla Condizione sono riportate nella *Tabella 2*).

Group	Condition	Accuracy	
		Mean	SD
ADHD	Dominant	98	3
	Non-dominant	82	16
TD	Dominant	98	2
	Non-dominant	85	11

Tabella 2: statistiche descrittive di accuratezza, % di risposte corrette (nADHD=17; nTD=26)

Il confronto tra i modelli è stato eseguito con il pacchetto “*glmmTMB29*” in *R*.

È stata utilizzata la distribuzione binomiale per tenere conto della natura binaria della variabile dipendente (1 = corretta; 0 = errata). Secondo AIC, il miglior modello è stato *MI* (AICcWt = 0,41; $\chi^2 = 369,3$; $p < .001$), che ha rivelato un effetto significativo della Condizione ($p < .001$). Come si può vedere nella *Figura 3*, la precisione è stata ridotta nella condizione non dominante.

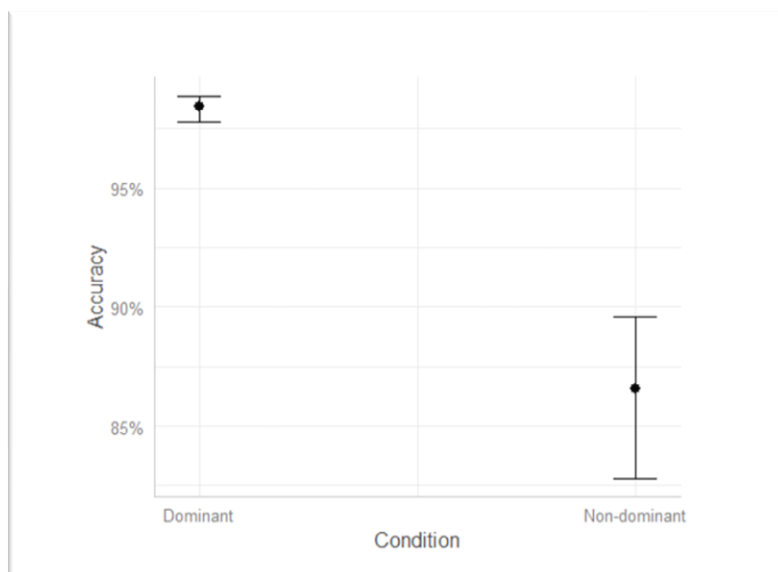


Figura 3. Effetto condizione sull'accuratezza ($n_{\text{trials}}=6359$, $n_{\text{ADHD}}=17$, $n_{\text{TD}}=26$)

Misure cinematiche

Abbiamo ulteriormente esplorato le caratteristiche cinematiche delle risposte corrette per indagare se, al di là dell'accuratezza, i bambini con ADHD avessero potuto mostrare sottili atipicità motorie. Le medie e le deviazioni standard di RT, MD e TPV delle risposte corrette in ciascuna condizione e gruppo sono riportate nella *Tabella 3*.

Group	Condition	RT		MD		TPV	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
ADHD	Dominant	0.65 2	0.21 1	0.56 5	0.21 7	0.44 7	0.18 2
	Non-dominant	0.65 3	0.21 7	0.73 4	0.24 2	0.45 6	0.22 8
TD	Dominant	0.69 1	0.19 8	0.51 4	0.19 0	0.46 0	0.17 5
	Non-dominant	0.71 6	0.21 7	0.65 6	0.24 2	0.50 4	0.21 5

Tabella 3: statistiche descrittive delle risposte corrette in secondi ($n_{\text{ADHD}}=17$; $n_{\text{TD}}=26$)

RT

Il confronto del modello è stato eseguito con la funzione “*glmer*” del pacchetto “*lme430*” in *R*. È stata scelta la distribuzione Gamma per tenere conto dell’asimmetria positiva della variabile dipendente. Secondo AIC, il miglior modello è stato **M4** (AICcWt = 0,77; $\chi^2 = 4,9$; $p = .03$), che ha rivelato un’interazione significativa tra Condizione e Gruppo ($p = .03$) e un effetto significativo dell’Età ($p < .001$). Come visualizzato nella *Figura 4*, i bambini TD hanno mostrato un aumento dell’RT nella condizione “Non dominante” rispetto a quella “Dominante”, dedicando così più tempo alla pianificazione motoria quando la risposta richiedeva l’inibizione. Questo pattern non era presente nei bambini con ADHD, che non hanno differenziato l’RT a seconda della condizione. Inoltre, esiste una correlazione negativa tra RT ed età, con l’RT che diminuisce all’aumentare dell’età, indipendentemente dal gruppo.

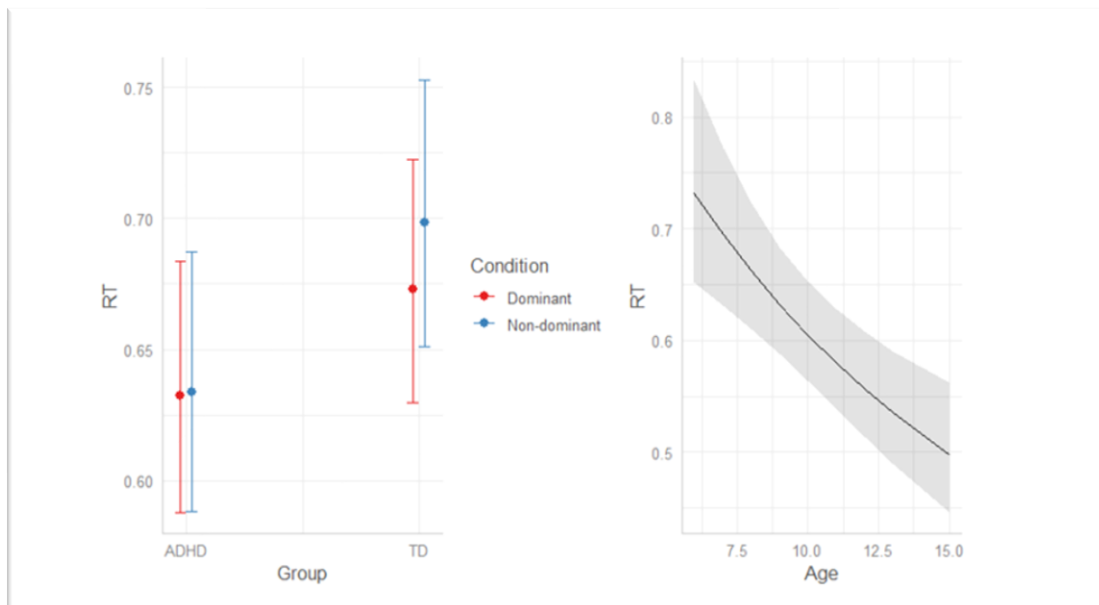


Figura 4. Effetti Condizione*Gruppo e Età sull’ RT ($n_{\text{Trial}}=6011$, $n_{\text{ADHD}}=17$, $n_{\text{TD}}=26$)

MD

Il confronto del modello è stato eseguito con la funzione “*glmer*” del pacchetto “*lme430*” in R. È stata scelta anche qui la distribuzione Gamma per tenere conto dell’asimmetria positiva della variabile dipendente. Secondo AIC, il miglior modello era **M2** (AICcWt = 0.44; $\chi^2 = 2.7$; $p = .1$), che ha rivelato un effetto significativo della Condizione ($p < .001$) e un effetto non significativo di Gruppo ($p = .09$). Come visualizzato nella *Figura 5*, l’MD è aumentato nella condizione “Non dominante” e tendeva a ridursi in TD rispetto ai bambini con ADHD.

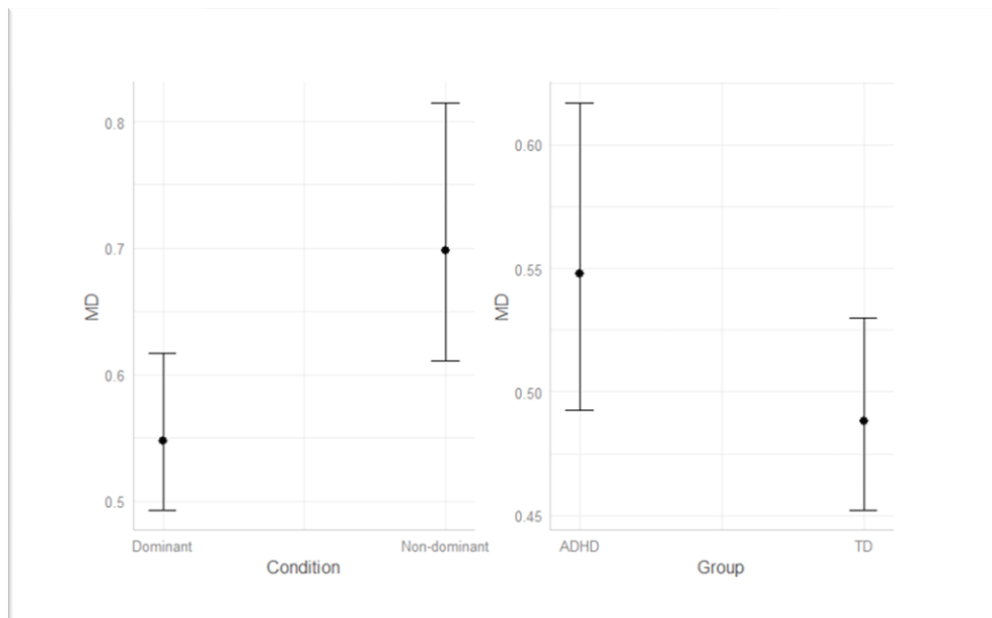


Figura 5. Effetto di Condizione e gruppo su MD (ntrials = 6011, nADHD = 17, nTD = 26)

TPV

Il confronto dei modelli è stato eseguito con il pacchetto “*glmmTMB29*” in R. È stata selezionata questa volta la distribuzione Beta per tenere conto della natura della variabile dipendente (proporzioni continue sull'intervallo 0:1). Secondo AIC, il miglior modello è stato **M4** (AICcWt = 0,47; $\chi^2 = 8,3$; $p = .004$), che ha rivelato un'interazione significativa tra Condizione e Gruppo ($p = .004$) e un effetto non significativo dell'Età ($p = .3$). Come si può osservare nella *Figura 6*, i bambini con TD hanno mostrato un aumento del TPV nella condizione “Non dominante” rispetto a quella “Dominante”, dedicando così più tempo alla pianificazione motoria quando la risposta richiedeva l'inibizione. Questo modello non era presente nei bambini con ADHD, che non hanno differenziato il TPV a seconda della condizione.

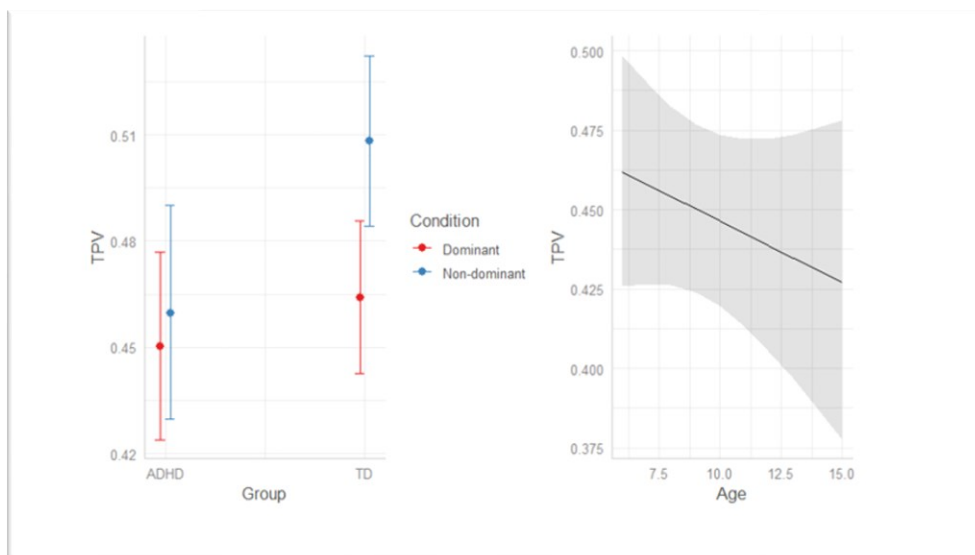


Figura 6. Effetti Condizione * Gruppo e Età sul TPV ($n_{\text{trials}} = 6011$, $n_{\text{ADHD}} = 17$, $n_{\text{TD}} = 26$).

Correlazioni tra punteggi ai questionari e indici cinematici

Per poter esplorare se ci potessero essere delle relazioni tra performance al compito dei bambini ADHD e i domini esplorati dai questionari, abbiamo costruito una matrice di correlazione inserendo all'interno solamente i partecipanti ADHD di cui avevamo a disposizione tutti i dati, per un totale di 11 bambini. La matrice di correlazione è stata costruita con il metodo *Spearman*, (misura statistica utilizzata per lo studio di variabili non parametriche) e ingloba al suo interno le misure di RT, MD, TPV, l'Età, i QI, i punteggi totali allo "Short Sensory Profile", al questionario "Q-FE" e alla scala "RBS-R" sia totali, che di alto e basso livello (come spiegato precedentemente, i domini esplorati da questo test possono essere suddivisi in due livelli, che esplorano abilità diverse). Quando si fa riferimento ai punteggi di basso livello ci si riferisce agli scoring ottenuti dalle sotto scale riguardanti i movimenti stereotipati, la manipolazione ripetitiva di oggetti e il comportamento auto-aggressivo. I punteggi di alto livello invece riguardano l'attaccamento agli oggetti, il linguaggio ripetitivo, l'aderenza alle routine e gli interessi circoscritti (Fulceri et al., 2016). Ricordiamo che, punteggi maggiori alla "SSP" corrispondono ad un funzionamento migliore; punteggi più alti al questionario sulle funzioni esecutive corrispondono ad un miglior funzionamento; punteggi maggiori alla "RBS-R" corrispondono a profili peggiori, quindi un numero elevato di stereotipie.

Sono stati inseriti nell'analisi correlazionale anche gli indici cinematici, così da esplorare le possibili influenze delle diverse variabili. Specificatamente, nella nostra matrice abbiamo inserito MD, RT, e TPV con la dicitura: "Tot" ad indicare come per ogni partecipante sia stato calcolato il valore medio di quello specifico indice globale a prescindere dalla condizione; nella dicitura "Nondom-dom" è stata calcolata per ogni

partecipante la differenza media di quell'indice nelle due condizioni ("Dominante" o "Non Dominante"). Maggiore è la differenza, maggiore è l'effetto condizione sul dato indice.

Prima di andare ad analizzare le diverse correlazioni individuate, è bene premettere che, con un campione così piccolo, ciò che abbiamo esplorato e inferito può essere definito solamente un risultato preliminare, dal quale poi, ampliando il campione possono essere tratte delle conclusioni più precise.

Nella *Figura 7*, possiamo osservare la nostra matrice di correlazione, dove il colore blu indica una correlazione negativa (all'aumentare di una variabile diminuisce l'altra presa in considerazione) mentre il colore rosso indica una correlazione positiva (all'aumentare di una variabile aumenta anche l'altra). Più intenso è il colore, più forte è la correlazione.

Analizzando i nostri dati osserviamo che:

- Punteggi ottenuti dalla SSP correlano positivamente con il funzionamento esecutivo mentre negativamente con i punteggi sia di alto livello, che di basso livello, che totali alla RBS-R; troviamo una correlazione negativa anche con il QI. C'è invece una correlazione positiva con l'età.
- I punteggi ottenuti dalla scala QU-FE genitori correlano positivamente con SSP-tot, negativamente con tutti i punteggi della RBS-R, dunque totali, di alto e basso livello; negativamente anche con il QI mentre vi è una correlazione positiva con l'età.
- RBS-R alto livello: correla positivamente con RBS-R basso livello e con RBS-R tot, positivamente anche con il QI mentre negativamente con l'età

Inoltre, È stata trovata una correlazione positiva molto alta (0.8) tra “MD-tot” e il funzionamento esecutivo dei partecipanti, che sta a significare che all’aumentare della durata del movimento aumenta il punteggio al questionario del funzionamento esecutivo (potrebbe essere un indice di maggior controllo da parte dei partecipanti). È stata trovata una correlazione negativa per quanto riguarda “MD-tot” e il punteggio alla “RBS-tot” (anche con i due livelli di scala). La condizione di “RT Nondom-dom” ha una correlazione positiva con IQ e RBS-TOT; c’è una correlazione negativa tra “RT Nondom-dom” e “MD Nondom-dom”. Per quanto riguarda il TPV si è trovata una forte correlazione negativa tra punteggio “TPV Nondom-dom” e punteggio alla scala SSP (-0.7) e all’età (-0.6), a significare come all’aumentare del picco di velocità il funzionamento sensoriale è peggiore e l’età è minore. Nell’indice “TPV tot” abbiamo trovato una correlazione positiva tra TPV e IQ (0.5), ad indicare che IQ più alto corrisponde ad un picco di velocità maggiore.

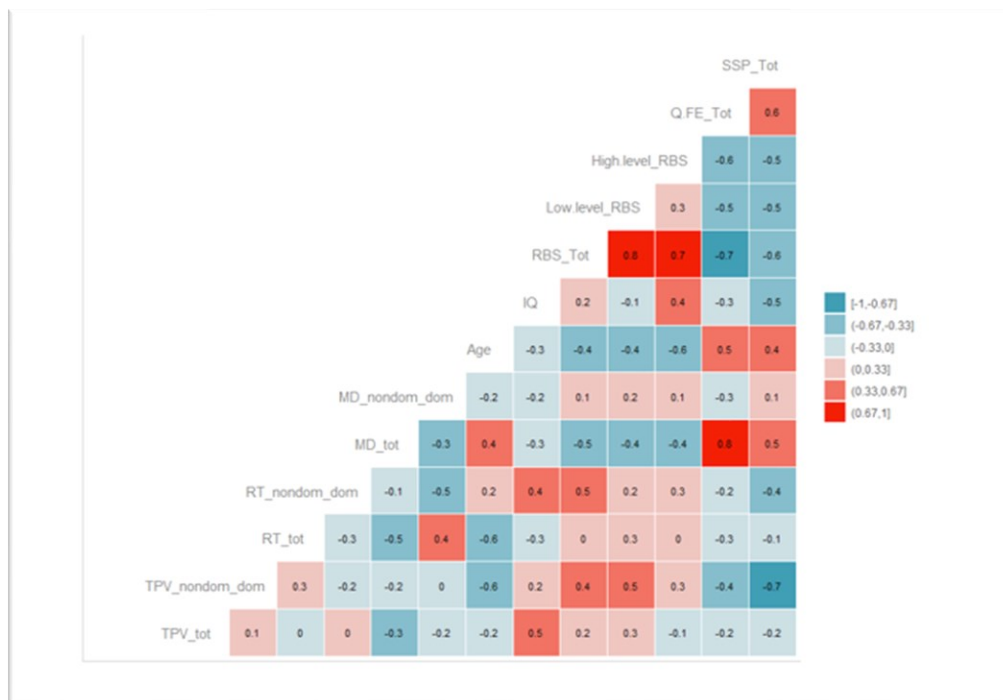


Figura 7. Matrice di correlazione di Spearman.

3. Discussione

In questo studio ho voluto indagare se e in che modo i meccanismi cinematici utilizzati per inibire le risposte prepotenti si differenziassero tra bambini con ADHD e controllo tipico e se ci fossero delle influenze date dal funzionamento esecutivo, dal profilo sensoriale e dalla presenza di stereotipie nel gruppo atipico nelle risposte al compito somministrato.

Riprendendo le domande di ricerca iniziali, dai risultati ottenuti in relazione al compito somministrato, possiamo notare come l'accuratezza dei partecipanti sia risultata maggiore nella condizione dominante rispetto a quella non dominante. Studiando le statistiche descrittive si può osservare come il gruppo tipico abbia avuto delle performance più omogenee rispetto ai bambini ADHD. Il modello migliore tra i 5 da noi considerati è stato qui il modello **M1** (che specifica l'ipotesi di un effetto dato dalla condizione, quindi "Dominante"- "Non dominante"). La letteratura, che dichiara la presenza di deficit inibitori nel gruppo ADHD e dunque una minor accuratezza nella condizione dov'è necessario inibire, afferma una discrepanza data sia dalla condizione in sé che dal gruppo a prescindere dalla condizione (Schoemaker et al., 2014). Noi non abbiamo riscontrato differenze date esclusivamente dal gruppo, ma abbiamo trovato delle discrepanze nell'accuratezza solo in relazione alla condizione.

Per quanto riguarda l'analisi delle caratteristiche cinematiche delle risposte corrette, per esplorare la possibile presenza di atipicità motorie nel gruppo ADHD, il confronto tra modelli per gli RT ha visto come migliore il modello **M4** (condizione*gruppo + età). Sembra quindi esserci un'influenza della condizione sul gruppo, che vede un tempo di reazione maggiore nel gruppo TD nella risposta non dominante rispetto a

quella dominante, indicando che il tempo trascorso a pianificare il movimento è maggiore quando è stato necessario inibire la risposta. Nel gruppo ADHD invece non si è notata alcuna differenza nelle due condizioni, a suggerire una mancata differenziazione nel planning nella condizione “Non dominante” rispetto a quella “Dominante”; quindi, hanno risposto con la stessa strategia indifferentemente dalla condizione. Risultati simili sono stati ottenuti da Yan e Thomas (2002), confermando come i due gruppi si differenzino tra di loro in fase di programmazione del movimento (Yan & Thomas, 2002). Entrambi i gruppi hanno invece avuto un tempo di reazione minore all’aumentare dell’età, effetto probabilmente dato dal fatto che il compito diventa più semplice nei bambini e ragazzi più grandi. Nel nostro studio, non sono state riscontrate delle differenze nei tempi di reazione nei bambini ADHD in relazione alla difficoltà del compito. Abbiamo potuto osservare che, indifferentemente dalle due condizioni, gli RT sono stati gli stessi: questo è in contrasto con ciò che invece era stato evidenziato precedentemente sempre nello studio sopracitato, che vedeva un aumento dei tempi di reazione nel gruppo con Deficit di Attenzione/Iperattività correlato all’aumento della difficoltà del compito.

Per quanto riguarda la durata del movimento, il modello migliore è **M2** che ha specificato l’ipotesi “Condizione + gruppo”. Si è visto come, in generale la condizione non dominante richiedesse una maggior MD della condizione dominante. Inoltre, i bambini ADHD hanno mostrato una maggiore durata del movimento: questo risultato è in linea con quelli ottenuti da Yan e Thomas (2002), che hanno riportato come i bambini ADHD avessero una durata totale del movimento maggiore rispetto ai controlli, con la necessità di un più alto numero di pause prima di rispondere al compito (Yan & Thomas, 2002).

Nelle analisi dell'indice TPV, il modello migliore è stato **M4** che ha riscontrato un'interazione tra condizione e gruppo con un effetto non significativo dell'età. Si sono notate delle differenze nella percentuale di tempo prima del picco di velocità nei due gruppi: mentre il gruppo tipico ha mostrato un aumento del TPV nella condizione non dominante, a significare una necessità di pianificazione maggiore in quanto la risposta era da inibire, il gruppo ADHD non ha differenziato le due condizioni; dunque, il tempo dedicato alla pianificazione non veniva differenziato tra la condizione "Dominante" e quella "Non dominante". Questo dato è interessante, perché è a conferma delle ipotesi iniziali che vedono i bambini ADHD deficitari nel dominio della pianificazione (Dahan & Reiner, 2017). Da ciò che abbiamo detto, si può suggerire che esistano delle differenze nelle strategie utilizzate dai due gruppi di bambini per inibire le risposte prepotenti: nella fattispecie abbiamo visto come i bambini tipici riescano a differenziare correttamente le due diverse condizioni, pianificando maggiormente nella condizione meno frequente, mentre il gruppo ADHD non diversifica i due compiti, rispondendo con le medesime strategie alle due condizioni. Che conseguenze può avere questa mancanza sullo sviluppo di questi bambini? La letteratura a tal proposito ci suggerisce dei possibili out come negativi legati ai deficit nelle strategie di inibizione: non differenziando le condizioni, ciò potrebbe condurre alla messa in atto di comportamenti a rischio o lo sviluppo di dipendenze comportamentali (Izzo et al., 2018).

Cosa accade all'aumentare dell'età? Gli aspetti motori di inibizione hanno subito dei cambiamenti nei soggetti di età maggiore. All'aumentare dell'età, i TPV tendono a diminuire, indicando come ci sia una propensione ad un maggior controllo e ad una minore pianificazione. Allo stesso modo, anche gli RT hanno una tendenza a ridursi

con l'aumento dell'età: questo andamento potrebbe essere legato al fatto che il compito necessita di minor pianificazione e sia ritenuto più semplice dai partecipanti più grandi, ma forse anche che ci sia una maggior comprensione e concentrazione sul compito e quindi dei minori tempi di reazione.

In prospettiva futura, e dunque con un ampliamento del campione, è utile discutere ciò che è emerso dalla matrice di correlazione (che ricordiamo includere solo 11 dei 17 partecipanti ADHD) come punto di partenza per le prossime ricerche. Seppur le considerazioni che andremo a fare non possano essere date per assodate a causa del numero ridotto di partecipanti allo studio, sono emersi dei risultati stimolanti per ulteriori prossime analisi.

Un indice interessante che abbiamo osservato è l'evoluzione dei tempi di reazione: abbiamo potuto notare, come i tempi di reazione totali del compito siano diminuiti all'aumentare dell'età (maggiore velocità di reazione allo stimolo); nella condizione non dominante però si è verificata la condizione opposta: abbiamo trovato una debole correlazione positiva, che starebbe a significare un aumento dei tempi di reazione al compito non dominante all'aumentare dell'età dei soggetti ADHD.

Mettendo in relazione ciò che è emerso dai questionari somministrati ai genitori con i QI derivanti dalle valutazioni neuropsicologiche, abbiamo potuto esplorare se ci potessero essere delle correlazioni tra questi indici, quindi quoziente intellettivo in relazione a punteggi alla scala RBS, al questionario sulle funzioni esecutive e allo SSP. Abbiamo voluto studiare questi risultati per verificare se ci potessero essere delle variabili individuali che potessero andare ad inficiare o migliorare la riuscita al compito. Come anticipato, non è possibile trarre delle conclusioni definitive, sia per il

fatto che il nostro campione è di dimensioni molto ridotte sia perché c'è una grande variabilità nei QI degli 11 bambini (da molto bassi a molto alti) (*Tabella 1*). Tuttavia, ciò che abbiamo potuto osservare è abbastanza inatteso: i QI più alti sembrano essere correlati a punteggi maggiori alla scala di alto livello della RBS, ma contemporaneamente ad un funzionamento esecutivo peggiore e un profilo sensoriale più basso.

Per quanto riguarda i meccanismi associati alla presenza di stereotipie, dall'analisi correlazionale emerge che nei bambini ADHD i tempi di reazione "Nondom-dom" sono associati ad un maggior punteggio totale alla scala RBS-R tot, quindi ad una più alta presenza di stereotipie. La durata del movimento invece, ha una correlazione negativa con la presenza di stereotipie: maggior punteggio alla RBS-R tot è associato ad una minor durata del movimento. Infine, il TPV è risultato essere correlato positivamente con alti punteggi al questionario sulle stereotipie: la necessità di pianificare per più tempo il movimento è correlata alla presenza di un più alto numero di stereotipie che vanno ad inficiare il comportamento degli individui.

Cosa possiamo dire infine sul profilo sensoriale? Come abbiamo visto precedentemente, la letteratura ci indica delle possibili comorbidità tra ADHD e profili sensoriali deficitari (Shimizu et al., 2014). Dal nostro campione, ciò che emerge è che i partecipanti al nostro studio caratterizzati da un buon funzionamento esecutivo erano associati ad un migliore punteggio al questionario sul profilo sensoriale.

Con questi risultati preliminari ottenuti dalla matrice di correlazione vogliamo invitare ad ulteriori ricerche: ampliando il campione, sarà dunque possibile generalizzare maggiormente i risultati, comprendendo anche se le variabili individuali che abbiamo

scelto di considerare possano influenzare la performance al compito e se ce ne saranno delle altre che potranno dare degli ulteriori spunti di riflessione.

4. Conclusioni

In questo studio ho voluto indagare la cinematica del movimento inibitorio in un gruppo di bambini con Disturbo Da Deficit di Attenzione/Iperattività per comprendere se, le difficoltà inibitorie che caratterizzano questo disturbo del neurosviluppo potessero influenzare il movimento utilizzato per finalizzare un compito.

In particolare, grazie all'utilizzo di un accelerometro da polso, sono state svolte delle analisi cinematiche per studiare diverse variabili che sottostanno alle modalità di pianificazione e controllo del movimento in un gruppo di bambini ADHD confrontato ad un gruppo di controllo tipico. Il compito utilizzato è stato una rivisitazione del paradigma "Go-No-Go", uno tra i principali test per misurare le capacità inibitorie. Ciò che è emerso dai nostri risultati, che devono essere considerati come un punto di partenza dato il ridotto numero di partecipanti, è che nel gruppo ADHD non ci sia una differenziazione nell'azione data la natura del compito. Infatti, le analisi cinematiche confermano come il gruppo di controllo sia riuscito a pianificare e controllare il movimento in relazione alle richieste del compito (risposta dominante vs risposta non dominante), mentre il gruppo ADHD abbia risposto con le medesime strategie in entrambe le condizioni. Conseguentemente a ciò, si è potuto notare come i bambini ADHD abbiano commesso un maggior numero di errori, che se trasposti nella vita quotidiana possono essere un campanello d'allarme per la messa in atto di comportamenti a rischio, visto il deficit inibitorio.

Oltre a ciò, vorremmo proporre delle ulteriori ricerche a partire dai questionari somministrati ai genitori, per verificare se ci possano essere delle variabili individuali

(quali presenza di stereotipie, profilo sensoriale e funzionamento esecutivo) che possano influenzare la riuscita al compito e dunque modulare i risultati ottenuti.

Per le ricerche future, sarà utile riuscire a ridurre al minimo i punti di debolezza di questo studio: tra di essi troviamo l'utilizzo dell'accelerometro, uno strumento molto semplice da utilizzare ma con una precisione ridotta rispetto ad altri materiali molto più costosi; il compito a computer, che per molti partecipanti è stato ritenuto noioso: modificandolo, con degli stimoli più allettanti, probabilmente anche i soggetti meno motivati riusciranno a portare a termine il compito con minor distrazione.

I risultati fino a qua ottenuti, sono molto promettenti e un ottimo punto di partenza per ulteriori domande: uno spunto potrebbe essere il cercare di comprendere il perché della mancata differenziazione nelle strategie di risposta alle diverse richieste al compito, magari utilizzando ulteriori test e questionari rispetto a quelli proposto in questo studio.

5. Bibliografia

- Alderson, R. M., Rapport, M. D., Sarver, D. E., & Kofler, M. J. (2008). ADHD and Behavioral Inhibition: A Re-examination of the Stop-signal Task. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *36*(7), 989–998. <https://doi.org/10.1007/s10802-008-9230-z>
- American Psychiatric Association (APA). (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, DSM-5*.
- Angeli, A., Valori, I., Farroni, T., & Marfia, G. (2021). Reaching to inhibit a prepotent response: A wearable 3-axis accelerometer kinematic analysis. *PLOS ONE*, *16*(7), e0254514. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254514>
- Bechara, A., & Van Der Linden, M. (2005). Decision-making and impulse control after frontal lobe injuries. *Current Opinion in Neurology*, *18*(6), 734–739. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000194141.56429.3c>
- Berlin, L., Bohlin, G., Nyberg, L., & Janols, L.-O. (2004). How Well Do Measures of Inhibition and Other Executive Functions Discriminate Between Children With ADHD and Controls? *Child Neuropsychology*, *10*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1076/chin.10.1.1.26243>
- Bezdjian, S., Baker, L. A., Lozano, D. I., & Raine, A. (2009). Assessing inattention and impulsivity in children during the Go/NoGo task. *British Journal of Developmental Psychology*, *27*(2), 365–383. <https://doi.org/10.1348/026151008X314919>
- Bodfish, J. W., Symons, F. J., Parker, D. E., & Lewis, M. H. (2000). *Repetitive Behavior Scale–Revised (RBS-R) [Database record]*. *APA PsycTests*. <https://doi.org/10.1037/t17338-000>

- Brierley, N. J., McDonnell, C. G., Parks, K. M. A., Schulz, S. E., Dalal, T. C., Kelley, E., Anagnostou, E., Nicolson, R., Georgiades, S., Crosbie, J., Schachar, R., Liu, X., & Stevenson, R. A. (2021). Factor Structure of Repetitive Behaviors Across Autism Spectrum Disorder and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *51*(10), 3391–3400. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04800-0>
- Canva.com. (s.d.). Canva. <https://www.canva.com>
- Cortese S. (2012). *The neurobiology and genetics of attention-deficit/ hyperactivity disorder (ADHD): What every clinician should know*. *Eur J Paediatr Neurol*. *2012;16:422–33*. 16:422-33.
- Crippa, A., Marzocchi, G. M., Piroddi, C., Besana, D., Giribone, S., Vio, C., Maschietto, D., Fornaro, E., Repossi, S., & Sora, M. L. (2015). An Integrated Model of Executive Functioning is Helpful for Understanding ADHD and Associated Disorders. *Journal of Attention Disorders*, *19*(6), 455–467. <https://doi.org/10.1177/1087054714542000>
- Dahan, A., & Reiner, M. (2017). Evidence for deficient motor planning in ADHD. *Scientific Reports*, *7*(1), 9631. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09984-7>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dunn, W., & Bennett, D. (2002). Patterns of Sensory Processing in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, *22*(1), 4–15. <https://doi.org/10.1177/153944920202200102>
- Eliasson, A.-C., Rösblad, B., & Forssberg, H. (2007). Disturbances in programming goal-directed arm movements in children with ADHD. *Developmental*

Medicine & Child Neurology, 46(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2004.tb00429.x>

Expósito, J., & Andrés-Pueyo, A. (1997). The effects of impulsivity on the perceptual and decision stages in a choice reaction time task. *Personality and Individual Differences*, 22(5), 693–697. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(96\)00259-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(96)00259-0)

Fulceri, F., Narzisi, A., Apicella, F., Balboni, G., Baldini, S., Brocchini, J., Domenici, I., Cerullo, S., Iglizzi, R., Cosenza, A., Tancredi, R., Muratori, F., & Calderoni, S. (2016). Application of the Repetitive Behavior Scale-Revised – Italian version – in preschoolers with autism spectrum disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 48, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.015>

Glover, S. (2004). Separate visual representations in the planning and control of action. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(01). <https://doi.org/10.1017/S0140525X04000020>

Karbach, J., & Kray, J. (2016). Executive Functions. In T. Strobach & J. Karbach (A c. Di), *Cognitive Training: An Overview of Features and Applications* (pagg. 93–103). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42662-4_9

Klimkeit, E. I., Mattingley, J. B., Sheppard, D. M., Lee, P., & Bradshaw, J. L. (2005). MOTOR PREPARATION, MOTOR EXECUTION, ATTENTION, AND EXECUTIVE FUNCTIONS IN ATTENTION DEFICIT/HYPERACTIVITY DISORDER (ADHD). *Child Neuropsychology*, 11(2), 153–173. <https://doi.org/10.1080/092970490911298>

- Kofler, M. J., Irwin, L. N., Soto, E. F., Groves, N. B., Harmon, S. L., & Sarver, D. E. (2019). Executive Functioning Heterogeneity in Pediatric ADHD. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 47(2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10802-018-0438-2>
- Lage, G. M., Malloy-Diniz, L. F., Neves, F. S., de Moraes, P. H. P., & Corrêa, H. (2012). A kinematic analysis of the association between impulsivity and manual aiming control. *Human Movement Science*, 31(4), 811–823. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.08.008>
- Longo, M. R., & Bertenthal, B. I. (2004). Automaticity and inhibition in action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(01). <https://doi.org/10.1017/S0140525X04390023>
- Matzke, D., Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2018). The Stop-Signal Paradigm. In J. T. Wixted (A c. Di), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (pagg. 1–45). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn510>
- Mehta, T. R., Monegro, A., Nene, Y., Fayyaz, M., & Bollu, P. C. (2019). Neurobiology of ADHD: A Review. *Current Developmental Disorders Reports*, 6(4), 235–240. <https://doi.org/10.1007/s40474-019-00182-w>
- Muthugovindan, D., & Singer, H. (2009). Motor stereotypy disorders. *Current Opinion in Neurology*, 22(2), 131–136. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e328326f6c8>
- R Development Core Team. (2008). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>

- Schoemaker, K., Bunte, T., Espy, K. A., Deković, M., & Matthys, W. (2014). Executive Functions in Preschool Children With ADHD and DBD: An 18-Month Longitudinal Study. *Developmental Neuropsychology*, *39*(4), 302–315. <https://doi.org/10.1080/87565641.2014.911875>
- Shaw P., & Gilliam M. (2011). *Cortical development in typically developing children with symptoms of hyperactivity and impulsivity: Support for a dimensional view of attention deficit hyperactivity disorder*. *168*(2):143-51.
- Shimizu, V. T., Bueno, O. F. A., & Miranda, M. C. (2014). Sensory processing abilities of children with ADHD. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, *18*(4), 343–352. <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0043>
- 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>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643-662.
- Vicari & Caselli. (2017). *Neuropsicologia dell'età evolutiva Prospettive teoriche e cliniche*. Il mulino.
- Viola Angela Izzo, Maria Anna Donati, & Caterina Primi. (2018). Dipendenze comportamentali e Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività; (ADHD) negli adolescenti. Fattori di rischio specifici e aspecifici. *Psicologia clinica dello sviluppo*, *3*, 535–558. <https://doi.org/10.1449/91520>

Wagenmakers, E.-J., & Farrell, S. (2004). AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(1), 192–196.

<https://doi.org/10.3758/BF03206482>

Yan, J. H., & Thomas, J. R. (2002). Arm Movement Control: Differences between Children with and without Attention Deficit Hyperactivity Disorder.

Research Quarterly for Exercise and Sport, *73*(1), 10–18.

<https://doi.org/10.1080/02701367.2002.10608987>