

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL MOLISE



DIPARTIMENTO
DI MEDICINA E SCIENZE DELLA SALUTE "VINCENZO TIBERIO"

XXXVII CICLO DI DOTTORATO in
MEDICINA TRASLAZIONALE E CLINICA

**Studio dei correlati neurali in risposta a un
intervento di allenamento cognitivo-motorio in
bambini con Disturbo dello Spettro Autistico**

Supervisore
Chiar.mo Prof.
Giuseppe Calcagno

Coordinatore
Chiar.mo Prof.
Giovanni Scapagnini

Candidata
Giulia Di Martino

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

<i>Introduzione</i>	6
<i>Capitolo I</i>	10
1 Il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD)	10
1.1 Epidemiologia	15
1.2 Eziologia	17
1.3 Fattori Genetici	18
1.4 Fattori Ambientali	19
1.5 Neuropatologia: Basi e Modelli Neurobiologici dello Spettro dell'Autismo	20
1.6 Approcci di Neuroimaging e ASD	22
1.6.1 Elettroencefalografia	22
1.6.2 Risonanza Magnetica Funzionale	23
1.6.3 Imaging della Diffusione	24
1.6.4 Magnetoencefalografia	24
1.6.5 Tomografia a Emissione di Positroni.....	25
1.6.6 Imaging Multimodale e Machine Learning	25
1.7 Ipotesi della Compromissione Predittiva	26
1.7.1 Ruolo della Corteccia Prefrontale nello Sviluppo Sociale ed Emotivo	28
1.7.2 Ruolo della Corteccia Prefrontale nello Sviluppo Cognitivo-Motorio	29
<i>Capitolo II</i>	32
2 Analisi Comportamentale Applicata	32
2.1 Terapia Cognitivo-Comportamentale	36
2.2 Interventi basati sulla Tecnologia: Realtà Virtuale e Realtà Aumentata	40
2.3 Interventi basati sull'Attività Fisica	42
2.4 Terapia Assistita da Animali	45
CAPITOLO III	48
3 Interventi basati sull'Attività Fisica: ruolo dell'esercizio nel miglioramento delle Funzioni Cognitive e Abilità Motorie	48
3.1 Esercizio Fisico e Fattori Neurotrofici	48
3.2 Obesità e Comorbilità Correlate nei bambini Autistici, interventi di Attività Fisica	49
3.3 Tipologie di Attività Sportive	51
3.3.1 Nuoto	51
3.3.2 Arti Marziali	52
3.3.3 Minibasket	54
3.3.4 Skating.....	55
3.3.5 Yoga	56

3.3.6	Attività Cognitivo-Motorio Dual Task	59
Capitolo IV		61
4	Premesse per lo studio	61
4.1	Inquadramento Metodologico delle Misurazioni	61
4.1.1	Elettroencefalografia	61
4.1.2	Registrazione Elettroencefalografica e Posizionamento degli Elettrodi	63
4.1.3	Metodo dei Potenziali Evento-Correlati	64
Capitolo V.....		68
5	Lo Studio.....	68
5.1	Scopo Dello Studio	68
5.2	Disegno dello Studio.....	69
5.3	Materiali E Metodi:.....	70
5.3.1	Campione.....	70
5.3.2	Numerosità Campionaria	71
5.3.3	Procedura di Reclutamento.....	72
5.4	Assessment Cognitivi	73
5.4.1	Protocollo Registrazioni Elettroencefalografiche	73
5.4.2	Procedura di Risposta Semplice	76
5.4.3	La Torre di Londra	77
5.4.4	Il Children Color Trails Test.....	80
5.5	Assessment Motori	84
5.5.1	Il Movement Assessment Battery For Children – Second Edition	84
5.6	Questionari Genitori	89
5.6.1	Social Communication Questionnaire	89
5.6.2	Anxiety Scale For Children - Autism Spectrum Disorder	91
5.6.3	Children’s Sleep Habits Questionnaire – Short Form (Nichd Seccyd—Wisconsin)	94
5.6.4	Behavior Rating Inventory Of Executive Function - Second Edition (Brief-2).....	95
5.7	Studio 2:	97
5.7.1	Protocollo di Intervento Cognitivo-Motorio Dual-Task	97
5.8	Analisi Statistica	100
5.8.1	Studio 1:.....	100
5.8.2	Studio 2:.....	100
5.9	Risultati Studio 1.....	102
5.9.1	Risultati Simple Reaction Task	102
5.9.2	Risultati Potenziali Evento-Correlati	103
5.10	Risultati Studio 2.....	109
5.11	Discussioni Studio 1	116
5.11.1	Risultati Aspetti comportamentali	116
5.11.2	Risultati Aspetti Elettrofisiologici	116
5.12	Discussioni Studio 2	118
5.12.1	Movement Assessment Battery for Children (M-ABC)	118

5.12.2	Test della Torre di Londra (ToL).....	122
5.12.3	Children's Color Trails Test (CCTT).....	123
Conclusioni		126
Bibliografia		129
APPENDICE A: Protocollo di allenamento Cognitivo-Motorio Dual Task		168

Abstract ENG

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition characterized by deficits in social communication and the presence of restricted and repetitive behaviours. In Italy, approximately one in 77 children (aged 7–9 years) is diagnosed with ASD, with a male prevalence 4.4 times higher than females (Hirota, 2023). Research suggests that abnormal neural development and impaired synaptic plasticity contribute to ASD, particularly affecting the prefrontal cortex, a key region for social, emotional, and cognitive functions (Courchesne, 2023).

The Predictive Impairment in Autism (PIA) hypothesis states that difficulties in estimating conditional probabilities underlie ASD-related deficits in social and communication abilities. These predictive impairments can be assessed through event-related potentials (ERP), which measures brain activity in the sensory, premotor, and prefrontal areas (Di Russo, 2019). Some studies suggest a correlation between executive function deficits and ASD-related behaviours. Consequently, interventions targeting the development of executive functions may positively influence higher-order executive functions, particularly those related to planning and organization, which are essential for effective communication and comprehension of the surrounding environment (Fong & Iarocci, 2020; Leung et al., 2016).

Deficits in ASD impact daily functioning, limiting participation in social activities. Therefore, the treatment of cognitive and motor functions is the focus of ASD treatments in order to increase ASD children's life quality. Studies suggest that after physical activity treatments, children with ASD showed overall improvements in motor skills, psychological well-being, and social interaction (Tu, 2023; Tse, 2023). However, standardized guidelines for long-term physical activity interventions are lacking. A promising approach is Cognitive-Motor Dual-Task Training (CMDT), which combines simultaneous cognitive and physical exercises. Studies show that CMDT enhances executive functions, motor coordination, and response accuracy, making it a

more effective intervention than physical training alone for mitigating ASD symptoms (Nekar et al., 2022; Firouzjah, 2025).

The first phase of the study aims to examine differences in predictive processes between children with ASD and typically developing (TD) children, while the second phase evaluates the effectiveness of a 12-week CMDT program in enhancing these skills in children with ASD.

Ten children with ASD - level 1 or 2, according to DSM-5 criteria- and ten TD children were recruited.

In the first phase of the study, which employed a cross-sectional design, children with ASD and TD matched for age were assessed through EEG recordings during a Simple Reaction Task (SRT) to investigate potential alterations in predictive processing mechanisms.

In the second phase, employing a non-randomized pre-post design, the effectiveness of a 12-week CMDT program specifically designed by the authors was evaluated in children with ASD. EEG recordings were used to analyze changes in event-related potentials (ERP), focusing on the P3 component, associated with cognitive resource allocation, and the Bereitschaftspotential (BP), linked to motor preparation.

For the assessment of cognitive and motor functions, the following test batteries were administered: the Children's Color Trails Test (CCTT) to measure attention, cognitive flexibility, and visuomotor skills; the Tower of London Test (ToL) to evaluate planning abilities and problem-solving skills; and the Movement Assessment Battery for Children – Second Edition (MABC-2) to analyze fundamental motor skills.

Additionally, parents of the participants completed standardized questionnaires to assess the children's behavioral and psychological profiles. These included the Social Communication Questionnaire (SCQ), which evaluates social communication abilities and the presence of ASD-related behaviors; the Anxiety Scale for Children – Autism Spectrum Disorder (ASC-ASD), designed to measure anxiety levels specific to children with ASD; the Children's Sleep Habits Questionnaire – Short Form (CSHQ), used to analyze sleep disturbances; and the Behavior Rating

Inventory of Executive Function – Second Edition (BRIEF-2), which assesses executive functions across different contexts in daily life.

The statistical analysis aimed to compare behavioral and electrophysiological differences between the study groups (ASD vs. TD) and to assess changes between pre-test and post-test conditions. A 2×2 mixed-design Analysis of Variance (ANOVA) was conducted for the analysis of EEG and behavioral data, with Time (pre-test vs. post-test) as the within-subjects factor and Group (ASD vs. TD) as the between-subjects factor. The dependent variables included mean reaction time (RT), response accuracy, and mean ERP amplitudes. ERP components were analyzed within predefined pre- and post-stimulus time windows, and electrode selection was based on the statistical significance of mean amplitudes ($p < 0.05$). To mitigate Type I error, Bonferroni correction was applied.

For the analysis of cognitive and motor performance (M ABC-2, CCTT, ToL), a repeated measures multivariate analysis of variance (RM-MANOVA) was conducted to assess within-group improvements over time in the ASD group. An additional RM-MANOVA, including the TD group as a control, was performed to determine whether pre-post intervention differences could be attributed to external factors, such as learning effects. To further investigate between-group differences, a one-way Analysis of Variance (One-way ANOVA) was conducted to compare baseline and post-intervention scores between the two groups.

The parent-reported questionnaires (SCQ, ASC-ASD, CSHQ, BRIEF-2) were analyzed using a Repeated Measures Analysis of Variance (RM-ANOVA) to evaluate changes in pre- and post-intervention scores. Furthermore, parental assessment differences (father vs. mother) were included as a between-subjects factor to examine potential differences in reporting.

In the Simple Reaction Task, the ASD group showed a significant improvement in response times in the post-test ($p > 0.01$), whereas no changes were observed in the TD group. In the pre-test, the ASD group demonstrated significantly slower response times compared to the TD group ($p > 0.05$); however, this difference was no longer significant post-intervention. Additionally, a

significant Group \times Time interaction was found ($p > 0.05$). Accuracy remained lower in ASD ($p < 0.05$) without significant changes over time.

In the ASD group, the pre-stimulus ERP components BP and vN showed a significant post-intervention increase in amplitude ($p < 0.05$), suggesting enhanced motor preparation and anticipatory processing. In the pre-test, amplitudes were significantly lower than those observed in the TD group ($p < 0.05$); however, no significant between-group differences were detected in the post-test.

Among the post-stimulus ERP components, N1 amplitude was significantly greater in the ASD group compared to the TD group ($p < 0.01$) and showed a significant post-intervention increase ($p < 0.05$), suggesting enhancements in sensory processing. Similarly, P3, associated with cognitive resource allocation, showed a significant increase in the ASD group following the intervention ($p < 0.01$), although its amplitude remained lower than that observed in the TD group ($p < 0.01$). The Group \times Time interaction was significant for both components ($p < 0.05$), indicating improvements in cognitive. P1 showed no significant differences.

In motor assessments, significant motor skill improvement (MABC-2, $p = 0.001$) was found in the ASD group, with a more pronounced effect than in the TD group. No significant improvements were found in ToL ($p = 0.459$) or CCTT ($p = 0.119$), except for a significant improvement in CCTT Trial 1 ($p = 0.028$). Although variations over time and between groups were found ($p = 0.0499$), the Group \times Time interaction was not significant.

Although ASD and TD groups differed significantly at baseline, post-intervention differences were reduced, suggesting a partial normalization of cognitive-motor performance in the ASD group.

No significant changes over time or between father-mother ratings.

In conclusion, these findings support the effectiveness of CMDT in enhancing sensorimotor integration in children with ASD, promoting anticipatory processing and cognitive-motor performance.

Abstract ITA

Il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD) è una condizione neuro evolutiva caratterizzata da deficit nella comunicazione sociale e dalla presenza di comportamenti ripetitivi e ristretti. In Italia, circa un bambino su 77 (di età compresa tra 7 e 9 anni) riceve una diagnosi di ASD, con una prevalenza maschile 4,4 volte superiore rispetto a quella femminile (Hirota, 2023). La ricerca suggerisce che uno sviluppo neurale anomalo e una compromissione della plasticità sinaptica contribuiscano all'ASD, in particolare influenzando lo sviluppo della corteccia prefrontale, una regione chiave per le funzioni sociali, emotive e cognitive (Courchesne, 2023).

L'ipotesi dell'Alterazione Predittiva nell'Autismo (PIA) sostiene che le difficoltà nel calcolo delle probabilità siano alla base dei deficit sociali e comunicativi associati all'ASD. Tali alterazioni predittive possono essere valutate attraverso i potenziali evento-correlati (ERP), che misurano l'attività cerebrale nelle aree sensoriali, premotorie e prefrontali (Di Russo, 2019). Alcuni studi suggeriscono una correlazione tra i deficit delle funzioni esecutive e i comportamenti tipici dell'ASD. Pertanto, interventi mirati allo sviluppo delle funzioni esecutive potrebbero avere un impatto positivo sulle funzioni di ordine superiore, in particolare su pianificazione e organizzazione, che sono essenziali per una comunicazione efficace e per una giusta relazione con l'ambiente circostante (Fong & Iarocci, 2020; Leung et al., 2016).

I deficit associati all'ASD influenzano le funzioni quotidiane, causando difficoltà nella partecipazione ad attività di gruppo e nello sviluppo sociale. Per questo motivo, il trattamento delle funzioni cognitive e motorie rappresenta un obiettivo chiave per migliorare la qualità della vita dei bambini con ASD. Studi dimostrano che, dopo trattamenti basati sull'attività fisica, i bambini con ASD presentano miglioramenti nelle abilità motorie fondamentali, nel benessere psicologico e nell'interazione sociale (Tu, 2023; Tse, 2023). Tuttavia, mancano ancora linee guida standardizzate per interventi di lunga durata basati sull'attività fisica. Un approccio promettente si

è dimostrato il training cognitivo-motorio dual task (CMDT), che combina esercizi fisici ed esercizi cognitivi in forma simultanea. Studi dimostrano che il CMDT migliora le funzioni esecutive, la coordinazione motoria e l'accuratezza della risposta, efficace nel mitigare i sintomi dell'ASD (Nekar et al., 2022; Firouzjah, 2025).

La prima fase di studio si propone di esaminare le differenze nei processi predittivi tra bambini ASD e bambini a sviluppo tipico (TD), la seconda fase di valutare l'efficacia di 12 settimane di un nuovo programma CMDT per potenziare queste abilità nei bambini con ASD.

Sono stati reclutati 10 bambini con ASD di livello 1 o 2, in base ai criteri del DSM-5, e 10 bambini TD.

Nella prima fase di studio, di tipo trasversale (cross-sectional), sono stati messi a confronto bambini con ASD e TD, di pari età, attraverso registrazioni EEG durante compiti cognitivi (simple reaction task) per individuare eventuali anomalie nei meccanismi predittivi.

Nella seconda fase, con un disegno pre-post non randomizzato, è stata valutata l'efficacia di un programma CMDT di 12 settimane nei bambini con ASD, specificatamente ideata dagli autori, analizzando tramite EEG i cambiamenti nei potenziali evento-correlati (ERP), in particolare la componente P3, legata all'allocazione delle risorse cognitive, e il Bereitschaftspotential (BP), associato alla preparazione motoria.

Per la valutazione delle funzioni cognitive e motorie, inoltre sono stati utilizzate le seguenti batterie di test: Children's Color Trails Test (CCTT) per misurare l'attenzione, la flessibilità cognitiva e le abilità visuomotorie, il Tower of London Test (ToL) per valutare la pianificazione e capacità di problem-solving, e il Movement Assessment Battery for Children – Second Edition (MABC-2) per analizzare le principali capacità motorie.

I genitori dei partecipanti hanno inoltre compilato questionari standardizzati per valutare il profilo comportamentale e psicologico dei bambini, tra cui: Social Communication Questionnaire (SCQ) per valutare le abilità di comunicazione sociale e la presenza di comportamenti tipici dell'ASD, Anxiety Scale for Children – Autism Spectrum Disorder (ASC-ASD) per misurare i livelli di ansia

specifici nei bambini con ASD, Children's Sleep Habits Questionnaire – Short Form (CSHQ) per l'analisi dei disturbi del sonno, infine il Behavior Rating Inventory of Executive Function – Second Edition (BRIEF-2) per la valutazione delle funzioni esecutive in diversi contesti di vita quotidiana. L'analisi statistica è stata condotta per confrontare le differenze comportamentali ed elettrofisiologiche tra i gruppi di studio (ASD vs. TD) e per valutare i cambiamenti tra le condizioni di pre-test e post-test. Per l'analisi dei dati EEG e comportamentali, è stata utilizzata un'Analisi della Varianza (ANOVA) mista 2x2, con il fattore intra-soggetti Tempo (pre-test vs. post-test) e il fattore tra-soggetti Gruppo (ASD vs. TD). Le variabili dipendenti includevano: il tempo di risposta medio (RT), l'accuratezza delle risposte, le ampiezze medie dei ERP. Gli ERP sono stati analizzati su specifici intervalli temporali pre- e post-stimolo, e gli elettrodi inclusi nell'analisi sono stati selezionati sulla base della significatività statistica delle ampiezze medie ($p < 0,05$). Per il controllo dell'errore di tipo I è stata applicata la correzione di Bonferroni.

Per l'analisi delle prestazioni nei test cognitivi e motori (M ABC-2, CCTT, ToL) è stata usata l'analisi della varianza multivariata per misure ripetute (RM-MANOVA) per valutare i miglioramenti nel tempo all'interno del gruppo ASD. Un'ulteriore RM-MANOVA con il gruppo TD come controllo ha permesso di verificare se le differenze pre-post intervento fossero attribuibili a fattori indipendenti dall'intervento, come effetti di apprendimento. Per approfondire le differenze tra i gruppi, è stata condotta un'Analisi della Varianza a una via (One-way ANOVA) per confrontare i punteggi di baseline e post-intervento nei due gruppi.

I questionari compilati dai genitori (SCQ, ASC-ASD, CSHQ, BRIEF-2) sono stati analizzati utilizzando una Analisi della Varianza per Misure Ripetute (RM-ANOVA) per confrontare i punteggi pre- e post-intervento, considerando inoltre eventuali differenze tra le valutazioni dei due genitori (padre vs. madre) come fattore tra i soggetti.

Nella Simple Reaction Task, è stato evidenziato un miglioramento significativo nei tempi di risposta nel gruppo ASD nel post-test ($p > 0,01$), mentre il gruppo TD è rimasto stabile. Nel pre-test, il gruppo ASD ha mostrato tempi di risposta significativamente più lenti rispetto al gruppo

TD ($p > 0.05$); tuttavia, nel post-test, questa differenza tra i gruppi non è risultata significativa. Inoltre è stata rilevata un'interazione significativa Gruppo/Tempo ($p > 0.05$). L'accuratezza è risultata significativamente inferiore nel gruppo ASD rispetto al gruppo TD ($p > 0.05$) e non ha mostrato variazioni significative nel tempo.

Nel gruppo ASD, le componenti ERP pre-stimolo BP e vN hanno mostrato un aumento significativo dell'ampiezza dopo l'intervento ($p < 0.05$), indicando un miglioramento nei meccanismi di preparazione motoria e processi anticipatori. Nel pre-test, le ampiezze erano inferiori rispetto al gruppo TD ($p < 0.05$), ma nel post-test non sono emerse differenze tra i gruppi. Tra le componenti post-stimolo, l'ampiezza della N1 era maggiore nel gruppo ASD rispetto al TD ($p < 0.01$) e ha mostrato un incremento significativo dopo l'intervento ($p < 0.05$), suggerendo miglioramenti nell'elaborazione sensoriale. Anche la P3, legata all'allocazione delle risorse cognitive, è aumentata significativamente nel gruppo ASD ($p < 0.01$), pur rimanendo inferiore rispetto al gruppo TD ($p < 0.01$). L'interazione Gruppo*Tempo è risultata significativa per entrambe ($p < 0.05$), indicando progressi nei processi cognitivi. La P1 non ha mostrato variazioni rilevanti.

Nei test motori, i punteggi del MABC-2 sono migliorati significativamente nel gruppo ASD ($p=0.001$), con un effetto più marcato rispetto al gruppo TD, confermando progressi nelle abilità motorie. Non sono state rilevate differenze significative per il ToL ($p=0.459$) e il CCTT ($p=0.119$), ad eccezione di un miglioramento nel Trial 1 del CCTT ($p=0.028$). Sebbene siano emerse variazioni nel tempo e tra i gruppi ($p=0.0499$), l'interazione Gruppo*Tempo non è risultata significativa.

Infine, sebbene i due gruppi fossero significativamente diversi all'inizio dello studio in diverse variabili, alcune di queste differenze non erano più presenti dopo l'intervento, suggerendo un effetto di "normalizzazione" nei punteggi del gruppo ASD.

I questionari non hanno evidenziato differenze significative nel tempo né nel confronto dei risultati delle madri e dei padri.

Questi risultati supportano l'efficacia della CMDT nel migliorare l'integrazione sensomotoria nei bambini con ASD, favorendo l'elaborazione anticipatoria e la performance cognitivo-motoria.

Introduzione

Il disturbo dello spettro autistico (ASD) è una condizione di alterato sviluppo neurologico caratterizzata da carenze nella comunicazione sociale e dalla presenza di comportamenti o interessi ripetitivi e limitati (Hirota,2023). Secondo le stime del "Progetto Osservatorio per il monitoraggio dei disturbi dello spettro autistico", coordinato dall'Istituto Superiore di Sanità e dal Ministero della Salute (2021-2023), in Italia si ritiene che un bambino su 77 (età 7-9 anni) abbia un disturbo dello spettro autistico. Si osserva nei maschi una prevalenza 4,4 volte superiore rispetto alle femmine. Recenti studi identificano, come probabile causa dell'insorgenza dei disordini dello spettro autistico, un'anormale crescita e disfunzione neurale che porta ad un'alterazione della plasticità sinaptica evidente in diverse regioni del cervello, compreso la corteccia prefrontale, coinvolta nello sviluppo sociale, emotivo, comunicativo e cognitivo di ordine superiore (Courchesne, 2023).

È stato suggerito che la causa delle difficoltà sociali e comunicative, che sono i sintomi principali dell'ASD, possa essere dovuta a carenze nella capacità di comprensione degli obiettivi delle azioni (Krogh-Jespersen e Woodward, 2018, Zalla et al., 2010). A questo proposito, Sinha et al. (2014) propongono l'ipotesi della compromissione predittiva nell'autismo (PIA) che postula che gli individui con ASD sperimentino difficoltà predittive generali che derivano principalmente dalla difficoltà di stimare le probabilità condizionali. L'ipotesi PIA prevede che la mancanza di capacità predittiva possa influenzare seriamente l'anticipazione dell'azione negli individui con ASD.

Le capacità predittive e anticipatorie possono essere misurate direttamente a livello cerebrale attraverso tecniche elettroencefalografiche, in particolare diversi studi hanno mostrato che attraverso la tecnica dei potenziali evento-correlati (ERP) è possibile registrare l'attività elettrica cerebrale correlata ai processi predittivo anticipatori

sensoriali, motori e cognitivi che avvengono in aree cerebrali sensoriali, premotorie e prefrontali (e.g., Di Russo et al. 2019).

È noto che l'attività fisica favorisca miglioramenti nelle abilità motorie, psicologiche e in generale nella qualità della vita delle persone con ASD. L'allenamento aerobico, di resistenza muscolare e/o specifico per migliorare abilità motorie di base è consigliato per soggetti con questa patologia (Shahane, 2023), specialmente in fase di accrescimento e maturazione. Alcuni studi hanno dimostrato che, dopo l'intervento di attività fisica, sono migliorate tutte le abilità di interazione sociale, comunicazione, comportamenti stereotipati e l'autoregolazione dei bambini e adolescenti con autismo (Tu, 2023; Tse, 2023). Tuttavia, attualmente non sono disponibili linee guida univoche basate su evidenze per programmi di attività fisica che affrontino le necessità a lungo termine di questa popolazione. Gli effetti degli interventi basati sull'attività fisica sui sintomi principali dell'autismo non sono ancora ben definiti. Inoltre, i bambini affetti da ASD presentano diverse capacità di tolleranza per le attività e responsività ai compiti, e la varietà comportamentale probabilmente potrà influenzare la risposta al trattamento. Infatti, dai risultati di una review sull'argomento (Sowa, 2012) emerge che i programmi individualizzati hanno prodotto un miglioramento significativamente maggiore rispetto ad interventi di gruppo non solo nel dominio motorio ma, sorprendentemente, anche nel dominio sociale.

Un promettente tipo di allenamento per bambini con ASD è il cosiddetto allenamento cognitivo-motorio. Prove recenti stanno dimostrando che la combinazione simultanea di allenamento cognitivo e fisico (training cognitivo-motorio dual-task: CMDT) è più efficace del solo allenamento fisico per contrastare i sintomi dell'ASD (e.g. Nekar et al 2022).

Nelle situazioni di multitasking, i flussi di elaborazione dei compiti coinvolti si sovrappongono, e la prestazione in tali situazioni non è solo limitata dalla capacità di

ciascun singolo processo, ma dipende anche da quanto efficacemente vengono gestite le interazioni tra i processi dei vari compiti. Tipicamente, l'elaborazione di compiti multipli rispetto all'elaborazione di un singolo compito (ST) viene discussa alla luce della teoria delle risorse (Wickens, 1980; Wickens, 2002), che assume che un certo numero di risorse sia disponibile per essere dedicato a uno o più compiti. Queste risorse diventano ancora più evidenti – e con esse le limitazioni dell'elaborazione – quando la capacità complessiva è limitata, come nel caso di principianti, bambini o adulti anziani (Hartley & Little, 1999) e nei soggetti ASD.

Il CMDT può essere particolarmente efficace e veloce nel migliorare le funzioni esecutive, il tempo e l'accuratezza della risposta in compiti cognitivi, abilità di corsa, agilità, equilibrio statico e dinamico e coordinazione degli arti superiori (Nekar et al 2022; Zamani Sani et al. 2021).

Considerate le specifiche caratteristiche dei bambini con ASD, è stato creato un protocollo di esercizio appositamente strutturato, in cui il *dual-task* veniva integrato sotto forma di gioco.

Il fattore della "piacevolezza" nell'approccio e nella pratica motoria riveste un ruolo fondamentale per questi bambini, poiché da un lato favorisce l'aderenza al programma (considerando che il fenomeno del drop-out è molto frequente tra i bambini con ASD), e dall'altro stimola il coinvolgimento emotivo (*enjoyment*), che si è dimostrato essere un elemento predisponente per l'apprendimento e il miglioramento delle prestazioni in qualsiasi individuo.

Il protocollo è stato elaborato sulla base di indicazioni validate presenti in letteratura ed è stato adattato alle specifiche esigenze del gruppo a cui veniva somministrato. Inizialmente, le attività erano organizzate in modalità individuale, per poi evolversi progressivamente verso esercizi di gruppo, man mano che le capacità dei bambini miglioravano. Questo approccio graduale ha permesso di sviluppare non solo abilità

motorie e cognitive, ma anche competenze relazionali, come la condivisione, la collaborazione e il confronto, fondamentali per il loro sviluppo sociale.

La prima parte dello studio ha indagato l'ipotesi del deterioramento predittivo nei bambini con ASD, fornendo una panoramica dettagliata delle evidenze disponibili. Sono stati analizzati tutti gli approcci sperimentali e terapeutici somministrati nel tempo, con particolare attenzione alle implicazioni teoriche e alle potenziali applicazioni cliniche. Questa fase preliminare ha permesso di definire i punti critici e i bisogni specifici di questa popolazione, ponendo le basi per interventi mirati.

A seguito di questa analisi approfondita della letteratura scientifica, è stato delineato l'obiettivo principale della ricerca: progettare e applicare un protocollo di attività fisica cognitivo motorio dual-task specificatamente adattato alle esigenze dei bambini con ASD. L'intervento proposto è finalizzato a conseguire miglioramenti misurabili e oggettivi, quali l'attivazione delle attività cerebrali e il potenziamento delle capacità anticipatorie e predittive. Questi cambiamenti si riflettono in un miglioramento delle abilità motorie e in una maggiore capacità di adattamento a situazioni individuali e di gruppo, misurabili attraverso parametri specifici standardizzati come la valutazione della coordinazione motoria, del tempo di reazione e della capacità di pianificazione.

Inoltre, l'intervento si propone di migliorare la qualità della vita dei bambini con ASD, con particolare riferimento alle relazioni sociali e all'autonomia personale. Il coinvolgimento in attività fisiche adattate punta a sviluppare la capacità di interazione con i coetanei, e a favorire un'integrazione più efficace in contesti sociali. Questi risultati, potrebbero non solo migliorare il benessere psicologico dei bambini, ma anche fornire un contributo significativo per la loro inclusione sociale e scolastica.

Capitolo I

1 Il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD)

Il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD) è stato studiato fin dal 1911, quando lo psichiatra Eugen Bleuler introdusse il termine "autismo" in associazione con la schizofrenia (Volkmar & McPartland, 2014). Sebbene inizialmente collegato a questo disturbo, il concetto di autismo si è evoluto, distinguendosi in una comprensione più specifica del ASD.

Nel corso dei decenni, la comprensione dell'autismo ha subito diverse trasformazioni significative. Originariamente, il termine "autismo" fu coniato da Eugen Bleuler per descrivere un sintomo osservato nei pazienti con schizofrenia, caratterizzato da un estremo ritiro dalla realtà esterna verso un mondo interno di fantasia (Bleuler, 1911). Tuttavia, fu solo nel 1943 che Leo Kanner, uno psichiatra infantile, identificò l'autismo come una condizione distinta, descrivendo un gruppo di bambini che presentavano caratteristiche come difficoltà nella comunicazione sociale, comportamenti ripetitivi e una apparente indifferenza verso l'ambiente sociale (Kanner, 1943). Da quel momento, l'autismo iniziò a essere riconosciuto come un disturbo separato, non direttamente legato alla schizofrenia. Il concetto si è ulteriormente evoluto con l'avanzare delle ricerche, conducendo all'introduzione del termine "Disturbo dello Spettro Autistico" (ASD), che racchiude una vasta eterogeneità di manifestazioni e gradi di severità e, che condividono, caratteristiche comportamentali principali.

Questa nuova prospettiva, nella comprensione dell'autismo, si è riflessa nelle classificazioni diagnostiche, trovando piena formalizzazione nelle definizioni attuali presenti nel *Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali- Quinta Edizione* (DSM-5), pubblicato dall'American Psychiatric Association (APA, 2013). Nel DSM-5,

l'ASD viene riconosciuto come uno spettro multidimensionale, richiedendo approcci diagnostici e interventi altamente personalizzati.

Secondo il DSM-5, l'ASD è una condizione del neurosviluppo caratterizzata da deficit nelle aree della comunicazione e dell'interazione sociale, nei comportamenti comunicativi non verbali e nelle abilità relazionali. A tal proposito, gli studi rilevano, all'interno del comportamento dei bambini con autismo, alcune caratteristiche che li rendono unici, come ad esempio l'iperfocalizzazione su un determinato argomento o oggetto, l'insensibilità al dolore o ai fastidi, restrizioni alimentari, difficoltà nel linguaggio e nell'espressione (Kirby, 2015).

Il termine "spettro" viene utilizzato per indicare l'ampia variabilità nelle manifestazioni del disturbo, che possono differire significativamente tra gli individui, sia per la tipologia che per la gravità dei sintomi. Da qui, l'importanza di definire criteri diagnostici chiari, poiché influenzano direttamente la possibilità di garantire o meno l'accesso all'assistenza ed agli interventi per i bambini con lo spettro dell'autismo.

Il DSM-5, nella sua ultima edizione rispetto al DSM-IV-TR, ha ridefinito i criteri diagnostici dell'ASD ampliando la definizione di Disturbo dello Spettro Autistico per includere condizioni precedentemente classificate separatamente quali, il Disturbo Pervasivo dello Sviluppo Non Altrimenti Specificato (PPD-NOS), ed il Disturbo di Asperger.

Di conseguenza, tali modifiche, da un lato, hanno contribuito a semplificare il processo di diagnosi, riducendo la confusione tra le diverse categorie e consolidandole sotto un'unica diagnosi di ASD (Flores-Rodríguez et al. 2022); dall'altro, hanno influenzato significativamente il processo diagnostico, caratterizzato da un'elevata variabilità nella sintomatologia, nonché i tassi di prevalenza, le comorbidità riconosciute e gli strumenti utilizzati per la diagnosi.

Le modifiche del DSM-5 hanno semplificato la diagnosi dell'ASD, riducendo la triade dei domini sintomatici (socializzazione, comunicazione e comportamenti atipici) a una diade. Il deficit di interazione sociale e comunicazione, che nel DSM-IV erano valutati separatamente, nel DSM-5, sono trattati in un unico dominio denominato “deficit di comunicazione sociale”. Per questo primo dominio, il DSM-5 adotta un approccio diagnostico monotetico, richiedendo che siano soddisfatti tutti e tre i seguenti criteri:

Deficit nella reciprocità socio-emotiva: caratterizzato da un approccio sociale atipico, con difficoltà a sostenere una conversazione reciproca, una ridotta condivisione di interessi, emozioni o sentimenti, e difficoltà nell'iniziare o rispondere alle interazioni sociali.

Deficit nei comportamenti comunicativi non verbali utilizzati per l'interazione sociale: evidenziato da una scarsa integrazione tra comunicazione verbale e non verbale, anomalie nel contatto visivo e nel linguaggio del corpo, difficoltà nella comprensione e nell'uso dei gesti, fino a una completa assenza di espressioni facciali e di comunicazione non verbale.

Deficit nello sviluppo, mantenimento e comprensione delle relazioni: manifestato attraverso difficoltà nell'adattare il comportamento a diversi contesti sociali, nel condividere giochi immaginativi o nel fare amicizia, e l'apparente disinteresse per le interazioni sociali.

Il secondo dominio, denominato “comportamenti ristretti e ripetitivi”, rimane indipendente, ed è stato ampliato con l'introduzione del linguaggio stereotipato e delle anomalie sensoriali. Questo dominio comprende il seguente quadro diagnostico:

Movimenti motori, uso di oggetti o linguaggio stereotipati o ripetitivi.

Insistenza sulla monotonia, inflessibile aderenza alla routine o modelli ritualizzati di comportamento verbale o non verbale (ad esempio, estremo disagio per piccoli cambiamenti, difficoltà nelle transizioni, rigidi modelli di pensiero, rituali di saluto).

Interessi fortemente ristretti e fissi, anormali per intensità o focalizzazione (ad esempio, forte attaccamento o preoccupazione per oggetti insoliti, interessi eccessivamente circoscritti o perseveranti).

Iper- o ipo-reattività agli stimoli sensoriali o interesse insolito per gli aspetti sensoriali dell'ambiente (ad esempio, apparente indifferenza al dolore/temperatura, risposta avversa a suoni o consistenze specifici, eccessivo odore o tocco di oggetti, fascinazione visiva per luci o movimenti).

Dal punto di vista diagnostico, per soddisfare i criteri relativi al dominio “comportamenti ristretti e ripetitivi”, il DSM-5 adotta un approccio politetico, richiedendo la presenza di almeno due sintomi tra quelli elencati. Questi comportamenti possono manifestarsi in modo significativo al punto da compromettere il funzionamento quotidiano (Flores-Rodríguez et al., 2022).

Le modifiche ai criteri diagnostici hanno avuto un impatto significativo sui tassi di prevalenza e le diagnosi cliniche. Studi comparativi indicano che, rispetto ai criteri del DSM-IV-TR, i criteri del DSM-5 potrebbero escludere alcuni individui con sintomi meno evidenti o borderline, in particolare coloro che in precedenza rientravano nelle categorie di PDD-NOS o disturbo di Asperger. Kaba et al. (2020) ha rilevato che l'11.8% dei bambini con PDD-NOS non soddisfaceva più i criteri per l'ASD secondo il DSM-5, mentre il 7.9% rientrava nei criteri per il disturbo della comunicazione sociale (SCD). Inoltre, la creazione del SCD come diagnosi separata dal DSM-5 ha complicato ulteriormente il confronto tra ricerche precedenti e attuali, nonché i servizi forniti ai casi che non rientrano più nella categoria di ASD (Volkmar & Reichow, 2014). Infine, l'adozione di un approccio combinato monotetico e politetico ha ridotto significativamente le possibili combinazioni sintomatiche per una diagnosi di ASD: si è passati da 2.027 combinazioni distintive nel DSM-IV a sole 11 nel DSM-5 (McPartland et al., 2012). Questi cambiamenti non solo influenzano la composizione dello spettro

autistico, ma sottolineano la necessità di adattare gli strumenti diagnostici e i servizi clinici alle nuove specifiche.

La variabilità diagnostica, inoltre, può essere influenzata da diversi fattori come la tipologia dell'operatore e dalla sua formazione, il processo di valutazione adottato, il livello di standardizzazione delle misure obiettive, il peso dei report dei genitori, e la capacità di osservazione del paziente nella determinazione della diagnosi dell'ASD.

A tal proposito, sono stati considerati diversi strumenti valutativi come la Childhood Autism Rating Scale (CARS) e l'Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R). La versione messicana della CARS ha mostrato un tasso di concordanza dell'84.5% con i criteri del DSM-5, ma con una sensibilità inferiore al 50%, indicando che, mentre lo strumento è utile per identificare casi evidenti di ASD, potrebbe non rilevare accuratamente i casi più lievi (Flores-Rodríguez et al., 2022). D'altro canto, l'ADI-R ha dimostrato un'elevata sensibilità e specificità nella diagnosi di ASD nei bambini cinesi, soprattutto per quelli con disabilità intellettive (Kelly et al., 2021).

Tuttavia, gli algoritmi del DSM-5 all'interno dell'ADI-R hanno mostrato una minore efficacia per i bambini senza disabilità intellettive, suggerendo la necessità di adattamenti per migliorare l'accuratezza diagnostica, come l'introduzione di scale più dettagliate per valutare i comportamenti ristretti e ripetitivi (Flores-Rodríguez et al., 2022; Kelly et al., 2021).

L'introduzione del DSM-5 ha influenzato i tassi di prevalenza globale dell'ASD, con stime tra l'1.70% e l'1.85% negli Stati Uniti e dallo 0.38% all'1.55% in Europa, evidenziando differenze legate a pratiche diagnostiche, accesso ai servizi e criteri più stringenti che possono escludere alcuni individui.

Per quanto riguarda le comorbidità, il DSM-5 ha garantito una maggiore flessibilità nel riconoscere e diagnosticare il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD), i disturbi d'ansia e le disabilità intellettive, che, se trascurate o sottovalutate, possono

influire significativamente sulla qualità della vita e sulla risposta ai trattamenti delle persone con ASD (Bougeard et al., 2024).

La ricerca continua è essenziale per migliorare l'affidabilità degli strumenti diagnostici e garantire diagnosi accurate per tutti gli individui con ASD, indipendentemente dalla gravità dei sintomi. Il DSM-5 ha portato maggiore coerenza nella diagnosi, presentando l'ASD come un continuum di sintomi piuttosto che come condizioni distinte, ma ha introdotto nuove sfide nel trattamento personalizzato. L'adozione di strumenti diagnostici avanzati e culturalmente adattati è fondamentale, così come l'uso di tecnologie innovative come i modelli di apprendimento automatico, che promettono di migliorare la precisione e ridurre i tempi di diagnosi. Tuttavia, la validità e l'applicabilità di queste tecnologie richiedono ulteriori verifiche, soprattutto per affrontare le disuguaglianze diagnostiche in contesti con risorse limitate.

1.1 Epidemiologia

Negli ultimi decenni, si è registrato un incremento dei casi diagnosticati di ASD. Questa tendenza è attribuita a una maggiore consapevolezza pubblica, all'evoluzione dei criteri diagnostici e ad un miglior accesso ai servizi di diagnosi precoce (Lyall et al., 2017). Tuttavia, l'aumento della prevalenza, solleva interrogativi sulla possibilità di una reale crescita dell'incidenza dell'ASD, suggerendo il potenziale coinvolgimento di fattori ambientali e genetici non ancora completamente compresi (Kassim & Mohamed, 2024).

La prevalenza globale dell'ASD è stimata tra lo 0.6% e l'1.5%, con significative differenze geografiche. Una revisione sistematica ha rilevato una prevalenza media dello 0.6%, con differenze significative tra i vari continenti: 0.4% in Asia, 0.5% in Europa, 1% in America e Africa, e 1.7% in Australia (Salari et al., 2022). Nei paesi ad alto reddito, i tassi di prevalenza risultano più elevati, con una media dello 0.97% nei paesi sviluppati (Fombonne et al., 2021;

Kassim & Mohamed, 2024), riflettendo una maggiore capacità diagnostica, piuttosto che una reale differenza nell'incidenza dell'autismo (Solmi et al., 2022).

L'espansione dei criteri diagnostici ha portato ad un aumento del 39.3% dei casi prevalenti di ASD tra il 1990 e il 2009, nonostante un tasso di incidenza relativamente stabile a livello globale (Li et al., 2022). Questo incremento è attribuibile alla modifica dei criteri diagnostici, che ha consentito di riconoscere un numero maggiore di individui con sintomi precedentemente non diagnosticati o etichettati diversamente.

Le stime attuali indicano un rapporto di prevalenza tra maschi e femmine pari a 4.2:1 circa, con una prevalenza significativamente maggiore nei maschi (Zeidan et al., 2022). Tale disparità potrebbe essere attribuita, almeno in parte, a un bias diagnostico: i maschi tendono a manifestare più frequentemente comportamenti stereotipati e interessi ripetitivi, mentre le femmine mostrano abilità compensatorie nel contesto sociale, come un interesse eccessivo per la lettura o la cura degli animali, che rendono i sintomi meno evidenti.

Queste abilità compensatorie, deliano un particolare tipo di profilo nell'ASD, noto come "profilo autistico camuffato," che porta molte bambine e donne a ricevere una diagnosi solo in età adulta, spesso dopo essere state erroneamente diagnosticate con altri disturbi, come quelli dell'umore o d'ansia.

L'età di diagnosi dell'ASD varia significativamente in funzione delle risorse disponibili e del grado di consapevolezza del disturbo all'interno delle diverse comunità. Nei paesi sviluppati, la diagnosi si colloca generalmente tra i 3 e i 5 anni, mentre in molte altre regioni del mondo può essere considerevolmente posticipata, spesso a causa della carenza di servizi diagnostici adeguati e di una preparazione insufficiente da parte dei professionisti sanitari. In determinati contesti, si riscontrano picchi di diagnosi in età adulta, specialmente nei casi in cui il disturbo sia stato sottostimato nell'infanzia o mascherato da strategie compensatorie acquisite nel corso della vita. Tali diagnosi tardive sono frequentemente scatenate da

difficoltà crescenti nelle relazioni sociali, nell'ambito accademico o lavorativo, dove le richieste ambientali superano le capacità di adattamento individuale.

La diagnosi precoce riveste un'importanza cruciale nel migliorare gli esiti evolutivi dei soggetti con ASD. Numerose evidenze scientifiche dimostrano che interventi intensivi e tempestivi avviati nei primi anni di vita possono favorire lo sviluppo delle competenze sociali e comunicative, attenuare i comportamenti disfunzionali e potenziare il funzionamento cognitivo. Tuttavia, l'efficacia di tali interventi è strettamente correlata alla tempestività della diagnosi, che rimane spesso ostacolata dall'insufficienza di strumenti diagnostici accessibili e dalla carenza di personale qualificato, in particolare nei contesti a basso reddito. Tali criticità sottolineano l'urgenza di implementare politiche di salute pubblica mirate a promuovere la formazione specialistica dei professionisti e a favorire l'adozione di programmi di screening universale.

1.2 Eziologia

Il disturbo dello spettro autistico (ASD) è una condizione neuro-evolutiva di eziologia eterogenea. Sebbene sia ampiamente riconosciuto che fattori genetici e ambientali e le loro interazioni contribuiscono ai fenotipi autistici, i meccanismi specifici attraverso cui influenzano lo sviluppo neuro-cognitivo rimangono poco compresi. Questa complessità deriva dalla natura eterogenea degli ASD, che si manifesta con un'ampia gamma di fenotipi clinici e variabili individuali (Bölte, 2019).

La letteratura scientifica evidenzia non solo l'importanza dei fattori genetici ereditari, ma anche del contesto ambientale, che include esposizioni prenatali e perinatali (Vellingiri, 2022; Van den Bergh, 2017; Wang, 2017), fattori epigenetici (Khogeer, 2022) e modelli di interazione gene-ambiente (Keil-Stietz, 2023).

1.3 Fattori Genetici

Gli ASD sono considerati un disturbo genetico complesso con un'elevata ereditabilità. Studi epidemiologici condotti sui gemelli hanno evidenziato una forte componente genetica, con tassi di concordanza compresi tra il 70% e il 90% nei gemelli monozigoti, e tra 0% e il 25% nei gemelli dizigoti (Abrahams, 2008; Schaefer, 2013). Inoltre, nelle famiglie con una storia di ASD, il tasso di ricidiva tra i fratelli più giovani è stimato intorno al 25-30%, con una maggiore incidenza osservata nei maschi (Genovese, 2020).

In circa il 20–25% dei casi di ASD, sia nei bambini che negli adulti, sono state identificate cause genetiche specifiche, tra cui mutazioni *de novo*, variazioni genetiche rare e comuni, e polimorfismi associati al disturbo (Geschwind, 2011; Miles, 2011; Abrahams, 2008). Il database SFARI (Simons Foundation Autism Research Initiative) raccoglie attualmente circa 1000 geni candidati associati agli ASD, suddivisi in quattro categorie in base al grado di associazione con il rischio di sviluppare il disturbo: “S” (sindromico), categoria 1, categoria 2 e categoria 3 (sitografia: [https:// gene.sfari.org/about-gene-scoring/](https://gene.sfari.org/about-gene-scoring/)).

La categoria “S” include 126 geni con mutazioni associate a un rischio significativo per gli ASD, spesso accompagnate da caratteristiche cliniche aggiuntive non necessarie per la diagnosi. I geni di categoria 1 sono supportati da almeno tre mutazioni *de novo*, dall'inclusione nella lista SPARK (Satterstrom, 2021) e da un tasso di falsi positivi inferiore a 0.1. Questa categoria comprende attualmente 207 geni. I geni di categoria 2 sono identificati grazie alla presenza di almeno due mutazioni *de novo* documentate e a una significatività genomica; questa categoria include 211 geni. Infine, i geni di categoria 3, definiti candidati suggestivi, comprendono 506 geni, supportati da una sola mutazione *de novo* o da associazioni non ancora replicate in studi di associazione genome-wide (GWAS).

1.4 Fattori Ambientali

I fattori ambientali che, possono contribuire a un maggiore rischio di ASD comprendono: l'età dei genitori, le condizioni nutrizionali e metaboliche della madre, infezioni contratte durante la gravidanza, situazioni di stress prenatale, nonché l'esposizione a sostanze tossiche, metalli pesanti o specifici farmaci.

L'età avanzata dei genitori, in particolare del padre, è stata correlata a un rischio maggiore di ASD nei figli, anche se alcune ricerche mettono in dubbio questa associazione (Wu, 2017; Karimi, 2017).

Lo stato nutrizionale della madre svolge un ruolo fondamentale nello sviluppo cerebrale del feto. Sia una carenza che un eccesso di micronutrienti essenziali, come acido folico, zinco, ferro, vitamina D e omega-3, possono compromettere il normale neuro-sviluppo e di conseguenza, causare compromissioni neuro-cognitive (Emberti Gialloreti, 2019).

Alterazioni nell'equilibrio dei metalli traccia, come l'accumulo di mercurio e piombo o la carenza di zinco durante la gravidanza, sono state collegate al rischio di ASD secondo studi epidemiologici e ricerche condotte su modelli animali (Hagmeyer, 2015).

Un altro importante fattore ambientale è rappresentato dalle infezioni materne (Careaga, 2017). La correlazione tra infezioni congenite, come la rosolia, e lo sviluppo di ASD ha spinto a esaminare il ruolo dell'attivazione immunitaria durante la gravidanza. Studi su modelli animali indicano che citochine prodotte dalla madre possano attraversare la placenta, provocando infiammazione e alterazioni genetiche nel feto. L'esposizione agli anticorpi materni è stata associata a un aumento della crescita e del volume cerebrale nei figli, un tratto frequentemente osservato nei fenotipi associati all'autismo (Bölte, 2019). Le anomalie infiammatorie, presenti durante il periodo di gestazione, possono persistere fino in età adulta. Vargas (2005) evidenzia disfunzioni sia nel sistema immunitario adattativo che innato negli individui con ASD, in particolare, livelli elevati di citochine e chemochine nel sistema

nervoso centrale e nel sangue periferico suggeriscono la presenza di un fenotipo neuroinfiammatorio, potenzialmente implicato nei comportamenti tipici ASD.

L'uso di farmaci durante la gravidanza, in particolare quelli contro l'epilessia e la depressione, è stato associato a un aumento del rischio di ASD. L'uso materno di valproato è correlato a diverse alterazioni neuroevolutive nei bambini, con un rischio apparentemente dose-dipendente. Anche l'uso di antidepressivi, come gli inibitori selettivi della ricaptazione della serotonina, può aumentare il rischio di ASD, sebbene siano stati trovati risultati contrastanti (Modabbernia, 2017).

Inoltre, vari fattori ambientali possono aumentare il rischio di comorbilità associate all'autismo come, disturbi gastrointestinali, epilessia e obesità (Emberti Gialloreti, 2019).

1.5 Neuropatologia: Basi e Modelli Neurobiologici dello Spettro dell'Autismo

Le basi neurobiologiche dell'ASD descrivono come le interazioni tra fattori genetici, epigenetici e ambientali possano modulare e alterare i processi neurobiologici normali. Tali alterazioni si manifestano con cambiamenti funzionali e strutturali nelle connessioni neurali, influenzando significativamente la cognizione e il comportamento, contribuendo alla variabilità clinica e comportamentale tipica degli individui con ASD.

Le alterazioni vengono studiate attraverso una varietà di modelli, tra cui modelli animali, cellule staminali pluripotenti umane (hPSC) e organoidi cerebrali. Questi strumenti forniscono una base teorica essenziale per approfondire i meccanismi patologici e promuovere lo sviluppo di approcci diagnostici e terapeutici mirati.

L'autismo è una condizione poligenica legata a mutazioni genetiche *de novo* e variazioni ereditarie. La maggior parte delle mutazioni osservate negli individui con ASD coinvolge geni che regolano lo sviluppo cerebrale e le funzioni sinaptiche, contribuendo all'alterazione delle dinamiche neuronali che si traducono nei sintomi clinici dell'autismo (Veenstra-

Vanderweele et al., 2023). I geni quali, SHANK3, SCN2A e CACNA1A regolano processi cruciali come la sinaptogenesi, lo sviluppo cerebrale e la trasmissione sinaptica e vengono associati a deficit cognitivi e sociali nelle forme più gravi di autismo (Exploring the Structural and Strategic Bases of Autism Spectrum Disorders with Deep Learning, 2024). Influenze epigenetiche, come l'esposizione prenatale a fattori ambientali, hanno mostrato di poter modulare l'espressione genetica e contribuire alla manifestazione del disturbo. Il modello ecologico sottolinea ulteriormente il ruolo delle interazioni ambientali nello sviluppo dell'ASD, suggerendo che fattori esterni possono agire come scatenanti del disturbo. I modelli di cellule staminali pluripotenti umane (hPSC) sono stati utilizzati per indagare lo sviluppo neurologico, rivelando fenotipi cellulari e molecolari come le anomalie nella funzione sinaptica (Chapman, 2022). Gli organoidi cerebrali, derivati da cellule staminali pluripotenti indotte (iPSC), replicano lo sviluppo cerebrale precoce mostrando anomalie nella migrazione neuronale e nella sinaptogenesi (Sidenkova, 2024; Santos et al., 2023). Ulteriori studi hanno evidenziato anomalie neurochimiche, come alterazioni nei livelli di ossitocina e vasopressina, che risultano collegate a difficoltà nella socializzazione e nei comportamenti empatici (Zheng, 2024). Inoltre, il sistema di ricompensa sociale, la disfunzione dell'amigdala e le anomalie del sistema dei neuroni specchio rappresentano altre aree di alterazione, con impatti significativi sulla cognizione sociale e sull'empatia (Zheng, 2024). I fenomeni infiammatori nel sistema nervoso centrale sono anch'essi associati all'ASD, contribuendo a disfunzioni nella comunicazione sociale.

I modelli animali vengono utilizzati per indagare i sistemi neurali, con particolare attenzione al comportamento sociale e alle azioni ripetitive (Veenstra-VanderWeele et al., 2023), fornendo una piattaforma per analizzare sistemi neurali complessi e testare interventi mirati. Parallelamente, i modelli di deep learning applicati ai dati di risonanza magnetica hanno identificato le basi strutturali dell'ASD, evidenziando il ruolo di strutture sottocorticali come i gangli della base (Ke et al., 2020). Simulazioni computazionali hanno, inoltre, rivelato

schemi di sovraconnettività nelle regioni cerebrali locali e di sottoconnettività a lungo raggio, contribuendo alla comprensione delle alterazioni nella connettività neurale (Montgomery, 2024).

1.6 Approcci di Neuroimaging e ASD

1.6.1 Elettroencefalografia

L'elettroencefalografia (EEG) è una delle tecniche di neuroimaging più rilevanti per lo studio dell'autismo. Questo metodo non invasivo consente di monitorare l'attività elettrica del cervello con un'eccellente risoluzione temporale, rendendolo uno strumento ideale per l'analisi in tempo reale della dinamica cerebrale. Gli studi che utilizzano l'EEG su soggetti con ASD hanno identificato alterazioni significative nei ritmi cerebrali, in particolare nelle bande alfa e gamma (Kakuszi et al., 2024). Questi ritmi, fondamentali per una comunicazione efficace tra le diverse regioni cerebrali, quando alterati, possono indicare disfunzioni nella connettività cerebrale che contribuiscono ai sintomi distintivi dell'autismo (Samantha et al., 2020).

La ridotta attività nella banda alfa, durante il riposo, e le anomalie nelle bande gamma, osservate durante compiti di elaborazione sociale, indicano una minore efficienza nella trasmissione delle informazioni tra diverse regioni cerebrali e potrebbe essere associata a difficoltà nei processi di integrazione sociale e comunicativa tipiche dell'autismo (Sun et al., 2012). Studi recenti, hanno rilevato una maggiore variabilità nelle risposte neurali agli stimoli sensoriali nei bambini con ASD, suggerendo che il loro cervello elabora gli stimoli in modo meno prevedibile rispetto a quello dei bambini con sviluppo tipico (Luschekina et al., 2017). Questa imprevedibilità potrebbe contribuire a difficoltà nella regolazione emotiva e nel mantenimento di comportamenti adattivi (Santos et al., 2023).

Attraverso l'analisi l'EEG, sono stati identificati fenomeni di dissincronizzazione delle onde gamma durante compiti complessi che richiedono l'elaborazione di informazioni sociali, come l'interpretazione delle espressioni facciali (Liao, 2022; Monteiro, 2017). La sincronizzazione delle onde gamma, fondamentale per la comunicazione tra le diverse aree cerebrali, risulta ridotta nei soggetti con ASD, evidenziando una difficoltà nella cooperazione tra regioni cerebrali durante l'elaborazione sociale (Mehdizadehfar 2020). Questa riduzione compromette la capacità di comprendere il comportamento altrui e di interagire efficacemente nelle situazioni sociali.

1.6.2 Risonanza Magnetica Funzionale

La risonanza magnetica funzionale (fMRI), consente di misurare le variazioni nel flusso ematico cerebrale, fornendo un indicatore dei cambiamenti nell'attività neurale. L'utilizzo della fMRI ha permesso di identificare modelli di connettività cerebrale anomala nei soggetti con ASD, evidenziando in particolare alterazioni nella rete di default mode (DMN), una rete attiva principalmente durante i momenti di riposo e nei processi legati al pensiero autoreferenziale (Sidenkova, 2024). Le alterazioni osservate nella DMN suggeriscono problematiche nell'autoregolazione emotiva e nella capacità di collegare le informazioni personali agli stimoli provenienti dall'ambiente sociale e circostante (Cong et al., 2023). Inoltre, l'attività anomala riscontrata in aree cerebrali deputate all'elaborazione delle emozioni, come l'amigdala, durante compiti di riconoscimento delle espressioni facciali, evidenzia le difficoltà che le persone con ASD incontrano nell'interpretazione corretta dei segnali sociali (Takahashi et al., 2021).

La fMRI ha permesso di individuare il fenomeno dell'iperconnettività locale, caratterizzato da un'intensa comunicazione neuronale all'interno di specifiche aree cerebrali (corteccia prefrontale, regione temporale e corteccia sensoriale e motoria), accompagnata da una

ipoconnettività a lungo raggio tra regioni distanti (i.e. corteccia prefrontale e loboparietale-temporale) (Sperdin et al., 2018). La connettività ridotta tra l'amigdala e la corteccia prefrontale potrebbe contribuire a difficoltà nella regolazione emotiva e nell'elaborazione dei segnali sociali.

Questo disallineamento nei pattern di connettività potrebbe essere alla base della rigidità cognitiva e dei comportamenti ripetitivi tipicamente osservati nei soggetti con ASD (Li et al 2021).

1.6.3 Imaging della Diffusione

La Diffusion Tensor Imaging (DTI), una tecnica di imaging della diffusione, consente di analizzare la microstruttura della materia bianca, fornendo dati essenziali sulle connessioni neurali fisiche all'interno del cervello. Nei soggetti con ASD, si osservano frequentemente anomalie nella microstruttura della materia bianca, evidenziate da una diminuzione dell'anisotropia frazionale (FA), una metrica che indica l'integrità dei tratti della materia bianca, presente nei tratti che collegano la corteccia prefrontale alle regioni posteriori, suggerendo un'interferenza nell'integrazione delle informazioni sensoriali e cognitive (Ke et al, 2020).

1.6.4 Magnetoencefalografia

La magnetoencefalografia (MEG), è stata utilizzata per rilevare i campi magnetici generati dall'attività elettrica cerebrale, offrendo una risoluzione temporale precisa. Attraverso la MEG, è stato possibile individuare anomalie significative nei processi di elaborazione sensoriale e sociale nei soggetti con ASD. In particolare, il ritardo nelle risposte cerebrali, a seguito di stimoli acustici e visivi suggerisce un'alterazione nell'elaborazione sensoriale,

caratteristica della sovrastimolazione e dell'insorgenza di comportamenti di evitamento (Li et al 2021).

1.6.5 Tomografia a Emissione di Positroni

La Tomografia a emissione di Positroni (PET), è stata utilizzata per definire l'attività metabolica nelle diverse regioni del cervello. Nell'ambito dell'autismo, viene utilizzato per l'analisi del metabolismo del glucosio, che rappresenta un indicatore diretto dell'attività neuronale (Anil Kumar et al., 2017). Studi recenti, hanno evidenziato una ridotta captazione di glucosio nelle aree coinvolte nella regolazione delle emozioni e delle interazioni sociali, quali, la corteccia prefrontale, l'amigdala e la corteccia posteriore (Ryan et al., 2024). La PET, inoltre, ha esaminato il ruolo dei sistemi neurotrasmettitoriali. Alterazioni nella regolazione della serotonina, riscontrate nella popolazione ASD, sono associate a livelli elevati di ansia e presenza di comportamenti ossessivo-compulsivi (Santos et al 2023). Inoltre, le alterazioni nel sistema dopaminergico possono influenzare il comportamento sociale e la risposta alla ricompensa, contribuendo a una diminuzione della motivazione sociale (Solié et al., 2022).

1.6.6 Imaging Multimodale e Machine Learning

Gli approcci di neuroimaging multimodale rappresentano una metodologia avanzata e integrativa per analizzare le complesse dinamiche neurobiologiche associate all'ASD. L'utilizzo combinato di tecniche quali, MRI, fMRI e DTI, ha consentito ai ricercatori di mettere in relazione le alterazioni anatomiche con le disfunzioni nella connettività neuronale e nell'attività cerebrale.

Gli studi multimodali hanno evidenziato come, le anomalie nella materia bianca, rilevate tramite DTI, siano strettamente associate a cambiamenti nella connettività funzionale osservati con la fMRI (Ke et al., 2020). L'adozione di approcci multimodali non solo facilita l'identificazione di potenziali biomarcatori per la diagnosi precoce e la caratterizzazione dei sottotipi di ASD, ma apre anche nuove prospettive per lo sviluppo di interventi terapeutici personalizzati, basati sulle specifiche caratteristiche neurobiologiche di ciascun individuo (Ke et al., 2020).

1.7 Ipotesi della Compromissione Predittiva

L'ipotesi del deterioramento delle capacità predittive nell'autismo suggerisce che, i bambini con ASD, incontrino difficoltà nel prevedere gli eventi futuri, in particolari condizioni di incertezza. Al contrario, la capacità di formulare previsioni, rappresenta un elemento fondamentale per numerosi processi cognitivi, tra cui l'elaborazione sensomotoria, la comunicazione e le interazioni sociali (Sapey-Triomphe et al., 2023).

Nei soggetti neurotipici, il cervello elabora modelli mentali della realtà circostante basandosi sulle esperienze passate, utilizzandoli per prevedere gli eventi e adattarsi a nuovi stimoli (Sapey-Triomphe et al., 2023).

Nei bambini con ASD, si ritiene che questo sistema di codifica sia compromesso, con variazioni nella tipologia e intensità tra gli individui, determinando difficoltà nel generare previsioni accurate, nel regolare i processi di apprendimento basati sugli errori di previsione e nell'interazione con l'ambiente percepito come caotico e imprevedibile (Goris et al., 2022).

Beker et al. (2021) hanno osservato nei bambini con ASD una riduzione del trascinamento neurale, il processo attraverso cui il cervello si sincronizza con ritmi esterni, come suoni o movimenti ripetitivi. Questa compromissione ostacola la capacità di anticipare eventi basati su schemi temporali, determinando difficoltà nel prevedere e rispondere a stimoli ritmici.

Thillay et al. (2016) hanno osservato che, in situazioni caratterizzate da alti livelli di incertezza, i bambini con ASD possono mostrare una tendenza a sovrastimare gli stimoli anticipati. Questo porta a un miglioramento dei meccanismi preparatori ma al contempo a difficoltà nel modulare l'attività corticale in risposta alle variazioni nei livelli di incertezza. Inoltre, i bambini con ASD presentano una minore coerenza di fase nell'attività neuro-oscillatoria rispetto ai coetanei con sviluppo tipico, suggerendo una sincronizzazione inefficace con i segnali ambientali (Beker et al., 2021). Studi con l'EEG confermano che questi bambini tendono a fare affidamento su input sensoriali immediati piuttosto che su previsioni basate su schemi ritmici (Beker et al., 2020).

L'elaborazione predittiva cerebrale si sviluppa attraverso una struttura gerarchica complessa, che va dai processi di basso livello, come la percezione sensoriale, fino ai processi di alto livello, come la cognizione avanzata e l'interpretazione sociale (Sperdin et al., 2018). Nei bambini con ASD, questa gerarchia appare alterata, con anomalie nella codifica delle previsioni di alto livello associate a un'attività anomala in regioni cerebrali fondamentali, tra cui la corteccia cingolata anteriore e il putamen (Sapey-Triomphe et al., 2023). Studi sulle reti neurali hanno indicato che i bambini con ASD hanno incontrato difficoltà nel riconoscimento delle emozioni facciali a causa di un'elaborazione predittiva alterata. Studi sull'elaborazione visiva hanno evidenziato che i bambini con ASD mostrano ritardi nei processi visivi basati sul feedback, indicando una compromissione nell'integrazione delle previsioni statistiche derivate dall'esperienza. Questa difficoltà compromette la stabilità percettiva, causando problemi nell'elaborare stimoli visivi complessi come volti, oggetti in movimento o ambienti articolati (Knight et al., 2024). Takahashi et al. (2021) hanno suggerito che queste difficoltà siano state attribuibili a una stima eccessivamente precisa dei dettagli irrilevanti, che ha compromesso la generalizzazione e il raggruppamento emotivo nei livelli superiori della rete neurale, portando ad un'elaborazione sociale iperdettagliata ma

inefficace, rendendo difficile per i bambini con ASD comprendere e rispondere adeguatamente ai segnali emotivi.

1.7.1 Ruolo della Corteccia Prefrontale nello Sviluppo Sociale ed Emotivo

La regolazione delle emozioni (Emotion Regulation, ER) rappresenta un elemento fondamentale per il mantenimento del benessere psicologico e sociale ed è strettamente associata al ruolo della corteccia prefrontale (PFC). Nei bambini con ASD, la compromissione delle capacità di regolazione emotiva costituisce una caratteristica distintiva, che manifesta con difficoltà nell'adattarsi agli stimoli emotivi e nella gestione autonoma delle risposte comportamentali come, comportamenti disadattivi come crisi di rabbia o comportamenti auto-lesivi (Mazefsky et al., 2013).

La PFC, attraverso una complessa rete di connessioni con regioni subcorticali, l'amigdala e il talamo, regola l'intensità delle emozioni, regola le risposte agli stimoli e supporta strategie di regolazione cognitiva, come il reappraisal e l'inibizione di comportamenti impulsivi (Ochsner & Gross, 2014), valutandone il significato in base al contesto e alle esperienze pregresse (Gross, 2015).

Studi di neuroimaging hanno evidenziato che, nei bambini con ASD, la PFC presenta anomalie sia strutturali che funzionali nelle aree ventromediale (vmPFC), dorsolaterale (dlPFC) e nella corteccia cingolata anteriore (ACC), compromettendo la capacità di modulare efficacemente le risposte emotive, aumentando la sensibilità agli stimoli stressanti e riducendo capacità di soppressione delle risposte emotive automatiche (Mazefsky et al., 2012).

1.7.2 Ruolo della Corteccia Prefrontale nello Sviluppo Cognitivo-Motorio

Le abilità motorie e le funzioni esecutive (EF) sono due domini fondamentali dello sviluppo nell'infanzia, tradizionalmente considerati ambiti distinti. Tuttavia, crescenti evidenze indicano una forte interconnessione tra queste dimensioni, suggerendo che ritardi in uno o entrambi i domini possano avere un impatto significativo sulla vita quotidiana e sullo sviluppo futuro. La ricerca, ha inoltre evidenziato che tali difficoltà motorie sono particolarmente marcate nei bambini con ASD rispetto ai coetanei sviluppo tipico (TD) (Pan et al., 2024). Sebbene i ritardi nelle abilità motorie non siano inclusi nei criteri diagnostici dell'ASD, essi sono riconosciuti come un sintomo precoce associato a questa condizione (Bhat et al., 2011).

Le abilità motorie includono competenze necessarie per pianificare ed eseguire movimenti complessi (ad esempio, correre, saltare, afferrare oggetti, scrivere). Si distinguono in abilità grosso-motorie, relative ai grandi segmenti corporei, e abilità fini, che richiedono precisione e coordinazione di mani e dita. Le EF, invece, si riferiscono a un insieme di processi cognitivi di ordine superiore, quali controllo inibitorio, flessibilità cognitiva e memoria di lavoro (Diamond, 2013). Questi processi, regolati dalla PFC, sono fondamentali per organizzare e regolare il comportamento, permettendo l'adattamento a contesti dinamici e complessi.

Tradizionalmente, le abilità motorie e le EF sono state considerate costrutti separati (Hertzberg, 1929), tuttavia, recenti teorie, come il modello del "learning to learn" (Adolph, 2005), evidenziano come il movimento nell'ambiente sia strettamente legato ai processi cognitivi. L'approccio ecologico all'apprendimento nella fase di sviluppo (Adolph, 2019) sottolinea l'importanza dell'interazione ambientale per lo sviluppo sia delle abilità motorie che cognitive. In particolare, la flessibilità comportamentale, si riferisce alla capacità di adattare e applicare strategie o azioni esistenti per affrontare nuove sfide, utilizzando metodi familiari per risolvere problemi motori in contesti variabili, evidenziando così come le abilità

cognitive siano intricatamente legate a quelle motorie. Questi legami sono evidenti nel modo in cui i bambini adattano le loro azioni motorie in risposta alle mutevoli esigenze ambientali, richiedendo un costante coinvolgimento cognitivo e aggiustamenti flessibili (Adolph et al., 2019; Adolph et al., 2005).

Studi di neuroimaging supportano l'esistenza di un legame tra abilità motorie e EF, evidenziando una co-attivazione di aree motorie (cervelletto, gangli della base) e regioni prefrontali durante compiti sia motori che cognitivi (Diamond, 2000). Tra i 5 e i 10 anni, la PFC e il neo-cervelletto attraversano una fase di rapido e coordinato sviluppo, contribuendo al miglioramento di funzioni quali il controllo inibitorio, la pianificazione e la coordinazione motoria (Anderson, 2002). Questo sviluppo sincronizzato, tra abilità cognitive e motorie, si riflette nell'incremento della quantità e della forza delle connessioni neuronali all'interno dei lobi frontali (Anderson, 2002). Tali cambiamenti sono strettamente legati a processi fondamentali, come la sinaptogenesi e la mielinizzazione, che caratterizzano la maturazione della PFC.

Nei bambini TD, le ricerche mostrano una variabilità nelle correlazioni tra abilità motorie e EF. Alcuni studi hanno evidenziato relazioni significative tra questi domini (Geertsens et al., 2016), al contrario, vengono anche riportate correlazioni limitate o assenti (Wunsch et al., 2016). Tali discrepanze, potrebbero essere attribuite a differenze metodologiche, come gli strumenti di valutazione utilizzati o la natura specifica dei compiti analizzati.

Nei bambini ASD, numerosi studi indicano che presentano difficoltà motorie rispetto ai pari TD (Hilton et al., 2012; Liu et al., 2021). Questi ritardi sono attribuiti a disfunzioni nelle vie fronto-striatali, nei gangli della base e nel cervelletto, strutture essenziali per il controllo motorio (Fournier et al., 2010). Anche le difficoltà di imitazione sociale e interazione con i coetanei possono limitare l'apprendimento motorio informale (Lloyd et al., 2013).

Dal punto di vista delle EF, i bambini autistici mostrano deficit nelle aree del controllo inibitorio e flessibilità cognitiva (Demetriou et al., 2018), con implicazioni legate ad un

minore coinvolgimento di specifiche aree cerebrali della PFC (es., giro frontale inferiore e medio, giro cingolato anteriore) durante i compiti EF (Zhang et al., 2020). Le ricerche evidenziano una relazione particolarmente forte tra abilità motorie ed EF nei bambini autistici (Schurink et al., 2012; Ramello de Carvalho et al., 2020). La teoria dei developmental cascades (Iverson et al., 2023) sottolinea come ritardi iniziali nell'area motoria possano innescare effetti negativi a cascata su altre dimensioni, come linguaggio e funzioni cognitive. Generalmente, una bassa auto-efficacia fisica e percezione della forma fisica, scoraggiano dal partecipare all'esercizio fisico (Bandini, et al., 2013; Liang et al., 2020; Ketcheson et al., 2024). Considerando che, entrambe sono fortemente associate alle EFs (Albuquerque et al., 2022) e, che queste due variabili possono essere modificate dagli interventi di esercizio fisico nei bambini con ASD (Liang et al., 2022), si può ipotizzare che il miglioramento di queste variabili rappresenti uno dei meccanismi attraverso cui l'esercizio fisico contribuisce al potenziamento delle EF. Le implicazioni pratiche e gli interventi rivolti a bambini ASD sottolineano, in primo luogo, l'importanza di una valutazione precoce per identificare tempestivamente difficoltà sia nell'ambito motorio sia in quello delle EF, consentendo di strutturare interventi personalizzati e di prevenire conseguenze a lungo termine (Hill, 2004). In tale ottica, risulta particolarmente efficace l'integrazione di programmi di potenziamento motorio con compiti cognitivi, in quanto rafforzare le abilità motorie può migliorare, in modo indiretto, anche le EF (Pesce et al., 2016; Sung et al., 2022). Proposte di attività ludiche che incorporano sfida, novità e problem solving motorio si rivelano altrettanto valide, poiché favoriscono l'engagement e lo sviluppo parallelo delle funzioni esecutive (Diamond, 2013).

Capitolo II

2 *Analisi Comportamentale Applicata*

L'Applied Behavior Analysis (ABA) rappresenta uno degli interventi più importanti e consolidati per il trattamento dell'autismo. L'ABA è un approccio terapeutico basato sui principi della teoria dell'apprendimento, ed è utilizzato per promuovere il miglioramento di comportamenti specifici, utilizzando strategie di rinforzo positivo e negativo (Peterson et al., 2024). Gli interventi basati sull'ABA si focalizzano sul potenziamento delle competenze sociali, comunicative, accademiche e comportamentali nei bambini con ASD, facendo leva su tecniche che privilegiano il rinforzo e la ripetizione per consolidare le abilità acquisite (Yunusiyah & Muhammad, 2024). Numerosi studi, hanno confermato l'efficacia di questo approccio, evidenziando significativi miglioramenti nelle abilità verbali, comportamentali e sociali di questi individui (Tami et al., 2024; Sousa et al., 2024). Il rinforzo positivo consiste nella somministrazione di una ricompensa immediata a seguito di un comportamento desiderato, con l'obiettivo di aumentarne la frequenza nel tempo. Ad esempio, un bambino con ASD che riesce a dire una parola per indicare un oggetto potrebbe ricevere un elogio verbale o un piccolo premio. Il rinforzo negativo, d'altra parte, implica la rimozione di uno stimolo avversivo a seguito di un comportamento desiderato.

Tami et al. (2024) hanno analizzato l'influenza dell'età e dell'intensità del trattamento sugli esiti della terapia ABA, evidenziando come interventi precoci e intensivi sono associati a una maggiore acquisizione degli obiettivi comportamentali. I bambini più piccoli sottoposti a una terapia intensiva registravano progressi significativi rispetto a quelli più grandi e a coloro che ricevevano trattamenti meno frequenti. Pertanto, è necessario considerare l'età e l'intensità del trattamento come fattori determinanti nella progettazione di strategie terapeutiche personalizzate ed efficaci. In quanto, l'intervento precoce nei primi anni di vita

rappresenta un elemento chiave per ottimizzare lo sviluppo neurobiologico e il potenziale di apprendimento nei bambini con ASD (Tami et al., 2024).

Sousa et al. (2024) hanno evidenziato che l'applicazione dell'approccio ABA può portare a un miglioramento significativo delle capacità comunicative nei bambini autistici, favorendo lo sviluppo del linguaggio e delle abilità di interazione. L'ABA, se implementato correttamente, non solo potenzia le competenze linguistiche, ma contribuisce anche a una maggiore inclusione sociale e a un miglioramento complessivo della qualità della vita. In particolare, gli interventi ABA, adattati alle specifiche esigenze scolastiche, si sono rivelati fondamentali per migliorare il successo accademico e l'integrazione dei bambini con ASD nei contesti educativi, favorendo l'inclusione e lo sviluppo dei bambini con ASD nell'ambiente scolastico. L'adozione di strategie come la divisione dei compiti, l'utilizzo di segnali visivi e piani di insegnamento personalizzati hanno mostrato di avere un impatto positivo sul livello di partecipazione degli studenti e sulla generalizzazione dell'apprendimento (Sá et al., 2024).

La ricerca sull'ABA evidenzia la necessità di considerare le caratteristiche individuali dei bambini con ASD per personalizzare l'intervento terapeutico. Tami et al. (2024) hanno dimostrato come l'intensità del trattamento influenzi significativamente gli esiti della terapia ABA, soprattutto nei bambini più piccoli. Gli interventi intensivi, che prevedono sessioni frequenti durante la giornata e una durata complessiva più estesa, hanno dimostrato una notevole efficacia nel potenziamento delle abilità comportamentali e comunicative, evidenziando l'importanza di adattare il trattamento all'età e alle esigenze specifiche di ciascun bambino. Sfruttare al meglio l'interazione tra età e intensità del trattamento consente di sviluppare strategie terapeutiche più personalizzate, massimizzando i benefici per ogni individuo. Questa personalizzazione è fondamentale nell'approccio ABA, data l'elevata variabilità che caratterizza il disturbo dello spettro autistico, sia in termini di sintomi sia di bisogni individuali. Le ricerche sull'efficacia dell'ABA utilizzano strumenti come il Verbal

Behavior Milestones Assessment and Placement Program (VBMAPP) e l'Assessment of Basic Language and Learning Skills (ABLLS), che permettono non solo di valutare i progressi nelle capacità comunicative e di apprendimento, ma anche di monitorare costantemente i miglioramenti dei partecipanti e adattare il programma terapeutico alle loro esigenze specifiche (Tami et al., 2024). Gli interventi ABA hanno portato a miglioramenti significativi nelle abilità verbali, come evidenziato dalle valutazioni su 11 delle 13 scale del VBMAPP e su tutte le scale dell'ABLLS. Tali risultati suggeriscono che l'ABA non solo promuove lo sviluppo del linguaggio, ma è anche efficace nel supportare l'apprendimento di nuove competenze e nella generalizzazione delle abilità apprese in diversi contesti della vita quotidiana. Uno degli aspetti chiave del successo dell'ABA è la capacità di modificare i comportamenti bersaglio in modo duraturo. I bambini ASD hanno mostrato miglioramenti significativi nei comportamenti target in un periodo relativamente breve. Questo risultato è stato ottenuto grazie all'uso di misure ripetute e all'applicazione di tecniche di rinforzo coerenti e strutturate. L'efficacia dell'ABA è quindi strettamente legata alla qualità della sua implementazione e alla coerenza nell'applicazione delle tecniche da parte dei terapeuti e degli educatori.

Gli studi di Adelson et al. (2024) hanno evidenziato che, per garantire l'efficacia dell'ABA nelle scuole, è necessario fornire una formazione continua e specifica agli insegnanti. La conoscenza delle tecniche ABA e la capacità di applicarle correttamente sono fondamentali per promuovere un apprendimento significativo e per facilitare l'integrazione dei bambini con ASD. La formazione dei professionisti è particolarmente importante poiché l'ABA richiede una valutazione costante dei progressi degli studenti e l'adattamento delle strategie in base alle necessità individuali.

Un altro aspetto significativo dell'ABA è la possibilità di generalizzare le abilità apprese in diversi contesti. Gli interventi ABA si concentrano sulla ripetizione e il rinforzo continuo delle abilità apprese, che vengono poi generalizzate per essere applicate in situazioni della

vita quotidiana. Questo processo è fondamentale per garantire che i progressi compiuti in un ambiente strutturato possano tradursi in miglioramenti nella vita di tutti i giorni. Ad esempio, un bambino che ha imparato a rispondere adeguatamente alle domande in un contesto di terapia ABA può essere in grado di applicare queste stesse abilità nel contesto scolastico, interagendo con insegnanti e compagni. La generalizzazione delle abilità è una delle sfide principali nel trattamento dei bambini con ASD, e l'ABA ha dimostrato di essere particolarmente efficace nel favorire questo processo.

Nonostante i numerosi benefici dell'ABA, alcuni studi hanno evidenziato diversi limiti: il primo anche delle sfide associate a questo tipo di intervento. Tami et al. (2024) hanno mostrato che, sebbene i miglioramenti nei comportamenti target fossero significativi, l'effetto di interazione tra età e trattamento non è risultato statisticamente significativo. Ciò suggerisce che potrebbe essere necessario sviluppare ulteriormente le modalità di implementazione per adattare le più efficacemente alle diverse fasce di età. La variabilità nella risposta all'intervento ABA tra individui di diverse età richiede quindi ulteriori approfondimenti per comprendere meglio come ottimizzare l'intervento in base alle caratteristiche individuali del bambino. Inoltre, l'intensità del trattamento può rappresentare una sfida per molte famiglie, sia in termini di impegno di tempo che di risorse economiche necessarie per sostenere un programma terapeutico intensivo. Il secondo limite degli interventi ABA riguarda il potenziale rischio di eccessiva dipendenza dai rinforzi esterni. L'uso costante di premi per motivare i bambini a compiere determinate azioni potrebbe portare, in alcuni casi, a una mancanza di motivazione intrinseca. Per evitare questo rischio, è essenziale che i terapeuti lavorino per ridurre gradualmente la dipendenza dai rinforzi esterni, incoraggiando il bambino a sviluppare forme di autogratificazione e di soddisfazione personale nel raggiungere obiettivi e nel compiere progressi. In questo senso, la transizione da rinforzi materiali a rinforzi sociali, come elogi e riconoscimenti, rappresenta un passaggio

cruciale per garantire che il bambino continui a progredire anche al di fuori del contesto terapeutico.

In conclusione, l'ABA rappresenta una delle pratiche più efficaci per il trattamento del disturbo dello spettro autistico. L'ABA si è dimostrata in grado di migliorare comportamenti target, capacità comunicative, sociali e accademiche, promuovendo un miglioramento significativo della qualità della vita dei bambini con ASD. Gli studi condotti hanno fornito evidenze importanti riguardo l'efficacia di questo approccio, sottolineando l'importanza dell'intervento precoce, dell'intensità del trattamento e della personalizzazione delle strategie in base alle esigenze del singolo individuo.

2.1 Terapia Cognitivo-Comportamentale

La Terapia Cognitivo-Comportamentale (CBT) è un approccio terapeutico che, e negli ultimi anni, ha trovato crescente applicazione per trattare persone con ASD (Lang et al 2010; Danial, & Wood; 2013). Sebbene tradizionalmente sviluppata per affrontare problematiche come ansia e depressione, la CBT è stata adattata per rispondere alle esigenze specifiche degli individui con ASD, dimostrando efficacia soprattutto nel trattamento di comorbidità psicologiche come ansia, depressione e disturbi ossessivo-compulsivi (Spain et al 2023; Maddox et al., 2020).

La CBT è stata sviluppata negli anni '60 da Aaron si basa sull'interconnessione tra pensieri, emozioni e comportamenti: modificare i pensieri disfunzionali, potrebbe portare a miglioramenti significativi nelle emozioni e nei comportamenti. L'approccio CBT, inoltre, mira a risolvere problemi specifici identificati dal paziente, attraverso una combinazione di tecniche cognitive e comportamentali, che mirano a cambiare rispettivamente i modelli di pensiero, e i comportamenti maladattivi (Spain & Happè, 2020).

Le persone con ASD, infatti, presentano una gamma di difficoltà che possono variare considerevolmente in termini di intensità e manifestazione. Tra le principali sfide si annoverano la difficoltà nella comunicazione e nelle abilità sociali, i comportamenti ripetitivi e la rigidità cognitiva.

Uno degli aspetti più critici nella CBT è la necessità di adottare un approccio altamente strutturato, prevedibile e visivo (Solish et al. 2020). Le persone con autismo tendono a essere più a loro agio in un contesto strutturato e, pertanto, la CBT adattata utilizza spesso supporti visivi come tabelle, grafici e immagini per spiegare concetti e fornire una guida chiara durante le sessioni. Inoltre, le sessioni CBT tendono a essere più brevi e più frequenti, adattandosi alla capacità di attenzione e ai bisogni specifici del paziente.

Le persone con ASD spesso faticano a identificare e comprendere le proprie emozioni, per cui è fondamentale insegnare loro a riconoscere i segnali fisici e psicologici legati alle emozioni. Le tecniche di regolazione emotiva, come la respirazione profonda e il rilassamento muscolare progressivo, sono utilizzate per aiutare gli individui a gestire l'ansia e lo stress.

Un'altra tecnica chiave è l'esposizione graduale, che viene utilizzata per affrontare le paure e le fobie che spesso accompagnano l'autismo, con l'obiettivo di aiutare il paziente a tollerare situazioni che inizialmente risultavano stressanti. In combinazione con il rinforzo positivo, l'esposizione graduale può essere molto efficace nel ridurre le risposte di evitamento e promuovere un maggiore adattamento.

L'intervento CBT si focalizza anche sull'insegnamento di competenze sociali. Le abilità sociali possono essere difficili da sviluppare per i bambini e gli adulti con autismo, e spesso ciò rappresenta una barriera importante per l'integrazione sociale. Attraverso l'utilizzo di giochi di ruolo, modelli comportamentali e pratica guidata, aiuta a sviluppare competenze come l'inizio di una conversazione, il mantenimento del contatto visivo e la comprensione delle espressioni facciali degli altri.

Programmi specifici come, “Facing Your Fears” (FYF) e “Cool Kids”, sono stati sviluppati per affrontare l’ansia nei bambini con ASD. Questi interventi, che prevedono sia sessioni individuali che di gruppo, combinano tecniche di esposizione graduale, rilassamento e ristrutturazione cognitiva, coinvolgendo attivamente i genitori per garantire continuità terapeutica anche a casa. Le evidenze scientifiche confermano che la CBT adattata per l'autismo è efficace nel ridurre ansia, depressione e comportamenti disfunzionali, migliorando anche le competenze sociali. Inoltre, i miglioramenti ottenuti si sono dimostrati duraturi, mantenendosi per diversi mesi dopo la fine del trattamento (Kalvin, 2021).

Un aspetto chiave dell'efficacia della CBT è il coinvolgimento dei genitori (Blakeley-Smith, 2021). La partecipazione dei genitori è fondamentale per garantire che le strategie apprese in terapia possano essere applicate nella vita quotidiana del bambino. I genitori vengono formati per diventare co-terapeuti, aiutando il bambino a praticare le abilità acquisite e a generalizzare queste competenze in diversi contesti. Questo approccio non solo aumenta l'efficacia dell'intervento, ma rafforza anche il legame tra genitore e figlio, fornendo un sostegno emotivo e pratico.

La CBT, in questo contesto, si focalizza sull'aiutare gli adulti a sviluppare competenze di coping efficaci, a identificare e modificare pensieri disfunzionali e a migliorare la qualità delle relazioni interpersonali. Le sessioni possono essere individuali o di gruppo, con un'enfasi particolare sul supporto sociale e sulla condivisione delle esperienze.

Nonostante i benefici dimostrati, la CBT presenta anch'essa alcuni limiti. Il primo è rappresentato dalla variabilità dei sintomi dell'autismo. Ogni individuo con ASD è diverso, e questo significa che le strategie che funzionano per una persona potrebbero non essere altrettanto efficaci per un'altra. Pertanto, è necessaria una continua valutazione e adattamento dell'intervento per garantire che il trattamento rimanga efficace nel tempo. Il secondo limite è legato alla capacità di comunicazione. Alcune persone con ASD, in particolare quelle con difficoltà verbali significative, possono trovare difficile partecipare attivamente a una terapia

basata sul dialogo come la CBT. In questi casi, l'intervento deve essere ulteriormente adattato, ad esempio facendo uso di comunicazione aumentativa e alternativa (AAC), che include l'uso di immagini, simboli o dispositivi di comunicazione assistita. Il terzo limite riguarda la disponibilità di terapeuti formati nella CBT specificatamente per l'autismo che è ancora limitata in molte aree geografiche. La formazione degli operatori è fondamentale per garantire che la CBT venga applicata in modo efficace e che le particolari necessità delle persone con ASD siano prese in considerazione. Per affrontare questa sfida, diversi programmi di formazione sono stati sviluppati per preparare i terapeuti a lavorare con individui con ASD e per garantire che le tecniche CBT siano adattate in modo appropriato.

La Terapia Cognitivo-Comportamentale rappresenta un'opzione terapeutica efficace per le persone con ASD, in particolare quando sono presenti comorbidità come ansia e depressione. Grazie agli adattamenti specifici per l'autismo, la CBT può aiutare le persone con ASD a sviluppare strategie di regolazione emotiva, affrontare le paure e migliorare le abilità sociali. Il coinvolgimento dei genitori e l'uso di strumenti visivi e strategie personalizzate rendono questo approccio particolarmente efficace, permettendo alle persone con ASD di acquisire competenze fondamentali per una vita più indipendente e soddisfacente.

Nonostante le sfide e i limiti, l'evidenza scientifica supporta l'efficacia della CBT per migliorare la qualità della vita delle persone con autismo. La necessità di adattare l'intervento alle caratteristiche specifiche di ciascun individuo richiede una formazione adeguata dei terapeuti e un approccio flessibile e creativo. Con il continuo avanzamento della ricerca e lo sviluppo di nuovi strumenti e strategie, la CBT continuerà a rappresentare un'opzione valida e adattabile per rispondere alle esigenze delle persone con Disturbo dello Spettro Autistico.

2.2 Interventi basati sulla Tecnologia: Realtà Virtuale e Realtà Aumentata

Gli interventi di realtà virtuale (VR) e realtà aumentata (AR) hanno mostrato risultati promettenti nel miglioramento delle abilità sociali nelle persone ASD. Queste tecnologie offrono ambienti immersivi e interattivi che possono essere personalizzati per affrontare specifici deficit sociali, migliorando la comunicazione, interazione sociale e attenzione congiunta (Alizadeh-Dizaj et al., 2024; Park et al., 2024; Kuo & Wang, 2024). Gli interventi di AR, in particolare, si distinguono per la capacità di offrire esperienze interattive e personalizzate, favorendo lo sviluppo di abilità sociali e comunicative. Uno dei vantaggi principali dell'AR è la possibilità di sovrapporre contenuti digitali al mondo reale, creando così situazioni sociali simulate che possono aiutare i bambini con ASD a praticare competenze sociali in un contesto sicuro e controllato. Secondo la revisione sistematica condotta da Sun et al. (2024), l'AR può aumentare significativamente la motivazione intrinseca dei bambini durante le terapie sociali, poiché l'elemento di novità e interattività rende l'apprendimento più coinvolgente. L'applicazione AR "AutoStar" è un esempio rilevante di come la tecnologia possa integrare i sistemi di comunicazione per lo scambio di immagini (PECS). Studi condotti con un disegno sperimentale su singoli casi hanno evidenziato miglioramenti significativi nelle capacità comunicative e sociali dei partecipanti, attribuibili alla personalizzazione dei contenuti, che accresce coinvolgimento e motivazione (Hushairi et al., 2024). Un ulteriore intervento rilevante riguarda l'utilizzo di album illustrati in AR per sviluppare le competenze relazionali, come la «capacità di amicizia» e la «gestione dei conflitti». I risultati di tali interventi hanno mostrato effetti positivi, immediati e sostenuti, nel migliorare la comprensione delle dinamiche relazionali e l'apprendimento delle regole sociali attraverso immagini interattive (Sun et al., 2024). L'AR si è rivelata particolarmente efficace anche nel favorire il riconoscimento di concetti astratti, come le emozioni e le dinamiche relazionali, dimostrando un potenziale significativo per l'apprendimento nei

bambini con ASD (Mahayuddin et al., 2019). I giochi AR, combinati con storie sociali e strategie di pensiero computazionale, favoriscono la comprensione di situazioni sociali complesse e migliorano la reciprocità sociale, offrendo opportunità di pratica in contesti realistici ma privi di rischi (Lee & Hsu, 2023). Interventi come l'AR Gamebook hanno mostrato un significativo supporto nello sviluppo delle competenze sociali, mentre l'uso di applicazioni VR, come "VR Social Story™", offre ambienti immersivi e controllati che facilitano l'apprendimento di abilità sociali in modo sicuro e coinvolgente (Zhang et al., 2024). Le configurazioni Head-Mounted Display (HMD) si sono rivelate più efficaci per l'insegnamento delle abilità sociali rispetto agli interventi tradizionali 2D basati su schermo (Zhang et al., 2024). L'uso di HMD consente una maggiore immersione, e il coinvolgimento fisiologico più elevato suggerisce che questo tipo di intervento potrebbe risultare particolarmente vantaggioso per i bambini con difficoltà significative di attenzione e coinvolgimento. I bambini sono incoraggiati a sperimentare situazioni sociali virtuali che possono risultare difficili nella vita reale, il che contribuisce ad aumentare la loro fiducia e ad affinare le loro competenze sociali. Diverse revisioni sistematiche hanno confermato l'efficacia degli interventi di realtà virtuale nel migliorare la comunicazione sociale, il riconoscimento emotivo e le abilità di vita quotidiana nei bambini e negli adolescenti con ASD (Alizadeh-Dizaj et al., 2024; Park et al., 2024; Kuo & Wang, 2024). La revisione condotta da Dechsling et al., (2021) ha esaminato 49 studi, evidenziando come queste tecnologie non solo migliorino le abilità sociali, ma possano anche aumentare la motivazione dei partecipanti e il loro livello di comfort durante le sessioni di apprendimento. In particolare, questi interventi forniscono un'esperienza coinvolgente e piacevole, con elevata soddisfazione riportata dai genitori, il che indica un alto livello di accettazione sia da parte dei bambini che delle loro famiglie. Questo rende la VR un'opzione interessante per programmi di intervento a lungo termine. Gli interventi di realtà virtuale sono stati particolarmente efficaci nel migliorare le capacità di attenzione congiunta, un deficit comune

e fondamentale tra le persone con ASD. La natura interattiva e immersiva della VR rende questi interventi particolarmente adatti per allenare queste competenze, in quanto consentono di simulare situazioni sociali che richiedono la cooperazione e la condivisione dell'attenzione (Zhao et al., 2024; Yazdanian et al., 2023). Tuttavia, sono necessarie ulteriori ricerche per standardizzare le misure di valutazione e comprendere meglio come questi miglioramenti possano tradursi nella vita quotidiana dei partecipanti. La revisione Berenguer et al., (2020) ha evidenziato che, nonostante i risultati promettenti, si ha la necessità di dotarsi di strumenti standardizzati che permettano di poter trarre conclusioni più definitive sull'efficacia degli interventi con VR. In conclusione, sebbene gli interventi di VR e AR abbiano mostrato un potenziale significativo nel migliorare le abilità sociali nelle persone con ASD, permangono delle criticità: la necessità di sviluppare strumenti di valutazione standardizzati che possano misurare in modo affidabile gli effetti di questi interventi e la dimensione dei campioni e la diversificazione demografica, che limitano la generalizzabilità dei risultati (Kuo & Wang, 2024).

2.3 Interventi basati sull'Attività Fisica

Gli interventi di attività fisica, inclusi esercizio fisico e la terapia sportiva, sono stati associati a miglioramenti dei sintomi principali dell'ASD, come le capacità motorie, l'interazione sociale e i comportamenti stereotipati. Tuttavia, la qualità delle prove varia e sono necessarie ulteriori ricerche per stabilire protocolli standardizzati e comprendere i meccanismi sottostanti (Chen et al. 2022).

Gli interventi di attività fisica possono fornire benefici in diverse aree del funzionamento delle persone con ASD. Gli effetti positivi si estendono oltre i miglioramenti delle capacità motorie, coinvolgendo anche il comportamento sociale, la comunicazione e la riduzione di sintomi comportamentali problematici. Le attività fisiche sembrano stimolare sia processi fisici che psicologici, favorendo un miglioramento globale delle condizioni di vita degli

individui affetti da ASD. L'attività fisica è stata spesso descritta come un fattore chiave per migliorare il benessere psicofisico, agendo sulla qualità del sonno, sul tono dell'umore e sulla gestione dello stress. In questo contesto, vari interventi hanno mostrato una diversa efficacia, a seconda delle modalità di esercizio, dell'intensità, della durata e del contesto in cui vengono applicati.

Studi recenti, come quelli condotti da Yifan et al. (2024), hanno dimostrato che la terapia fisica (PET) può migliorare i sintomi principali dell'ASD, tra cui prestazioni motorie, comportamenti ripetitivi limitati e disfunzioni sociali. Una revisione sistematica e una meta-analisi di 28 studi randomizzati controllati che hanno coinvolto 1081 partecipanti hanno riscontrato miglioramenti significativi in almeno un sintomo principale rispetto ai gruppi di controllo, sebbene sia necessario prestare attenzione all'elevato rischio di parzialità negli studi inclusi. Genghong et al. (2024) hanno sottolineato che gli interventi di esercizio fisico possono migliorare le caratteristiche fondamentali dell'autismo e le condizioni concomitanti, influenzando processi biologici come i cambiamenti del microbioma intestinale, la neuroinfiammazione, la neurogenesi e la plasticità sinaptica. Questi studi suggeriscono l'importanza di sviluppare programmi di esercizio personalizzati per adattarsi ai diversi sottotipi di individui autistici e ottimizzare i risultati terapeutici. Dost et al. (2024) hanno confermato che gli interventi basati sull'attività fisica migliorano significativamente la comunicazione sociale, le capacità motorie e riducono i comportamenti stereotipati negli individui con ASD. La revisione di 18 studi sperimentali ha evidenziato che l'esercizio fisico, se regolarmente integrato come parte del piano terapeutico, può migliorare la qualità della vita delle persone con ASD. Questo aspetto è stato ulteriormente rafforzato dalla ricerca di Millie et al. (2024), che ha evidenziato i potenziali benefici della terapia sportiva, sottolineando però che la sua efficacia può essere limitata nei casi di ASD classico e a basso funzionamento, il che rende fondamentale un approccio personalizzato per massimizzare i benefici. Suárez-Manzano et al. (2024) hanno osservato che gli interventi di attività fisica

hanno un impatto positivo sulla cognizione, sul comportamento e sulle capacità motorie nei giovani con ASD. In particolare, oltre il 58% degli studi analizzati ha riportato effetti benefici sulla cognizione, mentre il 45.5% ha evidenziato miglioramenti nel comportamento e nelle capacità motorie. Gli effetti acuti degli interventi di attività fisica, come quelli di intensità moderata e vigorosa per 15-30 minuti, possono influenzare il comportamento generale e ridurre i comportamenti stereotipati, mentre effetti cronici sono stati osservati sul comportamento generale in molti degli studi analizzati. Jianchang et al. (2024) hanno riscontrato che l'allenamento fisico progressivo può migliorare significativamente varie abilità, tra cui quelle sensoriali, sociali e di cura di sé, con progressi più rapidi rispetto all'educazione fisica tradizionale. L'efficacia dell'allenamento progressivo appare superiore ai metodi convenzionali, soprattutto per quanto riguarda l'interazione sociale e la cura di sé. Yinhua et al. (2023) indicano che il Tai Chi Chuan e gli interventi fondamentali sulle abilità motorie sono tra i più efficaci per migliorare rispettivamente la funzione motoria e la comunicazione, mentre le tecniche di Kata hanno mostrato la massima efficacia nel ridurre i comportamenti stereotipati e migliorare la funzione sociale. Onur et al. (2023) e Long-fei et al. (2023) hanno evidenziato il valore dell'esercizio fisico nel migliorare aspetti sia fisiologici che psicologici delle persone con ASD, sottolineando che l'esercizio fisico regolare è sempre più riconosciuto per il suo ruolo nel migliorare le abilità sociali, ridurre l'ansia e promuovere la salute fisica. Tuttavia, è ancora necessario comprendere meglio l'efficacia comparativa dei diversi tipi di attività fisica e ottimizzare i risultati terapeutici per le diverse popolazioni ASD.

Nonostante i benefici osservati, gli interventi di attività fisica per l'ASD non sono privi di limitazioni. Un problema rilevante è rappresentato dall'eterogeneità del disturbo: le persone con ASD presentano una grande variabilità nei sintomi e nelle esigenze, e ciò rende difficile stabilire protocolli di intervento universali. In particolare, la terapia sportiva potrebbe risultare inefficace per alcuni sottotipi di ASD, come l'ASD classico e a basso funzionamento,

evidenziando la necessità di sviluppare approcci più personalizzati che possano adattarsi meglio alle caratteristiche individuali dei partecipanti (Belnekar, 2024). L'efficacia dei diversi interventi di attività fisica sulle funzioni cognitive rimane ancora poco chiara, e le evidenze disponibili non sono sempre coerenti. Ciò suggerisce che ulteriori ricerche sono necessarie per confrontare in modo rigoroso varie strategie e valutarne i risultati (Li et al., 2023). Ad esempio, la mancanza di uniformità nei protocolli di esercizio, nei metodi di valutazione e negli obiettivi degli interventi complica la comparazione tra studi e rende difficile trarre conclusioni definitive. In aggiunta, l'elevata variabilità nei disegni degli studi e nelle misure di esito richiede metodologie di ricerca più rigorose e standardizzate per comprendere meglio il pieno potenziale degli interventi di attività fisica nella terapia dell'ASD (Jiang et al., 2024). Anche per quanto riguarda il contesto dell'intervento, molte attività fisiche richiedono un ambiente strutturato e la presenza di professionisti qualificati, il che rappresenta un limite significativo, poiché può comportare costi elevati e ridurre l'accessibilità di tali interventi per le famiglie con risorse limitate (Kuo & Wang, 2024).

2.4 Terapia Assistita da Animali

La terapia assistita da animali (AAT), coinvolge l'interazione tra individui con autismo e animali specifici, ed è stata esplorata come metodo per migliorare le competenze sociali e comunicative, nonché per ridurre l'ansia e migliorare il benessere generale dei bambini con ASD.

Secondo Mackenzie et al. (2024), la terapia assistita da animali da allevamento (AAT) può portare a un significativo aumento dei comportamenti sociali tra i bambini con ASD.

Questo studio ha evidenziato come, durante le sedute di terapia che coinvolgevano animali da allevamento, i genitori dei bambini hanno riportato miglioramenti nella capacità dei loro figli di impegnarsi socialmente e di regolare il comportamento, contribuendo a far percepire ai bambini un senso di normalità. L'importanza di questi risultati risiede nella possibilità di

utilizzare un ambiente rilassante e accogliente, come quello di una fattoria, per fornire un contesto che riduce l'ansia e stimola comportamenti sociali adattivi, favorendo così un'interazione più naturale e spontanea. Questo tipo di intervento non solo migliora le abilità sociali, ma può anche fornire un senso di stabilità e sicurezza che è spesso difficile da trovare per i bambini con ASD.

Maria et al. (2023) ha confermato che l'AAT, basata su interazioni con animali come cani e cavalli, migliora la comunicazione e lo sviluppo sociale nei bambini con ASD. La revisione della letteratura condotta in questo studio ha indicato che gli interventi AAT sono particolarmente efficaci nel promuovere un comportamento adattivo e nel ridurre le sfide comportamentali, contribuendo a migliorare la qualità della vita.

La presenza degli animali, in particolare cani e cavalli, sembra facilitare la comunicazione e l'espressione emotiva, riducendo al contempo l'ansia, un problema comune tra i bambini con ASD. Cedeño-Bruzual et al. (2023) hanno suggerito che, sebbene la qualità metodologica degli studi inclusi vari, l'evidenza complessiva supporta l'integrazione dell'AAT come parte del trattamento per migliorare la qualità della vita dei bambini con ASD.

L'efficacia dell'integrazione di cani da terapia nei programmi di intervento è stata ulteriormente esplorata da Karpoutzaki et al. (2023). Gli autori hanno rilevato che l'inserimento di cani da terapia all'interno di un ambiente scolastico ha contribuito a migliorare significativamente le risposte sociali dei bambini con ASD agli stimoli sociali non solo durante le sedute, ma anche nella fase post-intervento, dove sono stati osservati miglioramenti nelle interazioni sociali e una diminuzione dei sintomi comportamentali problematici, suggerendo che la terapia con cani può avere effetti positivi a lungo termine. Gli animali, infatti, possono fungere da mediatori per facilitare l'interazione umana, riducendo l'ansia associata alle situazioni sociali e fornendo un contesto nel quale i bambini possono praticare le loro competenze sociali in modo sicuro e non giudicante.

I Servizi Assistiti Equini (EAS) costituiscono un'altra forma di terapia assistita da animali che ha mostrato un significativo impatto sulle abilità sociali e sulla cognizione sociale nei bambini con ASD. Madigand et al. (2023) hanno esplorato gli effetti dell'EAS e hanno riscontrato miglioramenti nella consapevolezza sociale, nella comunicazione e nella cognizione sociale dei bambini che partecipano a questi interventi. La loro meta-analisi ha rivelato che l'interazione con i cavalli aiuta a migliorare il contatto visivo, la reciprocità sociale e la motivazione sociale.

Jon et al. (2022) hanno ulteriormente supportato questi risultati, suggerendo che gli EAS non solo migliorano le competenze sociali, ma che tali miglioramenti possono essere sostenuti nel tempo, evidenziando il potenziale di queste terapie di produrre benefici a lungo termine. Nonostante i risultati promettenti delle ricerche sulla AAT, sono stati sollevati alcuni problemi metodologici che richiedono attenzione. Come evidenziato da Leanne et al. (2021), il rigore metodologico nella ricerca sugli interventi assistiti da animali rimane un problema significativo. Sebbene la letteratura sugli AAI (Interventi Assistiti da Animali) per il trattamento dell'ASD sia in crescita, la maggior parte degli studi presenta limitazioni, come l'assenza di gruppi di controllo adeguati, dimensioni campionarie ridotte e mancanza di follow-up a lungo termine.

Questi limiti rendono difficile trarre conclusioni definitive sull'efficacia degli AAI. Pertanto, è essenziale che la ricerca futura si concentri sull'aumento del rigore metodologico, migliorando la qualità degli studi e fornendo evidenze più robuste sull'efficacia di questi interventi. Dimolareva et al. (2021) hanno condotto una meta-analisi che ha incluso 16 studi, indicando che, sebbene gli AAI possano portare a miglioramenti delle abilità sociali, questi benefici sono spesso modesti e paragonabili a quelli ottenuti con altre attività di controllo attivo. Questo suggerisce che è necessario condurre studi più rigorosi per valutare il reale valore aggiunto degli AAT rispetto ad altri interventi terapeutici.

CAPITOLO III

3 Interventi basati sull'Attività Fisica: ruolo dell'esercizio nel miglioramento delle Funzioni Cognitive e Abilità Motorie

Lo stile di vita sedentario è tipico per gli individui con disabilità intellettive. Le persone affette da autismo sono fisicamente inattive sia per la mancanza di motivazione o interesse nell'attività fisica, sia perché la partecipazione richiede abilità motorie e sociali che a volte mancano nella sindrome autistica. Nell'ultimo decennio, numerosi studi hanno focalizzato la loro attenzione sugli effetti dell'attività fisica negli individui con autismo, mostrando come le attività fisiche specifiche inducano miglioramenti nel comportamento, nella salute e nelle capacità motorie. L'attività fisica regolare è un modo per promuovere la funzione cerebrale e ha numerosi effetti positivi sulla salute. L'esercizio fisico non solo migliora la condizione fisica, ma riduce anche i modelli comportamentali maladattivi delle persone con ASD (Sefen et al., 2020).

3.1 Esercizio Fisico e Fattori Neurotrofici

È stato dimostrato che l'esercizio fisico con scopo terapeutico nei pazienti con ASD aumenta il volume dell'ippocampo e promuove una robusta crescita di cellule nervose differenziandole grazie l'incremento del fattore neurotrofico BDNF. Uno dei meccanismi ben documentati include l'aumento dei livelli del fattore neurotrofico derivato dal cervello (BDNF). Il BDNF svolge un ruolo cruciale nella funzione neurologica, nella neurogenesi, nella regolazione della sopravvivenza e nella differenziazione neuronale, come la regolazione delle vie assonali, la densità dendritica e la plasticità sinaptica. È stato anche dimostrato che il BDNF modula la neurotrasmissione serotoninergica in vitro, promuovendo

la sopravvivenza e la differenziazione di alcuni neuroni colinergici e dopaminergici in vitro, e che la somministrazione di BDNF aumenta la sintesi e/o il turnover della serotonina in vivo (Chaturvedi et al., 2020). Inoltre, l'aumento del BDNF è stato correlato a miglioramenti nella memoria e nella capacità di apprendimento ed è stato considerato un fattore chiave in una varietà di disturbi neuro-evolutivi oltre che nelle malattie neurodegenerative.

Il BDNF cerebrale promuove la sopravvivenza e la ramificazione degli assoni serotoninergici e la crescita assonale dei neuroni serotoninergici danneggiati.

La relazione tra l'alterazione del BDNF e i disturbi neurologici suggerisce che il BDNF possa essere considerato un valido biomarcatore oltre che un fattore terapeutico. I livelli di BDNF nel siero sono stati correlati con la gravità dei sintomi nei giovani con ASD. Numerosi studi suggeriscono che il BDNF sia un mediatore della relazione tra esercizio fisico e i benefici cognitivi associati; infatti, il BDNF viene regolato in eccedenza fino a 7 giorni dopo l'esercizio fisico, e l'inibizione dei recettori del BDNF ha mostrato la riduzione dei benefici cognitivi associati all'esercizio fisico (Walsh et al., 2018). L'esercizio fisico gioca un ruolo cruciale nella sopravvivenza delle cellule neuronali nei pazienti con ASD, ed in particolare l'esercizio aerobico promuove l'incremento del BDNF e quindi la neurogenesi ma anche la vascolarizzazione. L'esercizio fisico con funzioni terapeutiche facilita la produzione anche di altri fattori neurotrofici, NGF responsabile di un'efficiente trasmissione sinaptica, il FGF-2 responsabile dell'efficienza metabolica delle cellule neuronali, che come il BDNF, migliorano la funzione neuropsicologica nei bambini con ASD (Nezamuldeen et al., 2024).

3.2 Obesità, Comorbilità Correlate nei bambini Autistici e Interventi di Attività Fisica

I bambini con ASD sono spesso esposti a un rischio aumentato di sviluppare sovrappeso o obesità (Hill et al., 2015).

Una meta-analisi condotta da Sammels et al. ha rivelato che la prevalenza di obesità tra i bambini con ASD era del 17% e che i bambini con ASD avevano un rischio maggiore del 58% di sviluppare obesità rispetto ai bambini neurotipici (Sammels et al., 2022).

Le conoscenze sulla relazione tra obesità e autismo sono ancora incerte. Sebbene molti dei fattori di rischio per i bambini con autismo siano probabilmente gli stessi della popolazione pediatrica generale, esistono fattori unici implicati nello sviluppo dell'obesità nei bambini con autismo, come schemi alimentari atipici, inattività fisica, disturbi del sonno, trattamenti psicofarmacologici e genetica. In particolare, la dieta dei bambini autistici è caratterizzata da una preferenza per alimenti ad alta densità energetica, bevande zuccherate e snack, con un consumo piuttosto limitato di verdure (Criado et al., 2018). Inoltre, i bambini con ASD trascorrono molto tempo in attività sedentarie, come guardare la TV, giocare ai videogiochi e utilizzare i social media (Mazurek et al., 2013).

L'utilizzo di antipsicotici (SGAs) contribuiscono all'aumento di persone al rischio di sviluppare obesità e dislipidemia. È immediato intuire l'impatto che l'attività fisica regolare e protratta per lungo tempo possa avere su questa problematica. Un programma di allenamento quotidiano della durata di 40 minuti per oltre tre mesi può produrre cambiamenti significativi nella composizione corporea e nella perdita di peso. La perdita di peso predispone il bambino all'attività sentendosi più leggero e avendo un minore dispendio energetico (Kahathuduwa et al., 2019).

L'esercizio fisico ha specificamente un impatto significativo sulla sintomatologia degli individui con ASD, e diverse tipologie di attività fisica possa influenzare diversi meccanismi biologici. Molti Studi hanno strutturato specifici protocolli e somministrati a bambini ASD di diverse età e livelli di gravità della patologia per evidenziarne gli effetti ed identificare delle linee guida.

3.3 Tipologie di Attivita' Sportive

3.3.1 Nuoto

Le attività di nuoto si sono rivelate efficaci per allenare le abilità psicomotorie e aumentare i comportamenti adattivi nei bambini con ASD (Battaglia et al., 2019). Numerosi studi hanno esaminato i cambiamenti negli aspetti motori e comportamentali prima e dopo un programma di nuoto per bambini autistici (Ansari et al., 2021). Durante il nuoto, vi è un'attivazione muscolare generale e gli stimoli nervosi afferenti al SNC che provengono dai propriocettori delle fibre muscolari vengono elaborati dal SNC che dirige gli impulsi afferenti attraverso le fibre efferenti verso i muscoli.

Inoltre, è stato osservato che il programma di allenamento acquatico è stato efficace per migliorare le abilità di controllo degli oggetti e le abilità locomotorie nei soggetti analizzati (Mortimer et al., 2014). Strutturato per lo più inizialmente in un rapporto uno ad uno con l'allenatore, finché le competenze di galleggiamento e di respirazione non erano acquisite dai bambini, la frequentazione pluriennale di questa attività ha garantito agli utenti ASD di acquisire capacità e maestria sino a poter partecipare a competizioni di velocità nei diversi stili (Progetto Filippide).

Dopo una fase iniziale di ambientamento, finalizzata a far acquisire ai bambini familiarità e sicurezza con l'ambiente acquatico, si procede a strutturare un percorso personalizzato per favorire il raggiungimento e il consolidamento di competenze sia motorie che relazionali.

Il contesto della piscina, caratterizzato da un'atmosfera ludica e rilassante, facilita lo sviluppo di una relazione di fiducia e complicità tra il bambino e l'istruttore. Questo rapporto a due contribuisce a rafforzare l'interazione reciproca, migliorando il contatto con gli altri e promuovendo successivamente una maggiore partecipazione al gruppo dei pari, grazie ad attività collaborative come i giochi di scambio in acqua.

Di conseguenza, si possono ottenere progressi significativi nelle abilità imitative e nella comprensione delle regole di comunicazione, sia verbale che non verbale.

Dal punto di vista comportamentale, nella maggior parte dei casi si può riscontrare una riduzione della tendenza all'isolamento e un incremento della consapevolezza di sé e degli altri. Inoltre, i bambini esercitano la loro capacità di adattarsi all'ambiente, una migliore tolleranza ai cambiamenti di attività e una riduzione dell'iperattività. Si osserva a seguito di esperienze motorie in acqua, un miglioramento nella capacità di mantenere l'attenzione su un compito specifico per periodi più prolungati.

Inoltre, in uno studio di Pan (2011) è stato riscontrato un significativo miglioramento dell'autostima, delle interazioni sociali e delle abilità motorie nei bambini dopo 10 settimane di attività acquatiche. Infatti, l'idroterapia rappresenta una pratica potenziale che potrebbe migliorare inaspettatamente anche gli aspetti relazionali, emotivi e sociali negli individui affetti da ASD (Vodakova et al., 2022).

3.3.2 *Arti Marziali*

Le Arti Marziali rappresentano una delle attività sportive più indicate per supportare bambini e ragazzi con disturbi del neurosviluppo. La loro struttura organizzativa e la modalità di pratica favoriscono l'inclusione sociale grazie a piccoli gruppi e a interazioni formalizzate e prevedibili, come il saluto iniziale e il commiato finale, che non richiedono particolari abilità verbali. Inoltre, le competizioni, svolte in modalità uno contro uno, riducono il carico sociale per chi ha difficoltà relazionali.

Dal punto di vista neuropsicologico, le arti marziali offrono numerosi benefici: potenziano la concentrazione, promuovono l'autoregolazione emotiva, riducono l'impulsività e aiutano a gestire l'ansia. Parallelamente, incrementano il senso di autoefficacia, favorendo un miglior equilibrio psicologico. Anche altre discipline sportive con caratteristiche simili,

come la lotta libera, possono rappresentare un'opzione valida per ragazzi in età adolescenziale (Movahedi et al., 2013).

Negli ultimi anni, numerosi studi hanno evidenziato gli effetti positivi delle arti marziali sui disturbi del neurosviluppo, con particolare attenzione all'ADHD e all'ASD. A livello socio-relazionale in quanto durante le lezioni di arti marziali, gli studenti instaurano un'interazione intensa con l'istruttore e con i compagni. Le esercitazioni richiedono spesso la collaborazione con un partner, promuovendo così lo sviluppo delle competenze sociali.

Anche da un punto di vista comportamentale, in uno studio Bahrami (2012) ha dimostrato che un programma intensivo di 14 settimane basato sull'insegnamento sistematico del Kata (quattro sessioni settimanali) a bambini e ragazzi con ASD ha portato a una significativa riduzione dei comportamenti stereotipati. I risultati hanno mostrato una riduzione del 43,5% dei comportamenti stereotipati nel gruppo sperimentale, un effetto che si è mantenuto anche al follow-up. Da un punto di vista psicologico la pratica delle arti marziali contribuisce a migliorare il benessere psicologico dei bambini con ASD.

Il conseguimento di obiettivi progressivi, rappresentato dall'ottenimento delle cinture colorate, fornisce un forte stimolo motivazionale. Ogni successo, piccolo o grande, accresce l'autostima e rafforza la fiducia nelle proprie capacità. Per bambini con ASD che tendono a svalutarsi, le arti marziali possono essere una strategia efficace per sviluppare una maggiore sicurezza in sé stessi (Bahrami et al., 2012). Un programma di allenamento basato sul karate può ridurre significativamente le difficoltà di comunicazione nei bambini autistici.

Numerosi studi mostrano che le tecniche di karate sviluppano le funzioni motorie posturali, orientamento spaziale e influenzano i modelli di segnalazione vestibolare che stimolano l'ippocampo e favoriscono la neurogenesi attraverso la secrezione di neurotrofine come il BDNF. È stato riportato che la pratica del karate induce l'aumento del BDNF, portando al miglioramento della plasticità neuronale e al recupero delle abilità neurologiche del bambino (Bahrami et al., 2016). Queste evidenze scientifiche evidenziano il valore delle arti marziali

come strumento educativo e terapeutico e rappresentano un incentivo per genitori e professionisti a considerare questa pratica all'interno dei percorsi dedicati a bambini con ASD.

3.3.3 *Minibasket*

Il minibasket, progettato per i bambini sotto i 12 anni, parallelamente allo sviluppo fisico e mentale dei bambini e allo sviluppo delle funzioni esecutive, unisce, crea relazioni, opportunità di contatto e stimola nuove conoscenze. La palla può essere maneggiata in vari modi (tenuta in mano, passata, fatta rimbalzare, lasciata scivolare e volare), diventando un veicolo di comunicazione. Considerando che i bambini ASD mostrano nell'area delle relazioni interpersonali, atteggiamenti di isolamento estremo, chiusura e indifferenza di fronte alle interazioni umane e alle relazioni con gli altri, il miglioramento delle abilità cognitive e sociali dei bambini in età prescolare con ASD potrebbe essere attribuito alla ripetizione dei movimenti da parte degli insegnanti durante le sessioni di allenamento, che promuovono le abilità sociali dei bambini mentre imparano le abilità motorie (Yang et al., 2022).

Nel minibasket, i bambini devono imparare nuovi movimenti e coordinarsi nel gioco di squadra, che richiede un alto livello di controllo e cognizione.

Come riportato da precedenti studi, l'esercizio può indurre cambiamenti di plasticità nervosa aumentando la connettività funzionale della rete di controllo esecutivo tra il cervelletto destro e il giro frontale inferiore sinistro, considerando che il cervelletto è una regione cerebrale chiave coinvolta nella pratica motoria, come la coordinazione e l'equilibrio.

Queste caratteristiche sono state riscontrate nei bambini in età prescolare con ASD dopo 12 settimane di programma di allenamento nel minibasket. Inoltre, è stato dimostrato che le

funzioni, tra cui memoria, interazioni sociali e comportamenti ripetitivi, sono migliorate dopo 12 settimane nei bambini autistici.

Questi miglioramenti sono probabilmente dovuti a cambiamenti nei livelli di BDNF nel siero o nel plasma. Da queste premesse è nato il Progetto “Basket e Autismo - Il Filo dal Canestro”, che nasce nel 2003, con l’obiettivo di offrire a persone con autismo la possibilità di vivere, in un gruppo di coetanei, un’esperienza di sport attraverso il basket, grazie alle metodiche previste dall’approccio P.E.I.A.D. (Progetto Educativo Integrato Autismo e Disabilità).

Nel corso degli anni, il Progetto ha inteso comprendere, non solo sessioni di allenamento di basket all’interno del gruppo dei partecipanti con disabilità, ma anche esperienze di integrazione con squadre under 14, 17 e 19 di soggetti a sviluppo tipico, potenziando processi imitativi e occasioni di inclusione basate su condivisione di obiettivi, imitazione di comportamenti e, d’altro canto accettazione positiva della diversità.

3.3.4 *Skating*

Il pattinaggio ha il potenziale per offrire un modo pratico per migliorare il comportamento motorio e la capacità degli individui con ASD di svolgere attività quotidiane, evidenziando la loro allenabilità (Casey et al., 2015). Il pattinaggio rappresenta una modalità di attività fisica relativamente economica e facilmente accessibile nelle comunità in climi più freddi, e migliora la fitness cardiorespiratoria, l’equilibrio, le abilità motorie e la capacità funzionale nel raggiungimento degli obiettivi (Sowa et al., 2012).

Il pattinaggio terapeutico porta benefici fisici ai bambini con disturbo dello spettro autistico e offre un’alternativa comunitaria valida ed economica ad altre forme di attività fisica.

Una recente esperienza ha visto il CARS di Jesi (Centro Ambulatoriale di Riabilitazione Specialistica) dell’Istituto di Riabilitazione S. Stefano, specializzato nella gestione dell’autismo in età evolutiva, scelto dal Coordinamento Scientifico per presentare una Buona

Prassi al Convegno Internazionale AUTISMI, promuovere un'iniziativa che riguardava il Pattinaggio Corsa come opportunità sportiva per le persone con autismo.

Durante le attività di pattinaggio, è stato osservato un notevole calo delle stereotipie motorie e dei comportamenti tipici dei bambini con autismo. Nella fase iniziale, i bambini erano concentrati sulla gestione dei pattini per mantenere l'equilibrio, mentre in seguito trovavano gratificazione nel piacere derivante dall'aumento della velocità, il che li motivava ulteriormente.

Questa esperienza ha permesso di far emergere abilità latenti nei bambini, favorendo lo sviluppo di una relazione significativa sia con l'istruttore che con i compagni di gruppo. Inoltre, si sono registrati miglioramenti negli schemi comportamentali, con un allungamento dei tempi di attenzione e una maggiore capacità di collaborare durante gli esercizi.

Questi progressi hanno reso possibile una graduale riduzione dell'intervento fisico e verbale da parte degli adulti.

L'esperienza ha dimostrato che il pattinaggio a rotelle può essere un efficace strumento educativo e formativo per insegnare abilità importanti, spesso assenti nel repertorio spontaneo dei bambini con disturbo dello spettro autistico. Questa attività agisce in modo integrato sui sistemi motorio, relazionale, motivazionale, cognitivo ed emotivo-comportamentale, contribuendo al loro sviluppo globale.

3.3.5 *Yoga*

Lo yoga, come terapia stimolante sia la mente sia il corpo, si propone di fornire ai partecipanti competenze utili per tutta la vita, offrendo uno strumento prezioso per il benessere personale che continua a portare benefici anche dopo la conclusione della formazione o del trattamento formale. Studi condotti su adulti sani suggeriscono che l'integrazione dello yoga con tecniche di consapevolezza e trattamenti psicologici ha il potenziale di migliorare empatia,

autocontrollo, autocompassione e qualità delle relazioni interpersonali (Snaith et al., 2018; Kishida et al., 2019).

Inoltre, lo yoga si è rivelato promettente nella riduzione dei sintomi di ansia, depressione e disturbo da stress post-traumatico (O'Shea et al., 2022; Laplaud et al., 2023).

Riguardo i meccanismi neurobiologici attraverso i quali queste terapie possano agire, si è visto il contributo dello Yoga e delle tecniche mindfulness nel potenziare la resilienza ai disturbi della salute mentale (Van Aalst et al., 2020) Sono stati identificati diversi ambiti promettenti, tra cui meccanismi neurali, ormonali, immunitari, cellulari e cardiovascolari (Basu-Ray, 2021).

Progressivamente, queste scoperte scientifiche, inizialmente derivanti da studi su popolazioni adulte, stanno suscitando interesse per l'applicazione dello yoga e delle tecniche di mindfulness a bambini e adolescenti. Sebbene ancora limitate, le ricerche condotte su bambini, adolescenti e giovani adulti mostrano risultati promettenti riguardo alla capacità dello yoga di ridurre lo stress e migliorare la resilienza, l'umore e le competenze di autoregolazione in contesti scolastici (Hagen e Nayar, 2014; Hagen et al., 2023; Sun et al., 2021).

Inoltre, queste tecniche sembrano promettenti anche per migliorare la salute mentale nelle popolazioni cliniche pediatriche e adolescenziali (Weaver & Darragh, 2015).

La pratica regolare dello yoga è stata associata a cambiamenti neuroanatomici in specifiche aree cerebrali, principalmente nel cortece frontale, nell'ippocampo, nel cortece cingolato anteriore e nell'insula. Studi recenti hanno costantemente mostrato correlazioni positive tra la pratica dello yoga e le misure della struttura cerebrale (ad esempio, volume della materia grigia, densità e spessore corticale), con i praticanti di yoga che sperimentano effetti maggiori. Sono state anche osservate differenze nelle funzioni cerebrali tra i praticanti di yoga e i non praticanti, in particolare in aree come la corteccia prefrontale dorsolaterale e la corteccia prefrontale ventrolaterale, durante vari compiti cognitivi. Queste aree svolgono

ruoli cruciali nel controllo cognitivo, nella regolazione emotiva e nel processo decisionale, che sono componenti chiave dell'autoregolazione. Sono stati inoltre documentati cambiamenti nella connettività funzionale all'interno della rete di modalità predefinita (DMN) dopo la pratica dello yoga (Gothe et al., 2019). Il miglioramento dell'autocontrollo, caratterizzato da una regolazione emotiva potenziata e una riduzione dell'impulsività, è fortemente correlato con la capacità di un individuo di gestire efficacemente lo stress e di raggiungere uno stato di rilassamento (Frank et al., 2017; Sarkissian et al., 2018). Inoltre, è associato a un generale aumento del benessere psicologico (Sarkissian et al., 2018). Quando un individuo riesce a controllare meglio le proprie reazioni emotive, tende a sperimentare livelli di stress più bassi, il che favorisce una maggiore capacità di rilassarsi. Sia le strategie di coping che la regolazione emotiva rivestono un ruolo cruciale nei modelli di rischio e resilienza nella psicopatologia nei bambini e negli adolescenti. Sono stati trovati chiari legami significativi tra le strategie di coping, la regolazione emotiva e i sintomi di psicopatologia internalizzante ed esternalizzante (Compas et al., 2017).

Lo yoga può essere efficace nel promuovere comportamenti positivi e migliorare l'attenzione e la consapevolezza nei bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD). Tuttavia, sembra meno efficace nel ridurre l'ansia in questa popolazione. La maggior parte delle misurazioni (comportamento, attenzione e ansia) si basa principalmente su osservazioni esterne, che potrebbero non rappresentare accuratamente gli stati interni dei bambini. È necessaria l'elaborazione di una definizione condivisa di autoregolazione per garantire coerenza sia nella ricerca che nella terapia. Ulteriori studi sono indispensabili per chiarire l'impatto dello yoga sull'autoregolazione nei bambini con ASD.

3.3.6 *Attività Cognitivo-Motorio Dual Task*

La capacità di eseguire due compiti contemporaneamente (dual-task), ovvero svolgere due attività indipendenti nello stesso momento, è un aspetto fondamentale del comportamento quotidiano. Le prestazioni dual-task si basano sullo sviluppo del controllo motorio e del controllo cognitivo (cioè delle funzioni esecutive) nel corso dell'infanzia (Iverson et al., 2023; Hagmann-von Arx et al., 2016; Kail, 1991). Le abilità cognitive, come il controllo attentivo, che rappresenta una componente fondamentale per le prestazioni cognitivo-motorie, si sviluppano durante l'infanzia e l'adolescenza fino alla giovane età adulta, parallelamente allo sviluppo della corteccia prefrontale (Lenroot & Giedd, 2006) e alla crescente differenziazione delle reti cerebrali (Anokhin et al., 2000). Nei bambini con ASD, ci sono evidenze che indicano come sia il controllo motorio predittivo che gli aspetti del controllo cognitivo non siano completamente sviluppati rispetto ai bambini con sviluppo tipico (Wilson 2022; Subara-Zukic et al., 2022). Ci sono evidenze che indicano come sia il controllo motorio predittivo che gli aspetti del controllo cognitivo non siano completamente sviluppati nei bambini ASD rispetto ai bambini con sviluppo tipico (TD). Durante gli interventi di dual-task, nella fase iniziale dell'apprendimento le prestazioni motorie tendono ad avere un più basso livello di correttezza e di efficienza migliorando nella fase avanzata. Si ritiene che il movimento richieda molta attenzione nella fase iniziale, per cui l'attività delle aree frontale e parietale si riduce, con conseguente peggioramento della prestazione motoria. Questo fenomeno è considerato il risultato della competizione per le risorse neurali condivise in queste aree. Nella fase avanzata dell'apprendimento, invece, le prestazioni nelle aree frontale e parietale non peggiorano, grazie alla automatizzazione della prestazione motoria, portando a un miglioramento in questa fase. Ecco perché è necessario che l'intervento abbia una certa durata. Quando i compiti motori e cognitivi sono combinati, come evidenziato dalla letteratura la prima difficoltà che si evidenzia è un deficit nel

controllo cognitivo, sotto forma di un inferiore controllo inibitorio, memoria di lavoro e attenzione esecutiva (Subara-Zukic et al., 2022).

L'uso di paradigmi di dual-task nella ricerca sui bambini con problematiche relative all'apprendimento ed al controllo motorio è relativamente poco sviluppato. I dual-task scelti spesso includono compiti motori statici o compiti cognitivi di calcolo seriale continuo o richiamo presentati attraverso modalità uditive o visive.

Le condizioni più complesse richiedono più risorse attenzionali e si ritiene che manifestino effetti di interferenza maggiori nel dual-task, in particolare per i bambini con ASD.

Pur considerando queste evidenze il presente studio ha voluto sfidare questi assunti, utilizzando un nuovo paradigma di dual-task locomotorio-cognitivo per esaminare le prestazioni nel dual-task, che richiedono un controllo motorio predittivo e il controllo cognitivo contemporaneamente.

Ipotizzando che esercizi che combinano attività fisiche e mentali non solo possano migliorare le capacità cognitive negli individui con ASD, ma anche a ridurre comportamenti stereotipati.

Capitolo IV

4 *Premesse Per Lo Studio*

4.1 *Inquadramento Metodologico delle Misurazioni*

4.1.1 *Elettroencefalografia*

L'elettroencefalografia (EEG) è una tecnica fondamentale nelle neuroscienze e nella diagnostica clinica, sviluppata per la prima volta da Hans Berger negli anni '20. L'EEG viene utilizzata per registrare l'attività elettrica del cervello posizionando elettrodi sul cuoio capelluto.

I segnali rilevati dall'EEG derivano dai potenziali postsinaptici dei neuroni, in particolare quelli situati nella corteccia cerebrale. Questi segnali elettrici vengono registrati come variazioni di tensione nel tempo e riflettono l'attività sincronizzata di grandi gruppi di neuroni. I neuroni, infatti, svolgono simultaneamente una vasta gamma di funzioni in diverse aree del cervello.

Alcune di queste funzioni sono automatiche o semiautomatiche, come la regolazione della respirazione, i riflessi e il controllo dell'ambiente circostante, mentre altre sono associate a processi cognitivi superiori, quali l'intelligenza, il pensiero, la memoria e l'apprendimento. L'attività neuronale si manifesta attraverso la conduzione ionica lungo gli assoni, che genera campi elettrici variabili, rilevabili dall'esterno. I segnali ottenuti, che riflettono i processi neurali in corso, vengono analizzati in termini di frequenza e ampiezza delle onde cerebrali. Questi segnali si presentano sotto forma di oscillazioni continue, con una frequenza variabile tra 0,5 e 100 Hz e un'ampiezza compresa tra pochi e centinaia di microvolt. In condizioni specifiche, un'attività cerebrale inferiore a 2 μ V costituisce un indicatore di morte cerebrale. Il tracciato EEG, quindi, è costituito da oscillazioni, comunemente note come onde cerebrali, le cui caratteristiche dipendono dalla specifica persona, dal suo stato fisiologico o patologico,

nonché dall'attività cerebrale in atto nelle condizioni particolari del momento. Queste onde possono essere individuate e classificate in base alla loro frequenza e vengono raggruppate in categorie principali: delta, theta, alfa, beta e gamma, oltre a potenziali evento-correlati (ERP), le cui componenti specifiche sono associate a stati distinti delle funzioni cognitive (Bera, 2021).

L'elettroencefalografia (EEG) è uno strumento ampiamente utilizzato sia in ambito medico che nella ricerca. In campo clinico, viene impiegata principalmente per diagnosticare disturbi neurologici come l'epilessia, grazie alla sua capacità di registrare in tempo reale l'attività cerebrale. Questa caratteristica rende l'EEG fondamentale per rilevare crisi epilettiche e studiare le disfunzioni cerebrali. È inoltre utilizzata per la diagnosi di patologie come il morbo di Alzheimer, il morbo di Parkinson e i tumori cerebrali (Hinrichs et al., 2021).

In ambito di ricerca, l'EEG è largamente impiegata per indagare le funzioni cognitive. Una delle sue applicazioni più rilevanti è la registrazione dei potenziali evento-correlati (ERP), risposte cerebrali specifiche legate a stimoli sensoriali, cognitivi o motori. Gli ERP, grazie all'elevata risoluzione temporale, permettono di analizzare processi cerebrali relativi a funzioni cognitive come attenzione, percezione e memoria, offrendo un metodo non invasivo di indagine (Teplan, 2002).

Uno dei principali vantaggi dell'EEG è la sua elevata risoluzione temporale, che permette di rilevare rapidi cambiamenti nell'attività cerebrale con una precisione nell'ordine dei millisecondi, risultando superiore ad altre tecniche. Inoltre, il carattere non invasivo dell'EEG, che prevede semplicemente il posizionamento di elettrodi sul cuoio capelluto, lo rende comodo per i pazienti e ideale per applicazioni ripetute, anche su categorie vulnerabili come bambino con ASD.

Tuttavia, l'EEG presenta delle limitazioni. La sua risoluzione spaziale è limitata, poiché i segnali elettrici attraversando il cranio e il cuoio capelluto subiscono delle distorsioni, riducendo la precisione nella localizzazione dell'attività cerebrale rispetto ad altre tecniche.

Inoltre, l'EEG è sensibile agli artefatti, come quelli causati da movimenti muscolari o ammiccamenti, i quali possono compromettere la qualità dei dati e rendere necessario l'utilizzo di tecniche avanzate di elaborazione per correggerli.

4.1.2 Registrazione Elettroencefalografica e Posizionamento degli Elettrodi

La registrazione dell'attività elettroencefalografica (EEG) viene effettuata utilizzando una cuffia di tela regolabile, progettata per accogliere elettrodi a coppetta in argento, ciascuno alloggiato in un guscio di plastica dotato di un foro centrale. Le cuffie sono disponibili in diverse dimensioni pediatriche, per una maggiore aderenza, specificamente: 46-50 cm o 51-55 cm di circonferenza cranica. Per standardizzare la collocazione degli elettrodi e garantire la comparabilità tra diverse registrazioni, viene adottato il sistema internazionale 10-20. Questo setup assegna una posizione anatomica specifica a ciascun elettrodo, identificandolo con lettere e numeri che indicano l'emisfero di riferimento (es. Fp1 per frontale-polare sinistro). Gli elettrodi posti nella parte sinistra sono indicati con un numero dispari, quelli della parte destra con un numero pari.

Tale standardizzazione consente una mappatura omogenea dell'attività cerebrale.

Inoltre, per migliorare la qualità del contatto con il cuoio capelluto e ridurre l'impedenza, viene applicato un gel conduttivo attraverso i fori degli elettrodi. L'impedenza, definita come la resistenza opposta al passaggio di corrente alternata, viene mantenuta costantemente al di sotto di 5 k Ω , valore considerato ottimale per minimizzare il rumore di fondo e garantire una qualità elevata del segnale EEG.

Gli elettrodi sono poi collegati a un sistema di cablaggio schermato, progettato per ridurre le interferenze elettromagnetiche e garantire una trasmissione stabile dei segnali. I cavi convergono in un connettore multipolare, che li collega direttamente all'amplificatore EEG.

Il sistema di registrazione EEG utilizza 32 canali, ciascuno associato a un elettrodo posizionato in conformità con il sistema 10-20. I canali sono distribuiti per coprire quattro principali regioni cerebrali di interesse (Regions of Interest, ROI):

- Regione frontale: elettrodi Fp1, Fp2, F3, F4, Fz.
- Regione fronto-temporo-centrale: elettrodi C3, C4, T3, T4.
- Regione centro-parietale: elettrodi P3, P4, Pz, C3, C4, Cz.
- Regione parieto-occipitale: elettrodi O1, O2, Oz, P3, P4, Pz.

I canali lungo la linea mediana (Fz, Cz, Pz, Oz) completano la configurazione, permettendo una registrazione accurata delle oscillazioni cerebrali relative a queste aree centrali.

Vi sono inoltre altre 2 posizioni destinate agli elettrodi di riferimento e denominate A₁ e A₂, situate rispettivamente sul lobo dell'orecchio sinistro e destro.

I segnali elettrici generati dall'attività neuronale vengono captati dagli elettrodi e trasmessi attraverso il sistema di cablaggio schermato all'amplificatore EEG.

L'amplificatore EEG garantisce l'elaborazione ottimale del segnale, consentendo la rilevazione precisa delle attività neuronale, migliorando l'intensità dei deboli segnali EEG (amplificazione del segnale), eliminando i rumori ambientali e i segnali indesiderati mediante filtri specifici e convertendo i segnali analogici in dati digitali idonei all'elaborazione e analisi.

4.1.3 Metodo dei Potenziali Evento-Correlati

L'analisi dei potenziali evento-correlati (ERPs), rappresenta una delle applicazioni più rilevanti dell'EEG. Gli ERPs sono risposte cerebrali generate in risposta a specifici eventi di natura sensoriale, cognitiva o motoria (Di Russo et al., 2019). Inoltre, forniscono importanti informazioni sui processi di elaborazione del cervello, in particolar modo in ambiti come percezione, attenzione, memoria, decision-making e controllo motorio.

Per isolare questi segnali dalle registrazioni EEG, si utilizza una tecnica di mediazione che consiste nel calcolare la media delle risposte cerebrali a “n” presentazioni dello stesso stimolo. In questo modo, è possibile ridurre il rumore di fondo e mettere in evidenza la risposta cerebrale specifica legata allo stimolo. Ogni componente degli ERPs corrisponde a una fase diversa del processo cognitivo o motorio e viene tipicamente identificata in base alla sua polarità (positiva o negativa) e al momento temporale (in millisecondi) rispetto l’inizio dello stimolo. Si distinguono componenti preparatori (anticipatori) e reattivi. I componenti pre-stimolo sono associati a potenziali lenti che iniziano fino a diversi secondi prima di eventi sensoriali o motori. Tra questi si distinguono:

- **Bereitschaftspotential (BP) o Readiness Potential (RP):** potenziale correlato alla preparazione motoria, che evidenzia un'attivazione graduale delle aree premotorie del cervello e la predisposizione comportamentale a movimenti imminenti. È rilevabile nelle aree fronto-centrali del cuoio capelluto circa 1500-1000 millisecondi prima dell'inizio di atti motori volontari (Shibasaki & Hallett, 2006; Quinzi et al., 2019).
- **Negatività Prefrontale (pN):** potenziale correlato alla preparazione cognitiva per stimoli imminenti, ha origine nella corteccia prefrontale (PFC), in particolare nel giro frontale inferiore. La pN, si manifesta circa 1000 millisecondi prima dell'inizio dello stimolo ed è associata al controllo inibitorio proattivo, funzionando come un "meccanismo di frenata" nel cervello (Di Russo et al., 2016).
- **Negatività Visiva (VN):** potenziale correlato all'eccitabilità visiva pre-stimolo e origina dalle aree extrastriate visive bilaterali circa un secondo prima dello stimolo (Di Russo et al., 2021).
- **Variazione Negativa Contingente (CNV):** potenziale caratterizzato da lenti spostamenti negativi tra uno stimolo di avviso (S1 o segnale) e uno stimolo

imperativo (S2 o obiettivo). La CNV si sviluppa circa 600-700 millisecondi dopo il segnale (Eimer et al., 2002).

- Potenziali di Prontezza Lateralizzati (LRP): potenziali associati a processi di attivazione della risposta, che coinvolgono l'attenzione lateralizzata e la preparazione motoria. Questa attività, contralaterale alla direzione del segnale visivo, si manifesta circa 800 millisecondi dopo il segnale, ed è modulata dall'attenzione visuo-spaziale (Eimer et al., 1998; Di Russo et al., 2021).
- Le componenti post-stimolo sono generate in risposta diretta a stimoli o eventi specifici e variano a seconda della modalità dello stimolo (ad esempio, visivo o uditivo). Nel dominio visivo, tali componenti rappresentano i processi di elaborazione sensoriale, cognitiva e motoria che avvengono dopo la presentazione dello stimolo. Tra questi si distinguono:
 - P1: 1: Componente positiva che si manifesta tra 80-130 ms dopo l'inizio dello stimolo. Nelle fasi iniziali è generata dalla corteccia occipitale extrastriata dorsale, mentre successivamente origina dalla corteccia extrastriata ventrale. L'ampiezza della P1 aumenta quando l'attenzione è diretta verso una specifica posizione spaziale, indicando un ruolo nei processi attentivi top-down (Di Russo et al., 2001).
 - N1: Componente negativa che emerge circa 100-200 ms dopo la presentazione di uno stimolo visivo. È coinvolta nelle prime fasi di elaborazione delle caratteristiche visive, come bordi, movimento e colore. Questa componente è generata principalmente nella corteccia visiva extrastriata nelle regioni occipitali e parietali, con contributi aggiuntivi dalle aree frontali (Brem et al., 2018).
 - pN1: Componente negativa che si manifesta tra 110-160 ms dopo l'inizio dello stimolo e origina dalla corteccia prefrontale. È modulata da fattori come attenzione, complessità del compito, congruenza e novità dello stimolo. La pN1 potrebbe

rappresentare un meccanismo di focalizzazione dell'attenzione nelle prime fasi dell'elaborazione percettiva (Perri et al., 2016).

- pP1: Componente positiva che si verifica tra 100-200 ms dopo uno stimolo sensoriale o cognitivo precoce. Questa componente riflette processi esogeni influenzati dalle caratteristiche fisiche dello stimolo, come luminosità o colore nel caso di stimoli visivi (Coles & Rugg, 1995).
- P2 Prefrontale: Componente positiva che si manifesta tra 200-300 ms dopo lo stimolo e ha origine nella corteccia prefrontale. È legata a processi decisionali, come l'accumulo di evidenze sensoriali e la categorizzazione dello stimolo. La pP2 è influenzata dalla difficoltà del compito e dal grado di congruenza tra input sensoriali e azioni motorie, risultando coinvolta nella valutazione sensoriale (Berchicci et al., 2016; Di Russo et al., 2016).

Capitolo V

5 *Lo Studio*

La ricerca presentata in questa tesi è nata dalla collaborazione tra l'Università del Molise e l'Università degli Studi di Roma "Foro Italico".

5.1 Scopo Dello Studio

Nei capitoli precedenti si è discusso il ruolo che i processi predittivi cerebrali possono avere nello sviluppo e nell'intervento nei bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD). In linea con tali considerazioni, la ricerca si è posta come il presente studio si propone di raggiungere due principali obiettivi di ricerca, suddivisi in due studi complementari.

L'obiettivo del primo studio è confrontare le capacità predittive del cervello tra bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD) e bambini con sviluppo tipico, attraverso l'utilizzo di misure elettrofisiologiche, in particolare mediante elettroencefalografia (EEG). In particolare, si intende verificare la presenza di anomalie nelle attività elettroencefalografiche correlate ai processi predittivi durante lo svolgimento di un compito cognitivo nei bambini con ASD. L'ipotesi di partenza è che nei bambini con ASD si osservi una soppressione delle attività cerebrali anticipatorie, specialmente a livello della corteccia prefrontale, suggerendo una compromissione dei meccanismi neurali di previsione degli eventi.

Il secondo studio ha come obiettivo principale la validazione di un nuovo approccio di allenamento cognitivo-motorio per bambini con ASD, basato sull'esecuzione di giochi il cui svolgimento dipende dalla soluzione di compiti cognitivi che implicavano una forte componente anticipatoria. La decisione di utilizzare giochi per i bambini nasce dall'obiettivo di stimolarne il coinvolgimento nell'attività, incoraggiandoli a ripetere l'esperienza.

Un ulteriore obiettivo è identificare le basi neurali dell'effetto potenziale dell'allenamento sui processi anticipatori predittivi, sia a livello sensoriale-motorio che cognitivo, mediante registrazioni di potenziali evento-correlati (ERP) durante l'esecuzione di un compito cognitivo. Tale approccio è motivato dalla necessità di avere un riscontro scientifico oggettivo agli eventuali effetti del protocollo cognitivo-motorio.

Si ipotizza che l'allenamento sarà efficace nello sviluppo delle abilità motorie e cognitive generali dei bambini con ASD, con particolare riferimento al miglioramento delle capacità predittive. A livello neurofisiologico, si prevede un miglioramento dei processi anticipatori nelle aree prefrontali, suggerendo un potenziale recupero parziale delle funzionalità cerebrali compromesse in questi bambini.

Nel complesso, lo studio mira ad approfondire la comprensione dei meccanismi predittivi alterati nei bambini con ASD, oltre a esplorare nuove possibilità di intervento per migliorare le abilità cognitive e motorie attraverso l'integrazione di allenamento fisico e stimolazione cognitiva.

5.2 Disegno dello Studio

Lo studio si articola in due disegni sperimentali, integrando un approccio osservazionale ad un intervento sperimentale, consentendo di valutare sia le differenze neurofisiologiche tra bambini con ASD e coetanei sviluppo tipico, sia l'efficacia di un intervento specifico nel migliorare i processi predittivi e la qualità della vita dei bambini con ASD.

Studio 1: il paradigma sperimentale è di tipo trasversale (cross-sectional) che confronta bambini con ASD e bambini sviluppo tipico tramite registrazioni EEG durante compiti cognitivi per valutare i processi predittivi.

Studio 2: Disegno pre-post non randomizzato, che coinvolge un gruppo di bambini con ASD sottoposti a un programma di allenamento cognitivo-motorio, con misurazioni

elettrofisiologiche effettuate prima e dopo l'intervento per valutare gli effetti sui processi anticipatori e sulle abilità cognitive e motorie.

5.3 Materiali E Metodi:

5.3.1 Campione

Entrambi gli studi hanno coinvolto un campione iniziale di 20 bambini con Disturbo dello Spettro Autistico (ASD), classificati come livello 1 o 2 secondo i criteri del Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5, Quinta Edizione), corrispondenti a una forma lieve-moderata di autismo. Di questi 20 bambini, solo 10 con ASD (età: 12.3 ± 1.30) hanno completato correttamente il compito di risposta semplice (SRT) senza interferenze nel segnale elettroencefalografico. Di conseguenza, solo questi 10 bambini sono stati inclusi nel campione.

Il gruppo di controllo è stato costituito da 10 bambini con sviluppo tipico (età: 12.8 ± 1.19), appartenenti alla stessa fascia d'età dei partecipanti con ASD. Per garantire la comparabilità tra i gruppi, sono stati selezionati bambini praticanti scherma, una disciplina che combina attività fisica regolare con un allenamento cognitivo-motorio avanzato. La scherma, infatti, richiede abilità quali l'anticipazione, la reazione rapida e la pianificazione strategica, competenze che riflettono le capacità necessarie per svolgere compiti che integrano componenti motorie e cognitive. Questa scelta ha permesso di controllare le variabili legate all'attività fisica strutturata e di assicurare una base comune per il confronto delle abilità predittive e cognitive.

I criteri di inclusione per il gruppo sperimentale (ASD Group) includevano: a) un'età compresa tra 10 e 14 anni; b) una diagnosi clinica di Disturbo dello Spettro Autistico di livello 1 o 2, secondo i criteri del DSM-5; c) l'idoneità alla partecipazione a protocolli di attività fisica, verificata mediante valutazione clinica.

I criteri di esclusione includevano: a) l'uso di farmaci o sostanze in grado di influire sulle capacità cognitive, esecutive o motorie; b) la presenza di controindicazioni per le attività previste dai protocolli; c) infortuni recenti o condizioni che avrebbero reso i partecipanti non idonei all'esercizio fisico.

I criteri di inclusione per il gruppo di controllo (TD Group) includevano: a) assenza di qualsiasi disturbo neurologico o psichiatrico; b) età compresa tra i 10 e i 14 anni; c) minimo 6 ore di esercizio fisico settimanale negli ultimi 12 mesi; d) acuità visiva normale o corretta; e) assenza di trattamenti farmacologici.

Lo studio è stato condotto in accordo con la dichiarazione di Helsinki; le spiegazioni del rationale dello studio sono state fornite ai genitori dei partecipanti che hanno firmato il consenso scritto alla partecipazione allo studio. Lo studio è stato approvato dal Comitato di Ateneo per la Ricerca (CAR-IRB) dell'Università degli Studi di Roma Foro Italico (CAR 170/2023).

5.3.2 *Numerosità Campionaria*

Il software G*Power 3.1.9.7 è stato utilizzato per determinare la dimensione del campione stimando la dimensione dell'effetto mediante le statistiche di Cohen's f . Per questo studio pilota, con un disegno misto 2x2 (entro-soggetti e tra-soggetti), è stata stabilita una dimensione dell'effetto prevista di livello medio pari a $f = 0,28$ (Lakens, 2013); il livello di significatività α è stato fissato a 0,05, e la potenza statistica desiderata ($1-\beta$, probabilità di errore) è stata impostata a 0,80. Questi parametri hanno stimato una dimensione totale del campione pari a 20 partecipanti.

5.3.3 *Procedura di Reclutamento*

La procedura di reclutamento dei bambini con ASD per il progetto di ricerca è stata strutturata con grande attenzione alla sensibilità, all'etica e al coinvolgimento attivo delle familiari e delle istituzioni sanitarie. L'obiettivo primario è stato quello di garantire una partecipazione consapevole e informata, instaurando un rapporto di fiducia e creando al contempo un ambiente di collaborazione tra le diverse figure coinvolte.

Il primo passo è consistito nel reperire i contatti di Associazioni e Fondazioni, realtà già coinvolte nel supporto di famiglie di bambini con ASD. Successivamente, sono stati organizzati incontri con i Direttori Sanitari delle strutture identificate durante il quale è stato presentato il progetto di ricerca, illustrandone gli obiettivi scientifici e descrivendo in modo dettagliato il protocollo di intervento. È stata dedicata particolare attenzione a garantire che il progetto fosse percepito come rispettoso delle necessità individuali e dei diritti dei partecipanti.

Una volta ottenuto il supporto delle strutture e delle associazioni coinvolte, sono stati organizzati incontri dedicati ai genitori dei bambini, con un duplice scopo: da un lato sensibilizzare i genitori sull'importanza del progetto e sull'opportunità di parteciparvi; dall'altro, rispondere ad ogni dubbio o preoccupazione specifica legata alle esigenze particolari dei bambini con ASD. Durante gli incontri, è stata distribuita una documentazione completa che includeva:

- spiegazione dettagliata del progetto;
- modulo di consenso informato per l'adesione completa al progetto, comprensiva della registrazione dell'elettroencefalogramma (EEG);
- modulo di consenso per l'adesione al progetto senza includere l'EEG, per offrire flessibilità alle famiglie.

Infine, il personale sanitario delle associazioni coinvolto nel progetto è stato formato attraverso sessioni dedicate. Durante questi incontri formativi sono state fornite linee guida

dettagliate sul protocollo di intervento, con un focus specifico sulle modalità di interazione con i bambini con ASD. La formazione ha incluso strategie per garantire che ogni bambino fosse a proprio agio e che l'intervento fosse condotto nel rispetto delle sue specificità e preferenze.

5.4 Assessment Cognitivi

5.4.1 Protocollo RegISTRAZIONI Elettroencefalografiche

L'elettroencefalogramma (EEG) è stato registrato in continuo utilizzando due amplificatori BrainAmp™ e 32 sensori attivi ActiCap™ collegati, con il software Recorder 1.2. I dati sono stati successivamente elaborati con il software Analyzer 2.2.2. Tutti i dispositivi e i software sono forniti da BrainProducts GmbH (Monaco, Germania).

Gli elettrodi sono stati posizionati secondo il sistema internazionale 10-20 e riferiti alla media degli elettrodi M1 (mastoidale sinistra) e M2 (mastoidale destra).

I segnali EEG sono stati amplificati, digitalizzati con una frequenza di campionamento di 250 Hz e filtrati utilizzando un filtro passa-banda Butterworth a fase zero (0.01–60 Hz e filtro notch a 50 Hz, di ordine due) e memorizzati per analisi offline.

Per monitorare i movimenti oculari, è stato registrato un elettrooculogramma (EOG) tramite un amplificatore ExG BrainAmp, configurato in modalità bipolare. Il segnale EOG orizzontale (HEOG) è stato acquisito tramite una coppia di elettrodi posizionati sugli angoli esterni dell'occhio destro e sinistro, mentre l'EOG verticale (VEOG) è stato registrato con una coppia di elettrodi posizionati sopra e sotto l'occhio sinistro. Le impedenze degli elettrodi sono state mantenute inferiori a 5 K Ω .

Dopo aver riferito i dati EEG alla media tra M1 e M2, gli artefatti associati ai battiti di palpebra e ai movimenti oculari verticali sono stati automaticamente corretti mediante analisi delle componenti indipendenti (ICA). Successivamente, è stata effettuata una procedura di

esclusione automatica degli artefatti, eliminando i segmenti EEG con ampiezze superiori alla soglia di $\pm 70 \mu V$. Circa il 2,5% delle prove è stato scartato.

Per valutare l'attività pre-stimolo, i segnali EEG sono stati segmentati in epoche di 1300 ms, partendo da 1100 ms prima e terminando 200 ms dopo la presentazione dello stimolo. Il baseline è stato calcolato nel periodo da -1100 a -900 ms. Per valutare l'attività post-stimolo, l'EEG è stato segmentato in epoche di 1000 ms, partendo da 100ms prima e terminando 900ms dopo l'inizio dello stimolo. In questa condizione, la baseline è stata fissata tra -100 e 0 ms.

Per selezionare gli intervalli temporali e gli elettrodi da considerare nell'analisi statistica, è stato utilizzato il metodo del "localizzatore collassato" (Luck, 2017), che genera un ERP di riferimento calcolando la media tra tutte le condizioni sperimentali. Per identificare gli intervalli di analisi, è stata calcolata la potenza del campo globale (GFP), che descrive la variabilità spaziale dell'ERP in ogni punto temporale considerando simultaneamente tutti gli elettrodi sullo scalpo, fornendo così un descrittore indipendente dal riferimento del campo potenziale.

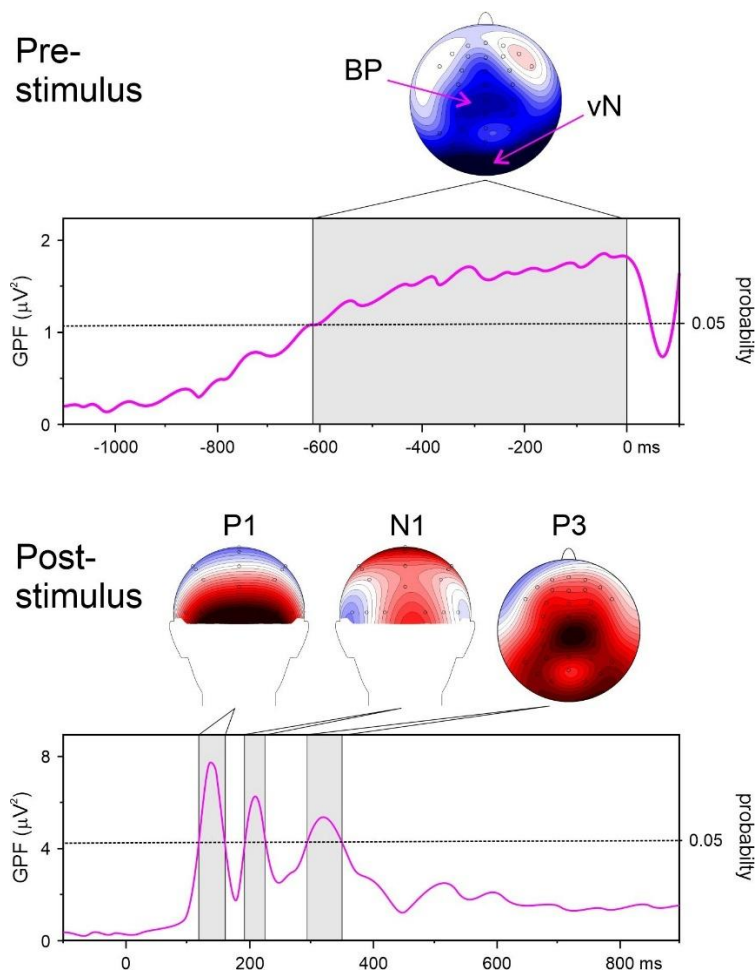
Gli intervalli pre- e post-stimolo in cui il test t rispetto a zero è risultato significativo ($p < 0,05$) sono stati utilizzati per ulteriori analisi. Questo approccio ha selezionato un intervallo pre-stimolo da -620 ms a 0 ms e i seguenti tre intervalli post-stimolo: 116-160 ms, 192-224 ms e 294-352 ms.

Per identificare gli elettrodi da includere nell'analisi statistica, sono stati selezionati quelli con ampiezza media negli intervalli menzionati significativa ($p < 0,05$) nel test t rispetto a zero eseguito sull'ERP localizzatore. Questa procedura ha identificato, nell'intervallo pre-stimolo, due foci di attività: un'attività centrale mediale che include gli elettrodi FCz e Cz, rappresentanti la componente BP, e un'attività occipitale bilaterale che include gli elettrodi PO7, O1, O2 e PO8, rappresentanti la componente vN. Nei primi due intervalli post-stimolo, la procedura ha selezionato gli elettrodi PO7, O1, O2 e PO8, rappresentanti le componenti

P1 e N1. Nell'intervallo successivo, sono stati selezionati gli elettrodi Cz e CPz, rappresentanti la componente P3.

La mappatura della densità di corrente e del voltaggio (CSD) è stata utilizzata per rappresentare la topografia scalpica degli ERP. La Figura 1 mostra la Potenza del campo globale (GFP) degli ERP pre- e post-stimolo e gli intervalli selezionati in base al t-test rispetto a zero. Inoltre, rappresenta la topografia dello scalpo negli intervalli selezionati.

Figura 1: Potenza del campo globale (GFP) dell'ERP localizzatore collassato pre-stimolo e post-stimolo, con gli intervalli selezionati in base al test t rispetto a zero. Le topografie dello scalpo si riferiscono agli intervalli indicati, evidenziati con ombreggiature grigie.



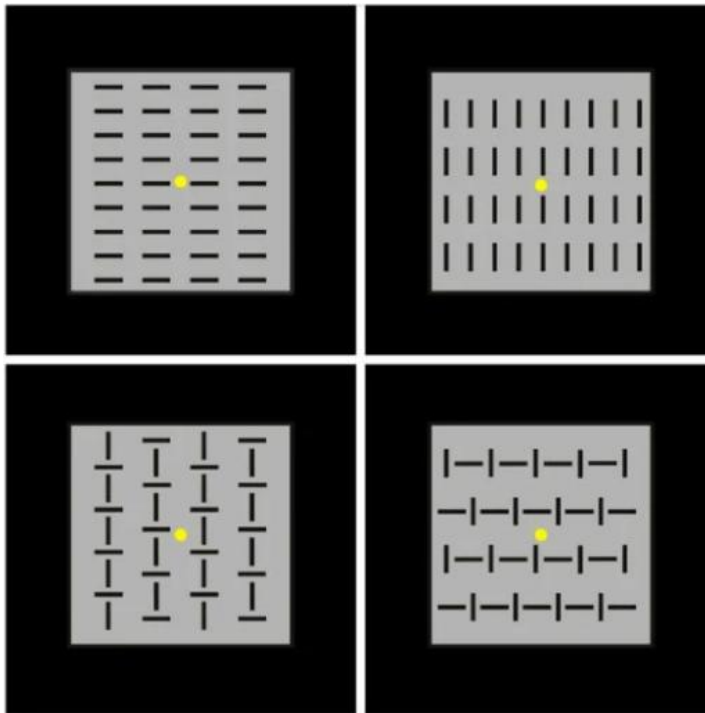
5.4.2 *Procedura di Risposta Semplice*

Il compito di risposta semplice (SRT), è stato eseguito durante la registrazione elettroencefalografica, utilizzando un computer, che ha registrato sia il tempo di risposta sia l'accuratezza rispetto alle configurazioni visive presentate. Ai partecipanti è stata applicata una cuffia EEG sul cuoio capelluto (46-50 cm o 51-55 cm di circonferenza cranica) in base alla dimensione del cranio. L'EEG è stato registrato con un sistema ad alta densità (32 canali corticali più 4 canali oculari) e successivamente sono stati elaborati i potenziali correlati agli eventi (ERP).

L'esperimento si è svolto in una stanza insonorizzata e scarsamente illuminata. I partecipanti, seduti a una distanza di 114 cm da uno schermo di computer, dovevano premere il pulsante sinistro del mouse il più rapidamente possibile ogni volta che compariva uno stimolo visivo. All'inizio di ogni prova, un punto di fissazione (diametro di $0,15^\circ$) appariva al centro dello schermo su uno sfondo nero e rimaneva visibile per tutta la durata della prova. Gli stimoli visivi, costituiti da configurazioni quadrate di 4×4 composte da barre verticali e/o orizzontali, venivano presentati casualmente per 250 ms ciascuno (Figura 2), con uguale probabilità di comparsa ($p = 0,25$). Gli intervalli tra l'inizio degli stimoli variavano casualmente 1200 e 2200 ms, evitando sovrapposizioni ERP con stimoli precedenti o successivi. L'ordine di presentazione degli stimoli non era predeterminato.

L'esperimento comprendeva 5 sessioni (run), ciascuna composta da 60 stimoli, per un totale di 300 stimoli. Ogni run era intervallato da una pausa di due minuti. Il tempo di risposta e l'accuratezza (espressa come percentuale di risposte omesse) sono stati utilizzati per l'analisi statistica.

Figura 2: Configurazioni quadrate presentate durante il test di Risposta Semplice



5.4.3 *La Torre di Londra*

Il test della Torre di Londra (Tower of London - TOL), sviluppato da Shallice nel 1982 e successivamente perfezionato da Norman e Shallice nel 1986, è uno degli strumenti neuropsicologici più utilizzati per valutare le abilità di pianificazione e monitoraggio.

Il test della Torre di Londra è stato ampiamente utilizzato per valutare pazienti con lesioni ai lobi frontali, al fine di esplorare vari aspetti delle funzioni esecutive legate al problem solving (Anderson et al., 2002; Brookshire et al., 2004). Inoltre, è stato applicato a bambini con disturbi dell'attenzione e iperattività (Menghini, 2018), disturbi dello spettro autistico (Unterrainer et al., 2020), e dislessia evolutiva (Medina & Guimaraes, 2021).

Inserito nella Batteria Neuropsicologica per l'Età Evolutiva (BVN 5-11) di Bisiacchi et al. (2005), il TOL è impiegato per valutare diverse componenti delle funzioni esecutive, in particolare:

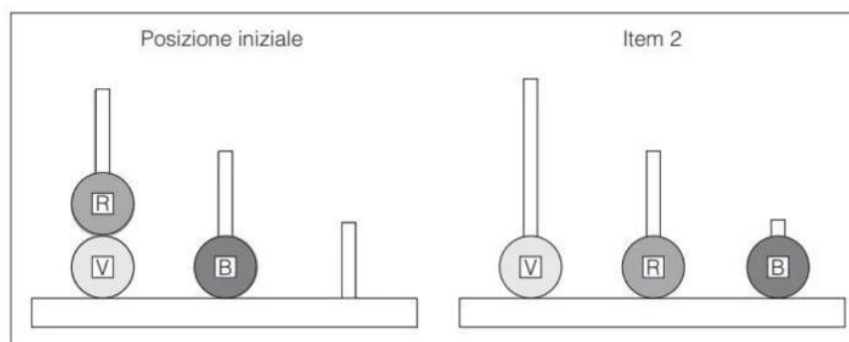
- Pianificazione: capacità di prevedere i passaggi necessari per raggiungere un obiettivo.
- Problem solving: capacità di risolvere problemi anticipando le conseguenze delle azioni intermedie.
- Inibizione delle risposte impulsive: capacità di evitare mosse affrettate per concentrarsi su una strategia ottimale.
- Flessibilità cognitiva: abilità di adattare la strategia in caso di variazioni ambientali e necessità di adeguamento della risposta, di errori o difficoltà impreviste.

Questo test è utilizzato principalmente per bambini di età compresa tra i 4 e i 14 anni, sia in ambito clinico che nella ricerca scientifica. Durante l'esecuzione, i partecipanti devono riflettere sulle operazioni necessarie per completare il compito e, in caso di errori, modificare la propria strategia. Il test richiede l'uso di abilità visuo-spaziali e di problem solving.

5.4.3.1 Struttura del Test

Il test della Torre di Londra prevede l'uso di tre pioli di diversa altezza e tre palline di colori differenti (rosso, verde e blu).

Figura 3: Rappresentazione della strumentazione del Test Torre di Londra



Il compito del bambino consiste nel riprodurre una configurazione finale mostrata dall'esaminatore, spostando le palline tra i pioli nel rispetto delle seguenti regole:

- Si può muovere una sola pallina alla volta.
- Non si possono posizionare più palline di quante un piolo possa contenere.
- Non è permesso appoggiare le palline sul tavolo durante il compito.
- L'obiettivo è completare il compito utilizzando il minor numero di mosse possibile.

Il test aumenta gradualmente di difficoltà, richiedendo capacità di pianificazione crescenti. Ogni item consiste nel disporre tre palline su tre pioli di altezze diverse, replicando il modello fornito. Il test comprende 12 item con complessità crescente: 2 item richiedono 2 mosse, 2 ne richiedono 3, 4 ne richiedono 4 e altri 4 richiedono 5 mosse. Nei livelli più semplici, una strategia diretta è sufficiente, mentre i problemi più complessi richiedono un'analisi più approfondita e la correzione di errori. Le difficoltà nell'esecuzione del test sono spesso caratterizzate da prestazioni affrettate e imprecise: molti errori derivano dalla mancata comprensione della necessità di raggiungere una configurazione intermedia per risolvere il problema.

Il partecipante ha a disposizione un massimo di tre tentativi per risolvere ciascun problema. Tutti i 12 item devono essere somministrati, a meno che il soggetto non mostri chiaramente di non essere in grado di proseguire.

Durante l'esecuzione del test, vengono riportati su un protocollo di registrazione diverse variabili:

- Tempo di pianificazione: il tempo che intercorre tra la presentazione della configurazione e l'inizio del movimento della prima pallina.
- Tempo di esecuzione: il tempo impiegato per completare il movimento dopo lo spostamento della prima pallina.
- Tempo totale: la somma del tempo di pianificazione e del tempo di esecuzione.
- Violazioni delle regole: un punto è assegnato per ogni violazione delle regole.

Numero di mosse: il numero di mosse effettuate dal partecipante in ciascun tentativo.

Un maggior numero di mosse, soprattutto nei tentativi non riusciti, indica una prestazione peggiore.

Il punteggio totale del test è calcolato sulla base di diversi criteri:

- Punteggio per risposte corrette: ogni problema è considerato risolto solo se completato nel numero minimo di mosse richiesto. Il punteggio massimo è 36, attribuito se tutti i problemi sono risolti correttamente. In particolare, se il problema è risolto al primo tentativo, vengono assegnati 3 punti; al secondo, 2 punti; al terzo, 1 punto; negli altri casi, 0 punti.
 - Numero di mosse nei tentativi non validi: si conta ogni spostamento di pallina, sia verso un altro piolo che sullo stesso. Un aumento del numero di mosse può indicare difficoltà nella pianificazione, memoria di lavoro inefficace o presenza di comportamenti ripetitivi.
 - Violazioni delle regole: viene assegnato un punto per ogni violazione delle regole, e il punteggio finale è dato dalla somma delle violazioni in tutti gli item.
 - Variabili temporali:
 - Tempo di decisione: la somma dei tempi impiegati per la pianificazione in tutti i tentativi, inclusi quelli non riusciti.
 - Tempo di esecuzione: la somma dei tempi di esecuzione per ciascun tentativo.
- I punteggi grezzi possono essere successivamente convertiti in punteggi T e percentili, utilizzando le tabelle di conversione appropriate per l'età del soggetto.

5.4.4 *Il Children Color Trails Test*

Il Children Color Trails Test (CCTT) è un test neuropsicologico ampiamente utilizzato per la valutazione delle funzioni cognitive in età pediatrica, particolarmente indicato per misurare l'attenzione, la flessibilità cognitiva e le abilità visuomotorie (Ozonoff et al., 1991).

Si rivolge principalmente a bambini di età compresa tra gli 8 e i 16 anni, un periodo critico per lo sviluppo delle funzioni esecutive. Il CCTT è utilizzato sia in ambito clinico che di ricerca per valutare disturbi del neurosviluppo, tra cui il disturbo dello spettro autistico (ASD), il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD), dislessia e lesioni cerebrali traumatiche (Llorente et al., 2009).

Le funzioni esecutive comprendono la pianificazione, il controllo attentivo, la capacità di passare da un compito all'altro e la gestione della memoria di lavoro. Queste dipendono principalmente dall'integrità della corteccia prefrontale, un'area del cervello cruciale per i processi cognitivi di alto livello (Fuster, 2013). Nei bambini con ASD, queste funzioni risultano frequentemente compromesse, influenzando negativamente aspetti come l'apprendimento e l'adattamento sociale. La letteratura sottolinea come le disfunzioni esecutive possano impattare in modo significativo sulla vita quotidiana e sulle prestazioni scolastiche (Hill, 2004).

Il CCTT è stato progettato per essere culturalmente e linguisticamente neutro. A differenza del più noto Trail Making Test (TMT), utilizzato principalmente per adulti, il CCTT non utilizza lettere o simboli alfabetici, che potrebbero essere problematici per bambini non alfabetizzati o con limitate competenze linguistiche. Invece, si basa sull'uso di numeri e colori, permettendo una valutazione priva di bias e più accessibile anche a bambini con disabilità linguistiche o sensoriali.

Questa caratteristica rende il CCTT uno strumento versatile e applicabile in diversi contesti culturali, riducendo l'influenza di fattori linguistici sui risultati e favorendo una valutazione accurata delle capacità cognitive. In tal senso, il CCTT è stato ampiamente utilizzato anche in contesti transculturali, confermando la sua efficacia in popolazioni diverse (Williams et al., 1995).

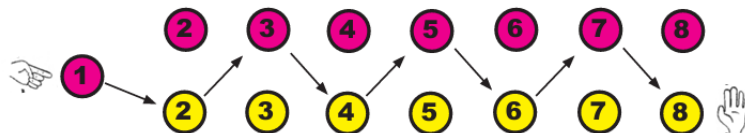
5.4.4.1 Struttura del Test

Il Color Trails Test per Bambini è suddiviso in due parti:

1. CCTT-1: Il compito iniziale richiede al bambino di collegare una serie di numeri in ordine crescente da 1 a 15, seguendo una traccia visiva. I numeri dispari sono inseriti in cerchi rosa, mentre i numeri pari sono contenuti in cerchi gialli. Il bambino deve completare il compito il più rapidamente possibile, mantenendo la sequenza corretta e senza sollevare la matita dalla carta. Questa parte del test misura prevalentemente l'attenzione sostenuta e la velocità psicomotoria.



2. CCTT-2: Nella seconda parte, il bambino deve alternare tra cerchi rosa e gialli, continuando a collegare i numeri in ordine crescente (es. dal cerchio rosa con il numero 1 al cerchio giallo con il numero 2, poi al rosa con il 3, e così via fino al 15). Questa parte introduce una componente di flessibilità cognitiva, richiedendo al bambino di alternare tra due regole (numero e colore) mentre mantiene l'attenzione sulla sequenza numerica.



Durante la somministrazione del test, ogni errore (come saltare un numero o non rispettare l'alternanza dei colori) viene prontamente corretto dall'esaminatore, che invita il bambino a riprendere il compito dal punto in cui l'errore è stato commesso. Questo approccio ha lo scopo di ridurre l'ansia e garantire che il bambino mantenga il focus sul compito.

Il punteggio è calcolato in base a due parametri principali:

- Tempo di completamento: espresso in secondi, misura il tempo totale impiegato dal bambino per completare ciascuna delle due parti del test.
- Numero di errori: include errori di sequenza numerica o cromatica.

Inoltre, viene calcolato un Indice di Interferenza, che confronta le prestazioni del bambino nelle due parti del test. Questo indice fornisce informazioni sulla capacità di gestire l'interferenza cognitiva, ovvero la capacità del bambino di adattarsi a regole diverse durante l'esecuzione del compito. Un punteggio elevato nell'indice di interferenza potrebbe indicare difficoltà nella flessibilità cognitiva o nell'inibizione di risposte automatiche.

Il CCTT è ampiamente utilizzato per la valutazione delle funzioni esecutive e dell'attenzione in bambini con una varietà di disturbi neuropsichiatrici, tra cui ADHD, disturbi dell'apprendimento, e lesioni cerebrali traumatiche (Williams et al., 1995). Le difficoltà nell'inibizione delle risposte automatiche, nella gestione dell'attenzione sostenuta e nella capacità di alternare tra compiti diversi sono tipiche di molte condizioni neurologiche e psichiatriche, e il CCTT fornisce un'analisi accurata di queste problematiche (Voigt et al., 2001).

In particolare, il test è efficace nella valutazione di bambini con ASD, che spesso presentano deficit nelle abilità esecutive come la pianificazione, la regolazione dell'attenzione e l'inibizione. Grazie alla sua struttura, il CCTT permette di identificare con precisione queste difficoltà, fornendo indicazioni utili per l'elaborazione di interventi educativi e terapeutici personalizzati (Hill, 2004).

5.5 *Assessment Motori*

5.5.1 *Il Movement Assessment Battery For Children – Second Edition*

Il Movement Assessment Battery for Children - Seconda Edizione (Movement ABC-2), sviluppato da Henderson et al. (2007) è uno degli strumenti più comunemente utilizzati per la valutazione delle difficoltà motorie nei bambini.

Il Movement ABC-2 si compone di tre componenti:

- Test standardizzato: coinvolge direttamente il bambino, fornendo informazioni sia quantitative che qualitative riguardo all'approccio e all'esecuzione dei compiti;
- Checklist descrittiva: richiede ad un adulto di valutare le competenze motorie del bambino;
- Materiale complementare: include un manuale che delinea un approccio ecologico all'intervento per bambini con difficoltà motorie (El Manual).

Il test standardizzato incluso nella batteria, la checklist comportamentale e il manuale di intervento sono strumenti ampiamente utilizzati sia nel contesto clinico che in quello della ricerca. Questi strumenti sono progettati per identificare e descrivere le disabilità motorie nei bambini, integrandosi nel processo di raccolta delle informazioni e dimostrando efficacia nella valutazione di bambini affetti da disturbi dello sviluppo neurologico. Studi recenti hanno incluso nel Movement ABC-2 bambini con Disturbo della Coordinazione dello Sviluppo (DCD), bassi livelli di problem solving e attenzione, bambini con lo spettro, Disturbo Specifico del Linguaggio (DSL), e con dislessia. Oltre alla sua capacità di rilevare difficoltà motorie presenti, il MABC-2 ha dimostrato di avere un buon valore predittivo. Griffiths et al. (2017) hanno evidenziato che i risultati ottenuti da bambini prematuri a 4 anni di età erano predittivi delle loro abilità motorie a 8 anni.

Il MABC-2 è rivolto ad una popolazione pediatrica di età compresa tra i 3 e i 16 anni e prevede un protocollo di valutazione standardizzato in cui i bambini devono eseguire una serie di compiti motori seguendo rigorosi iter operativi.

Il test è suddiviso in tre fasce d'età (AB):

- AB1: dai 3 ai 6 anni;
- AB2: dai 7 ai 10 anni;
- AB3: dai 11 ai 16 anni.

5.5.1.1 Struttura del test

Il MABC-2 prevede otto compiti con una progressione di complessità basata sull'età del bambino, raggruppati in tre sottocomponenti principali:

- **Manual Dexterity (MD):** Questa sezione valuta la capacità dei bambini di manipolare oggetti mediante l'uso delle mani, attraverso:
 - **Compito di Velocità e Precisione:** Il bambino esegue movimenti rapidi e precisi, come infilare le perline in un filo, misurando il tempo di completamento e registrando il numero di errori.
 - **Compito Bimanuale Cronometrato:** Il bambino utilizza entrambe le mani per un compito specifico, valutando la coordinazione bilaterale.
 - **Compito di Disegno Non Cronometrato:** Il bambino riproduce figure geometriche o esegue un disegno libero, fornendo indicazioni sulla destrezza fine e sul controllo motorio.
- **Aiming & Catching (AC):** Questa sezione include attività di lancio di un oggetto verso un bersaglio e la cattura di un oggetto con una o due mani.
- **Balance (BAL):** Questa sezione valuta sia l'equilibrio statico che dinamico

I compiti suddivisi per le diverse fasce di età sono presentati nella Tabella 1.

Tabella 1: Compiti del Movement ABC-2 divisi per ogni fascia di età

Attività M-ABC2	I Fascia di età (3-6 anni)	II Fascia di età (7-10 anni)	III Fascia di età (11-16 anni)	Punteggi Grezzi
Manual Dexterity (MD)				
MD1	Posting coins	Placing pegs	Turning Pegs	Tempo in secondi
MD2	Threading Beads	Threading Lace	Triangle with Nuts and Bolts	Tempo in secondi
MD3	Drawing Trail 1	Drawing Trail 2	Drawing Trail 3	Numero di errori
Aiming and Catching (A&C)				
A&C1	Catching Beanbag	Catching with Two Hands	Catching with One Hands	Numero di prese corrette
A&C2	Throwing Beanbag onto Mat	Throwing Beanbag onto Mat	Throwing at Wall target	Numero di lanci corretti su 10 prove
Balance (BAL) Static and Dynamic				
BAL1	One-Leg Balance	One-Board Balance (testing both legs)	Two-Board Balance	Tempo in secondi di equilibrio (max 30")
BAL2	Walking Heels Raised	Walking Heels-to-Toe Forwards for 4.5 m	Walking Heels-to-Toe Backwards for 4.5 m	Numero di passi corretti (massimo 15)
BAL3	Jumping on Mats	Hopping on Mats	Zig-zag Hopping (Testing both legs)	Numero di salti/balzi corretti su 5

Dopo aver presentato ciascun compito, l'operatore registra i punteggi, intesi come dati grezzi, nelle apposite caselle predisposte nelle pagine di registrazione. Il test MABC-2 fornisce punteggi standardizzati per ciascuna componente, mostrando così un profilo di prestazione oltre a un punteggio totale. Per ogni item del test vengono registrate misure oggettive, come il tempo di completamento del compito, il numero di lanci o ricezioni riusciti e il numero di errori. Successivamente, i punteggi grezzi vengono convertiti in punteggi standard (SS), in base alla fascia d'età e alla difficoltà del compito.

Le registrazioni determinanti il profilo di prestazione, possono includere:

- Punteggio: come il tempo in secondi, il numero di lanci o di passi eseguiti correttamente;
- 'F' (Failed Trial): indica che il bambino non ha eseguito correttamente il compito (solo per i compiti di manual dexterity, aiming & catching), con l'attribuzione di un punteggio standard di 1;
- 'R' (Refusal): indica che il bambino ha rifiutato di eseguire il compito;
- 'I' (Inappropriate): indica che il compito era inappropriato per il bambino.

Per gli item relativi alla destrezza manuale e all'equilibrio, sono previsti due tentativi, e la valutazione è effettuata sulla base del miglior risultato ottenuto. Alcuni punteggi indicano una prestazione migliore con un valore più alto (ad esempio, il numero di secondi di equilibrio o il numero di salti corretti), contrariamente in altre prove, un punteggio più basso indica un risultato migliore (ad esempio, il tempo impiegato per completare un compito o il numero di errori commessi).

Oltre ai dati quantitativi derivati dal test formale, è possibile ottenere varie descrizioni qualitative sistematiche su come il bambino esegue ciascun compito. Le osservazioni specifiche sugli item si concentrano sugli aspetti percettivo-motori della prestazione del bambino. Queste includono, ad esempio, l'osservazione della postura del bambino durante l'esecuzione di un compito, la capacità di controllare adeguatamente la forza delle proprie azioni e la possibilità di variare il ritmo dei movimenti. Al termine della fase di somministrazione del test formale, l'operatore ha la possibilità di modificare gli item del test al fine di esplorare le cause delle difficoltà motorie presentate dal bambino. Ad esempio, i bambini che mostrano difficoltà nel variare il ritmo dei loro movimenti possono essere valutati senza restrizioni temporali. Infine, al termine dell'intera sessione, si invita l'esaminatore a prendere in considerazione una serie di fattori non motori che potrebbero

aver avuto un impatto complessivo sulla performance del bambino come il nervosismo, difficoltà di concentrazione, apparente mancanza di motivazione e timore nei confronti di compiti impegnativi.

La checklist è incentrata sulla modalità con cui un bambino gestisce le attività quotidiane sia in ambito domestico che scolastico. Essa costituisce un approccio economico per la valutazione delle competenze motorie, e può essere completata da insegnanti, genitori o altri professionisti del settore. La checklist include due componenti:

- Componente motorio: comprende 30 item sono suddivisi in due sezioni, ognuna delle quali valuta le prestazioni motorie del bambino in contesti distinti. La prima sezione considera le prestazioni in un ambiente statico e prevedibile, mentre la seconda sezione analizza le prestazioni in un ambiente dinamico e imprevedibile.
- Componente non motorio: questa sezione, identica a quella presente nel test, esamina aspetti comportamentali quali inattività e disorganizzazione, che sono riconosciuti come fattori interferenti nella capacità di eseguire e/o apprendere abilità motorie.

Il MABC-2, fornisce un punteggio motorio per classificare il livello di compromissione motoria del bambino, attraverso un sistema "a semaforo":

- Red Zone (al 5° percentile o inferiore; inferiore a 56 punti total score): difficoltà motoria significativa.
- Amber Zone (dal 6° al 15° percentile incluso; punteggi di total score compresi tra 57 e 66): rischio di difficoltà motorie.
- Green Zone (dal 16° percentile in su; punteggi di total score uguali o superiori a 67): nessuna difficoltà rilevante.

5.6 Questionari Genitori

5.6.1 Social Communication Questionnaire

Il Social Communication Questionnaire (SCQ) è uno strumento di screening ampiamente utilizzato per valutare la presenza di comportamenti associati ai disturbi dello spettro autistico (ASD). Originariamente noto come Autism Screening Questionnaire (ASQ), l'SCQ è stato sviluppato con l'obiettivo di fornire uno strumento breve ed efficace per la valutazione preliminare dei sintomi autistici, basato su item derivati dall'Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R) (Rutter, et al. 2003).

Questo questionario, composto da 40 domande a risposta binaria (Sì/No), è progettato per essere compilato dai genitori o dai caregiver del bambino. Le sue principali aree di valutazione includono l'interazione sociale, la comunicazione e la presenza di comportamenti ripetitivi e ristretti, che sono considerati i tratti caratteristici dei disturbi dello spettro autistico. L'SCQ è indicato per bambini a partire dai 4 anni di età con un'età mentale minima di 2 anni ed è disponibile in due versioni, ciascuna con scopi diagnostici differenti:

- Forma "Lifetime": Questa versione del questionario valuta il comportamento del bambino durante l'arco di tutta la sua vita. È particolarmente utile per integrare altre valutazioni diagnostiche, come l'ADI-R, poiché fornisce una panoramica complessiva dello sviluppo del bambino e delle manifestazioni dei sintomi autistici sin dalla prima infanzia.
- Forma "Current": Questa versione si concentra esclusivamente sui comportamenti osservati negli ultimi tre mesi. Viene utilizzata per monitorare i cambiamenti comportamentali nel breve termine, ad esempio durante il corso di interventi terapeutici o programmi educativi.

Entrambe le versioni sono progettate per essere compilate dai genitori o dai caregiver principali del bambino, poiché essi sono coloro che possono offrire una visione dettagliata e continua del comportamento del bambino, sia nel contesto familiare che sociale.

Questa caratteristica rende l'SCQ uno strumento particolarmente utile nel rilevare cambiamenti comportamentali che possono non essere osservabili in ambienti più formali o clinici.

Il punteggio massimo che si può ottenere nel questionario varia tra 33 e 39 punti, a seconda del livello linguistico del bambino (39 per bambini con capacità verbali e 33 per quelli senza linguaggio verbale).

Il cut-off standard, comunemente accettato per identificare un possibile disturbo dello spettro autistico, è fissato a 15 punti. Un punteggio pari o superiore a questa soglia suggerisce un rischio elevato di ASD e la necessità di ulteriori approfondimenti diagnostici.

L'SCQ si basa su tre aree principali di indagine che riflettono i criteri diagnostici del DSM-5 per i disturbi dello spettro autistico:

- **Interazione sociale:** Quest'area indaga sulle difficoltà del bambino nel relazionarsi con gli altri, come la capacità di sviluppare amicizie, di condividere interessi, di rispondere alle interazioni sociali e di manifestare comportamenti empatici. Comportamenti osservabili includono la capacità di mantenere il contatto visivo, rispondere al proprio nome, sorridere in risposta a stimoli sociali e mostrare interesse per i coetanei.
- **Comunicazione:** Questo dominio esplora la qualità e l'uso del linguaggio del bambino, sia verbale che non verbale. Le domande valutano la presenza di difficoltà nella gestione delle conversazioni, nell'utilizzo dei gesti per comunicare e nella capacità di comprendere e usare il linguaggio in modo appropriato. Viene anche analizzato l'uso del linguaggio stereotipato o ripetitivo, la confusione nell'uso dei pronomi e la presenza di neologismi.

- Comportamenti ripetitivi e ristretti: In questo ambito vengono indagati comportamenti stereotipati e rituali, come l'uso ripetitivo di oggetti, il forte attaccamento a routine specifiche e la presenza di interessi limitati. Vengono altresì valutati eventuali movimenti ripetitivi del corpo o comportamenti autolesionistici.
- Validità e affidabilità dello strumento. L'SCQ ha dimostrato di possedere buone caratteristiche psicometriche, con una sensibilità pari a 0,85 e una specificità di 0,75 nel distinguere tra bambini con ASD e senza ASD (Berument et al., 1999). Questi dati indicano che lo strumento è in grado di identificare in maniera adeguata la presenza di sintomi autistici, sebbene la sua natura di strumento di screening imponga cautela nell'interpretazione dei risultati. Gli studi condotti da Chandler et al. (2007) su campioni clinici hanno confermato questi risultati, evidenziando una sensibilità del 0,88 e una specificità del 0,72 nel differenziare bambini con autismo da quelli senza ASD.

Nel contesto metodologico del presente studio, è stata utilizzata la versione parent-report dell'SCQ, ossia la versione specificamente destinata alla compilazione da parte dei genitori o caregiver principali. Questo approccio si è dimostrato particolarmente utile per raccogliere informazioni dettagliate e personalizzate sui comportamenti quotidiani dei bambini, soprattutto in relazione alla loro capacità di interagire con gli altri, rispondere agli stimoli sociali e partecipare ad attività di gruppo.

5.6.2 *Anxiety Scale For Children - Autism Spectrum Disorder*

L'Anxiety Scale for Children - Autism Spectrum Disorder parents version (ASC-ASD-P) è un questionario ideato per identificare e quantificare i sintomi di ansia nei bambini e adolescenti tra 8 e 16 anni con Disturbo dello Spettro Autistico dal punto di vista degli adulti di riferimento (ASD) (Rodgers, 2016). Sviluppato da un team di ricerca dell'Università di

Newcastle, il questionario rappresenta un adattamento della Revised Children's Anxiety and Depression Scale (RCADS), una scala già consolidata per la valutazione dell'ansia nei bambini con sviluppo tipico (Chorpita,2005).

L'ansia è una comorbidità comune nei bambini e adolescenti con ASD, e la sua identificazione precoce è fondamentale per avviare interventi mirati che possano migliorare la qualità della vita dei soggetti coinvolti. A causa delle difficoltà comunicative che spesso caratterizzano i bambini con ASD, l'utilizzo di strumenti osservativi come l'ASC-ASD-P, che permettono la raccolta di informazioni da parte di adulti vicini al bambino, si rivela particolarmente efficace.

5.6.2.1 Struttura del Questionario

L'ASC-ASD-P è composto da 24 item, suddivisi in quattro sottoscale che mirano a rilevare diverse tipologie di ansia frequentemente riscontrate nei bambini con ASD. Ogni sottoscala rappresenta una dimensione specifica dell'ansia, consentendo una valutazione differenziata e dettagliata:

- **Ansia da Separazione:** valuta la paura della separazione dai genitori o dalle figure di attaccamento principali, spesso manifestata attraverso comportamenti come la riluttanza a separarsi in ambienti nuovi o sconosciuti.
- **Incertezza:** raccoglie informazioni sulla difficoltà di gestire situazioni di incertezza, che possono causare stress nei bambini con ASD a causa della loro necessità di prevedibilità e routine.
- **Ansia da Prestazione:** misura il livello di ansia che emerge in contesti in cui è richiesta una performance, sia essa di natura sociale o accademica.
- **Arousal Ansioso:** si focalizza sui sintomi fisiologici dell'ansia, come battito cardiaco accelerato e tensione muscolare, che possono indicare uno stato di attivazione ansiosa.

Gli item dell'ASC-ASD-P vengono valutati utilizzando una scala Likert a quattro punti che varia da 0 ("mai") a 3 ("sempre"), consentendo di quantificare la frequenza con cui il bambino o l'adolescente sperimenta i sintomi descritti. Questo sistema di valutazione permette di ottenere un quadro dettagliato della gravità dei sintomi d'ansia e consente di determinare sia un punteggio complessivo sia punteggi specifici per ciascuna delle quattro sottoscale.

Il punteggio complessivo dell'ASC-ASD viene calcolato sommando i punteggi di tutti i 24 item, raggiungendo un massimo di 72 punti. Le sottoscale, invece, presentano punteggi massimi variabili in base al numero di item che le compongono: l'Ansia da Separazione e l'Ansia da Prestazione hanno un massimo di 15 punti, l'Arousal Ansioso massimo 18 punti, mentre l'Incertezza può raggiungere i 24 punti.

Un punteggio complessivo pari o superiore a 20 è indicativo di livelli significativi di ansia, mentre punteggi superiori a 24 suggeriscono una condizione di ansia clinicamente rilevante. Sebbene al momento non siano disponibili cut-off specifici per ciascuna sottoscala, un punteggio elevato in una particolare area può segnalare la necessità di un approfondimento clinico mirato su quella dimensione specifica dell'ansia.

L'affidabilità interna del questionario è stata verificata utilizzando il coefficiente di Cronbach's alpha, che misura la coerenza tra gli item di una scala. I risultati hanno indicato una buona coerenza interna per l'ASC-ASD-P, con un valore complessivo di Cronbach's alpha pari a 0.94, che denota un'alta affidabilità. Per quanto riguarda le singole sottoscale, l'Ansia da Separazione ha ottenuto un indice pari a 0.87, l'Incertezza di 0.91, l'Ansia da Prestazione di 0.89, e l'Arousal Ansioso di 0.87. Questi valori confermano che l'ASC-ASD è uno strumento affidabile per la misurazione dei sintomi d'ansia nei bambini e adolescenti con ASD, garantendo punteggi consistenti e riproducibili sia in contesti clinici che di ricerca (Rodgers, 2016). La validità dello strumento è supportata dalla sua capacità di differenziare i sintomi d'ansia tipici dell'ASD rispetto a quelli di altre popolazioni pediatriche, rendendolo

uno strumento utile non solo per la diagnosi ma anche per monitorare i cambiamenti nei sintomi d'ansia nel tempo.

5.6.3 Children's Sleep Habits Questionnaire – Short Form (Nichd Seccyd—Wisconsin)

Il Children's Sleep Habits Questionnaire – Short Form (SF-CSHQ) è una versione abbreviata del questionario originario Children's Sleep Habits Questionnaire (CSHQ) (Owens, 2000; Seifer, 1996) utilizzato per valutare i problemi di sonno comportamentali nei bambini. Originariamente sviluppato come strumento multidimensionale per identificare i disturbi del sonno nei bambini di età compresa tra i 4 e i 12 anni, il questionario nella sua forma breve è stato adattato per migliorare l'efficacia dello screening eliminando elementi che non rispondono a strategie comportamentali.

5.6.3.1 Struttura del Questionario

Il SF-CSHQ comprende 23 item selezionati dalla versione completa di 33 item del CSHQ. Gli item del questionario valutano comportamenti specifici legati al sonno che rispondono a interventi comportamentali, escludendo categorie come le parasonnie e i disturbi respiratori del sonno (SDB), che richiedono approcci più specifici. Le aree chiave indagate dal questionario includono: resistenza al momento di andare a letto, ritardo nell'addormentamento, durata del sonno, ansia da sonno, risvegli notturni e sonnolenza diurna.

Durante la somministrazione del questionario, i genitori sono invitati ad indicare la frequenza con cui si manifestano determinati comportamenti durante una settimana tipica, utilizzando le opzioni "Di solito" (5-7 volte/settimana), "A volte" (2-4 volte/settimana) e

"Raramente" (0-1 volte/settimana). Punteggi più elevati riflettono maggiori problematiche legate al sonno.

La validazione del SF-CSHQ è stata condotta attraverso l'analisi di due dataset significativi: il primo raccolto dalla clinica del sonno (Owens) e il secondo da uno studio comunitario (Goodlin-Jones), che includeva sia bambini neurotipici che neuroatipici (ad esempio, bambini con autismo). I dati hanno mostrato che una soglia di punteggio pari a 30 nella versione abbreviata corrispondeva a una soglia clinica di 41 nella versione completa del CSHQ (Bonuck, 2017). La validità del questionario è stata ulteriormente confermata dalla sua capacità di correlarsi con misure oggettive, quali: la latenza del sonno e i risvegli notturni derivati dall'actigrafia, dalla sensibilità e specificità rilevate tramite curve ROC (Receiver Operating Characteristic) (Waumans et al., 2010; Sneddon et al., 2013).

I risultati della validazione hanno evidenziato che il SF-CSHQ ha una sensibilità del 89,2% e una specificità del 44,6%, con un'area sotto la curva ROC di 0,79, paragonabile alla versione completa dello strumento. Questi valori suggeriscono che il questionario abbreviato è efficace quanto la versione completa nel rilevare problematiche di sonno nei bambini, pur richiedendo meno tempo per la somministrazione.

5.6.4 *Behavior Rating Inventory Of Executive Function - Second Edition (Brief-2)*

Il Behavior Rating Inventory of Executive Function - Second Edition (BRIEF-2) è uno strumento di valutazione comportamentale progettato per misurare le funzioni esecutive nei bambini e negli adolescenti di età compresa tra 5 e 18 anni. Le funzioni esecutive comprendono un insieme di processi cognitivi che regolano e controllano il comportamento, le emozioni e le azioni in situazioni che richiedono la risoluzione di problemi o l'adattamento a nuovi contesti. Il BRIEF-2 si distingue per la sua capacità di fornire una valutazione ecologicamente valida delle difficoltà nelle funzioni esecutive così come si manifestano

nella vita quotidiana, superando i limiti dei test di performance tradizionali che si svolgono in contesti più strutturati e controllati.

5.6.4.1 Struttura del questionario

Il questionario è composto da 63 item suddivisi in nove scale cliniche che sono organizzate in tre indici principali:

- **Indice di Regolazione Comportamentale (BRI):** Comprende le scale "Inibizione" e "Auto-Monitoraggio", e valuta la capacità di regolare e monitorare i propri comportamenti impulsivi e di adeguare le risposte in base alle richieste situazionali.
- **Indice di Regolazione Emotiva (ERI):** Include le scale "Cambio" e "Controllo Emotivo", e misura la capacità di gestire e modulare le risposte emotive e di adattarsi ai cambiamenti.
- **Indice di Regolazione Cognitiva (CRI):** Composto da cinque scale ("Inizio", "Memoria di Lavoro", "Pianificazione/Organizzazione", "Monitoraggio dei Compiti", "Organizzazione dei Materiali"), questo indice valuta la capacità di pianificare, organizzare e mantenere informazioni per la gestione efficace dei compiti

Questi tre indici contribuiscono a formare un Composito Globale delle Funzioni Esecutive (GEC), che fornisce una visione d'insieme del funzionamento esecutivo del soggetto. Inoltre, il BRIEF-2 include delle scale di validità per identificare eventuali pattern di risposta atipici, come incoerenze nelle risposte o tendenze a fornire risposte estreme, permettendo così di assicurare l'affidabilità dei dati raccolti. utilizza un formato di risposta di tipo Likert a tre punti ("Mai", "A volte", "Spesso") per indicare la frequenza con cui il bambino presenta determinati comportamenti problematici. Gli indici di consistenza interna del BRIEF-2, misurati tramite il coefficiente di Cronbach (α), evidenziano un'elevata affidabilità variano tra 0,76 e 0,97 per le diverse scale, con gli indici compositi che mostrano valori compresi tra 0,90 e 0,97.

5.7 Studio 2:

5.7.1 *Protocollo di Intervento Cognitivo-Motorio Dual-Task*

Il protocollo di intervento cognitivo motorio dual-task (CMDT) rappresenta un approccio innovativo per stimolare lo sviluppo di abilità funzionali nei bambini con Disturbo dello Spettro Autistico (ASD). Integrando attività motorie e cognitive, il programma è progettato per migliorare competenze motorie, cognitive e sociali. Attraverso giochi strutturati e progressivi, il protocollo crea un ambiente ludico e motivante che supporta sia l'apprendimento che lo sviluppo.

Il protocollo, sviluppato su un periodo di 12 settimane, prevede due sessioni settimanali di 50 minuti ciascuna, supervisionate da chinesiologi clinici. Le attività sono state articolate in cinque giochi principali, strutturati in quattro livelli di difficoltà con progressione stabilita a priori. L'avanzamento al livello successivo è stato determinato sulla base di criteri specifici, quali il tempo di esecuzione, il numero di errori e il numero di omissioni nei compiti, consentendo un adattamento personalizzato alle capacità individuali dei partecipanti.

L'allenamento si basa sull'integrazione simultanea di stimoli motori e cognitivi, con un incremento graduale della complessità. Le variabili introdotte includevano tempi di recupero, movimenti unipodalici, superfici instabili e l'uso di piccoli attrezzi, sia codificati che occasionali. Questi ultimi, integrati nelle attività motorie, hanno arricchito il programma rendendolo più vario e coinvolgente. L'aspetto ludico ha contribuito a mantenere alta la motivazione, mentre alcune attività di gruppo hanno favorito lo sviluppo di abilità sociali.

I giochi proposti combinano movimenti fisici, come salti o lanci, con compiti cognitivi che richiedono attenzione e pianificazione.

Di seguito, una descrizione sintetica dei giochi proposti con divisione tra compiti motori e cognitivi:

- *Gioco 1: Bandierine in ordine*

- *Compito motorio*: Movimenti di corsa lungo un percorso predefinito e non, con raccolta e deposito di bandierine nei cerchi. La difficoltà aumentava con la progressione dei livelli, richiedendo maggiore controllo motorio e coordinazione spazio-temporale.
 - *Compito cognitivo*: Sequenze specifiche da seguire (es. ordine numerico, alternanza colori, abbinamento numero-lettera), stimolando attenzione selettiva, memoria di lavoro e capacità visuo-spaziali.
- *Gioco 2: Forme e colori in movimento*
- *Compito motorio*: Salti attraverso cerchi colorati seguendo istruzioni specifiche (es. saltare dentro cerchi dello stesso colore). L'esecuzione richiedeva equilibrio dinamico e pianificazione motoria.
 - *Compito cognitivo*: Identificazione di forme e colori con associazione a schemi motori specifici, promuovendo categorizzazione, problem-solving e attenzione.
- *Gioco 3: Spedizione Zoo*
- *Compito motorio*: Imitazione di movimenti animali (es. strisciare, saltare, camminare all'indietro) e lanci di precisione con una pallina da tennis verso bersagli specifici. Sollecitava imitazione motoria, forza funzionale e controllo dell'arto superiore, capacità di lancio e presa.
 - *Compito cognitivo*: Associazione di una carta raffigurante un animale con il movimento corrispondente, richiedendo memoria associativa, creatività e integrazione visuo-motoria.
- *Gioco 4: La sinfonia degli appoggi*
- *Compito motorio*: Stabilizzazione su un numero specifico di appoggi (mani/piedi) dopo un movimento. I livelli avanzati includevano

cooperazione con altri partecipanti per sviluppare coordinazione motoria interpersonale.

- *Compito cognitivo*: Calcolo degli appoggi richiesti o collaborazione per raggiungere il totale corretto, promuovendo abilità di calcolo, coordinazione sociale e attenzione.

- *Gioco 5: Salta tra le lettere*

- *Compito motorio*: Salti tra cerchi disposti a formare lettere, con livelli avanzati che includevano salti monopodali e salti con cambi di direzione. L'esecuzione richiedeva equilibrio dinamico.
- *Compito cognitivo*: Riconoscimento della lettera estratta e associazione alla disposizione dei cerchi, sollecitando pianificazione sequenziale e orientamento spaziale.

Una descrizione tecnica e dettagliata delle attività e della strumentazione utilizzata è riportata nell'Appendice A.

5.8 *Analisi Statistica*

5.8.1 *Studio 1:*

L'analisi statistica è stata condotta per valutare le differenze comportamentali ed elettrofisiologiche tra i gruppi di studio (ASD e TD) e per esaminare i cambiamenti tra le condizioni di pre-test e post-test. Sono state utilizzate analisi della varianza (ANOVA) miste (tra-soggetti e intra-soggetti) 2x2, con il fattore intra-soggetti rappresentato dal Tempo (pre-test vs post-test) e il fattore tra-soggetti rappresentato dal Gruppo (ASD vs TD).

Le variabili dipendenti includevano il tempo di risposta medio (RT), l'accuratezza delle risposte e le ampiezze medie degli Event-Related Potentials (ERP) registrati durante l'esperimento. Gli intervalli temporali analizzati per gli ERP comprendevano una finestra pre-stimolo (-620 ms a 0 ms) e tre finestre post-stimolo (116-160 ms, 192-224 ms, 294-352 ms). Gli elettrodi inclusi nell'analisi sono stati selezionati sulla base della significatività statistica delle ampiezze medie negli intervalli temporali considerati ($p < 0,05$).

Il livello di significatività statistica (α) è stato fissato a 0,05, e la dimensione dell'effetto è stata calcolata utilizzando il valore di eta-quadrato parziale (η^2). Per il controllo dell'errore di tipo I, è stata applicata la correzione di Bonferroni nelle analisi post-hoc. Le analisi sono state eseguite utilizzando il software Statistica, versione 15 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

5.8.2 *Studio 2:*

L'analisi della Varianza Multivariata per Misure Ripetute (RM-MANOVA) è stata condotta per valutare i miglioramenti nel tempo all'interno del gruppo ASD, analizzando separatamente ciascuno dei tre test di valutazione cognitivo-motoria: il Movement ABC-2 (M ABC-2), il Children's Color Trails Test (CCTT) e il Tower of London Test (ToL). I

punteggi ottenuti da ciascun test sono stati considerati variabili indipendenti dell'analisi, mentre le valutazioni pre- e post-intervento sono state trattate come misure ripetute.

Successivamente, è stata eseguita una RM-MANOVA includendo un fattore tra i soggetti, utilizzando il gruppo di bambini con sviluppo tipico (TD) come gruppo di controllo. Questo ha permesso di verificare se, le differenze nei punteggi pre-post intervento, fossero attribuibili a fattori indipendenti dall'intervento, come effetti di apprendimento legati alla somministrazione ripetuta dei test, e se i punteggi del gruppo ASD differissero significativamente da quelli del gruppo TD. In questa analisi, le valutazioni pre e post sono state considerate come fattore entro i soggetti (WITHIN), mentre i due gruppi (ASD e TD) sono stati trattati come fattore tra i soggetti (BETWEEN). I punteggi derivati dai test M ABC-2, CCTT e ToL sono stati inclusi come variabili indipendenti.

Per approfondire le differenze tra i gruppi, è stata utilizzata l'Analisi della Varianza a una via (One-way ANOVA), impiegata per confrontare i punteggi di baseline e post-intervento tra i due gruppi. Questo ha permesso di determinare se esistessero differenze significative nei punteggi dei tre test alla baseline e se tali differenze persistessero dopo l'intervento.

In tutte le analisi statistiche, il valore di p accettato per la significatività è stato fissato a $p = 0,005$. Inoltre, per misurare l'ampiezza dell'effetto, è stato calcolato il parziale eta quadrato (η^2) per ciascuna analisi.

I questionari somministrati ai genitori sono stati analizzati usando l'analisi della varianza per misure ripetute (RM-ANOVA) per valutare eventuali differenze significative tra gli score ottenuti pre-intervento e quelli ottenuti post-intervento. Gli score rispettivamente ottenuti dai due genitori (padre vs. madre) sono stati considerati come fattore between dell'analisi per verificare l'eventuale presenza di differenze significative negli score riportati dai due genitori.

Le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando il software SPSS, versione 26 (IBM Inc., Armonk, New York, USA).

5.9 Risultati Studio 1

5.9.1 Risultati Simple Reaction Task

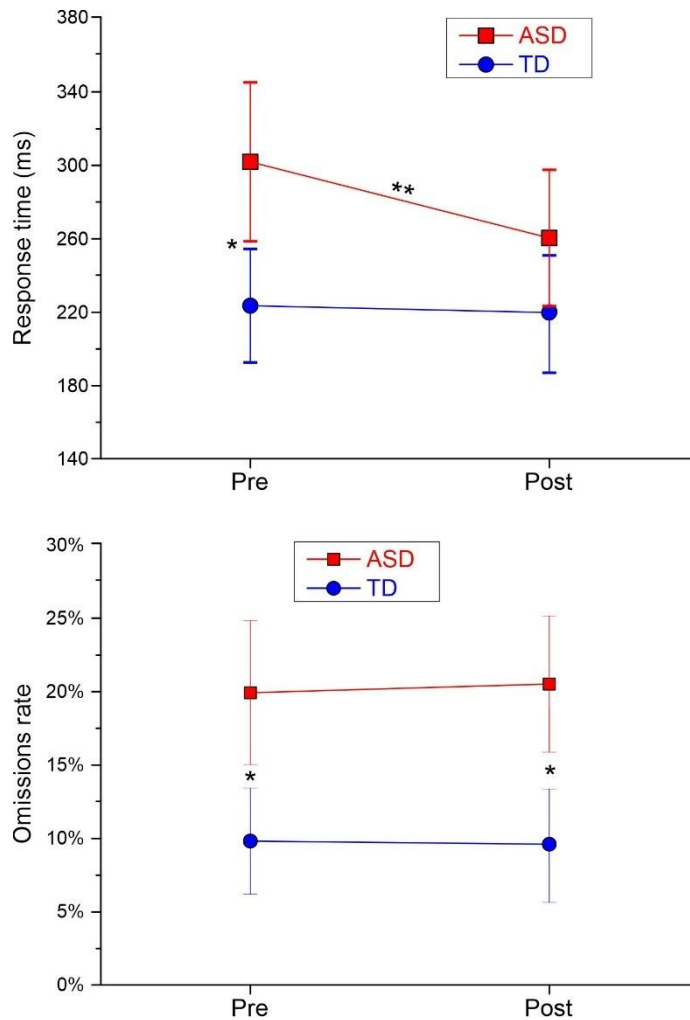
L'ANOVA sul tempo di risposta ha mostrato un effetto principale significativo sia per il fattore Gruppo ($F_{(1,18)}=5.1$, $p>0.05$, $\eta^2=0.22$) sia per il fattore Tempo ($F_{(1,18)}=8.0$, $p>0.05$, $\eta^2=0.31$), indicando tempi di risposta più brevi nel gruppo TD e nel post-test. Anche l'interazione tra Gruppo e Tempo è risultata significativa ($F_{(1,18)}=6.5$, $p>0.05$, $\eta^2=0.27$).

Le analisi post-hoc hanno mostrato che il gruppo ASD ha migliorato i tempi di risposta solo nel post-test ($p>0.01$), mentre il gruppo TD è rimasto stabile. Inoltre, nel pre-test il gruppo ASD aveva un tempo di risposta più lento rispetto al gruppo TD ($p>0.05$), ma nel post-test la differenza tra i gruppi non era significativa.

L'ANOVA sull'accuratezza ha mostrato un effetto principale significativo per il fattore Gruppo ($F_{(1,18)}=4.4$, $p>0.05$, $\eta^2=0.20$), con un'accuratezza maggiore nel gruppo TD rispetto al gruppo ASD. Tuttavia, l'effetto del Tempo e l'interazione non sono risultati significativi ($F<1$).

La figura 4 mostra questa interazione.

Figura 4: Risultati dei test cognitivi. In alto il tempo di risposta medio, in basso il tasso di errore. Le linee verticali rappresentano l'intervallo di confidenza al 95%. * $p > 0.05$, ** $p > 0.01$.



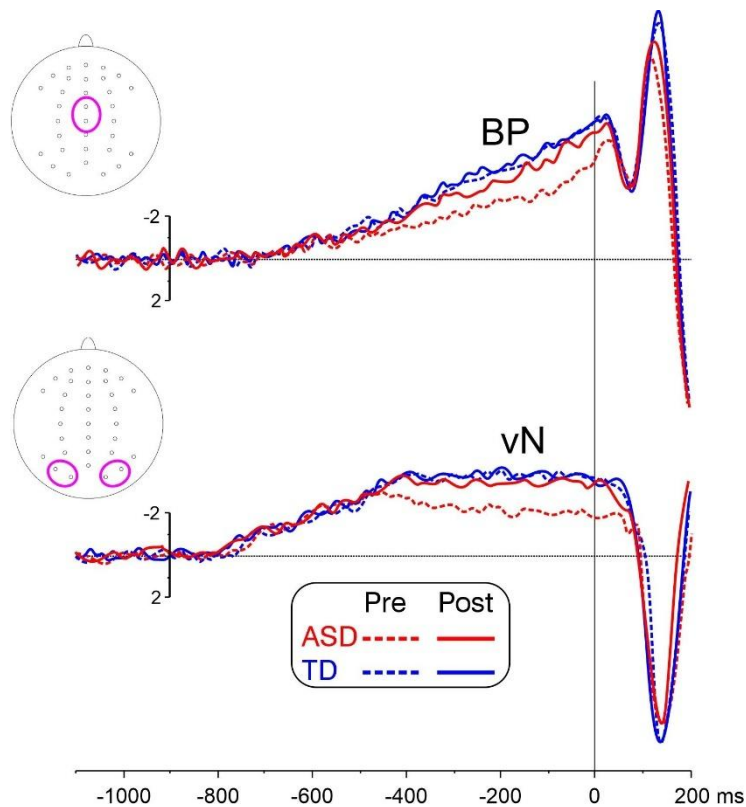
5.9.2 Risultati Potenziali Evento-Correlati

L'analisi statistica ha confrontato le componenti ERP pre-stimolo e post-stimolo nei gruppi ASD e TD, considerando due momenti temporali: pre-test e post-test. Le componenti esaminate sono state analizzate mediante ANOVA.

5.9.2.1 ERP Pre-Stimolo

Le componenti ERP pre-stimolo analizzate sono state la BP (Bereitschaftspotential) e la vN (visuo-Negativity). La BP ha mostrato il picco sulla regione mediana centrale del cuoio capelluto, mentre la vN ha presentato il picco nelle aree occipitali bilaterali (Figura 5).

Figura 5: Tracciati delle onde ERP pre-stimolo nei gruppi di elettrodi centrali e occipitali, indicati nelle rappresentazioni della testa sulla sinistra.

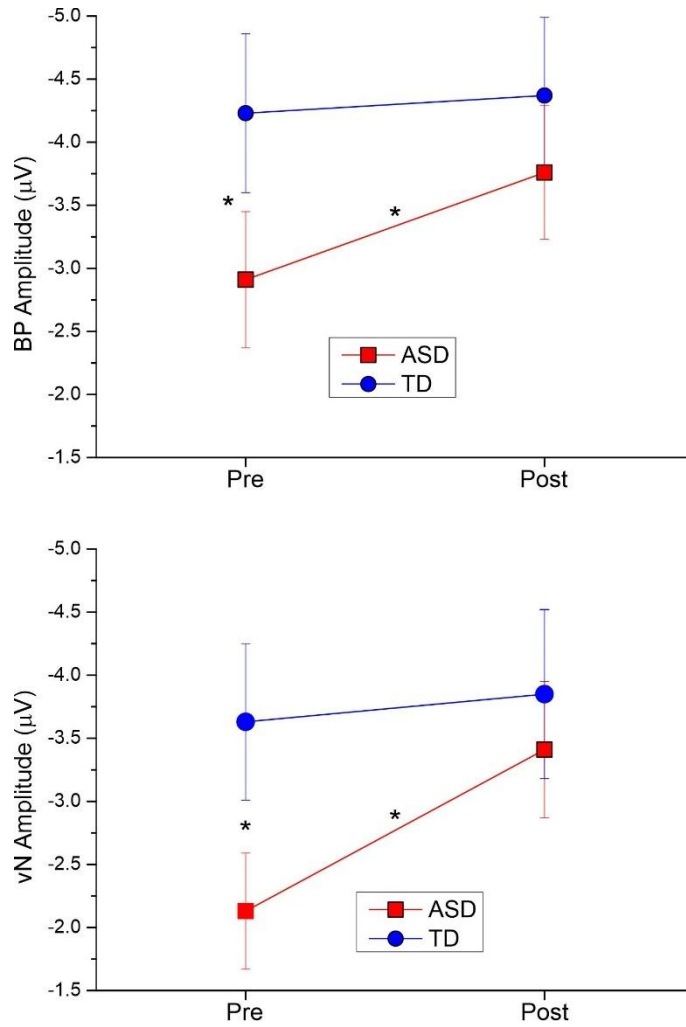


L'ANOVA sulla componente BP ha mostrato un effetto non significativo per il fattore Gruppo ($F_{(1,18)} = 3.3$, $p = 0.08$, $\eta^2 = 0.16$) e per il fattore Tempo ($F_{(1,18)} = 2.9$, $p = 0.11$, $\eta^2 = 0.13$). Tuttavia, l'interazione Gruppo*Tempo è risultata significativa ($F_{(1,18)} = 6.1$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.27$). Il confronto post-hoc ha evidenziato che, nel pre-test, l'ampiezza della BP nel gruppo ASD era significativamente inferiore rispetto a quella del gruppo TD ($p < 0.05$).

Nel post-test, invece, non sono state osservate differenze tra i due gruppi, mentre nel gruppo ASD si è registrato un incremento significativo dell'ampiezza della BP dal pre-test al post-test ($p < 0.05$).

Anche per la componente vN, l'ANOVA ha rilevato risultati simili. Non sono stati osservati effetti significativi né per il fattore Gruppo ($F_{(1,18)} = 3.6$, $p = 0.07$, $\eta^2 = 0.18$) né per il fattore Tempo ($F_{(1,18)} = 3.1$, $p = 0.09$, $\eta^2 = 0.15$), tuttavia l'interazione Gruppo*Tempo è risultata significativa ($F_{(1,18)} = 6.8$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.33$). Il confronto post-hoc ha evidenziato che, nel pre-test, l'ampiezza della vN era significativamente inferiore nel gruppo ASD rispetto al gruppo TD ($p < 0.05$). Anche in questo caso, nel post-test non sono state rilevate differenze significative tra i due gruppi, mentre nel gruppo ASD si è registrato un aumento significativo dell'ampiezza della vN dal pre-test al post-test ($p < 0.05$). I risultati relativi alle interazioni significative per le componenti BP e vN sono riportati nella Figura 6.

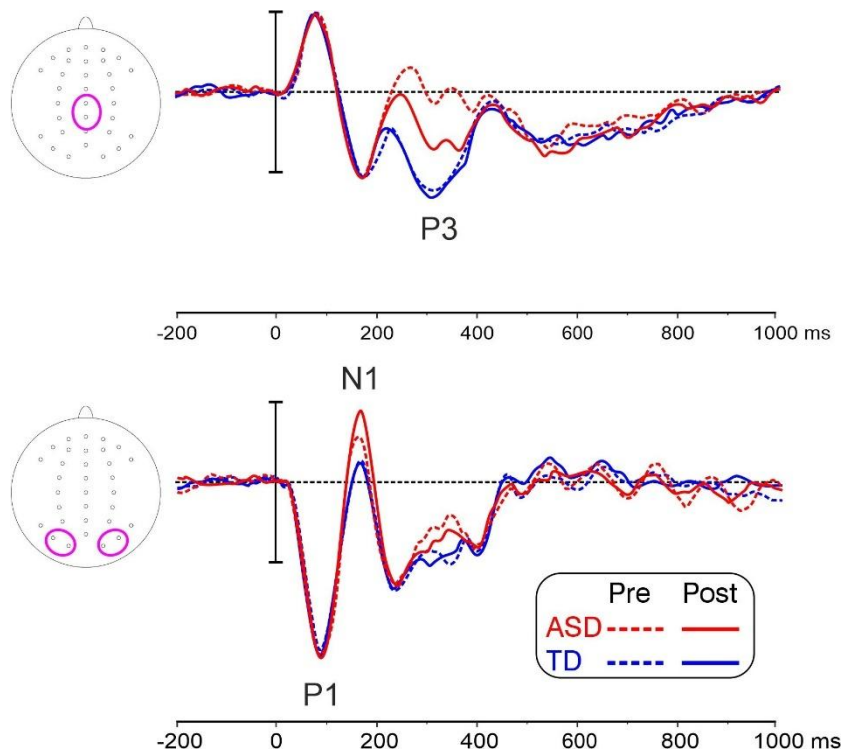
Figura 6: Risultato dell'ERP pre-stimolo. Sopra la media l'ampiezza BP e sotto l'ampiezza vN. Le linee verticali rappresentano l'intervallo di confidenza al 95%. * $p > 0,05$.



5.9.2.2 ERP Post-Stimolo

Le componenti ERP post-stimolo analizzate sono state la P1, la N1 e la P3. Le componenti P1 e N1 hanno raggiunto il picco nelle aree occipitali bilaterali, mentre la componente P3 ha mostrato il picco nella regione parietale mediana (Figura 7).

Figura 7: Tracciati delle onde ERP post-stimolo nei gruppi di elettrodi parietali e occipitali, indicati nelle rappresentazioni della testa sulla sinistra.



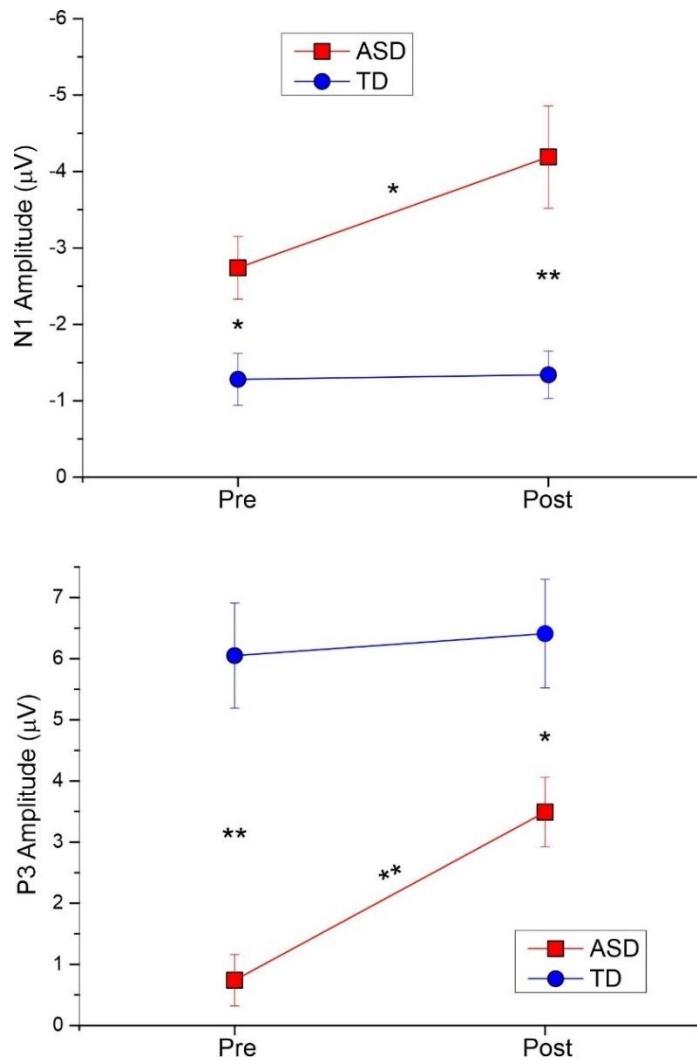
L'ANOVA sulla componente P1 non ha mostrato effetti significativi né per i fattori principali né per l'interazione ($F > 1$). L'ampiezza media della P1 è rimasta invariata tra i gruppi e i momenti temporali, con un valore medio di $10.79 \mu\text{V}$ ($SD = 1.86$).

L'ANOVA sulla componente N1 ha mostrato un effetti significativi nel fattore Gruppo ($F_{(1,18)} = 12.2$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.67$), con un'ampiezza maggiore nel gruppo ASD rispetto al

gruppo TD. Anche il fattore Tempo ha mostrato un effetto significativo ($F_{(1,18)} = 5.6$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.44$), con un'ampiezza maggiore nel post-test rispetto al pre-test. Inoltre, l'interazione Gruppo*Tempo è risultata significativa ($F_{(1,18)} = 7.3$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.51$). I confronti post-hoc hanno confermato che, solo nel gruppo ASD, l'ampiezza della N1 nel post-test era significativamente maggiore rispetto al pre-test ($p < 0.05$).

L'ANOVA sulla componente P3 ha mostrato un effetto significativo del fattore Gruppo ($F_{(1,18)} = 18.5$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.71$), con un'ampiezza maggiore nel gruppo TD rispetto al gruppo ASD. Inoltre, il fattore Tempo è risultato significativo ($F_{(1,18)} = 7.8$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.58$), con un'ampiezza maggiore nel post-test rispetto al pre-test. Anche in questo caso, l'interazione tra Gruppo*Tempo è risultata significativa ($F_{(1,18)} = 8.2$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.66$). I confronti post-hoc hanno mostrato che, nel gruppo ASD, l'ampiezza della P3 era significativamente maggiore nel post-test rispetto al pre-test ($p < 0.01$). I risultati relativi alle interazioni significative per le componenti N1 e P3 sono sintetizzati nella Figura 8.

Figura 8: Risultato dell'ERP post-stimolo. Sopra la media l'ampiezza N1 e sotto l'ampiezza P3. Le linee verticali rappresentano l'intervallo di confidenza al 95%. * $p > 0,05$, ** $p < 0,01$.



5.10 Risultati Studio 2

L'analisi RM-MANOVA ha evidenziato un miglioramento significativo nel tempo per tutti i punteggi del M ABC-2 ($F_{(5,5)}=33.128$; $p=0.001$; $\eta^2=0.971$). Non sono state rilevate differenze significative nel ToL ($F_{(5,5)}=1.103$; $p=0.459$; $\eta^2=0.524$) e nel CCTT ($F_{(3,7)}=2.79$; $p=0.119$; $\eta^2=0.545$). Tuttavia, è importante sottolineare che l'analisi multivariata effettuata sul CCTT non ha incluso le variabili Errori, Suggestimenti e Omissioni sia per il Trial 1 che

per il Trial 2, poiché la maggior parte dei partecipanti ha ottenuto 0 come risultato. Di conseguenza, solo il Tempo del Trial 1, il Tempo del Trial 2 e l'indice di Interferenza sono stati inclusi nell'analisi e, nonostante la mancanza di significatività nell'analisi multivariata nel tempo, l'analisi univariata ha mostrato un miglioramento significativo del punteggio ($p=0.028$) nel Tempo del Trial 1. Le medie e le deviazioni standard di ciascun punteggio dei tre test, così come i risultati delle analisi univariate, sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2: Risultati univariati dei confronti tra i punteggi Pre- e Post-intervento ottenuti dai partecipanti del gruppo ASD nei seguenti test: Movement ABC-2 (M ABC-2), Tower of London Test (ToL), e Children's Color Trails Test (CCTT)

	PRE Mean (SD)	POST Mean (SD)	Δ (Post-Pre)	p-value
Panel 1 - Movement ABC-2 Scores				
Manual dexterity	4.0 (1.49)	7.2 (3.43)	+3.2	0.011
Aiming and catching	7.4 (3.37)	11.4 (2.5)	+4	0.004
Balance	4.8 (1.75)	10.1 (1.66)	+5.3	<0.001
Total Score	3.8 (1.75)	9.0 (1.89)	+5.2	<0.001
Traffic Light Score	1.3 (0.48)	2.7 (0.48)	+1.4	<0.001
Panel 2 - Tower of London test				
Correct answers (n)	25.7 (7.17)	29.3 (3.33)	+3.6	0.163
N. of movements (n)	68.4 (46.56)	51.9 (37.6)	-16.5	0.367
Violation (n)	6.4 (7.35)	3.4 (6.35)	-3.0	0.274
Decision time (s)	65.6 (28.28)	68.3 (40.25)	+2.7	0.815
Execution time (s)	297.4 (117.04)	262.4 (155.82)	-35.0	0.458
Panel 3 - Children's Color Trails Test				
CCTT1-Time (s)	28.16 (6.21)	22.78 (5.74)	-5.38	0.028
CCTT2-Time (s)	47.24 (12.17)	42.48 (6.13)	-4.76	0.243
Interference Index (index)	0.71 (0.48)	0.97 (0.5)	0.26	0.304

I risultati della RM-ANOVA con fattore tra gruppi, condotta utilizzando i bambini TD come gruppo di controllo, hanno mostrato i seguenti risultati.

In tutti i punteggi del M ABC-2, è stato trovato un miglioramento significativo nel confronto Pre vs. Post-intervento ($F_{(5,15)}=36.131$; $p=0.001$; $\eta^2=0.923$) e una differenza significativa tra i due gruppi ASD vs. TD ($F_{(5,15)}=13.635$; $p=0.001$; $\eta^2=0.820$), con punteggi migliori

per il gruppo TD come previsto. Inoltre, è stata trovata una significativa interazione Tempo*Gruppo ($F_{(5,15)}=21.778$; $p=0.001$; $\eta^2=0.879$), con l'analisi univariata che indica una significativa interazione nei punteggi Balance, Total Score e Traffic Light ($p<0.001$). Queste interazioni hanno indicato una maggiore tendenza al miglioramento nel gruppo ASD nel tempo e, in particolare, la classificazione Traffic Light non risultava statisticamente diversa tra i due gruppi dopo l'intervento dual-task. Tutti i risultati sono riportati nella Tabella 3 – Panel 1.

L'analisi multivariata con fattore tra gruppi effettuata sul test ToL non ha mostrato cambiamenti significativi nel tempo ($F_{(5,15)}=0.966$; $p=0.469$; $\eta^2=0.244$), né tra i gruppi ($F_{(5,15)}=1.512$; $p=0.244$; $\eta^2=0.335$). Inoltre, non è stata trovata alcuna significativa interazione Tempo*Gruppo ($F_{(5,15)}=0.946$; $p=0.480$; $\eta^2=0.240$).

I risultati dettagliati e le analisi univariate sono riportati nella Tabella 3 - Panel 2.

Per quanto riguarda l'analisi multivariata con fattore tra gruppi sul CCTT, come precedentemente indicato, non è stato possibile includere nell'analisi Errori, Suggestimenti e Omissioni sia per il Trial 1 che per il Trial 2, poiché la maggior parte dei partecipanti ha ottenuto 0 come risultato per queste variabili. I risultati hanno mostrato un cambiamento significativo nel tempo ($F_{(3,17)}=3.198$; $p=0.0499$; $\eta^2=0.361$), così come tra i gruppi ($F_{(3,17)}=3.325$; $p=0.045$; $\eta^2=0.370$). Al contrario, non è stata trovata alcuna interazione significativa Tempo*Gruppo ($F_{(3,17)}=1.354$; $p=0.290$; $\eta^2=0.193$). I risultati dettagliati e le analisi univariate sono riportati nella Tabella 3 - Panel 3.

Tabella 3: Risultati univariati dei confronti Pre- vs. Post-intervento ottenuti nel Movement ABC - Seconda Versione (M ABC-2), Tower of London Test (ToL) e Children's Color Trails Test (CCTT), confrontando il gruppo di bambini con lo spettro dell'autismo (ASD Group) con il gruppo di bambini sviluppo tipico (TD Group).

	ASD Group		TD Group		Time <i>p</i> -value	Group <i>p</i> -value	Time* Group <i>p</i> -value
	PRE	POST	PRE	POST			
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)			
Panel 1 - Movement ABC-2 Scores							
Manual dexterity	4.0 (1.49)	7.2 (3.43)	9.9 (2.3)	12.4 (2.88)	<0.001	<0.001	0.580
Aiming and catching	7.4 (3.37)	11.4 (2.5)	11.9 (3.59)	14.2 (2.60)	<0.001	0.007	0.168
Balance	4.8 (1.75)	10.1 (1.66)	12.2 (2.18)	12.6 (1.86)	<0.001	<0.001	<0.001
Total Score	3.8 (1.75)	9.0 (1.89)	11.9 (2.26)	14.2 (2.71)	<0.001	<0.001	<0.001
Traffic Light score	1.3 (0.48)	2.7 (0.48)	2.9 (0.30)	3.0 (0.00)	<0.001	<0.001	<0.001
Panel 2 - Tower of London test							
Correct movements (n)	25.7 (7.17)	29.3 (3.33)	29.4 (2.3)	30.8 (1.99)	0.060	0.060	0.380
Number of movements (n)	68.4 (46.56)	51.9 (37.6)	49.5 (17.17)	40.8 (19.12)	0.197	0.163	0.685
Violations (n)	6.4 (7.35)	3.4 (6.35)	1.0 (1.26)	0.3 (0.65)	0.150	0.020	0.372
Time for decision (s)	65.6 (28.28)	68.3 (40.25)	96.4 (93.57)	59.3 (24.57)	0.313	0.536	0.244
Time for execution (s)	297.4 (117.04)	262.4 (155.82)	182.7 (77.87)	176.1 (53.23)	0.443	0.016	0.599
Panel 3 - Children's Color Trails Test							
CCTT1-Time (s)	28.1 (6.21)	22.8 (5.74)	19.0 (5.43)	20.1 (6.88)	0.222	0.009	0.072
CCTT2-Time (s)	47.2 (12.17)	42.5 (6.13)	37.0 (7.72)	33.1 (11.51)	0.074	0.013	0.872
Interference Index (score)	0.7 (0.48)	1.0 (0.50)	1.02 (0.40)	0.8 (0.71)	0.905	0.653	0.201

Infine, la MANOVA univariata ha mostrato che i due gruppi al baseline erano significativamente diversi in diverse variabili considerate. Tuttavia, dopo l'intervento, alcune di queste differenze significative non sono state confermate nei confronti post-intervento, indicando che l'intervento aveva "normalizzato" i punteggi del gruppo ASD.

I risultati di queste analisi comparative sono riportati nella Tabella 4.

Tabella 4: Risultati del confronto tra bambini con Disturbo dello Spettro Autistico (ASD Group) e bambini con sviluppo tipico (TD Group) al baseline e dopo l'intervento, per valutare eventuali differenze significative nei punteggi dei tre test (Movement ABC-2 (M ABC-2), Tower of London (ToL), Children's Color Trails Test (CCTT)) al baseline e verificare se tali differenze persistano anche dopo l'intervento.

	PRE		POST		Differences in PRE <i>p</i> -value	Differences in POST <i>p</i> -value
	ASD group	TD Group	ASD group	TD Group		
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)		
Panel 1 - Movement ABC-2 Scores						
Manual dexterity	4.0 (1.49)	9.9 (2.3)	7.2 (3.43)	12.45 (2.88)	<0.00001	0.001
Aiming and catching	7.4 (3.37)	11.9 (3.59)	11.4 (2.5)	14.18 (2.6)	0.008	0.02
Balance	4.8 (1.75)	12.2 (2.18)	10.1 (1.66)	12.64 (1.86)	<0.00001	0.004
Total	3.8 (1.75)	11.9 (2.26)	9 (1.89)	14.18 (2.71)	<0.00001	0.00007
Traffic Light score (score)	1.3 (0.48)	2.9 (0.30)	2.7 (0.48)	3 (0)	<0.00001	0.08
Panel 2 - Tower of London test						
Correct movements (n)	25.7 (7.17)	29.4 (2.3)	29.3 (3.33)	30.8 (1.99)	0.142	0.231
Number of movements (n)	68.4 (46.56)	49.5 (17.17)	51.9 (37.6)	40.8 (19.12)	0.252	0.417
Violations (n)	6.4 (7.35)	1.0 (1.26)	3.4 (6.35)	0.3 (0.65)	0.046	0.155
Time for decision (s)	65.6 (28.28)	96.4 (93.57)	68.3 (40.25)	59.3 (24.57)	0.319	0.577
Time for execution (s)	297.4 (117.04)	182.7 (77.87)	262.4 (155.82)	176.1 (53.23)	0.019	0.124
Panel 3 - Children's Color Trails Test						
CCTT1-Time (s)	28.1 (6.21)	19.0 (5.43)	22.8 (5.74)	20.1 (6.88)	0.002	0.344
CCTT2-Time (s)	47.2 (12.17)	37.0 (7.72)	42.5 (6.13)	33.1 (11.51)	0.032	0.033
Interference Index (score)	0.7 (0.48)	1.0 (0.40)	1.0 (0.50)	0.8 (0.71)	0.127	0.546

I questionari sui genitori non hanno evidenziato nessun risultato nel tempo. Non sono altresì stati rilevate differenza significative tra il giudizio delle madri e quello dei padri.

I risultati di queste analisi sono riportati nella Tabella 5.

Tabella 5: Punteggi dei questionari genitori: confronto tra le valutazioni pre- e post-intervento. La tabella riporta i punteggi medi (DS) ottenuti nei diversi questionari somministrati ai genitori: Anxiety Scale for Children - Autism Spectrum Disorder (ASC-ASD-P), Social Communication Questionnaire (SCQ), Children's Sleep Habits Questionnaire – Short Form (SF-CSHQ), Behavior Rating Inventory of Executive Function - Second Edition (BRIEF-2). Per il BRIEF-2 sono state prese in considerazione le seguenti sottoscale: Indice di Regolazione Cognitiva (CRI), l'Indice di Regolazione Comportamentale (BRI), l'Indice di Regolazione Emotiva (ERI) e il Composito Globale delle Funzioni Esecutive (GEC). I valori sono suddivisi tra le valutazioni effettuate da entrambi i genitori, dalla madre e dal padre pre e post l'intervento.

Score	PRE			POST			PRE-POST p-value	Madre-Padre p-value	Interaz. p-value
	Entrambi genitori	Madre	Padre	Entrambi genitori	Madre	Padre			
	Media (DS)	Media (DS)	Media (DS)	Media (DS)	Media (DS)	Media (DS)			
ASC-ASD-P Total score	20.35 (10.42)	20.00 (11.32)	20.70 (10.03)	16.95 (7.78)	18.40 (9.23)	15.50 (6.17)	0.064	0.777	0.310
SCQ Total score	25.50 (6.82)	25.30 (6.04)	25.70 (7.86)	25.25 (7.73)	26.70 (9.61)	23.80 (5.39)	0.873	0.675	0.299
SF-CSHQ Total score	39.75 (9.99)	39.30 (10.23)	40.20 (10.30)	39.50 (6.20)	39.50 (5.58)	39.50 (7.07)	0.907	0.889	0.833
Indice di regolazione cognitiva (CRI)	66.85 (10.50)	67.40 (9.98)	66.30 (11.51)	64.70 (12.82)	65.30 (12.96)	64.10 (13.35)	0.175	0.826	0.974
Composito Globale delle Funzioni Esecutive (GEC)	125.75 (17.37)	127.40 (17.12)	124.10 (18.39)	124.45 (20.06)	126.50 (19.69)	122.40 (21.28)	0.559	0.661	0.857
Indice di regolazione comportamentale (BRI)	25.45 (3.72)	25.90 (3.57)	25.00 (4.00)	25.60 (4.19)	26.00 (3.74)	25.20 (4.76)	0.806	0.624	0.935
Indice di regolazione emotiva (ERI)	33.45 (5.26)	34.10 (5.32)	32.80 (5.39)	34.15 (5.81)	35.20 (5.29)	33.10 (6.38)	0.407	0.483	0.634

5.11 *Discussioni Studio 1*

5.11.1 *Risultati Aspetti comportamentali*

Sul piano comportamentale, i risultati del Simple Reaction Task (SRT) hanno mostrato un miglioramento significativo nei tempi di risposta nel gruppo ASD dopo il protocollo CMDT, riducendo la differenza rispetto al gruppo TD osservata nel pre-test. Questo dato indica una maggiore efficienza nei processi decisionali e motori, coerente con i cambiamenti elettrofisiologici sopra descritti. Tuttavia, l'accuratezza è rimasta inferiore rispetto al gruppo TD, suggerendo che l'incremento nella velocità di risposta non si traduce necessariamente in una completa normalizzazione delle capacità cognitive nel gruppo ASD. Questo potrebbe riflettere una compensazione parziale delle difficoltà sottostanti o una differenza intrinseca nei meccanismi di elaborazione degli stimoli tra i due gruppi.

5.11.2 *Risultati Aspetti Elettrofisiologici*

I risultati elettrofisiologici, ottenuti mediante l'analisi dei potenziali evento-correlati (ERP), forniscono importanti informazioni sulle basi neurali dell'ASD e sugli effetti del protocollo di allenamento CMDT. In particolare, le componenti pre-stimolo (BP e vN) e post-stimolo (N1 e P3) hanno mostrato cambiamenti significativi dopo l'intervento, facendo ipotizzare un miglioramento nei processi neurofisiologici sottostanti l'elaborazione motoria e cognitiva. L'aumento dell'ampiezza della BP nel gruppo ASD dal pre-test al post-test indica una maggiore preparazione motoria, associata al reclutamento più efficace delle aree corticali coinvolte. Questo miglioramento potrebbe riflettere una modulazione positiva delle reti neurali frontali e motorie grazie al CMDT, che favorisce una maggiore consapevolezza e capacità di anticipazione motoria. Analogamente l'incremento della vN, osservato nel gruppo ASD, suggerisce un miglioramento nell'elaborazione visuo-spaziale, con una

maggior attivazione delle aree occipitali bilaterali. Studi sistematici hanno evidenziato miglioramenti significativi nelle funzioni fisiche e cognitive dopo il CMDT rispetto all'allenamento su singolo compito.

Per quanto riguarda le componenti post-stimolo, l'aumento significativo dell'ampiezza della N1 nel gruppo ASD evidenzia un miglioramento nell'elaborazione precoce degli stimoli sensoriali. Inoltre, insieme all'incremento della componente P3, indica un maggiore impegno attentivo e un miglioramento dei processi di decisione post-stimolo (Goncalves & Monteiro 2023; Polich et al., 2007). La maggiore ampiezza della P3, tipicamente associata all'allocazione delle risorse cognitive, suggerisce un miglioramento nella capacità di integrare e rispondere agli stimoli rilevanti, evidenziando il potenziale beneficio del CMDT nell'ottimizzazione delle funzioni esecutive (Wu et al., 2024; Wollesen et al., 2022).

I risultati di questo studio sono coerenti con evidenze precedenti che dimostrano la possibilità di migliorare specifici processi cognitivi nei bambini con ASD attraverso interventi mirati. Gli incrementi nella BP e nella vN supportano studi che evidenziano come la preparazione motoria e l'attenzione visiva possano beneficiare di esercizi strutturati (Di Russo et al., 2019; Häger et al., 2014). Analogamente, i cambiamenti nella N1 e nella P3 confermano che interventi specifici possono influenzare positivamente l'elaborazione attentiva e l'integrazione cognitiva (Brezis et al., 2017).

Tuttavia, l'assenza di variazioni nella P1 potrebbe indicare che alcune aree dell'elaborazione percettiva precoce rimangono stabili anche in risposta a interventi intensivi, in quanto potrebbe essere presente una maggiore resistenza al cambiamento per processi cognitivi automatici rispetto a quelli attentivi e integrativi.

5.12 *Discussioni Studio 2*

Il ASD è una condizione neuroevolutiva caratterizzata da difficoltà nelle interazioni sociali, nella comunicazione e dalla presenza di comportamenti ripetitivi o interessi ristretti. Tuttavia, al di là delle caratteristiche comportamentali e sociali, numerosi studi hanno evidenziato che la presenza di deficit cognitivi e motori che influiscono sulla qualità di vita nelle persone con ASD. Queste difficoltà possono essere esplorate e quantificate attraverso vari test neuropsicologici e motori.

5.12.1 *Movement Assessment Battery for Children (M ABC-2)*

I deficit motori nei bambini con ASD valutati attraverso il Movement ABC-2 possono essere attribuiti a differenze nella struttura e nella funzionalità delle reti cerebrali che controllano il movimento, inclusi il cervelletto, i gangli della base, e la corteccia motoria. Anomalie nella connettività tra queste regioni possono interferire con la pianificazione del movimento, la coordinazione motoria e la regolazione dell'equilibrio. La corteccia premotoria e il cervelletto, che svolgono un ruolo chiave nella coordinazione dei movimenti e nell'apprendimento motorio, possono mostrare attività atipica nei bambini con ASD, contribuendo a una minore precisione nei movimenti e a una maggiore variabilità.

Dal punto di vista sensoriale, molti bambini con ASD presentano anche problemi di integrazione sensoriale, che può influire sulla capacità di coordinare input visivi, tattili e propriocettivi durante il movimento. Per esempio, difficoltà a processare le informazioni sensoriali tattili possono influire sulla capacità di manipolare oggetti con precisione (abilità motorie fini), mentre problemi con la percezione visiva e la propriocezione possono ostacolare il mantenimento dell'equilibrio durante le attività grosso-motorie. Questa

disregolazione sensoriale può portare a movimenti meno fluidi e coordinati, rendendo difficili anche compiti semplici come afferrare una palla o camminare lungo una linea.

Il Movement ABC-2 consente di individuare e quantificare queste difficoltà motorie, fornendo una base per sviluppare interventi personalizzati che mirino a migliorare la coordinazione e le abilità motorie dei bambini con ASD. I punti di forza del M ABC-2 includono la sua capacità di valutare i bambini utilizzando una diversa combinazione di elementi di capacità motorie fini e grosso-motorie appropriate alle diverse fasce di età (Liu et al., 2021).

L'intervento precoce può migliorare significativamente la loro partecipazione a attività scolastiche e sociali, aumentando la qualità della vita.

I risultati dello studio confermano la nostra principale ipotesi: i bambini con ASD mostrano un ritardo nello sviluppo delle abilità motorie fini e grosso-motorie rispetto ai loro coetanei con sviluppo tipico (Liu e Breslin, 2013). Questi risultati sono ampiamente confermati da studi presenti in letteratura (Breslin e Rudisill, 2011; Dziuk et al., 2007; Green et al., 2009; Liu, 2021; Liu e Breslin, 2013; Lloyd et al., 2013; Pan et al., 2009). Tuttavia, quando stimolati in modo adeguato sia a livello cognitivo che motorio, attraverso un protocollo basato sul problem solving per affrontare il compito motorio e avanzare nella progressione di difficoltà, hanno ridotto significativamente questa differenza rispetto ai bambini con sviluppo tipico, mostrando miglioramenti superiori rispetto a questi ultimi.

Le ricerche precedenti suggeriscono che l'implementazione precoce di un protocollo volto a stimolare l'integrazione sensoriale è fondamentale per ottenere risultati significativi nello sviluppo della destrezza motoria, dell'equilibrio e delle abilità di mira e presa. Lo sviluppo precoce delle capacità motorie predice lo sviluppo cognitivo successivo (Hill et al., 2015) ed è correlato all'impegno nell'attività fisica (Stodden et al., 2008) e alla competenza percepita (Robinson et al., 2011).

Il punteggio totale e la classificazione Traffic Light hanno mostrato progressi rilevanti, segnalando un miglioramento generale delle abilità motorie. Considerando separatamente le abilità di manualità, mira e presa, ed equilibrio, il presente studio ha evidenziato miglioramenti significativi per tutte e tre le abilità nel gruppo ASD. In confronto al gruppo TD, il gruppo ASD ha ottenuto miglioramenti maggiori nel tempo, in particolare nell'equilibrio e nel punteggio totale, con una riduzione delle differenze tra i gruppi.

L'equilibrio valutato dal M ABC-2 è significativamente migliorato. Da precedenti studi è emerso che le difficoltà nell'equilibrio sono dovute al deficit di integrazione delle varie informazioni sensoriali a livello cerebrale sia propriocettive che esteroceettive per produrre un'adeguata risposta motoria (DeBoth, 2017). È stato ipotizzato che il protocollo CMDT utilizzato nella fase sperimentale abbia stimolato miglioramenti di tipo sensomotorio ed in particolare l'integrazione degli stimoli sensoriali alla base del controllo posturale e del balance. A causa dell'alta componente di pianificazione, sequencing e cambiamento frequente delle scelte esecutive dei partecipanti, il miglioramento dell'attenzione delle funzioni esecutive, può aver migliorato la prestazione di equilibrio.

Il miglioramento nell'equilibrio sicuramente è un presupposto alla capacità di lanciare e prendere un attrezzo.

Diversi studi, valutano che la capacità di lanciare e riprendere sia un dominio influenzato dal "dose" effects (Huang, 2020). Il protocollo utilizzato per questo studio prevedeva un'esercitazione specifica per questa abilità e comunque sollecitava le capacità di mira in ogni suo gioco.

La manual dextery, migliora con questo protocollo a differenza di precedenti studi su bambini ASD che applicano protocolli di Arti marziali (Judo, Tai-Chi) ed altri sport (Sarabzadeh, 2019). Probabilmente, sollecitato dal miglioramento di conduzione degli stimoli nervosi, la manual dextery, è stata influenzata da un miglioramento di tipo vestibolare

e di integrazione somatosensoriale, che in particolare il protocollo andava a stimolare in ogni suo gioco.

La fragilità delle funzioni esecutive nei bambini con ASD, manifestata attraverso significative difficoltà nella pianificazione e nell'esecuzione di attività motorie, potrebbe aver esercitato un'influenza negativa sul loro livello di partecipazione alle attività fisiche, come evidenziato da Gomes (2014). Inoltre, il livello ridotto di fitness fisico rilevato in questa popolazione potrebbe rappresentare un ulteriore elemento limitante per il miglioramento delle performance motorie relative alle capacità coordinative, grosso-motorie e le abilità (Sefen, 2020). Potenziali deficit nelle funzioni esecutive influiscono direttamente sulle prestazioni cognitive, in particolare sulla metacognizione, ossia la capacità di pianificare, gestire e controllare le attività da svolgere (Cardoso, 2020). Questo aspetto è strettamente legato al funzionamento sensomotorio. Le carenze nelle funzioni esecutive determinano un rendimento motorio insufficiente, soprattutto nei bambini con forme più gravi di autismo.

Teixeira (2019) ha raccomandato la pratica sportiva come approccio terapeutico per le persone con ASD, poiché potrebbe favorire direttamente il coinvolgimento nell'attività fisica, ma le difficoltà nel giocare in gruppo e la mancanza di interesse per gli oggetti proposti, caratteristiche tipiche delle persone con ASD, potrebbero ridurre il loro interesse verso la pratica sportiva. È fondamentale, quindi, individuare strategie efficaci di applicazione dell'attività fisica che coinvolga gradualmente questi bambini con queste particolari esigenze.

L'attività fisica proposta per i bambini a sviluppo atipico deve essere modulata e ristrutturata in funzione di queste esigenze. Per esempio, è necessario rispettare un approccio graduale nel condividere l'attività fisica, partendo da una situazione individuale fino ad arrivare ad un'attività di cooperazione e collaborazione tipico dell'attività di gruppo e di squadra.

5.12.2 *Test della Torre di Londra (ToL)*

Il ToL dà indicazioni sulla capacità di pianificazione e problem solving, e in parte sulla rapidità di ragionamento, utile a comprendere quanto il soggetto riesce a trattenere l'impulso a partire o ripartire in caso di errore. Le prestazioni nella ToL riflettono le difficoltà più ampie nelle funzioni esecutive, che comprendono l'elaborazione di informazioni complesse e la regolazione del comportamento, cruciali per l'adattamento e la gestione delle attività quotidiane.

Il ToL richiede inoltre una buona integrazione sensoriale, in cui il soggetto deve interpretare correttamente gli stimoli visivi e usarli per pianificare i movimenti. I bambini con ASD possono avere difficoltà con l'integrazione di input sensoriali, come le informazioni visive e tattili, che possono portare ad errori nella pianificazione e nella risoluzione dei problemi. Le alterazioni nella plasticità sinaptica nelle aree prefrontali presenti nei bambini ASD possono influire sulla capacità di adattare e modificare le strategie di risoluzione dei problemi, contribuendo a una maggiore rigidità cognitiva, caratteristica comune nei soggetti con ASD. Studi di neuroimaging hanno dimostrato che le difficoltà osservate nella ToL nei bambini con ASD possono essere attribuite a differenze strutturali e funzionali nella corteccia prefrontale, una regione chiave coinvolta nella pianificazione e nella regolazione delle azioni. La corteccia prefrontale dorsolaterale (DLPFC), in particolare, è responsabile della pianificazione strategica e della previsione delle conseguenze delle azioni. Nei soggetti con ASD, si osservano anomalie nella connettività della DLPFC con altre aree del cervello, come i gangli della base e il cervelletto, che possono limitare la capacità di coordinare una sequenza di azioni e di regolare il comportamento in modo adattivo.

Nel presente studio, tuttavia, non sono stati riscontrati miglioramenti significativi nelle funzioni esecutive valutate attraverso il test ToL. Il gruppo ASD ha mostrato una tendenza positiva in alcune misurazioni, come il numero di risposte corrette e una riduzione del

numero di movimenti necessari per completare il compito, suggerendo un potenziale miglioramento nei processi di pianificazione e decisione. Valutare queste difficoltà attraverso la ToL permette di sviluppare interventi personalizzati per migliorare la pianificazione e la flessibilità cognitiva nei bambini con ASD.

5.12.3 *Children's Color Trails Test (CCTT)*

Il CCTT è un test neuropsicologico utilizzato per valutare la flessibilità cognitiva, basato sulla capacità di passare da un compito all'altro o modificarlo in risposta alle variazioni ambientali che determinano richieste differenti relative al compito.

Il gruppo ASD ha mostrato miglioramenti significativi nel tempo per il Trial 1, che suggerisce un progresso nella velocità di elaborazione. Nel confronto tra i gruppi, è emersa una differenza significativa sia nella fase pre sia post-intervento. Tuttavia, nella fase post-intervento, entrambi i gruppi hanno mostrato un trend di miglioramento. Mentre la differenza significativa inizialmente osservata nei tempi di reazione è venuta meno, nei tempi di esecuzione non si è riscontrata una variazione analoga, probabilmente dovuta ad una maggiore complessità della richiesta cognitiva.

Le difficoltà osservate nei bambini con ASD durante il CCTT possono essere legate a anomalie nella connettività cerebrale, in particolare tra la corteccia parietale, la corteccia prefrontale e le aree che governano il movimento. La corteccia prefrontale ventrolaterale è fondamentale per il controllo dell'attenzione e la capacità di passare da un compito all'altro, e nei soggetti con ASD si osservano alterazioni funzionali in questa regione che possono spiegare le difficoltà con la flessibilità cognitiva (Peristeri et al.,2021). Questi soggetti possono mostrare tempi di reazione più lenti e una maggiore variabilità nei tempi di completamento del compito, riflettendo problemi nella coordinazione delle risposte cognitive e motorie. Inoltre, i bambini con ASD presentano delle interferenze tra paradigmi

verbali e motori di tipo dual-task (Peristeri et al., 2021). Queste problematiche si traducono in una minore capacità di adattare il proprio programma motorio, soprattutto in attività di natura spaziale, e in una maggiore tendenza a perseverare negli errori rispetto ai coetanei con sviluppo tipico (Peristeri et al., 2021).

Dal punto di vista sensoriale, la difficoltà nel CCTT può essere legata anche a problemi di integrazione visuo-motoria. I bambini con ASD spesso mostrano difficoltà a processare rapidamente le informazioni visive e a tradurle in azioni appropriate, il che si riflette in prestazioni più lente e meno precise. Anomalie nella percezione sensoriale possono interferire con la capacità di mantenere l'attenzione su un compito per un periodo prolungato e di eseguire transizioni fluide tra attività diverse. Il CCTT può essere considerato un indicatore comportamentale di scansione visiva e attenzione, poiché richiede all'individuo di analizzare un display visivo contenente stimoli distinti (ad esempio, numeri e colori diversi) per identificare continuamente quelli rilevanti. Inoltre, il CCTT permette di valutare la velocità psicomotoria, specialmente nella versione che prevede il cambio di regola, dove è necessaria una rapida integrazione di numeri e colori (Dellapiazza et al., 2018; Andreou et al., 2022).

Comprendere come le difficoltà neurologiche e sensoriali influenzano le prestazioni nel CCTT può aiutare a sviluppare strategie di intervento che mirino a migliorare l'attenzione sostenuta, la velocità di elaborazione e la flessibilità cognitiva, aumentando così la capacità di adattarsi a situazioni nuove e impreviste nella vita quotidiana.

Il protocollo elaborato per questi bambini è stato concepito tenendo conto delle loro particolari difficoltà, adottando un approccio graduale nell'incremento della complessità al fine di stimolare i processi coinvolti. Sebbene i risultati ottenuti non siano equiparabili a quelli dei bambini con sviluppo tipico, il protocollo ha comunque determinato un miglioramento significativo nei parametri considerati.

5.12.4 *Questionari Genitori*

L'assenza di variazioni significative nei punteggi dei questionari, somministrati ai genitori di bambini con ASD, sia nel tempo sia tra le valutazioni di madri e padri, ha evidenziato alcuni aspetti rilevanti da considerare. In primo luogo, tutti i questionari utilizzati – (BRIEF-2, SCQ, SF-CSHQ e ASC-ASD-P) – sono strumenti validati per la valutazione di specifiche aree comportamentali e funzionali. Tuttavia, è probabile che non siano stati sufficientemente sensibili a rilevare cambiamenti sottili o progressivi nel periodo di osservazione considerato. Le caratteristiche pervasivamente stabili dei deficit tipici dell'ASD, come le difficoltà nella comunicazione sociale, i problemi di autoregolazione e l'ansia, possono richiedere tempi prolungati e interventi specifici per evidenziare miglioramenti osservabili. Analogamente, le abitudini di sonno, influenzate da molteplici fattori ambientali e comportamentali, potrebbero non essere state significativamente modificate durante il periodo di studio.

La mancanza di differenze significative tra le valutazioni di madri e padri può essere interpretata come un segnale di coerenza e condivisione delle percezioni genitoriali rispetto alle caratteristiche e ai bisogni del bambino. Ciò potrebbe riflettere una dinamica familiare di collaborazione o una distribuzione equilibrata delle responsabilità genitoriali. D'altra parte, è possibile che fattori esterni, come la consapevolezza condivisa delle difficoltà del bambino o le influenze culturali, abbiano contribuito a uniformare i giudizi.

Questi risultati sottolineano la complessità dell'ASD, evidenziando la necessità di integrare la valutazione con misurazioni quantitative, di estendere il periodo di osservazione e di prolungare la somministrazione dell'attività al fine di rilevare cambiamenti significativi nel tempo che siano percepibili anche dai genitori.

Conclusioni

Il presente lavoro ha fornito evidenze scientifiche oggettive sull'efficacia di un protocollo di allenamento cognitivo-motorio dual task nel migliorare significativamente l'attivazione delle aree cerebrali nei bambini con ASD. Tale protocollo ha diminuito sensibilmente i tempi di reazione, promuovendo miglioramenti significativi nelle capacità predittive e nella velocità di elaborazione della programmazione della risposta motoria.

Sulla base delle evidenze scientifiche, si evince che, per essere efficace, tale protocollo deve comunque osservare e rispettare determinati requisiti:

- essere basato su attività di problem solving;
- avere una struttura che incentivi l'esecuzione del bambino sotto forma di gioco, garantendo l'enjoyment necessario a motivare l'aderenza spontanea ai protocolli da parte del bambino stesso;
- osservare una progressione di difficoltà che, da un lato, garantisca la raggiungibilità degli obiettivi e del risultato e, dall'altro, sia sufficientemente stimolante, evidenziando sia l'impegno del bambino sia la componente di sfida;
- essere orientato a compensare, attraverso l'esperienza, le difficoltà specifiche che i bambini con ASD presentano;
- anche da un punto di vista delle difficoltà sociali e di comunicazione, il protocollo deve seguire una progressione graduale, iniziando con un'esecuzione individuale, proseguendo con un'esecuzione in successione dei partecipanti (un bambino esegue, mentre gli altri osservano), fino ad arrivare ad un lavoro coordinato tra coppie, terziglie o gruppi di bambini ASD.

I punti di forza del lavoro si identificano nella rilevazione oggettiva degli effetti del protocollo, attraverso l'analisi elettroencefalografica. Gli inequivocabili risultati ottenuti

infatti, motivano gli autori a proseguire questa esperienza, aumentando il numero dei partecipanti, affinché i risultati possano essere ascrivibili all'intera popolazione ASD.

Anche le tempistiche di applicazione del protocollo potranno essere ampliate, raggiungendo i risultati che ancora non sono stati evidenziati nella presente sperimentazione.

Una limitazione della ricerca è stata paragonare i bambini ASD con bambini con sviluppo tipico praticanti scherma, uno sport ad alto contenuto coordinativo e reattivo, invece che con un gruppo di bambini ASD sedentari. Questo secondo confronto avrebbe potuto più chiaramente isolare l'effetto dell'attività fisica sulle problematiche di questa popolazione.

Il vero motivo per cui si è deciso di improntare il progetto di ricerca in questo modo risiede nelle difficoltà legate, da un lato, al reperimento di bambini disponibili a partecipare a un'attività bisettimanale, considerando che i bambini ASD sono estremamente impegnati con le terapie abitualmente programmate per loro, e, dall'altro, a un altro problema frequentemente evidenziato: il dropout, spesso legato alla paura che i bambini hanno di sottoporsi ad analisi, anche non invasive quale un elettroencefalogramma. Prossimi studi, già programmati, prevederanno anche questo tipo di confronto.

Un altro punto importante emerso da questi risultati è quanto l'effetto del protocollo sia “operatore- dipendente”, ossia quanto gli effetti ottenuti dipendano dalla capacità degli operatori di motivare ed incentivare i bambini a raggiungere i risultati.

È stato infatti necessario preparare adeguatamente gli operatori affinché potessero interagire coi bambini, creando un clima di fiducia reciproca e dimostrando la pazienza e la capacità di rispettare i tempi dei bambini, incentivarli e credere nell'efficacia dell'intervento che stavano portando avanti.

Ultimo, ma non meno importante, è stato il coinvolgimento dei genitori, figure fondamentali nel miglioramento dei figli. Il loro ruolo è stato cruciale non solo per garantire la regolare frequenza alle sedute di lavoro, ma anche per supportare e incoraggiare i propri figli nei momenti di difficoltà o scoraggiamento. Coinvolti attivamente nel progetto e resi

consapevoli delle sue finalità e della fiducia che gli operatori riponevano nell'intervento, i genitori hanno partecipato attivamente alla ricerca. Hanno contribuito compilando diversi questionari volti a indagare i progressi dei figli in relazione a disturbi del sonno, ansia e capacità relazionali. Sebbene non siano stati ottenuti risultati statisticamente significativi per questi aspetti, i genitori hanno evidenziato un trend di miglioramento, fornendo ulteriore motivazione a proseguire il progetto.

Bibliografia:

- A., B., M., S., U., Doulah., Mirza, Rasheduzzaman., Faed, Ahmed, Arnob., Farhana, Sarker., Nipa, Roy., Md., Anwar, Ullah., Khondaker, Abdullah, Al, Mamun. (2023). 9. Application of Augmented Reality Interventions for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Systematic Review. *Computers*, doi: 10.3390/computers12100215
- Abrahams, B.S.; Geschwind, D.H. Advances in autism genetics: On the threshold of a new neurobiology. *Nat. Rev. Genet.* 2008, 9, 341–355.
- Adnan, N. H., Ahmad, I., & Abdullasim, N. (2018). Systematic review on augmented reality application for autism children. *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*
- Adolph, K. E. (2005). Learning to Learn in the Development of Action. In J. J. Rieser, J. J. Lockman, & C. A. Nelson (Eds.), *Action as an Organizer of Learning and Development: Vol. 33 in the Minnesota Symposium on Child Development* (pp. 91-122). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Adolph, K. E., & Hoch, J. E. (2019). Motor Development: Embodied, Embedded, Enculturated, and Enabling. *Annual review of psychology*, 70, 141–164. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102836>
- Albuquerque, M. R., Rennó, G. V. C., Bruzi, A. T., Fortes, L. D. S., & Malloy-Diniz, L. F. (2022). Association between motor competence and executive functions in children. *Applied Neuropsychology: Child*, 11(3), 495-503.
- Alix, Thillay., Mathieu, Lemaire., Sylvie, Roux., Emmanuelle, Houy-Durand., Catherine, Barthélémy., Robert, T., Knight., Aurélie, Bidet-Caulet., Frédérique, Bonnet-Brilhault. (2016). 7. Atypical Brain Mechanisms of Prediction According to Uncertainty in Autism. *Frontiers in Neuroscience*, doi: 10.3389/FNINS.2016.00317

- Alok, Nath, Mohapatra., Shlomo, Wagner. (2023). 7. The role of the prefrontal cortex in social interactions of animal models and the implications for autism spectrum disorder. *Frontiers in Psychiatry*, doi: 10.3389/fpsyt.2023.1205199
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. American psychiatric association.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71–82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Andreou, M., Konstantopoulos, K., & Peristeri, E. (2022). Cognitive flexibility in autism: Evidence from young autistic children. *Autism Research*, 15(12), 2296-2309.
- Anil Kumar, B. N., Malhotra, S., Bhattacharya, A., Grover, S., & Batra, Y. K. (2017). Regional Cerebral Glucose Metabolism and its Association with Phenotype and Cognitive Functioning in Patients with Autism. *Indian journal of psychological medicine*, 39(3), 262–270. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.207344>
- Anna, Beavers., Antoinette, Fleming., Jeffrey, D., Shahidullah. (2023). 5. Animal-assisted therapies for autism. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, doi: 10.1016/j.cppeds.2023.101478
- Anokhin, A. P., Lutzenberger, W., Nikolaev, A., & Birbaumer, N. (2000). Complexity of electrocortical dynamics in children: developmental aspects. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 36(1), 9-22.
- Ansari, A. M. A., Janahi, M. I., AlTourah, A. J., Jahrami, H. A., & Rajab, M. B. (2021). Self-reported psychological disorders among the mothers of children with autism spectrum disorder, type 1 diabetes mellitus, and typically developed children. *journal of neurodevelopmental disorders*, 13(1), 21.

- Bahrami, F., Movahedi, A., Marandi, S. M., & Abedi, A. (2012). Kata techniques training consistently decreases stereotypy in children with autism spectrum disorder. *Research in developmental disabilities, 33*(4), 1183-1193.
- Bahrami, F., Movahedi, A., Marandi, S. M., & Sorensen, C. (2016). The effect of karate techniques training on communication deficit of children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders, 46*, 978-986.
- Bandini, L. G., Gleason, J., Curtin, C., Lividini, K., Anderson, S. E., Cermak, S. A., ... & Must, A. (2013). Comparison of physical activity between children with autism spectrum disorders and typically developing children. *Autism, 17*(1), 44-54.
- Basu-Ray, I. (2021). A mechanistic model for yoga as a preventive and therapeutic modality. *International Journal of Yoga, 14*(2), 152-157.
- Battaglia, G., Agrò, G., Cataldo, P., Palma, A., & Alesi, M. (2019). Influence of a specific aquatic program on social and gross motor skills in adolescents with autism spectrum disorders: Three case reports. *Journal of functional Morphology and Kinesiology, 4*(2), 27.
- Bera, T. K. (2021, March). A review on the medical applications of electroencephalography (EEG). In *2021 Seventh International conference on Bio Signals, Images, and Instrumentation (ICBSII)* (pp. 1-6). IEEE.
- Berchicci, M., Spinelli, D., & Di Russo, F. (2016). New insights into old waves. Matching stimulus-and response-locked ERPs on the same time-window. *Biological psychology, 117*, 202-215.
- Berenguer, C., Baixauli, I., Gómez, S., Andrés, M. D. E. P., & De Stasio, S. (2020). Exploring the impact of augmented reality in children and adolescents with autism spectrum disorder: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(17), 6143.

- Berument SK, Rutter M, Lord C, Pickles A, Bailey A. Autism screening questionnaire: diagnostic validity. *Br J Psychiatry*. 1999 Nov; 175:444-51. doi: 10.1192/bjp.175.5.444. PMID: 10789276.
- Bhat, A. N., Landa, R. J., & Galloway, J. C. (2011). Current perspectives on motor functioning in infants, children, and adults with autism spectrum disorders. *Physical therapy, 91*(7), 1116-1129.
- Bisiacchi, P. S., Cendron, M., Gugliotta, M., Tressoldi, P. E., & Vio, C. B. V. N. (2005). *BVN 5-11 Batteria di Valutazione Neuropsicologica per l'età Evolutiva* (Vol. 1, pp. 1-324). Erickson.
- Blakeley-Smith, A., Meyer, AT, Boles, RE, & Reaven, J. (2021). Trattamento cognitivo comportamentale di gruppo per l'ansia negli adolescenti autistici con disabilità intellettiva: uno studio pilota e di fattibilità. *Journal of applied research in intellectual disabilities, 34* (3), 777-788.
- Bleuler, E. (1911). Dementia praecox or the group of schizophrenias.
- Boerner KE, Coulombe JA, Corkum P. Core competencies for health professionals' training in pediatric behavioral sleep care: a Delphi study. *Behav Sleep Med*. 2015;13(4):265–284.
- Bölte, S., Girdler, S., & Marschik, P. B. (2019). The contribution of environmental exposure to the etiology of autism spectrum disorder. *Cellular and Molecular Life Sciences, 76*, 1275-1297.
- Bonuck, K. A., Goodlin-Jones, B. L., Schechter, C., & Owens, J. (2017). Modified Children's sleep habits questionnaire for behavioral sleep problems: A validation study. *Sleep health, 3*(3), 136-141.
- Bougeard, C., Picarel-Blanchot, F., Schmid, R., Campbell, R., & Buitelaar, J. (2024). Prevalence of Autism Spectrum disorder and co-morbidities in children and adolescents: a systematic literature review. *Focus, 22*(2), 212-228.

- Brem, S., Hunkeler, E., Mächler, M., Kronschnabel, J., Karipidis, I. I., Pleisch, G., & Brandeis, D. (2018). Increasing expertise to a novel script modulates the visual N1 ERP in healthy adults. *International Journal of Behavioral Development*, 42(3), 333-341
- Breslin, C. M., & Rudisill, M. E. (2011). The effect of visual supports on performance of the TGMD-2 for children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 28(4), 342-353.
- Brezis, N., Bronfman, Z. Z., Yovel, G., & Goshen-Gottstein, Y. (2017). The electrophysiological signature of remember-know is confounded with memory strength and cannot be interpreted as evidence for dual-process theory of recognition. *Journal of cognitive neuroscience*, 29(2), 322-336.
- Brookshire, B., Levin, H. S., Song, J., & Zhang, L. (2004). Components of executive function in typically developing and head-injured children. *Developmental neuropsychology*, 25(1-2), 61-83.
- Candida, Barreto., Adrian, Curtin., Yigit, Topoglu., Jessica, Day-Watkins., Brigid, Garvin., Grant, Foster., Zuhail, Ormanoglu., Elisabeth, Sheridan., James, Connell., David, Bennett., Karen, Heffler., Hasan, Ayaz. (2024). 1. Prefrontal Cortex Responses to Social Video Stimuli in Young Children with and without autism spectrum disorder. *Brain science*, doi: 10.3390/brainsci14050503
- Cardoso, D.M.P. Instrumentos Utilizados para Avaliação Neuropsicológica das Funções Executivas em Crianças com Transtorno do Espectro Autista. *Estud. IAT* 2020, 2, 195–214.
- Careaga, M., Murai, T., & Bauman, M. D. (2017). Maternal immune activation and autism spectrum disorder: from rodents to nonhuman and human primates. *Biological psychiatry*, 81(5), 391-401.

- Carolien, Wijker., Marie-José, Enders-Slegers., A., Spek., R., Leontjevas. (2023). 4. Dierondersteunde interventie voor volwassenen met autisme. Wetenschappelijk tijdschrift autisme, doi: 10.36254/wta.2023.3.01
- Casey, A. F., Quenneville-Himbeault, G., Normore, A., Davis, H., & Martell, S. G. (2015). A therapeutic skating intervention for children with autism spectrum disorder. *Pediatric Physical Therapy*, 27(2), 170-177.
- Cassandra, B, Klune., Benita, Jin., Laura, A., DeNardo. (2021). 4. Linking mPFC circuit maturation to the developmental regulation of emotional memory and cognitive flexibility. *eLife*, doi: 10.7554/ELIFE.64567
- Chandler S, Charman T, Baird G, Simonoff E, Loucas T, Meldrum D, Scott M, Pickles A. Validation of the social communication questionnaire in a population cohort of children with autism spectrum disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2007 Oct;46(10):1324-1332. doi: 10.1097/chi.0b013e31812f7d8d. PMID: 17885574.
- Chapman, G., Antony, I., Narasimhan, M., Shen, R., Elman, R., & Kroll, K. L. (2022). Cellular and molecular neurobiology of autism spectrum disorder. In *The Neuroscience of Autism* (pp. 215-244). Academic Press.
- Chen, Y., Fei, X., Wu, T., Li, H., Xiong, N., Shen, R., ... & Wang, H. (2022). The relationship between motor development and social adaptability in autism spectrum disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 1044848.
- Cheng, C. H., Ju, Y. Y., Chang, H. W., Chen, C. L., Pei, Y. C., Tseng, K. C., & Cheng, H. Y. K. (2014). Motor impairments screened by the Movement Assessment Battery for Children-2 are related to the visual-perceptual deficits in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in developmental disabilities*, 35(9), 2172-2179.

- Chorpita BF, Moffitt CE, Gray J. Psychometric properties of the Revised Child Anxiety and Depression Scale in a clinical sample. *Behav Res Ther.* 2005 Mar;43(3):309-22. doi: 10.1016/j.brat.2004.02.004. PMID: 15680928.
- Chrysoula, Karpoutzaki., Maria, Markodimitraki., Maria, Kyriotaki., Garyfallia, Charitaki. (2023). 3. The impact of a therapy dog program on children's with ASD social skills, communication, and behavioral difficulties. *Προσχολική & Σχολική Εκπαίδευση*, doi: 10.12681/ppej.32430
- Clariana, Andrioli, ROMEU., Rosana, Aparecida, Salvador, Rossit. (2022). 4. Interprofessional Teamwork in Care for Children with Autism Spectrum Disorder. doi: 10.6084/m9.figshare.21679223
- Coles, M. G., & Rugg, M. D. (1995). *Event-related brain potentials: An introduction.* Oxford University Press
- Compas, B. E., Jaser, S. S., Bettis, A. H., Watson, K. H., Gruhn, M. A., Dunbar, J. P., ... & Thigpen, J. C. (2017). Coping, emotion regulation, and psychopathology in childhood and adolescence: A meta-analysis and narrative review. *Psychological bulletin*, 143(9), 939.
- Cong, J., Zhuang, W., Liu, Y., Yin, S., Jia, H., Yi, C., Chen, K., Xue, K., Li, F., Yao, D., Xu, P., & Zhang, T. (2023). Altered default mode network causal connectivity patterns in autism spectrum disorder revealed by Liang information flow analysis. *Human brain mapping*, 44(6), 2279–2293. <https://doi.org/10.1002/hbm.26209>
- Courchesne E, Karns CM, Davis HR, et al. Unusual brain growth patterns in early life in patients with autistic disorder: an MRI study. *Neurology.* 2001; 57(2):245-254.
- Criado, K. K., Sharp, W. G., McCracken, C. E., De Vinck-Baroody, O., Dong, L., Aman, M. G., ... & Scahill, L. (2018). Overweight and obese status in children with autism spectrum disorder and disruptive behavior. *Autism*, 22(4), 450-459.

- Danial, J. T., & Wood, J. J. (2013). Cognitive behavioral therapy for children with autism: Review and considerations for future research. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 34(9), 702–715. Retrieved August 17, 2016, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23917373>
- DeBoth, K.; Reynolds, S. A Systematic Review of Sensory-Based Autism Subtypes. *Res. Autism Spectr. Disord.* 2017, 36, 56.
- Dechsling, A., Orm, S., Kalandadze, T., Sütterlin, S., Øien, R. A., Shic, F., & Nordahl-Hansen, A. (2021). Virtual and augmented reality in social skills interventions for individuals with autism spectrum disorder: A scoping review. *Journal of autism and developmental disorders*, 1-16.
- Dellapiazza, F.; Vernhet, C.; Blanc, N.; Miot, S.; Schmidt, R.; Baghdadli, A. Links between Sensory Processing, Adaptive Behaviours, and Attention in Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Psychiatry Res.* 2018, 270, 78–88.
- Demetriou, E. A., Lampit, A., Quintana, D. S., Naismith, S. L., Song, Y. J. C., Pye, J. E., Hickie, I., & Guastella, A. J. (2018). Autism spectrum disorders: A meta-analysis of executive function. *Molecular Psychiatry*, 23(5), 1198–1204. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.75>
- Di Russo F, Lucci G, Sulpizio V, Berchicci M, Spinelli D, Pitzalis S and Galati G. (2016) Spatiotemporal brain mapping of the preparation, perception and action phases *NeuroImage* 126 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.036>
- Di Russo, F., Berchicci, M., Bianco, V., Perri, R. L., Pitzalis, S., Quinzi, F., & Spinelli, D. (2019). Normative event-related potentials from sensory and cognitive tasks reveal occipital and frontal activities prior and following visual events. *Neuroimage*, 196, 173-187
- Di Russo, F., Martínez, A., Sereno, M. I., Pitzalis, S., & Hillyard, S. A. (2002). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping*, 15(2), 95-111. <https://doi.org/10.1002/hbm.10010>

- Di Russo, F.; Berchicci, M.; Bianco, V.; Mussini, E.; Perri, R.L.; Pitzalis, S.; Spinelli, D. Sustained visuospatial attention enhances lateralized anticipatory ERP activity in sensory areas. *Brain Struct. Funct.* 2021, 226, 457–470.
- Diamond A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44–56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>
- Dost, Muhammad, Halepoto., Nadra, Elyass, Elamin., Abdulrahman, Mohammed, Alhowikan., Aurangzeb, T., Halepota., Laila, Al - Ayadhi. (2024). 3. Impact of physical exercise on behavioral and social features in individuals with autism spectrum disorder. *Pedagogy of physical culture and sports*, doi: 10.15561/26649837.2024.0309
- Dziuk, M. A., Larson, J. G., Apostu, A., Mahone, E. M., Denckla, M. B., & Mostofsky, S. H. (2007). Dyspraxia in autism: association with motor, social, and communicative deficits. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(10), 734-739.
- Eimer, M. (1998). The lateralized readiness potential as an on-line measure of central response activation processes. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30(1), 146-156
- Eimer, M., & Van Velzen, J. (2002). Crossmodal links in spatial attention are mediated by supramodal control processes: Evidence from event-related potentials. *Psychophysiology*, 39(4), 437-449
- Elena, Toscano., Veronica, Sanges., Maria, Pia, Riccio., Carmela, Bravaccio., Andrea, de, Bartolomeis., Giordano, D'Urso. (2019). 10. Fronto-cerebellar tDCS in children

with Autism Spectrum Disorder. *Encephale-revue De Psychiatrie Clinique Biologique Et Therapeutique*, doi: 10.1016/J.ENCEP.2019.04.040

- Emberti Gialloreti, L., Mazzone, L., Benvenuto, A., Fasano, A., Garcia Alcon, A., Kraneveld, A., ... & Curatolo, P. (2019). Risk and protective environmental factors associated with autism spectrum disorder: evidence-based principles and recommendations. *Journal of clinical medicine*, 8(2), 217.
- Emily, J., Knight., Ted, S., Altschuler., Sophie, Molholm., Jeremy, W., Murphy., Edward, G., Freedman., John, J., Foxe. (2024). 8. It's all in the timing: Delayed feedback in autism may weaken predictive mechanisms during contour integration. bioRxiv, doi: 10.1101/2024.01.16.575908
- Eric, Fombonne., Heather, MacFarlane., Alexandra, C., Salem. (2021). 4. Epidemiological surveys of ASD: advances and remaining challenges. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, doi: 10.1007/S10803-021-05005-9
- Eslinger, P. J., Marlowe, W. B., & Biddle, K. R. (2021). Development of prefrontal cortex. In *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience: Second Edition (Vol. 3-3, pp. 410-417)*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819641-0.00071-2>
- Flavia, Chiarotti., Aldina, Venerosi. (2020). 9. Epidemiology of Autism Spectrum Disorders: A Review of Worldwide Prevalence Estimates Since 2014. *Brain Sciences*, doi: 10.3390/BRAINSCI10050274
- Flores-Rodríguez, Y., Ceballos, O. R., & Albores-Gallo, L. (2022). Assessing autism with DSM-IV and DSM-5 criteria using the Childhood Autism Rating Scale (CARS). *Salud mental*, 45(1), 3-10.
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240.

- François, Foret. (2022). 2. Autism Spectrum Disorder as a Disorder of Prediction in Sensorimotor Processing. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*, doi: 10.54097/ehss.v5i.2927
- Frank, J. L., Kohler, K., Peal, A., & Bose, B. (2017). Effectiveness of a school-based yoga program on adolescent mental health and school performance: Findings from a randomized controlled trial. *Mindfulness*, 8, 544-553.
- Furtuna, G., Tewolde., Dorothy, V., M., Bishop., Catherine, Manning. (2018). 5. Visual Motion Prediction and Verbal False Memory Performance in Autistic Children. *Autism Research*, doi: 10.1002/AUR.1915
- Fuster, J. M. (2013). Cognitive functions of the prefrontal cortex. *Principles of frontal lobe function*, 11-22.
- G.L., Ryan., Valerie, Watchorn., Sherryn, Evans. (2024). 1. Occupational therapy experiences of interprofessional collaboration in the support of autistic children. *Australian Occupational Therapy Journal*, doi: 10.1111/1440-1630.12982
- Gabriella, Karakas. (2022). 5. Effective Collaboration: Maximizing Outcomes in Autism Intervention in an Interdisciplinary Model. *Autism and child psychopathology series*, doi: 10.1007/978-3-030-96478-8_8
- Geertsen, S. S., Thomas, R., Larsen, M. N., Dahn, I. M., Andersen, J. N., Krause-Jensen, M., Korup, V., Nielsen, C. M., Wienecke, J., Ritz, C., Krstrup, P., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Motor skills and exercise capacity are associated with objective measures of cognitive functions and academic performance in preadolescent children. *PLoS One*, 11(8), e0161960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161960>
- Genghong, Tu., Nan, Jiang., Weizhong, Chen., Lining, Liu., Min, Hu., Bagen, Liao. (2024). 2. The neurobiological mechanisms underlying the effects of exercise

interventions in autistic individuals. *Reviews in The Neurosciences*, doi: 10.1515/revneuro-2024-0058

- Genovese A, Butler MG. Clinical assessment, genetics, and treatment approaches in autism spectrum disorder (ASD). *Int J Mol Sci*. 2020;21(13):1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms21134726>
- Gerry, Leisman., Robert, Melillo., Ty, Melillo. (2023). 2. Prefrontal functional connectivities in autism spectrum disorders: A connectopathic disorder affecting movement, interoception, and cognition. *Brain Research Bulletin*, doi: 10.1016/j.brainresbull.2023.04.004
- Geschwind DH. Genetics of autism spectrum disorders. *Trends Cogn Sci*. 2011;15(9):409–16. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.07.003>
- Ghasem, Alizadeh-Dizaj., Samira, Raoofi., Shiva, Khoshsirat., Shahla, Damanabi. (2024). 3. Evaluating the Effectiveness of Using Virtual Reality Interventions on Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. doi: 10.18502/jebhpme.v7i4.15482
- Gomes, R.d.F.; Schmidt, C.; Pereira, A.G.; Vasques, A.M.; Fagundes, V.d.C. Autismo e funções executivas: Prejuízos no lobo frontal. *EFDeportes Com. Rev. Digit*. 2014, 18, 1–7.
- Goncalves, A. M., & Monteiro, P. (2023). Autism Spectrum Disorder and auditory sensory alterations: a systematic review on the integrity of cognitive and neuronal functions related to auditory processing. *Journal of Neural Transmission*, 130(3), 325-408.
- Goris J, Braem S, Van Herck S, Simoens J, Deschrijver E, Wiersema JR, Paton B, Brass M, Todd J. Reduced Primacy Bias in Autism during Early Sensory Processing. *J Neurosci*. 2022 May 11;42(19):3989-3999. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3088-20.2022. Epub 2022 Mar 31. PMID: 35361705; PMCID: PMC9097775.

- Gothe, N. P., Khan, I., Hayes, J., Erlenbach, E., & Damoiseaux, J. S. (2019). Yoga effects on brain health: a systematic review of the current literature. *Brain Plasticity*, 5(1), 105-122.
- Green, D., Charman, T., Pickles, A., Chandler, S., Loucas, T. O. M., Simonoff, E., & Baird, G. (2009). Impairment in movement skills of children with autistic spectrum disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51(4), 311-316.
- Griffiths, A., Morgan, P., Anderson, P. J., Doyle, L. W., Lee, K. J., & Spittle, A. J. (2017). Predictive value of the Movement Assessment Battery for Children-Second Edition at 4 years, for motor impairment at 8 years in children born preterm. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 59(5), 490-496.
- Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1-26.
- Hagen, I., & Nayar, U. S. (2014). Yoga for children and young people's mental health and well-being: research review and reflections on the mental health potentials of yoga. *Frontiers in psychiatry*, 5, 35.
- Hagen, I., Skjelstad, S., & Nayar, U. S. (2023). Promoting mental health and wellbeing in schools: the impact of yoga on young people's relaxation and stress levels. *Frontiers in psychology*, 14, 1083028.
- Häger, L. A., Høyland, A. L., Kropotov, J. D., Åsberg Johnels, J., Weidle, B., Hollup, S., ... & Ogrim, G. (2024). Is Visual Prediction Impaired in Adolescents with Autism spectrum Disorder? Event-Related Potentials in a Cued Visual GO/NOGO Task. *Clinical EEG and Neuroscience*, 55(4), 406-416
- Hagmann-von Arx, P., Manicolo, O., Lemola, S., & Grob, A. (2016). Walking in school-aged children in a dual-task paradigm is related to age but not to cognition, motor behavior, injuries, or psychosocial functioning. *Frontiers in psychology*, 7, 352.

- Hagemeyer, S., Mangus, K., Boeckers, T. M., & Gruber, A. M. (2015). Effects of trace metal profiles characteristic for autism on synapses in cultured neurons. *Neural plasticity*, 2015(1), 985083.
- Hai, Yang, Shan Muhammad, Qurat ul Ain, Mingyang Zou, Di Liu, and Wu LiJie. "A comparison of the epidemiological factors and burden of autism spectrum disorders worldwide and in China." (2023).
- Hartley, A. A., & Little, D. M. (1999). Age-related differences and similarities in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(4), 416.
- Hassan, Yazdanian., Amirmohammad, Vakili., Ariana, Soltani., Zohre, Bagheri, Rekhne., Sajjad, Zareii., Talieh, Zarifian. (2023). 8. Virtual/augmented reality for joint attention skills improvement in autism spectrum disorder: a systematic review. *International journal of developmental disabilities*, doi: 10.1080/20473869.2023.2277604
- Henderson, S. E., Sugden, D., & Barnett, A. L. (1992). Movement assessment battery for children-2. *Research in developmental disabilities*.
- Hertzberg, O. E. (1929). The relationship of motor ability to the intelligence of kindergarten children. *Journal of Educational Psychology*, 20(7), 507.
- Hill, E. L. (2004). Evaluating the theory of executive dysfunction in autism. *Developmental review*, 24(2), 189-233. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2004.01.001>
- Hill, T. L., Gray, S. A., Kamps, J. L., & Enrique Varela, R. (2015). Age and adaptive functioning in children and adolescents with ASD: The effects of intellectual functioning and ASD symptom severity. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45, 4074-4083.
- Hilton, C. L., Zhang, Y., Whilte, M. R., Klohr, C. L., & Constantino, J. (2012). Motor impairment in sibling pairs concordant and discordant for autism spectrum disorders. *Autism*, 16(4), 430–441. <https://doi.org/10.1177/1362361311423018>

- Hinrichs, R., et al. (2021). Sensors in EEG and their comparisons for clinical and research applications. *Sensors*, 22(3331). <https://doi.org/10.3390/s22093331>.
- Hirota, T., & King, B. H. (2023). Autism spectrum disorder: A review. *Jama*, 329(2), 157-168.
- Huang J, Du C, Liu J, et al. Meta-analysis on intervention effects of physical activities on children and adolescents with autism. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17: 1950.
- Iverson, J. M., West, K. L., Schneider, J. L., Plate, S. N., Northrup, J. B., & Roemer Britsch, E. (2023). Chapter four – early development in autism: How developmental cascades help us understand the emergence of developmental differences. In C. S. Tamis-Lemonda & J. J. Lockman (Eds.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 64, pp. 109–134). JAI. <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2022.10.005>
- J, Madigand., M.^a, Isabel, Polo, del, Río., Anaïs, Vandavelde. (2023). 6. Equine assisted services impact on social skills in autism spectrum disorder: A meta-analysis. *Progress in Neuro-psychopharmacology & Biological Psychiatry*, doi: 10.1016/j.pnpbp.2023.110765
- Jianchang, Ren., Haili, Xiao. (2024). 7. The Intervention Effect of Progressive Exercise Training on Children with Autism Spectrum Disorder. *International journal of sports science and physical education*, doi: 10.11648/ijsspe.20240901.11
- Jinan, Zeidan., Eric, Fombonne., Julie, Scolah., Alaa, Ibrahim., Maureen, S., Durkin., Shekhar, Saxena., Afiqah, Yusuf., Andy, Shih., Mayada, Elsabbagh. (2022). 8. Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, doi: 10.1002/aur.2696
- Jingyuan, Jiang., Guoxiang, Wang., Qinwen, Gu., Xue, Wang., Jingxin, Liu. (2024). 4. Quantifying the efficacy of physical activity on motor skills and stereotypies in children with autism spectrum disorder: A meta-analysis of randomized controlled

trials from the last decade. *Research in Autism Spectrum Disorders*, doi: 10.1016/j.rasd.2024.102395

- Jiujias, M., Kelley, E. & Hall, L. Restricted, Repetitive Behaviors in Autism Spectrum Disorder and Obsessive–Compulsive Disorder: A Comparative Review. *Child Psychiatry Hum Dev* 48, 944–959 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10578-017-0717-0>
- Jiujun, Qiu., Xuejun, Kong., Jihan, Li., Jie, Yang., Yiting, Huang., Minshi, Huang., Binbin, Sun., Jiayi, Su., Helen, Chen., Guobin, Wan., Jian, Kong. (2021). 9. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) over the Left Dorsal Lateral Prefrontal Cortex in Children with Autism Spectrum Disorder (ASD).. *Neural Plasticity*, doi: 10.1155/2021/6627507
- Jon, H, Sissons., Elise, Blakemore., Hannah, Shafi., Naomi, Skotny., Donna, M., Lloyd. (2022). 8. Calm with horses? A systematic review of animal-assisted interventions for improving social functioning in children with autism. *Autism*, doi: 10.1177/13623613221085338
- Jonathan, Cannon., Amanda, O'Brien., Amanda, O'Brien., Lindsay, Bungert., Pawan, Sinha. (2021). 10. Prediction in Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of Empirical Evidence. *Autism Research*, doi: 10.1002/AUR.2482
- Ju-Yeon, Park., Jeh-Kwang, Ryu., Yumi, Ju. (2024). 6. A Systematic Review of the Effects of Virtual Reality-based Social Intervention Program for People With Developmental Disabilities: Focusing on Randomized Controlled Trials. doi: 10.14519/kjot.2024.32.1.04
- Kaba, D., & Soykan Aysev, A. (2020). Evaluation of Autism Spectrum Disorder in Early Childhood According to the DSM-5 Diagnostic Criteria. *Turk Psikiyatri Dergisi*, 31(2).

- Kahathuduwa, C. N., West, B. D., Blume, J., Dharavath, N., Moustaid-Moussa, N., & Mastergeorge, A. (2019). The risk of overweight and obesity in children with autism spectrum disorders: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 20(12), 1667-1679.
- Kail, R. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological bulletin*, 109(3), 490.
- Kakuszi, B., Szuromi, B., Tóth, M., Bitter, I., & Czobor, P. (2024). Alterations in resting-state gamma-activity in adults with autism spectrum disorder: A High-Density EEG study. *Psychiatry research*, 339, 116040. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2024.116040>
- Kalvin, C. B., Jordan, R. P., Rowley, S. N., Weis, A., Wood, K. S., Wood, J. J., ... & Sukhodolsky, D. G. (2021). Conducting CBT for anxiety in children with autism spectrum disorder during COVID-19 pandemic. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-9.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous child*, 2(3), 217-250.
- Karimi P, Kamali E, Mousavi SM, Karahmadi M. Environmental factors influencing the risk of autism. *J Res Med Sci* 2017;22: 27. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.200272>
- Karthikeyan, Krishnamurthy., Michael, K., Yeung., Agnes, S., Chan., Yvonne, M., Y., Han. (2020). 6. Effortful Control and Prefrontal Cortex Functioning in Children with Autism Spectrum Disorder: An fNIRS Study. *Brain Sciences*, doi: 10.3390/BRAINSCI10110880
- Kassim, A. B. B. M., & Mohamed, N. H. B. (2019). The global prevalence and diagnosis of autism spectrum disorder (ASD) among young children. *Journal of Southeast Asia Psychology (SAPJ)*, 7(1), 20-20.

- Kathe, Bateman., Ilene, S., Schwartz., Ariane, N., Gauvreau. (2022). 3. It Takes a Team: Working Together to Meet the Needs of Young Children With Autism Spectrum Disorder in an Inclusive Setting. *Inclusive practices*, doi: 10.1177/27324745221097354
- Kathryn, Prescott., Janine, Mathée-Scott., Tracy, Reuter., Jan, Edwards., Jenny, R., Saffran., Susan, Ellis, Weismer. (2022). 4. Predictive language processing in young autistic children. *Autism Research*, doi: 10.1002/aur.2684
- Ke, F., Choi, S., Kang, Y. H., Cheon, K. A., & Lee, S. W. (2020). Exploring the structural and strategic bases of autism spectrum disorders with deep learning. *Ieee Access*, 8, 153341-153352.
- Keil-Stietz, Kimberly, and Pamela J. Lein. "Gene× environment interactions in autism spectrum disorders." *Current topics in developmental biology* 152 (2023): 221-284.
- Kelly, S. E., Schmitt, L. M., Sweeney, J. A., & Mosconi, M. W. (2021). Reduced proactive control processes associated with behavioral response inhibition deficits in autism spectrum disorder. *Autism Research*, 14(2), 389-399.
- Khogeer, A. A., AboMansour, I. S., & Mohammed, D. A. (2022). The role of genetics, epigenetics, and the environment in ASD: A mini review. *Epigenomes*, 6(2), 15.
- Kim, H., Kim, JH, Yi, JH et al. Correlazioni tra problemi di sonno, sintomi principali e problemi comportamentali in bambini e adolescenti con disturbo dello spettro autistico: una revisione sistematica e meta-analisi. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 33 , 1539–1549 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00787-023-02253-1>
- Kirby, A. V., White, T. J., & Baranek, G. T. (2015). Caregiver strain and sensory features in children with autism spectrum disorder and other developmental disabilities. *American journal on intellectual and developmental disabilities*, 120(1), 32-45.

- Kishida, M., Molenaar, P. C., & Elavsky, S. (2019). The impact of trait mindfulness on relational outcomes in novice yoga practitioners participating in an academic yoga course. *Journal of American College Health, 67*(3), 250-262.
- Kristen, Lyall., Lisa, A., Croen., Julie, L., Daniels., M., Daniele, Fallin., Christine, Ladd-Acosta., Brian, K., Lee., Brian, K., Lee., Bo, Y., Park., Nathaniel, W., Snyder., Diana, Schendel., Diana, Schendel., Heather, E., Volk., Gayle, C., Windham., Craig, J., Newschaffer. (2017). 10. The Changing Epidemiology of Autism Spectrum Disorders. *Annual Review of Public Health*, doi: 10.1146/ANNUREV-PUBLHEALTH-031816-044318
- Kristin, S., Bowman., Victoria, D., Suarez., Mary, Jane, Weiss. (2021). 7. Standards for Interprofessional Collaboration in the Treatment of Individuals With Autism. *Behavior analysis in practice*, doi: 10.1007/S40617-021-00560-0
- Krogh-Jespersen, S., & Woodward, A. L. (2018). Reaching the goal: Active experience facilitates 8-month-old infants' prospective analysis of goal-based actions. *Journal of Experimental Child Psychology, 171*, 31-45
- Kuo, Nai-Chi, & Wang Yu, (2024). Recent advances in the virtual reality technology for treating children with autism spectrum disorder. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 26*(4).
- Lang, R., Regeister, A., Lauderdale, S., Ashbaugh, K., & Haring, A. (2010). Treatment of anxiety in autism spectrum disorders using cognitive behavior therapy: A systematic review. *Developmental Neurorehabilitation, 13*(1), 53–63.
- Laplaud, N., Perrochon, A., Gallou-Guyot, M., Moens, M., Goudman, L., David, R., ... & Billot, M. (2023). Management of post-traumatic stress disorder symptoms by yoga: an overview. *BMC complementary medicine and therapies, 23*(1), 258.

- Laufer, Y., Ashkenazi, T., & Josman, N. (2008). The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & posture*, 27(2), 347-351.
- Leanne, O., Nieforth., Amy, J., Schwichtenberg., Marguerite, E., O’Haire. (2021). 9. Animal-Assisted Interventions for Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of the Literature from 2016 to 2020. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, doi: 10.1007/S40489-021-00291-6
- Lee., Hsiu-Ting, Hsu. (2023). 10. Applied the augmented reality technology combined with social stories strategies and computational thinking games to improve the social skills of children with ASD. *Interactive Learning Environments*, doi: 10.1080/10494820.2023.2258942
- Lei, Li., Changchun, He., Taorong, Jian., Xiaonan, Guo., Jinming, Xiao., Ya, Li., Heng, Chen., Xiaodong, Kang., Huafu, Chen., Xujun, Duan. (2021). 8. Attenuated link between the medial prefrontal cortex and the amygdala in children with autism spectrum disorder: Evidence from effective connectivity within the “social brain”. *Progress in Neuro-psychopharmacology & Biological Psychiatry*, doi: 10.1016/J.PNPBP.2020.110147
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, 30(6), 718-729.
- Lhara, Mullins. (2023). 2. Engaging with autistic children and their families: Strategies for effective partnerships. *International Journal of Integrated Care*, doi: 10.5334/ijic.icic23033
- Li, L., He, C., Jian, T., Guo, X., Xiao, J., Li, Y., ... & Duan, X. (2021). Attenuated link between the medial prefrontal cortex and the amygdala in children with autism spectrum disorder: Evidence from effective connectivity within the “social

brain". *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 111, 110147.

- Lia, de, Oliveira, Jereissati., Tiago, Antonioli., Amanda, Rebouças, Bezerra, de, Menezes., G., M., F., Gomes., Stéfani, Lara, Galvão., Nayla, Lima, dos, Santos., Pâmella, Cardoso., Camilla, Costa, Sallem., Lara, Maria, Fujita, Vieira, Lima., Micael, Porto, Portela, Lima., Júlio, César, Claudino, dos, Santos. (2023). 1. The role of medial prefrontal cortex in cognition, aging and Parkinson disease. doi: 10.52600/2965-0968.bjcmr.2023.1.3.28-40
- Liang, X., Li, R., Wong, S. H., Sum, R. K., & Sit, C. H. (2020). Accelerometer-measured physical activity levels in children and adolescents with autism spectrum disorder: A systematic review. *Preventive Medicine Reports*, 19, 101147.
- Liang, X., Li, R., Wong, S. H., Sum, R. K., Wang, P., Yang, B., & Sit, C. H. (2022). The effects of exercise interventions on executive functions in children and adolescents with autism spectrum disorder: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 52(1), 75-88.
- Liao, M., Duan, H., & Wang, G. (2022). Application of machine learning techniques to detect the children with autism spectrum disorder. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022(1), 9340027.
- Liu, T., & Breslin, C. M. (2013). Fine and gross motor performance of the MABC-2 by children with autism spectrum disorder and typically developing children. *Research in autism spectrum disorders*, 7(10), 1244-1249.
- Liu, T., & Breslin, C. M. (2013). The effect of a picture activity schedule on performance of the MABC-2 for children with autism spectrum disorder. *Research Quarterly for Exercise and Sport*.

- Liu, T., Capistran, J., & ElGarhy, S. (2021). Fine and gross motor competence in children with autism spectrum disorder. *The Physical Educator*, 78(3), 227–241. <https://doi.org/10.18666/TPE-2021-V78-I3-9644>
- Llorente, A. M., Voigt, R. G., Williams, J., Frailey, J. K., Satz, P., & D'Elia, L. F. (2009). Children's Color Trails Test 1 & 2: test–retest reliability and factorial validity. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(4), 645-660.
- Lloyd, M., MacDonald, M., & Lord, C. (2013). Motor skills of toddlers with autism spectrum disorders. *Autism*, 17(2), 133–146. <https://doi.org/10.1177/1362361311402230>
- Long-fei, Li., Anni, Wang., Qun, Fang., Michelle, E, Moosbrugger. (2023). 10. Physical Activity Interventions for Improving Cognitive Functions in Children With Autism Spectrum Disorder: Protocol for a Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials.. *JMIR Research Protocols*, doi: 10.2196/40383
- Luck SJ, Gaspelin N. How to get statistically significant effects in any ERP experiment (and why you shouldn't). *Psychophysiology*. 2017 Jan;54(1):146-157. doi: 10.1111/psyp.12639. PMID: 28000253; PMCID: PMC5178877.
- Lushekina, E.A., Khaerdinova, O.Y., Lushekin, V.S. et al. Interhemispheric differences in the spectral power and coherence of EEG rhythms in children with autism spectrum disorders. *Hum Physiol* 43, 265–273 (2017). <https://doi.org/10.1134/S0362119717030112>
- M., Sousa., T., Costa., Yloma, Fernanda, de, Oliveira, Rocha. (2024). 2. A importância da análise do comportamento aplicada no contexto escolar com alunos autistas. doi: 10.69849/revistaft/ar10202408081821
- Maathumai, Ranjan. (2023). 5. Understanding Autism Prevalence. *Social Science Research Network*, doi: 10.2139/ssrn.4638072

- Mackenzie, Dolecheck., Cari, E., Autry., Lori, Ann, Eldridge., David, P., Loy., Clifton, E., Watts. (2024). 1. Farm Animal-Assisted Therapy Using Farm Animals for Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Therapeutic recreation journal*, doi: 10.18666/trj-2024-v58-i3-12094
- Maddox BB, Crabbe SR, Fishman JM, Beidas RS, Brookman-Frazee L, Miller JS, Nicolaidis C, Mandell DS. Factors Influencing the Use of Cognitive-Behavioral Therapy with Autistic Adults: A Survey of Community Mental Health Clinicians. *J Autism Dev Disord*. 2019 Nov;49(11):4421-4428. doi: 10.1007/s10803-019-04156-0. PMID: 31385175; PMCID: PMC6814555.
- Mahayuddin, Z. R., & Mamat, N. (2019). Implementing augmented reality (AR) on phonics-based literacy among children with autism. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(6), 2176-2181.
- Marco, Solmi., Minjin, Song., Dong, Keon, Yon., et al.,,Samuele, Cortese. (2022). Incidence, prevalence, and global burden of autism spectrum disorder from 1990 to 2019 across 204 countries. *Molecular Psychiatry*, doi: 10.1038/s41380-022-01630-7
- Maria, Fernanda, Cedeño-Bruzual., Carolina, Sáez-Alarcón., Monica, et al..Klaus, Ficher. (2023). Animal-Assisted Therapy in Children Living with Autism Spectrum Disorder: A Literature Review of Randomized Controlled Trials. *Principles and practice of clinical research*, doi: 10.21801/ppcrj.2023.93.5
- Masi A, DeMayo MM, Glozier N, Guastella AJ. An Overview of Autism Spectrum Disorder, Heterogeneity and Treatment Options. *Neurosci Bull*. 2017;33(2):183–93; <https://doi.org/10.1007/s12264-017-0100-y>
- Mattia, Chini., Ileana, L., Hanganu-Opatz. (2021). Prefrontal Cortex Development in Health and Disease: Lessons from Rodents and Humans.. *Trends in Neurosciences*, doi: 10.1016/J.TINS.2020.10.017

- Mazefsky CA, Herrington J, Siegel M, Scarpa A, Maddox BB, Scahill L, White SW. The role of emotion regulation in autism spectrum disorder. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2013 Jul;52(7):679-88. doi: 10.1016/j.jaac.2013.05.006. Epub 2013 Jun 3. PMID: 23800481; PMCID: PMC3719386.
- Mazurek, M. O. (2013). Social media use among adults with autism spectrum disorders. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1709-1714.
- Medina, G. B. K., & Guimarães, S. R. K. (2021). Reading in developmental dyslexia: the role of phonemic awareness and executive functions. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 38, e180178.
- Mehdi, Zemestani., Omid, Hoseinpanahi., Mohammad, Ali, Salehinejad., Michael, A., Nitsche. (2022). 4. The impact of prefrontal transcranial direct current stimulation (tDCS) on theory of mind, emotion regulation and emotional-behavioral functions in children with autism
- Mehdizadehfar, V., Ghassemi, F., Fallah, A., & Pouretamad, H. (2020). EEG study of facial emotion recognition in the fathers of autistic children. *Biomedical Signal Processing and Control*, 56, 101721.
- Menghini, D., Armando, M., Calcagni, M., Napolitano, C., Pasqualetti, P., Sergeant, J. A., ... & Vicari, S. (2018). The influence of generalized anxiety disorder on executive functions in children with ADHD. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 268, 349-357.
- Merve, Cikili, Uytun. (2018). Development Period of Prefrontal Cortex. doi: 10.5772/INTECHOPEN.78697
- Miles JH. Autism spectrum disorders--a genetics review. *Genet Med*. 2011;13(4):278-94. <https://doi.org/10.1097/GIM.0b013e3181ff67ba>

- Millie, Belnekar. (2024). Autism Spectrum Disorder: An Evaluation of Sports Therapy as an Effective Treatment Plan. *Journal of Student Research*, doi: 10.47611/jsrhs.v13i2.6618
- Mirena, Dimolareva., Thomas, J., Dunn. (2021). 10. Animal-Assisted Interventions for School-Aged Children with Autism Spectrum Disorder: A Meta-Analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, doi: 10.1007/S10803-020-04715-W
- Modabbernia, A., Velthorst, E., & Reichenberg, A. (2017). Environmental risk factors for autism: an evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses. *Molecular autism*, 8, 1-16.
- Monteiro, R., Simões, M., Andrade, J., & Castelo Branco, M. (2017). Processing of facial expressions in autism: a systematic review of EEG/ERP evidence. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 4(4), 255-276.
- Montgomery, R. M. (2024). Exploring Altered Neural Connectivity in Autism Spectrum Disorder: A Simulation of Spatial and Topological Proximities. *Int J Psychiatry*, 9(2), 01-08.
- Mortimer, R., Privopoulos, M., & Kumar, S. (2014). The effectiveness of hydrotherapy in the treatment of social and behavioral aspects of children with autism spectrum disorders: a systematic review. *Journal of multidisciplinary healthcare*, 93-104.
- Movahedi, A., Bahrami, F., Marandi, S. M., & Abedi, A. (2013). Improvement in social dysfunction of children with autism spectrum disorder following long term Kata techniques training. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(9), 1054-1061.
- Nada, Kojovic., Shreyasvi, Natraj., Sharada, P., Mohanty., Thomas, Maillart., Marie, Schaeer. (2021). 6. Using 2D video-based pose estimation for automated prediction of autism spectrum disorders in young children.. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/S41598-021-94378-Z

- Nader, Salari., Shna, Rasoulpoor., Shamarina, Shohaimi., Sima, Jafarpour., Nasrin, Abdoli., Behnam, Khaledi-Paveh., Masoud, Mohammadi. (2022). 6. The global prevalence of autism spectrum disorder: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Italian Journal of Pediatrics*, doi: 10.1186/s13052-022-01310-w
- Natasha, Amira, binti, Hushairi., et al... Kee, Jiar, Yeo., Lina, Handayani. (2024). Effectiveness of AutistAR to enhance communication and social skills among children with autism. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, doi: 10.11591/ijere.v13i5.28960
- Neelima, Wagley., Neelima, Wagley., Renee, Lajiness-O'Neill., Jessica, F., Hay., Margaret, Ugolini., Susan, M., Bowyer., Ioulia, Kovelman., Jonathan, Brennan. (2020). 10. Predictive processing during a naturalistic statistical learning task in ASD. doi: 10.1523/ENEURO.0069-19.2020
- Nekar, D. M., Lee, D. Y., Hong, J. H., Kim, J. S., Kim, S. G., Seo, Y. G., & Yu, J. H. (2022). Effects of Augmented Reality Game-Based Cognitive–Motor Training on Restricted and Repetitive Behaviors and Executive Function in Patients with Autism Spectrum Disorder. *Healthcare* 10(10) 1981-1992.
- Nezamuldeen, L., & Jafri, M. S. (2024). Boolean Modeling of Biological Network Applied to Protein–Protein Interaction Network of Autism Patients. *Biology*, 13(8), 606.
- Nicole, Anthony., Erica, Campbell. (2020). 6. Promoting Collaboration Among Special Educators, Social Workers, and Families Impacted by Autism Spectrum Disorders. doi: 10.1007/S41252-020-00171-W
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2014). The neural bases of emotion and emotion regulation: A valuation perspective. *Handbook of emotional regulation*, 2nd ed. New York: Guilford, 23-41.

- Onur, Oral. (2023). 9. "Comparison of Physiological and Psychological Contributions of Autism Exercise Methods to Autistic Individuals". doi: 10.26717/bjstr.2023.53.008420
- O'Shea, M., Capon, H., Evans, S., Agrawal, J., Melvin, G., O'Brien, J., & McIver, S. (2022). Integration of hatha yoga and evidence-based psychological treatments for common mental disorders: An evidence map. *Journal of Clinical Psychology*, 78(9), 1671-1711.
- Owens, J. A., Spirito, A., & McGuinn, M. (2000). The Children's Sleep Habits Questionnaire (CSHQ): Psychometric properties of a survey instrument for school-aged children. *Sleep*, 23(8), 1-9.
- P, Kjelgaard MM, Gandhi TK, Tsourides K, Cardinaux AL, Pantazis D, Diamond SP, Held RM. Autism as a disorder of prediction. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014 Oct 21;111(42):15220-5. doi: 10.1073/pnas.1416797111. Epub 2014 Oct 6. PMID: 25288765; PMCID: PMC4210351.
- Pan CY, Sung MC, Tsai CL, Chen FC, Chen YJ, Chen CC. The relationships between motor skills and executive functions in children with and without autism spectrum disorder. *Autism Res*. 2024 Jun;17(6):1149-1160. doi: 10.1002/aur.3136. Epub 2024 Apr 20. PMID: 38641916.
- Pan, C. Y. (2011). The efficacy of an aquatic program on physical fitness and aquatic skills in children with and without autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 5(1), 657-665.
- Paruthi, 2016 <https://doi.org/10.5664/jcsm.5866>
- Pawan, Sinha., Margaret, M., Kjelgaard., Tapan, K., Gandhi., Kleovoulos, Tsourides., Annie, Cardinaux., Dimitrios, Pantazis., Sidney, Diamond., Richard, Held. (2014). 9. Autism as a disorder of prediction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, doi: 10.1073/PNAS.1416797111

- Pellecchia, M., Connell, J.E., Kerns, C.M., Xie, M., Marcus, S.C., & Mandell, D.S. (2015). Child characteristics associated with outcome for children with autism in a schoolbased behavioral intervention. *Autism*, 1362361315577518.
- Perihan, C., Burke, M., Bowman-Perrott, L., Bicer, A., Gallup, J., Thompson, J., & Sallese, M. (2020). Effects of Cognitive Behavioral Therapy for Reducing Anxiety in Children with High Functioning ASD: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of autism and developmental disorders*, 50(6), 1958–1972. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-03949-7>
- Peristeri, E., Vogelzang, M., & Tsimpli, I. M. (2021). Bilingualism effects on the cognitive flexibility of autistic children: Evidence from verbal dual-task paradigms. *Neurobiology of Language*, 2(4), 558-585.
- Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R., Vazou, S., Sääkslahti, A., & Tomporowski, P. D. (2016). Deliberate play and preparation jointly benefit motor and cognitive development: Mediated and moderated effects. *Frontiers in Psychology*, 7, 349. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00349>
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Priscilla, Souza, de, Sá. (2024). 6. Benefit of using applied behavior analysis (aba) in stimulating speech in autistic children. *Revista Gênero e Interdisciplinaridade*, doi: 10.51249/gei.v5i02.1936
- Quinzi, F., Berchicci, M., Bianco, V., Perri, R. L., & Di Russo, F. (2019). The independency of the Bereitschaftspotential from previous stimulus-locked P3 in visuomotor response tasks. *Psychophysiology*, 56(3), e13296
- Rachel, Severs., Christina, R., Noel., Ronda, C., Talley., Yvette, Q., Getch. (2020). 8. A Collaborative Perspectives Approach for Effective Care Coordination in Autism Spectrum Disorder. doi: 10.1007/S41252-020-00154-X

- Rahmah, El, Yunusiyah., Devy, Habibi, Muhammad. (2024). 5. Penerapan metode applied behaviour analysis (aba) untuk anak autisme pada pembelajaran al-qur'an di sekolah dasar islam terpadu permata kota probolinggo. *Imtiyaz : jurnal ilmu keislaman*, doi: 10.46773/imtiyaz.v8i1.1010
- Ramello de Carvalho, A. C., Quintas, R., Blascovi-Assis, S., & Seabra, A. (2020). Motor performance, intelligence, and executive function in children with ASD. *International Journal of Development Research*, 10, 34053–34060.
- Reaven J, Blakeley-Smith A, Leuthe E, Moody E, Hepburn S. Facing your fears in adolescence: cognitive-behavioral therapy for high-functioning autism spectrum disorders and anxiety. *Autism Res Treat.* 2012;2012:423905. doi: 10.1155/2012/423905. Epub 2012 Oct 3. PMID: 23091719; PMCID: PMC3471403.
- Reinders, N.J.; Branco, A.; Wright, K.; Fletcher, P.C.; Bryden, P.J. Scoping Review: Physical Activity and Social Functioning in Young People with Autism Spectrum Disorder. *Front. Psychol.* 2019, 10, 120. [CrossRef]
- Reisli, S., Crosse, M., & Molholm, S. (2023). Atypical Tuning of Prediction Certainty in Autism: An EEG study on Anticipatory Processing During a Probabilistic Target Detection Task.
- Robert, P., Adelson., Madalina, Ciobanu., Anurag, Garikipati., et al.. Ritankar, Das. (2024). Family-Centric Applied Behavior Analysis Promotes Sustained Treatment Utilization and Attainment of Patient Goals. *Cureus*, doi: 10.7759/cureus.62377
- Rodgers J, Wigham S, McConachie H, Freeston M, Honey E, Parr JR. Development of the anxiety scale for children with autism spectrum disorder (ASC-ASD). *Autism Res.* 2016 Nov;9(11):1205-1215. doi: 10.1002/aur.1603. Epub 2016 Feb 17. PMID: 26887910.
- Rutter M, Bailey A, Lord C. *Social Communication Questionnaire (SCQ)*. Los Angeles: Western Psychological Services, 2003.

- Sammels, O., Karjalainen, L., Dahlgren, J., & Wentz, E. (2022). Autism spectrum disorder and obesity in children: a systematic review and meta-analysis. *Obesity facts*, 15(3), 305-320.
- Santos, J. L. d. S., Araújo, C. d. A., Rocha, C. A. G., Costa-Ferro, Z. S. M., & Souza, B. S. d. F. (2023). Modeling Autism Spectrum Disorders with Induced Pluripotent Stem Cell-Derived Brain Organoids. *Biomolecules*, 13(2), 260. <https://doi.org/10.3390/biom13020260>
- Sapey-Triomphe, L. A., Pattyn, L., Weilhhammer, V., Sterzer, P., & Wagemans, J. (2023). Neural correlates of hierarchical predictive processes in autistic adults. *Nature communications*, 14(1), 3640. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38580-9>
- Sara, Suárez-Manzano., Alberto, Ruiz-Ariza., Nuno, Eduardo, Marques, de, Loureiro., Emilio, J., Martínez-López. (2024) Effects of Physical Activity on Cognition, Behavior, and Motor Skills in Youth with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of Intervention Studies. *Behavioral science*, doi: 10.3390/bs14040330
- Sarabzadeh, 2019, DOI: 10.1016/j.jbmt.2019.01.007
- Sarkissian, M., Trent, N. L., Huchting, K., & Khalsa, S. B. S. (2018). Effects of a Kundalini yoga program on elementary and middle school students' stress, affect, and resilience. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 39(3), 210-216.
- Satterstrom FK, Kosmicki JA, Wang J, Breen MS, De Rubeis S, An J-Y, et al. Large-Scale Exome Sequencing Study Implicates Both Develop
- Schaefer, G.B.; Mendelsohn, N.J.; Professional Practice and Guidelines Committee. Clinical genetics evaluation in identifying the etiology of autism spectrum disorders: 2013 guideline revisions. *Genet. Med.* 2013, 15, 399–407.
- Schurink, J., Hartman, E., Scherder, E. J. A., Houwen, S., & Visscher, C. (2012). Relationship between motor and executive functioning in school-age children with

pervasive developmental disorder not otherwise specified. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2), 726–732. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.10.013>

- Sefen, J. A. N., Al-Salmi, S., Shaikh, Z., AlMulhem, J. T., Rajab, E., & Fredericks, S. (2020). Beneficial use and potential effectiveness of physical activity in managing autism spectrum disorder. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 14, 587560.
- Seifer, R., Sameroff, A. J., Dickstein, S., Hayden, L. C., & Schiller, M. (1996). Parental psychopathology and sleep variation in children. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 5(3), 715-727.
- Shahane, V., Kilyk, A., & Srinivasan, S. M. (2023). Effects of physical activity and exercise-based interventions in young adults with autism spectrum disorder: A systematic review. *Autism*, 13623613231169058
- Shibasaki, H., & Hallett, M. (2006). What is the Bereitschaftspotential?. *Clinical neurophysiology*, 117(11), 2341-2356
- Shlomit, Beker., John, J., Foxe., John, J., Foxe., Sophie, Molholm. (2021). Oscillatory entrainment mechanisms and anticipatory predictive processes in children with autism spectrum disorder.. *Journal of Neurophysiology*, doi: 10.1152/JN.00329.2021
- Shlomit, Beker., John, J., Foxe., John, J., Foxe., Sophie, Molholm., Sophie, Molholm. (2020). 3. Oscillatory entrainment mechanisms and anticipatory predictive processes in Autism Spectrum Disorder (ASD). *bioRxiv*, doi: 10.1101/2020.05.07.083154
- Shu-Jou, Sun., An-Chin, Huang., Wei, Sho, Ho. (2024). 5. Enhancing Social Skills in Autism Students with Augmented-Reality Picturebooks. *Applied Sciences*, doi: 10.3390/app14114907
- Shumeng, Hou., Ning, Liu., Jun, Zou., Xuejiao, Yin., Xinyue, Liu., Shihua, Zhang., Jiesheng, Chen., Zhen, Wei. (2022). 3. Young children with autism show atypical prefrontal cortical responses to humanoid robots: An fNIRS study.. *International Journal of Psychophysiology*, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2022.08.008

- Sidenkova, A. (2024). The biological modeling of autism spectrum disorders. *European Psychiatry*, 67(S1), S468-S468.
- Sinha, P., Kjelgaard, M. M., Gandhi, T. K., Tsourides, K., Cardinaux, A. L., Pantazis, D., ... & Held, R. M. (2014). Autism as a disorder of prediction. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(42), 15220-15225
- Siu MT, Weksberg R (2017) Epigenetica del disturbo dello spettro autistico. *Adv Exp Med Biol* 978:63–90
- Snaith, N., Schultz, T., Proeve, M., & Rasmussen, P. (2018). Mindfulness, self-compassion, anxiety and depression measures in South Australian yoga participants: implications for designing a yoga intervention. *Complementary therapies in clinical practice*, 32, 92-99.
- Sneddon P, Peacock GG, Crowley SL. Assessment of sleep problems in preschool aged children: an adaptation of the Children's sleep habits questionnaire. *Behav Sleep Med*. 2013;11(4):283–296.
- Solié, C., Girard, B., Righetti, B., Tapparel, M., & Bellone, C. (2022). VTA dopamine neuron activity encodes social interaction and promotes reinforcement learning through social prediction error. *Nature neuroscience*, 25(1), 86–97. <https://doi.org/10.1038/s41593-021-00972-9>
- Solish, A., Klemencic, N., Ritzema, A., Nolan, V., Pilkington, M., Anagnostou, E., & Brian, J. (2020). Effectiveness of a modified group cognitive behavioral therapy program for anxiety in children with ASD delivered in a community context. *Molecular autism*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13229-020-00341-6>
- Sowa, M., & Meulenbroek, R. (2012). Effects of physical exercise on autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Research in autism spectrum disorders*, 6(1), 46-57.

- Spain, D., & Happé, F. (2020). How to optimise cognitive behaviour therapy (CBT) for people with autism spectrum disorders (ASD): A Delphi study. *Journal of Rational-Emotive & Cognitive-Behavior Therapy*, 38(2), 184–208.
- Spain, D., Milner, V., Mason, D., Iannelli, H., Attoe, C., Ampegama, R., Kenny, L., Saunders, A., Happé, F., & Marshall-Tate, K. (2023). Improving Cognitive Behaviour Therapy for Autistic Individuals: A Delphi Survey with Practitioners. *Journal of rational-emotive and cognitive-behavior therapy : RET*, 41(1), 45–63. <https://doi.org/10.1007/s10942-022-00452-4>
- Sperdin, H. F., Coito, A., Kojovic, N., Rihs, T. A., Jan, R. K., Franchini, M., Plomp, G., Vulliemoz, S., Eliez, S., Michel, C. M., & Schaer, M. (2018). Early alterations of social brain networks in young children with autism. *eLife*, 7, e31670. <https://doi.org/10.7554/eLife.31670>
- Subara-Zukic, E., Cole, M. H., McGuckian, T. B., Steenbergen, B., Green, D., Smits-Engelsman, B. C., ... & Wilson, P. H. (2022). Behavioral and neuroimaging research on developmental coordination disorder (DCD): A combined systematic review and meta-analysis of recent findings. *Frontiers in psychology*, 13, 809455.
- Sun, L., Grützner, C., Bölte, S., Wibrall, M., Tozman, T., Schlitt, S., Poustka, F., Singer, W., Freitag, C. M., & Uhlhaas, P. J. (2012). Impaired gamma-band activity during perceptual organization in adults with autism spectrum disorders: evidence for dysfunctional network activity in frontal-posterior cortices. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 32(28), 9563–9573. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1073-12.2012>
- Sun, Y., Lamoreau, R., O'Connell, S., Horlick, R., & Bazzano, A. N. (2021). Yoga and mindfulness interventions for preschool-aged children in educational settings: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 6091.

- Sung, M.-C., Ku, B., Leung, W., & MacDonald, M. (2022). The effect of physical activity interventions on executive function among people with neurodevelopmental disorders: A meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52(3), 1030–1050. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05009-5>
- Susan, Ellis, Weismer., Jenny, R., Saffran. (2022). Differences in Prediction May Underlie Language Disorder in Autism. *Frontiers in Psychology*, doi: 10.3389/fpsyg.2022.897187
- Taemi, Niimi., Yuji, Inaba., Hideo, Honda. (2024). Developmental changes in prefrontal cortex activation in children with or without autism spectrum traits on near-infrared spectroscopy. *Brain & Development*, doi: 10.1016/j.braindev.2024.03.006
- Tami, Peterson., Jessica, Dodson., Robert, Sherwin., Frederick, Strale. (2024). The Effects of Age and Treatment Intensity on Behavioral Target Mastery With Applied Behavior Analysis (ABA) Intervention Using Causal Moderation Models. *Cureus*, doi: 10.7759/cureus.67179
- Teixeira, G. *Manual do Autismo*, 1st ed.; Best Seller: Rio de Janeiro, Brazil, 2019.
- Tse, A. C., Liu, V. H., Lee, P. H., Anderson, D. I., & Lakes, K. D. (2023). The relationships among executive functions, self-regulation, and physical exercise in children with autism spectrum disorder. *Autism*, 13623613231168944
- Tu, G., Guo, Y., Xiao, R., Tang, L., Hu, M., & Liao, B. (2023). Effects of Exercise Training on the Phosphoproteomics of the Medial Prefrontal Cortex in Rats With Autism Spectrum Disorder Induced by Valproic Acid. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 37(2-3), 94-108
- Unterrainer, J. M., Rahm, B., Loosli, S. V., Rauh, R., Schumacher, L. V., Biscaldi, M., & Kaller, C. P. (2020). Psychometric analyses of the Tower of London planning task reveal high reliability and feasibility in typically developing children and child patients with ASD and ADHD. *Child Neuropsychology*, 26(2), 257-273.

- Van Aalst, J., Ceccarini, J., Demyttenaere, K., Sunaert, S., & Van Laere, K. (2020). What has neuroimaging taught us on the neurobiology of yoga? A review. *Frontiers in integrative neuroscience*, *14*, 34.
- Van den Bergh BRH, van den Heuvel MI, Lahti M, Braeken M, de Rooij SR, Entringer S, Hoyer D, Roseboom T, Räikkönen K, King S, Schwab M (2017) Prenatal developmental origins of behavior and mental health: The influence of maternal stress in pregnancy. *Neurosci Biobehav Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.003>
- Vargas, D. L., Nascimbene, C., Krishnan, C., Zimmerman, A. W., & Pardo, C. A. (2005). Neuroglial activation and neuroinflammation in the brain of patients with autism. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, *57*(1), 67-81.
- Veenstra-VanderWeele, J., O'Reilly, K. C., Dennis, M. Y., Uribe-Salazar, J. M., & Amaral, D. G. (2023). Translational Neuroscience approaches to understanding autism. *American Journal of Psychiatry*, *180*(4), 265-276.
- Vellingiri, B.; Mahalaxmi, I.; Raj, N.; Narayanasamy, A.; Gopalakrishnan, A.V. New insights into Epigenetics as an Influencer: An associative study betwematernal prenatal factors in Autism Spectrum Disorder (ASD). *N en eurol. Perspect.* **2022**, *2*, 78–86.
- Vodakova, E., Chatziioannou, D., Jesina, O., & Kudlacek, M. (2022). The effect of Halliwick method on aquatic skills of children with autism spectrum disorder. *International journal of environmental research and public health*, *19*(23), 16250.
- Voigt RG, Llorente AM, Jensen CL, Fraley JK, Berretta MC, Heird WC. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of docosahexaenoic acid

supplementation in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Pediatr.* 2001 Aug;139(2):189-96. doi: 10.1067/mpd.2001.116050. PMID: 11487742.

- Volkmar FR, Wolf JM. When children with autism become adults. *World Psychiatry.* 2013;12(1);79–80; <https://doi.org/10.1002/wps.20020>
- Volkmar, F. R., & Reichow, B. (2014). The evolution of autism as a diagnostic concept: From Kanner to DSM-5: A commentary. *Handbook of autism and anxiety*, 217-230.
- Walsh, D., Belton, S., Meegan, S., Bowers, K., Corby, D., Staines, A., ... & Sweeney, M. R. (2018). A comparison of physical activity, physical fitness levels, BMI and blood pressure of adults with intellectual disability, who do and do not take part in Special Olympics Ireland programmes: Results from the SOPHIE study. *Journal of Intellectual Disabilities*, 22(2), 154-170.
- Wang C, Geng H, Liu W, Zhang G (2017) Fattori prenatali, perinatali e postnatali associati all'autismo: una meta-analisi. *Medicine (Baltimore)* 96:e6696
- Waumans, R. C., Terwee, C. B., Van den Berg, G., Knol, D. L., Van Litsenburg, R. R., & Gemke, R. J. (2010). Sleep and sleep disturbance in children: Reliability and validity of the Dutch version of the Child Sleep Habits Questionnaire. *Sleep*, 33(6), 841-845.
- Weaver, L. L., & Darragh, A. R. (2015). Systematic review of yoga interventions for anxiety reduction among children and adolescents. *The American Journal of Occupational Therapy*, 69(6), 6906180070p1-6906180070p9.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 159-177.
- Wickens, C. D., & Kessel, C. (1980). Processing resource demands of failure detection in dynamic systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6(3), 564.

- Wigham, S., & McConachie, H. (2014). Systematic review of the properties of tools used to measure outcomes in anxiety intervention studies for children with autism spectrum disorders. *PloS One*, 9(1), e85268.
- Williams J, Rickert V, Hogan J, Zolten AJ, Satz P, D'Elia LF, Asarnow RF, Zaucha K, Light R. Children's color trails. *Arch Clin Neuropsychol*. 1995 May;10(3):211-23. PMID: 14588688.
- Wilson, R. B. (2022). Improving awareness, identification, and treatment of motor impairments in Autism. *Pediatrics*, 149(Supplement 4).
- Wollesen, B., Janssen, T. I., Müller, H., & Voelcker-Rehage, C. (2022). Effects of cognitive-motor dual task training on cognitive and physical performance in healthy children and adolescents: A scoping review. *Acta Psychologica*, 224, 103498.
- Wu S, Wu F, Ding Y, Hou J, Bi J, Zhang Z. Advanced parental age and autism risk in children: a systematic review and meta-analysis. *Acta Psychiatr Scand*. 2017;135(1):29–41. <https://doi.org/10.1111/acps.12666>
- Wu, J., Qiu, P., Lv, S., Chen, M., & Li, Y. (2024). The effects of cognitive-motor dual-task training on athletes' cognition and motor performance. *Frontiers in Psychology*, 15, 1284787.
- Wunsch, K., Pfister, R., Henning, A., Aschersleben, G., & Weigelt, M. (2016). No interrelation of motor planning and executive functions across young ages. *Frontiers in Psychology*, 7, 1031.
- Yang, J., Gu, W., & Feng, C. (2022). Evaluating interactive language for children with autism spectrum disorder (ASD) in different contexts. *Children*, 9(6), 787.
- Yang-An, Li., Ze-Jian, Chen., Xiao-dan, Li., Ming-Hui, Gu., Nan, Xia., Chen, Gong., Zhaoe, Zhou., Gvzalnur, Yasin., Hao-Yu, Xie., Xiupan, Wei., Yali, Liu., Xiao-hua, Han., M., Lu., Jiang, Xu., Xiaolin, Huang. (2022). 2. Epidemiology of autism

spectrum disorders: Global burden of disease 2019 and bibliometric analysis of risk factors. *Frontiers in Pediatrics*, doi: 10.3389/fped.2022.972809

- Yifan, Wu., Limin, Ding., Qiao, Zhang., Yu, Dong., Chenyang, Tao., Zhenyuan, Li., Zhaowei, Li., LU, Li-ming. (2024). 1. The effect of physical exercise therapy on autism spectrum disorder:a systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Research-neuroimaging*, doi: 10.1016/j.psychres.2024.116074
- Yinhua, Li., Zhi, Zou., Wanting, Lan., Ying, Ying, Shen., Cong, Tong., C., Sit., Xiaohui, Hou. (2023). 8. The Effects of Physical Activity Interventions in Children with Autism Spectrum Disorder: a Systematic Review and Network Meta-analysis. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, doi: 10.1007/s40489-023-00418-x
- Yuta, Takahashi., Shingo, Murata., Hayato, Idei., Hiroaki, Tomita., Yuichi, Yamashita. (2021). 2. Neural network modeling of altered facial expression recognition in autism spectrum disorders based on predictive processing framework. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/S41598-021-94067-X
- Zalla, T., Labruyère, N., Clément, A., & Georgieff, N. (2010). Predicting ensuing actions in children and adolescents with autism spectrum disorders. *Experimental Brain Research*, 201, 809-819
- Zamani Sani, H, Hasanpour V, Fathi Rezaei Z., Ghiamirad1 A. (2021). The effectiveness of cognitive-motor exercises on the motor development of children with autism based on Gentile's two-stage model. *Research in Sport Management and Motor Behavior*, 11(21), 109-123.
- Zhang, Y., Keighrey, C., & Murray, N. (2024, June). A VR Intervention to Develop Social Skills in Children with ASD: An Expert Evaluation. In *Proceedings of the 2024 ACM International Conference on Interactive Media Experiences* (pp. 30-40).
- Zhang, Z., Peng, P., & Zhang, D. (2020). Executive function in highfunctioning autism spectrum disorder: A meta-analysis of fMRI studies. *Journal of Autism and*

Developmental Disorders, 50, 4022–4038. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04461-z>

- Zhao, X., Wang, H., Guo, X., Zhang, L., Liu, W., Liu, S., & Ming, D. (2024). Review of joint attention deficit intervention based on virtual reality for children with autism. *Sheng wu yi xue Gong Cheng xue za zhi= Journal of Biomedical Engineering= Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi*, 41(3), 612-619.
- Zheng, X., Zhou, F., Fu, M., Xu, L., Wang, J., Li, J., ... & Kendrick, K. M. (2024). Patterns of neural activity in response to threatening faces are predictive of autistic traits: modulatory effects of oxytocin receptor genotype. *Translational Psychiatry*, 14(1), 168.

APPENDICE A: Protocollo di allenamento Cognitivo-Motorio Dual Task

GIOCO 1: Bandierine in ordine!

Materiali:

- Cronometro
- 15 coni
- 16 cerchi
- 14 funicelle
- 45 bandierine:
 - o 15 bandierine gialle, numerate da 1 a 15
 - o 15 bandierine rosse, numerate da 1 a 15
 - o 15 bandierine gialle, con alfabeto da A a Q

Livello 1:

Disposizione dei materiali:

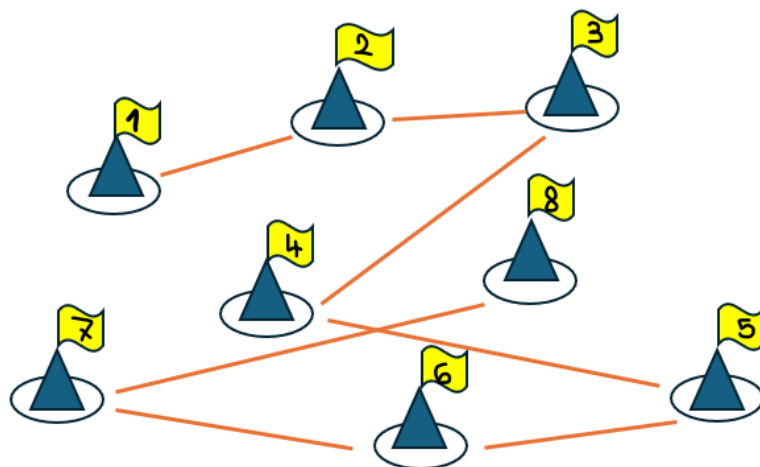
Posizionare ogni cono dentro un cerchio.

Su ogni cono disporre una bandierina numerata da 1 a 15 in ordine sparso.

Unire i coni con le funicelle seguendo la sequenza numerica.

Svolgimento del compito:

Il bambino, correndo deve seguire il percorso disegnato dalle funicelle. Ogni volta che incontra un cono dovrà prendere la bandierina, poggiarla per terra nel cerchio e proseguire il percorso nel minor tempo possibile.



GIOCO 1: Bandierine in ordine!

Livello 2:

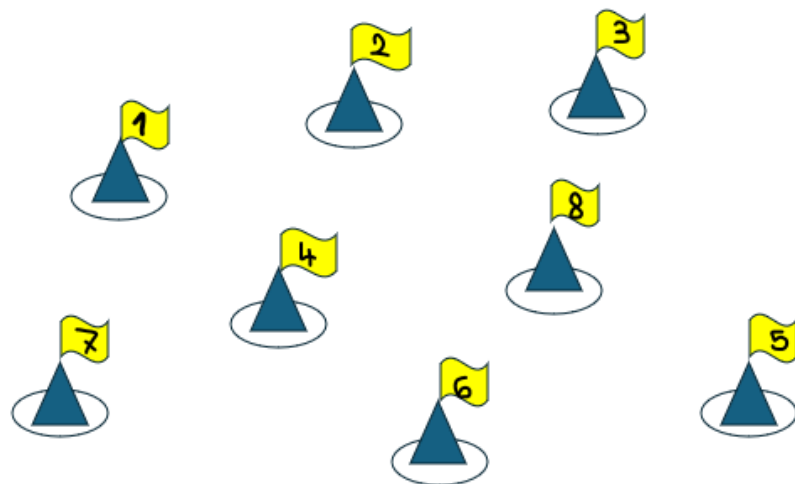
Disposizione dei materiali:

Posizionare ogni cono dentro un cerchio.

Su ogni cono disporre una bandierina numerata da 1 a 15 in ordine sparso.

Svolgimento del compito:

Il bambino, correndo deve cercare le bandierine seguendo l'ordine numerico crescente. Ogni volta che arriva al cono esatto, dovrà poggiare la bandierina per terra nel cerchio e proseguire il percorso nel minor tempo possibile.



GIOCO 1: Bandierine in ordine!

Livello 3:

Disposizione dei materiali:

Posizionare ogni cono dentro un cerchio.

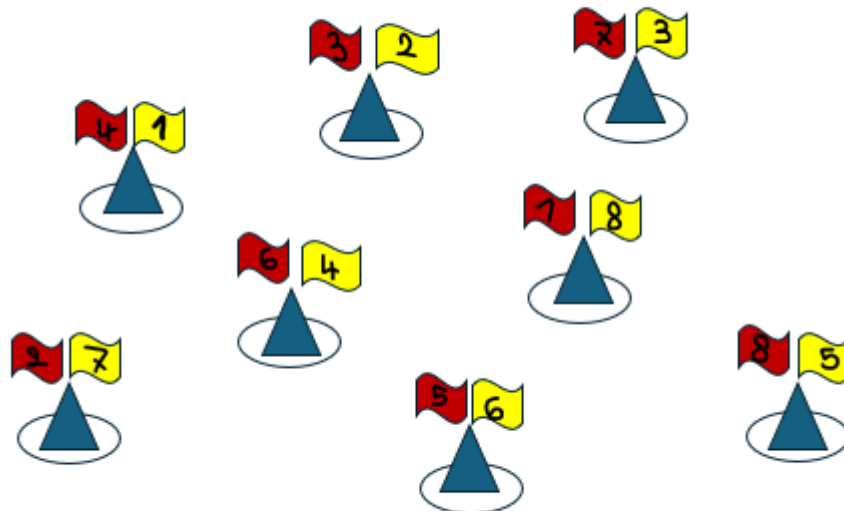
Su ogni cono disporre due bandierine di colore diverso (giallo-rosso).

Entrambe le bandierine sono numerate da 1 a 15.

Svolgimento del compito:

Il bambino, correndo deve cercare le bandierine seguendo l'ordine numerico crescente. Ma alternando i colori (1 giallo, 2 rosso, 3 giallo, 4 rosso....) Ogni volta che arriva al cono esatto, dovrà poggiare la bandierina per terra nel cerchio e proseguire il percorso nel minor tempo possibile.

NOTA: è possibile inserire il palleggio con pallone da basket



GIOCO 1: Bandierine in ordine!

Livello 4:

Disposizione dei materiali:

Posizionare ogni cono dentro un cerchio.

Su ogni cono disporre due bandierine di colore diverso: una numerata da 1 a 15 e una con una lettera da A a Q. Le bandierine corrispondenti (1-A; 2-B...) devono essere disposte in ordine sparso.

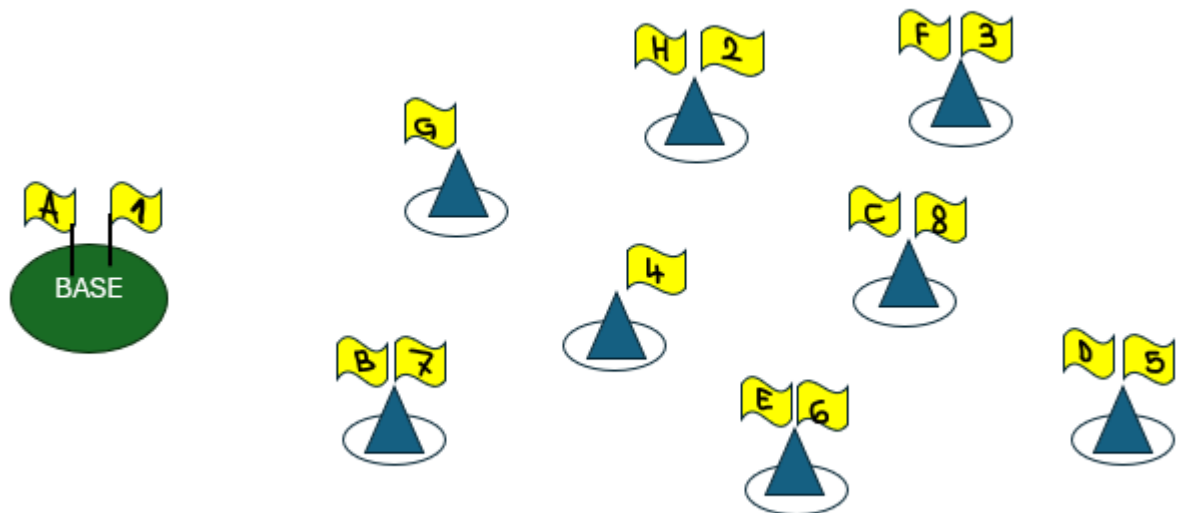
Svolgimento del compito:

Il bambino, parte dal cerchio "base".

Correndo deve cercare e prendere due bandierine (una bandierina numero e una bandierina lettera).

Le bandierine devono essere cercate seguendo l'ordine crescente numerico e l'ordine alfabetico: 1-A, 2-B, 3-C, 4-D

Ogni volta che il bambino trova le due bandierine corrispondenti, dovrà prenderle e portarle alla base nel minor tempo possibile.



Gioco 2: Forme e colori in movimento

Materiali:

- cronometro
- 16 cerchi di tre colori diversi
- Bandierine numerate da 1 a 10
- Forme geometriche / disegni di forme geometriche

Livello 1:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre tre cerchi di colore diverso uno accanto all'altro.

Area di gioco: Disporre i cerchi colorati. Il numero dei cerchi dello stesso colore deve variare ad ogni turno.

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base una cesta con le bandierine numerate.

Svolgimento del compito:

Il bambino si troverà di fronte alla base, sceglierà una forma geometrica, come un quadrato o un triangolo, e lo posizionerà all'interno di un cerchio 'base'.

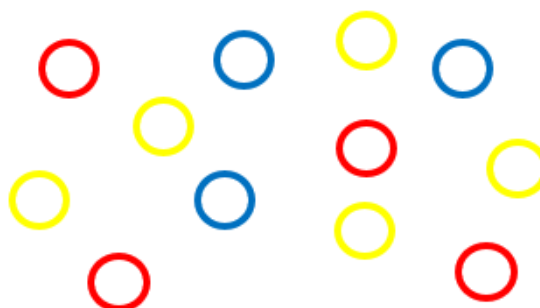
Successivamente dovrà correre e saltare dentro tutti i cerchi dello stesso colore in cui è posizionata la forma. Per esempio, se la figura geometrica è posta all'interno di un cerchio giallo, il bambino dovrà eseguire salti solamente all'interno dei cerchi gialli.

È importante che il bambino tenga traccia del numero di salti effettuati e, al termine dell'esercizio, prenda la bandierina contrassegnata con il numero corrispondente ai suoi salti.

NOTA: ad ogni turno variare il numero di cerchi da saltare!



BASE



AREA DI GIOCO



ARRIVO

Gioco 2: Forme e colori in movimento

Livello 2:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre tre cerchi di colore diverso uno accanto all'altro.

Area di gioco: Disporre i cerchi colorati. Il numero dei cerchi dello stesso colore deve variare ad ogni turno.

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base una cesta con le bandierine numerate.

Svolgimento del compito:

Il bambino si troverà di spalle alla base.

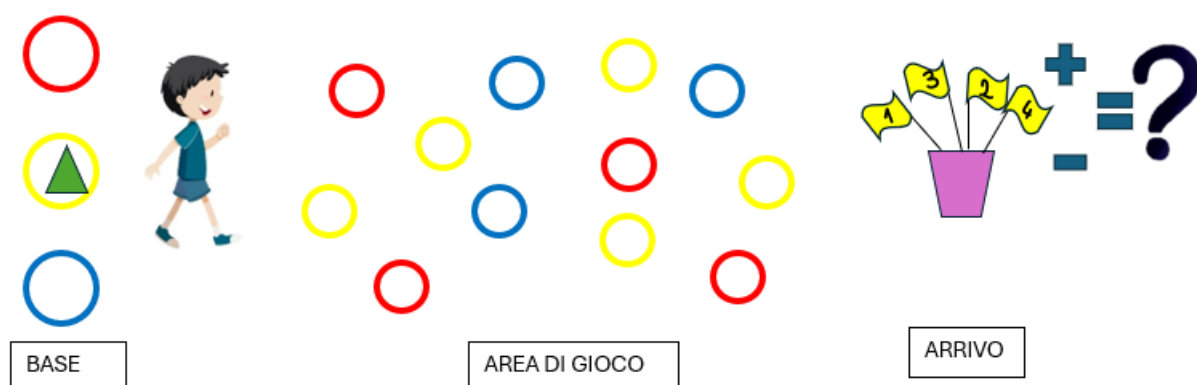
L'operatore posizionerà una forma geometrica, come un quadrato o un triangolo, all'interno di un cerchio 'base'.

Al comando 'VIA', il bambino dovrà girarsi verso la base e prendere visione di dove è stata collocata la forma geometrica.

Successivamente dovrà correre e saltare dentro tutti i cerchi dello stesso colore in cui è posizionata la forma. Per esempio, se la figura geometrica è posta all'interno di un cerchio giallo, il bambino dovrà eseguire salti solamente all'interno dei cerchi gialli.

È importante che il bambino tenga traccia del numero di salti effettuati e, al termine dell'esercizio, prenda la bandierina contrassegnata con il numero corrispondente ai suoi salti, ed esegua l'operazione matematica indicata dall'operatore.

NOTA: ad ogni turno variare il numero di cerchi da saltare!



Gioco 2: Forme e colori in movimento

Livello 3:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre tre cerchi di colore diverso uno accanto all'altro.

Area di gioco: Disporre i cerchi colorati. Il numero dei cerchi dello stesso colore deve variare ad ogni turno.

Svolgimento del compito:

Il bambino si troverà di fronte alla base, sceglierà due forme geometriche diverse (un quadrato e un triangolo) e le posizionerà all'interno di due cerchi 'base' differenti (ex: cerchio rosso-triangolo; cerchio blu-quadrato).

Successivamente dovrà:

- Saltare dentro tutti i cerchi dello stesso colore (rosso) in cui è posizionata la forma triangolo.
- Correre intorno a tutti i cerchi dello stesso colore (blu) in cui è posizionato il quadrato.

NOTA: ad ogni turno variare il numero di cerchi da saltare!



Gioco 2: Forme e colori in movimento

Livello 4:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre tre cerchi di colore diverso uno accanto all'altro.

Area di gioco: Disporre i cerchi colorati. Il numero dei cerchi dello stesso colore deve variare ad ogni turno.

Svolgimento del compito:

I bambini svolgono il gioco uno Vs uno.

Entrambi si troveranno di fronte alla base, e sceglieranno due forme geometriche diverse (un quadrato e un triangolo). Ognuno posizionerà all'interno di due cerchi 'base' la propria forma geometrica.

Successivamente i bambini dovranno:

- Saltare dentro tutti i cerchi dello stesso colore in cui è posizionata la propria forma geometrica.
- Correre intorno a tutti i cerchi dello stesso colore in cui è posizionata la forma geometrica del suo avversario
- Prendere la bandierina con il numero corrispondente ai salti effettuati

NOTA: ad ogni turno variare il numero di cerchi da saltare!



Gioco 3: Spedizione zoo

Materiali:

- Disegni di animali, due per ogni animale
- Cesta con palline da tennis
- 2 Cerchi

Livello 1:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre i disegni degli animali in ordine sparso e un cerchio

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base, un cerchio, una pallina da tennis

Svolgimento del compito:

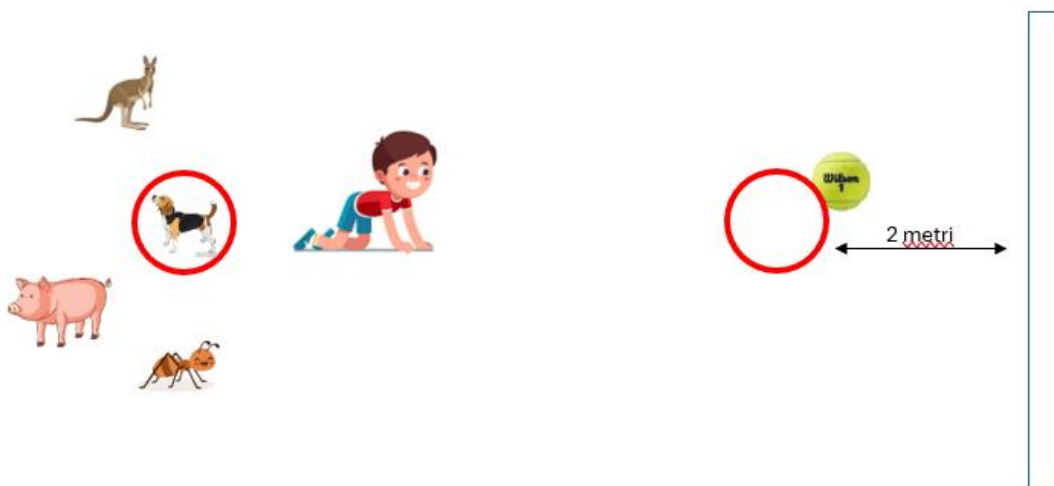
Il bambino in piedi di fronte alla base. Al 'VIA' sceglie la figura di un animale e la posiziona dentro il cerchio .

Successivamente, il bambino imita i movimenti dell'animale fino all'arrivo.

Qui, si dovrà posizionare all'interno di un cerchio, distante circa 2 metri dal muro, prendere una pallina da tennis e lanciairla al muro.

Note:

- il gioco prevede un animale obbligatorio da inserire almeno una volta durante il gioco, la "Formica". Il bambino deve camminare posizionando un piede davanti all'altro, facendo in modo che la punta del piede posteriore tocchi il tallone del piede anteriore.
- Cercare di far esplorare al bambino tutti i movimenti/spostamenti possibili (balzi, camminare all'indietro, camminare a 4 zampe, rotolare, strisciare, camminare lateralmente....)



Gioco 3: Spedizione zoo

Livello 2:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre i disegni degli animali in ordine sparso e un cerchio

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base, una cesta con le palline

Svolgimento del compito:

Il bambino in piedi di fronte alla base. Al 'VIA' sceglie la figura di un animale e la posiziona dentro il cerchio .

Successivamente, il bambino imita i movimenti dell'animale fino all'arrivo.

Qui, si dovrà posizionare all'interno di un cerchio, distante circa 2 metri dal muro, prendere una pallina da tennis, lanciarla al muro e cercare di prenderla al volo dopo un rimbalzo (eseguire n°5 lanci).

Note:

- il gioco prevede un animale obbligatorio da inserire almeno una volta durante il gioco, la "Formica". Il bambino deve camminare posizionando un piede davanti all'altro, facendo in modo che la punta del piede posteriore tocchi il tallone del piede anteriore.
- Cercare di far esplorare al bambino tutti i movimenti/spostamenti possibili (balzi, camminare all'indietro, camminare a 4 zampe, rotolare, strisciare, camminare lateralmente....)



Gioco 3: Spedizione zoo

Livello 3:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre i disegni degli animali in ordine sparso e un cerchio

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base, una cesta con le palline, e attaccati al muro i disegni degli animali a diverse altezze.

Svolgimento del compito:

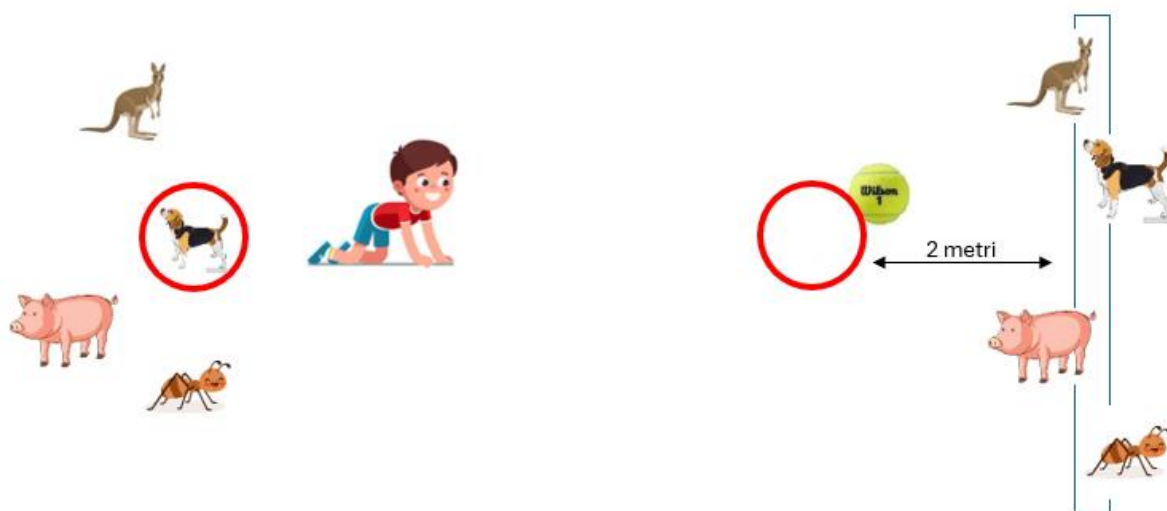
Il bambino in piedi di fronte alla base. Al 'VIA' sceglie la figura di un animale e la posiziona dentro il cerchio .

Successivamente, il bambino imita i movimenti dell'animale fino all'arrivo.

Qui, si dovrà posizionare all'interno di un cerchio, distante circa 2 metri dal muro, prendere una pallina da tennis e lanciarla sul disegno dell'animale scelto.

Note:

- il gioco prevede un animale obbligatorio da inserire almeno una volta durante il gioco, la "Formica". Il bambino deve camminare posizionando un piede davanti all'altro, facendo in modo che la punta del piede posteriore tocchi il tallone del piede anteriore.
- Cercare di far esplorare al bambino tutti i movimenti/spostamenti possibili (balzi, camminare all'indietro, camminare a 4 zampe, rotolare, strisciare, camminare lateralmente....)



Gioco 3: Spedizione zoo

Livello 4:

Disposizione dei materiali:

Base: Disporre i disegni degli animali in ordine sparso e due cerchi

Arrivo: Dalla parte opposta rispetto alla base, una cesta con le palline, due cerchi e attaccati al muro i disegni degli animali a diverse altezze.

Svolgimento del compito:

I bambini sono divisi in due squadre.

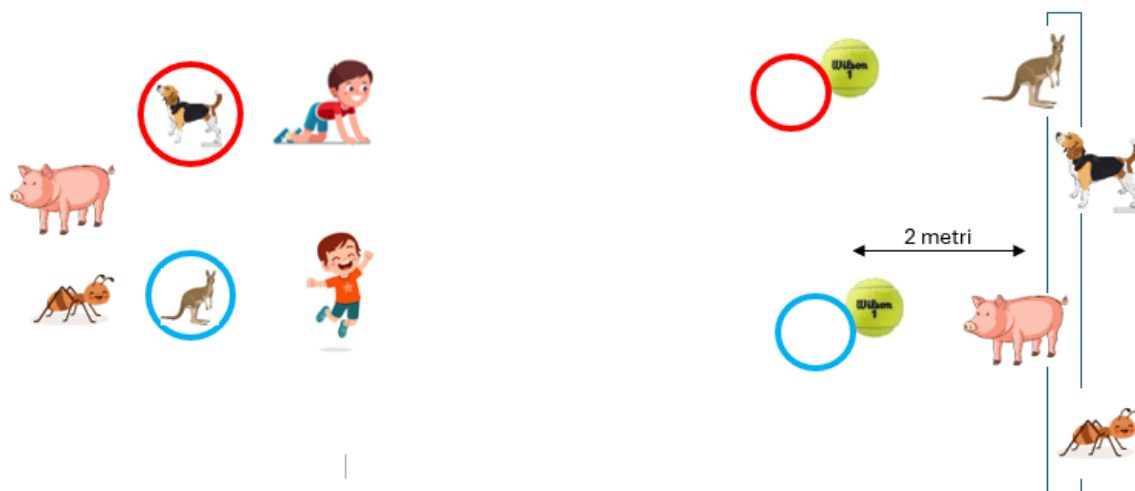
I primi bambini, in piedi di fronte alla base. Al 'VIA' scelgono la figura di un animale e la posizionano dentro i due cerchi base.

Successivamente, il bambini imitano i movimenti dell'animale fino all'arrivo.

Qui, si dovranno posizionare all'interno dei cerchi, distante circa 2 metri dal muro, prendere una pallina da tennis e lanciairla sul disegno dell'animale della squadra avversaria.

Note:

- il gioco prevede un animale obbligatorio da inserire almeno una volta durante il gioco, la "Formica". Il bambino deve camminare posizionando un piede davanti all'altro, facendo in modo che la punta del piede posteriore tocchi il tallone del piede anteriore.
- Cercare di far esplorare al bambino tutti i movimenti/spostamenti possibili (balzi, camminare all'indietro, camminare a 4 zampe, rotolare, strisciare, camminare lateralmente....)



Gioco 4: La sinfonia degli appoggi

Materiali:

- Musica

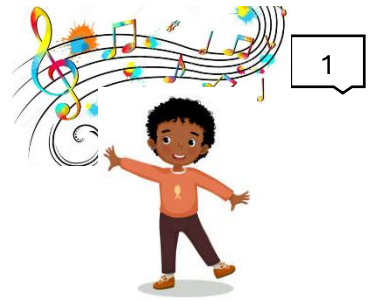
Livello 1:

Svolgimento del compito:

I bambini corrono in ordine sparso nell'area di gioco a ritmo di musica.

All'interruzione della musica, l'operatore dovrà dire un numero da 0 a 9.

Il bambino dovrà fermarsi con il numero degli appoggi al suolo corrispondente al numero indicato dall'operatore.



Livello 2: Facciamo coppia!

Svolgimento del compito:

I bambini corrono in ordine sparso nell'area di gioco a ritmo di musica.

All'interruzione della musica, l'operatore dovrà dire un numero da 0 a 9.

I bambini dovranno fare coppia con un compagno e la somma dei loro appoggi deve corrispondere al numero indicato dall'operatore.



Livello 3: Facciamo squadra!

Svolgimento del compito:

I bambini corrono in ordine sparso nell'area di gioco a ritmo di musica.

All'interruzione della musica, l'operatore dovrà dire un numero da 0 a 9.

I bambini dovranno formare squadre da 3/4 con i compagni e la somma dei loro appoggi deve corrispondere al numero indicato dall'operatore.

Livello 4: Animali traballanti

Svolgimento del compito:

I bambini imitano andature di animali nell'area di gioco a ritmo di musica.

All'interruzione della musica, l'operatore dovrà dire un numero da 0 a 9.

Il bambino dovrà fermarsi con il numero degli appoggi al suolo corrispondente al numero indicato dall'operatore.

Gioco 5: Salta tra le lettere

Materiali:

- Cerchi medio/piccoli
- Bandierine con le lettere

Livello 1:

Disposizione del materiale:

Base: Disporre una cesta con le bandierine alfabetiche

Area di gioco: Disporre i cerchi in modo tale che formino le lettere dell'alfabeto (scegliere le lettere che consentano spostamenti lineari o curve: C, I, L, O, S)

Lettera I: 4 cerchi

Lettera C: 6 cerchi

Lettera O: 8 cerchi

Lettera L: 6 cerchi

Lettera S: 8 cerchi

Svolgimento del compito:

Il bambino è in piedi nella stazione base.

Al 'VIA', il bambino pesca una bandierina alfabetica dalla cesta.

Successivamente, dovrà identificare i cerchi corrispondenti a quella lettera, avvicinarsi ai cerchi e seguire il percorso della lettera saltando a piedi pari.

Nota:

- l'esercizio può variare usando un appoggio monopodalico.
- è possibile inserire al posto dei cerchi (senza sostituire del tutto i balzi), delle attrezzature con superfici instabili (bosu, tavolette propriocettive...)



Gioco 5: Salta tra le lettere

Livello 2:

Disposizione del materiale

Base: Disporre una cesta con le bandierine alfabetiche

Area di gioco: Disporre i cerchi in modo tale che formino le lettere dell'alfabeto (scegliere le lettere che consentano spostamenti laterali o cambi di direzione netti: E, F, M, N, Z)

Svolgimento del compito:

Il bambino è in piedi nella stazione base.

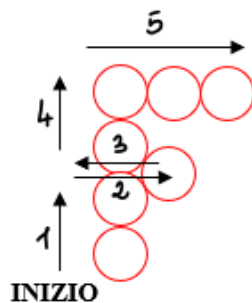
Al 'VIA', il bambino pesca una bandierina alfabetica dalla cesta.

Successivamente, dovrà identificare i cerchi corrispondenti a quella lettera, avvicinarsi ai cerchi e seguire il percorso della lettera saltando a piedi pari.

Note:

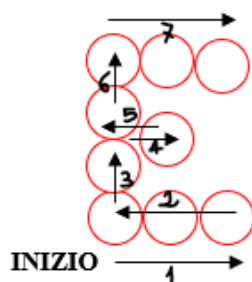
- l'esercizio può variare usando un appoggio monopodalico
- è possibile inserire al posto dei cerchi (senza sostituire del tutto i balzi), delle attrezzature con superfici instabili (bosu, tavolette propriocettive...)

Esempio modalità di salto:



Inizio:

- 2 balzi frontalmente
- 1 balzo laterale verso destra
- 1 balzo laterale verso sinistra
- 2 balzi frontalmente
- 2 balzi verso destra



Inizio: partenza dentro il cerchio

- 3 balzi laterali verso destra
- 3 balzi laterali verso sinistra
- 1 balzo frontale
- 1 balzo laterale destra
- 1 balzo laterale sinistra
- 1 balzo frontale
- 2 balzi verso destra

Gioco 5: Salta tra le lettere

Livello 3:

Disposizione del materiale

Base: Disporre una cesta con le bandierine alfabetiche

Area di gioco: Disporre i cerchi in modo tale che formino le lettere dell'alfabeto (scegliere le lettere che consentano spostamenti avanti, indietro e laterali: A, H, T)

Svolgimento del compito:

Il bambino è in piedi nella stazione base.

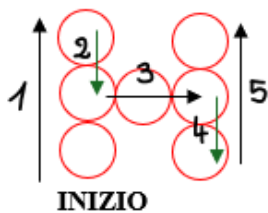
Al 'VIA', il bambino pesca una bandierina alfabetica dalla cesta.

Successivamente, dovrà identificare i cerchi corrispondenti a quella lettera, avvicinarsi ai cerchi e seguire il percorso della lettera saltando ai piedi pari.

Note:

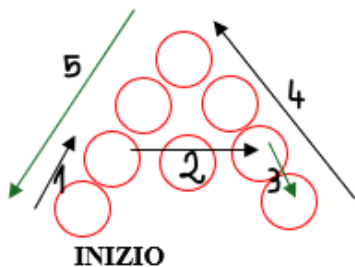
- l'esercizio può variare usando un appoggio monopodalico
- è possibile inserire al posto dei cerchi (senza sostituire del tutto i balzi), delle attrezzature con superfici instabili (bosu, tavolette propriocettive...)

Esempi di modalità di salto:



Inizio:

- 3 balzi frontali
- 1 balzo indietro
- 2 balzi laterali verso destra
- 1 balzo indietro
- 3 balzi in avanti



Inizio:

- 2 balzi frontali
- 2 balzi laterali verso destra
- 1 balzo indietro
- 4 balzi in avanti
- 4 balzi indietro

Gioco 5: Salta tra le lettere

Livello 4:

Disposizione del materiale

Base: Disporre una cesta con le bandierine alfabetiche

Area di gioco: Disporre i cerchi in modo tale che formino le lettere dell'alfabeto

Svolgimento del compito:

Il bambino è in piedi nella stazione base.

Al 'VIA', il bambino pesca una bandierina alfabetica dalla cesta.

Successivamente, dovrà identificare i cerchi corrispondenti a quella lettera, avvicinarsi ai cerchi e seguire il percorso della lettera saltando a piedi pari.

Al termine del percorso dovrà pronunciare due parole (nome di oggetti o animali) che abbiano la stessa iniziale della lettera pescata.

Nota:

- l'esercizio può variare usando un appoggio monopodalico
- è possibile inserire al posto dei cerchi (senza sostituire del tutto i balzi), delle attrezzature con superfici instabili (bosu, tavolette propriocettive...)

