UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di psicologia generale

Corso di laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

Differenze nell'apprendimento associativo implicito tra disturbo dello spettro autistico e sviluppo tipico in età evolutiva.

Differences in implicit associative learning between autism spectrum disorder and typical development in childhood.

Relatore

Prof. Giovanni Mento

Correlatrice

Dott.ssa Giulia Stefanelli

Laureanda: Yousra Hassani

Matricola: 2115011

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

1. DISTURBI DEL NEUROSVILUPPO E DISTURBO DELLO SPETTRO AUTISTICO.... 5
1.1 I disturbi del neurosviluppo 5
1.1.1 Caratteristiche comuni e aspetti transdiagnostici 5
1.2 Il disturbo dello spettro autistico (ASD) 7
1.2.1 Definizione e criteri diagnostici 8
1.2.2 Epidemiologia 9
1.2.3 Eziologia e fattori di rischio 10
1.2.4 Caratteristiche cliniche e decorso evolutivo 11
1.2.5 Modelli teorici neuropsicologici di riferimento 13
1.2.6 Interventi terapeutici ed educativi 14
2. APPRENDIMENTO ASSOCIATIVO IMPLICITO, INCERTEZZA E VOLATILITA' NELL'AUTISMO 17
2.1 L'apprendimento: definizione e modelli teorici principali 17
2.1.1 Apprendimento implicito ed esplicito 18
2.1.2 Caratteristiche dell'apprendimento associativo implicito 19
2.1.3 Paradigmi sperimentali per lo studio dell'apprendimento implicito 20
2.2 Apprendimento implicito e incertezza 21
2.3 Apprendimento implicito e volatilità nell'autismo 22
3. LA RICERCA 25
3.1 Obiettivi 25
3.2 Metodo 25
3.2.1 Partecipanti 25
3.2.2 Conformità etica 27
3.3 Strumenti 27
3.3.1 Questionari 28
3.3.2 Test neuropsicologici 28
3.3.3 Compito sperimentale 29
3.4 Procedura sperimentale 33
3.5 Ipotesi sperimentali 34
3.6 Analisi dei dati 34
4. RISULTATI 37
4.1 Tempi di reazione 37
4.2 Accuratezza 38
5. DISCUSSIONE 41
5.1 Discussione dei risultati 41
5.2 Implicazioni cliniche ed educative 42

5.3 Limiti dello studio e prospettive future....43
5.4 Conclusioni....44
BIBLIOGRAFIA....45

ABSTRACT

La presente tesi indaga le differenze nell'apprendimento associativo implicito tra bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD) e un gruppo di controllo a sviluppo tipico (TD), con l'obiettivo di approfondire i meccanismi cognitivi che sottendono l'elaborazione non consapevole di regolarità ambientali. A partire da una cornice teorica neuropsicologica, sono stati esaminati i principali modelli interpretativi dell'ASD, con particolare attenzione ai deficit nella previsione e nella gestione dell'incertezza. Lo studio ha coinvolto un campione di bambini/e e ragazzi/e tra i 4 e i 14 anni (bambini con ASD: 16, 9.36 ± 1.79 sd; bambini a sviluppo tipico TD: 55, 9.29 ± 1.69) appaiati per età e genere, ai quali è stato somministrato il "Mario Task", un compito sperimentale costruito per valutare l'apprendimento implicito di relazioni probabilistiche in un contesto gamificato. I risultati, analizzati mediante modelli misti, indicano una minore accuratezza complessiva nel gruppo ASD (H1) e una ridotta capacità di adattamento alle strutture probabilistiche implicite rispetto al gruppo di controllo (H2). Queste evidenze suggeriscono un pattern atipico di apprendimento nei bambini con ASD, con implicazioni rilevanti in ambito sia clinico che educativo (Lawson et al. 2017). Viene infine sottolineata l'importanza di considerare la dimensione dell'apprendimento implicito nella progettazione di interventi personalizzati, sensibili alle caratteristiche evolutive e cognitive di ciascun bambino.

1. DISTURBI DEL NEUROSVILUPPO E DISTURBO DELLO SPETTRO AUTISTICO

1.1 I disturbi del neurosviluppo

I disturbi del neurosviluppo rappresentano una categoria diagnostica che si manifesta durante l'età evolutiva e si caratterizza per difficoltà persistenti in diversi ambiti del funzionamento, tra cui quello personale, sociale, scolastico o lavorativo (American Psychiatric Association [APA], 2013). Queste condizioni, che si presentano con esordio precoce e hanno un impatto significativo sul percorso di sviluppo, coinvolgono soprattutto l'acquisizione e l'elaborazione di competenze cognitive, linguistiche, motorie, sociali o comportamentali. Alla base vi sono alterazioni nei processi di maturazione del sistema nervoso centrale e un'ampia variabilità nelle manifestazioni cliniche e nella gravità, che rende necessario un approccio diagnostico e di intervento attento sia alle specificità di ogni singolo disturbo sia agli elementi comuni condivisi tra le varie condizioni.

All'interno di questo quadro, la tesi si concentrerà sul disturbo dello spettro autistico, approfondendone le caratteristiche cliniche, i principali modelli neuropsicologici di riferimento e le implicazioni per i processi di apprendimento, con un focus specifico sull'apprendimento implicito (Frith, 2003; Lawson et al., 2014). L'intento è quello di andare oltre la semplice descrizione clinica, per esplorare i meccanismi cognitivi sottostanti, contribuendo così a una comprensione più articolata delle difficoltà che emergono nei contesti educativi.

Il paragrafo seguente offrirà una panoramica generale dei disturbi del neurosviluppo e della loro classificazione secondo il DSM-5, soffermandosi in particolare sugli aspetti trasversali e transdiagnostici che possono accomunare queste condizioni.

1.1.1 Caratteristiche comuni e aspetti transdiagnostici

Il DSM-5 identifica come disturbi del neurosviluppo una serie di condizioni che comprendono: la disabilità intellettiva (ID), il disturbo dello spettro autistico (ASD), il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD), i disturbi specifici dell'apprendimento (DSA), i disturbi della comunicazione e i disturbi motori, come il disturbo di Tourette e altri disturbi da tic (APA, 2013).

Negli ultimi anni, l'approccio transdiagnostico ha acquisito crescente rilevanza nello studio dei disturbi del neurosviluppo, mettendo in discussione la rigida separazione categoriale tra diagnosi. Questo modello sottolinea l'esistenza di meccanismi neurobiologici, cognitivi e comportamentali condivisi tra disturbi come ASD e ADHD (Canu et al., 2022). Lord e colleghi (2018), attraverso una revisione sistematica della letteratura scientifica, evidenziano come tali disturbi siano condizioni croniche, eterogenee e spesso sottodiagnosticate, caratterizzate da un elevato tasso di comorbidità. Inoltre, sottolineano che la prevalenza globale dei disturbi del neurosviluppo oscilla notevolmente (dal 4.70% all'88.50%), in funzione dei metodi di stima adottati e dei diversi contesti socio-culturali di riferimento. I disturbi maggiormente studiati come l'ADHD, l'ASD e i DSA mostrano tassi di prevalenza stabili nel tempo e omogenei attraverso diverse culture, età, etnie e generi (Lord et al., 2018). Studi di neuroimaging mostrano sovrapposizioni tra ASD e ADHD a livello di connettività funzionale cerebrale, in particolare nelle reti di attenzione, salienza e default mode (Lai et al., 2014). È inoltre frequente la co-occorrenza: fino al 70% dei bambini con ASD soddisfa anche i criteri per ADHD, e la presenza congiunta dei due disturbi è associata a una maggiore compromissione adattiva e a un più basso funzionamento globale (Lord et al., 2018). Nonostante le differenze nei profili sintomatologici, ASD e ADHD condividono tratti comportamentali e cognitivi che rendono cruciale adottare un'ottica integrata e transdiagnostica nel processo valutativo e interventistico (Canu et al., 2022; Lai et al., 2014).

Alla luce della crescente complessità osservata nei quadri clinici, si è sviluppato un interesse sempre maggiore verso approcci dimensionali e transdiagnostici, come evidenziato da Hoza e colleghi (2005). In particolare, sono stati individuati deficit comuni nell'inibizione della risposta, nella velocità di elaborazione e nella variabilità intra-soggetto, che suggeriscono l'esistenza di un continuum neuroevolutivo tra questi disturbi (Canu et al., 2022). A supporto di questo modello dimensionale, diversi studi sottolineano l'importanza di adottare modelli integrati sin dalla prima infanzia, focalizzandosi su domini di sviluppo trasversali (es. linguaggio, cognizione, comportamento sociale) piuttosto che su categorie diagnostiche rigide (Hoza et al., 2005). Le difficoltà sociali, ad esempio, rappresentano una caratteristica comune a molti disturbi del neurosviluppo, anche quando non costituiscono un criterio diagnostico principale. Il linguaggio, a sua volta, è considerato un dominio saliente e predittivo per lo sviluppo sociale e cognitivo, tanto da essere suggerito come primo elemento da valutare nei sospetti di disturbo del neurosviluppo.

L’insieme di queste evidenze supporta la necessità di un cambio di paradigma: dalla diagnosi categoriale a una comprensione transdiagnostica e dimensionale dello sviluppo atipico, in grado di cogliere precocemente segnali clinici condivisi e orientare interventi più tempestivi e personalizzati (Hoza et al., 2005; Canu et al., 2022; Lai et al., 2014).

1.2 Il disturbo dello spettro autistico (ASD)

Il concetto di spettro nel disturbo dello spettro autistico sottolinea la profonda eterogeneità delle presentazioni cliniche, che possono differire in modo significativo per gravità, compromissione funzionale, abilità linguistiche e cognitive, profili sensoriali e pattern comportamentali (APA, 2013; Geschwind e State, 2015; Lord et al., 2018; Fombonne, 2020). Questa varietà di manifestazioni cliniche ha portato il DSM-5 a integrare in un’unica categoria diagnostica disturbi precedentemente distinti, come la sindrome di Asperger e l’autismo infantile, promuovendo così un modello dimensionale che considera i livelli di supporto necessari per ciascun individuo (APA, 2013).

Oltre alla variabilità interindividuale nei domini cognitivi, comunicativi e comportamentali, nei soggetti con ASD si osserva una frequente presenza di comorbidità psichiatriche, neurologiche e adattive che incidono ulteriormente sul profilo evolutivo e sulla qualità di vita (Lord et al., 2018). I dettagli relativi alle comorbidità saranno approfonditi nel paragrafo 1.2.5.

Un ulteriore livello di eterogeneità riguarda le abilità adattive, spesso inferiori rispetto al potenziale cognitivo e soggette a declino relativo con l’età (Salari et al., 2022). Questa complessità rende necessaria una valutazione estesa a più domini e la definizione di sottogruppi clinici, con implicazioni dirette sugli interventi personalizzati (Fombonne, 2020; Howlin et al., 2013).

Questi aspetti di eterogeneità, comorbidità e variabilità funzionale saranno approfonditi nei sottoparagrafi successivi, con particolare attenzione ai criteri diagnostici, all’epidemiologia, ai fattori eziologici e ai modelli teorici di riferimento.

1.2.1 Definizione e criteri diagnostici

L'ASD è un disturbo del neurosviluppo che, secondo il DSM-5 (APA, 2013), si manifesta con difficoltà persistenti nella comunicazione e nell'interazione sociale, insieme a comportamenti ripetitivi, interessi ristretti e risposte sensoriali atipiche. Queste caratteristiche devono essere presenti fin dalle prime fasi dello sviluppo e causare una compromissione significativa del funzionamento personale, scolastico o sociale. I sintomi si distribuiscono su due domini principali: il primo riguarda le difficoltà nella reciprocità socio-emotiva, nella comunicazione non verbale e nella costruzione di relazioni adeguate all'età; il secondo include la presenza di comportamenti ripetitivi, interessi ristretti e una reattività sensoriale alterata, sia in eccesso sia in difetto (APA, 2013; Lai et al., 2014). Il modello diagnostico attuale, di tipo dimensionale, ha sostituito le precedenti classificazioni categoriali – come la sindrome di Asperger – permettendo di cogliere meglio la varietà dei profili clinici e delle traiettorie evolutive (Salari et al., 2022).

La diagnosi dell'ASD è clinica, e può essere formulata anche in assenza di strumenti strutturati, a condizione che venga effettuata da professionisti con un'adeguata formazione. L'utilizzo di strumenti standardizzati come l'ADOS-2 e l'ADI-R è comunque fortemente consigliato, perché permette una valutazione più sistematica e comparabile nel tempo (Lord et al., 2012). L'ADOS-2 consente di osservare direttamente il comportamento del bambino in situazioni strutturate, mentre l'ADI-R è un'intervista rivolta ai genitori per raccogliere informazioni sullo sviluppo precoce e sul comportamento attuale. È importante integrare queste informazioni con la valutazione del funzionamento adattivo, ad esempio attraverso le Vineland Adaptive Behavior Scales – Third Edition (VABS-3), che aiutano a comprendere il livello di autonomia nelle attività quotidiane (Saulnier, 2018; Kanne et al., 2010).

Un inquadramento diagnostico completo dovrebbe sempre considerare anche le comorbidità, come verrà approfondito nel paragrafo 1.2.4, e tenere conto del contesto ambientale in cui si inserisce il bambino (Fombonne, 2020; Dawson et al., 2010). Tuttavia, sia in Italia sia all'estero, non mancano alcune difficoltà. Studi condotti nel Regno Unito (Oono et al., 2013) segnalano che molte équipe lavorano in modo isolato, senza le competenze necessarie per una valutazione globale. Anche in Italia sono emerse criticità simili: lunghi tempi d'attesa, mancanza di équipe multidisciplinari e difficoltà nel valutare le comorbidità in modo integrato (Muratori et al., 2011; Ministero della Salute, 2019). Questi limiti rendono evidente l'importanza di un approccio collaborativo e condiviso tra professionisti, per garantire una

valutazione accurata e utile alla definizione degli interventi.

1.2.2 Epidemiologia

Negli ultimi decenni si è registrato un netto aumento della prevalenza del disturbo dello spettro autistico (ASD) a livello globale, con stime che risultano fortemente variabili a seconda di fattori metodologici, geografici e culturali (Chiarotti e Venerosi, 2020). Le principali fonti di variabilità includono le differenze nei criteri diagnostici adottati, nei metodi impiegati per l'identificazione dei casi, nonché nelle caratteristiche dei sistemi sanitari e scolastici dei diversi paesi. Le stime epidemiologiche provengono in gran parte da studi basati su registri amministrativi, approcci multi-stadio con l'impiego di strumenti di screening e questionari, oppure da indagini condotte attraverso interviste a genitori e insegnanti.

Il DSM-5 evidenzia come la prevalenza dell'ASD sia aumentata rispetto alle rilevazioni storiche, pur riconoscendo che tali stime dipendano dal contesto e dai criteri diagnostici utilizzati. Il manuale sottolinea inoltre che la diagnosi viene formulata più frequentemente nei maschi, con un rapporto stimato di circa 4:1 rispetto alle femmine (APA, 2013).

Fombonne (2020) riporta che la prevalenza attuale si colloca tra lo 0,9% e l'1,5%, a fronte di stime storiche molto più basse, pari a 4–5 casi ogni 10.000 negli anni '60. Secondo l'autore, l'incremento osservato è da attribuire principalmente a una ridefinizione del concetto di autismo, all'inclusione di forme più lievi come la sindrome di Asperger, a una maggiore consapevolezza clinica e sociale e a un miglioramento nella diagnosi precoce. Anche se non si può escludere del tutto un lieve aumento reale dell'incidenza, la maggior parte degli studi concorda nel ritenere che l'incremento rilevato rifletta soprattutto un'evoluzione nella cultura diagnostica e nell'organizzazione dei servizi, piuttosto che un vero cambiamento epidemiologico (Fombonne, 2020; Chiarotti e Venerosi, 2020).

È inoltre ampiamente riconosciuto che l'autismo coinvolga bambini e famiglie appartenenti a tutte le classi sociali e culturali, con una comorbidità con disabilità intellettiva stimata tra il 30% e il 40%. A livello globale, tuttavia, permane un'importante carenza di dati epidemiologici primari, in particolare nei paesi a basso e medio reddito. Elsabbagh e colleghi (2012) hanno evidenziato una forte disparità nella distribuzione geografica degli

studi epidemiologici sull'ASD, segnalando una limitata disponibilità di ricerche basate su dati primari in diverse aree del mondo, tra cui l'America Latina (ad esempio, in Brasile e Nicaragua). Questa tendenza è stata confermata anche da revisioni sistematiche più recenti, che hanno documentato analoghe lacune in regioni come l'Africa subsahariana e l'Asia meridionale (Salari et al., 2022; Elsabbagh et al., 2012).

La mancanza di dati aggiornati e rappresentativi rappresenta un ostacolo rilevante per la pianificazione di politiche sanitarie e sociali efficaci e per l'individuazione di specifici fattori di rischio nei diversi contesti. Complessivamente, la letteratura concorda nel ritenere che la variabilità nelle stime di prevalenza dell'ASD sia influenzata da molteplici fattori, tra cui le definizioni diagnostiche adottate, le modalità di rilevazione dei casi e il contesto socio-culturale di riferimento. Pur riconoscendo che la prevalenza sia aumentata rispetto al passato, è necessario interpretare questi dati con cautela, tenendo conto delle numerose variabili che ne influenzano l'accuratezza (APA, 2013; Chiarotti e Venerosi, 2020; Fombonne, 2020; Elsabbagh et al., 2012; Salari et al., 2022).

1.2.3 Eziologia e fattori di rischio

Il Disturbo dello Spettro Autistico è una condizione neuroevolutiva con un'eziologia complessa e multifattoriale. Numerosi studi hanno messo in evidenza il ruolo congiunto di fattori genetici e ambientali nella determinazione del rischio. Accanto alle predisposizioni genetiche, anche influenze prenatali, perinatali, sociali e ambientali – come l'attivazione immunitaria materna, l'esposizione a farmaci, lo stress, l'inquinamento e alterazioni del microbiota intestinale – possono influenzare i meccanismi neurocognitivi ed emotivi precoci (Doi et al., 2022; Heald, Lengyel e Wolpert, 2023; Howlin et al., 2013). Questa prospettiva è coerente con il modello neurocostruttivista, secondo cui lo sviluppo atipico emerge dall'interazione dinamica tra predisposizione genetica, fattori ambientali ed esperienze precoci (Karmiloff-Smith, 1998).

Le attuali evidenze scientifiche confermano che sia le influenze genetiche sia quelle ambientali, e soprattutto la loro interazione, contribuiscono al rischio di sviluppare l'ASD (Rutter et al., 2006; Sandin et al., 2014). In particolare, il modello multifattoriale Trigger–Threshold–Target propone che l'insorgenza del disturbo derivi dalla combinazione tra una vulnerabilità genetica individuale (threshold), eventi ambientali scatenanti (trigger) e aree

cerebrali bersaglio (target), offrendo un quadro esplicativo coerente con l'eterogeneità clinica osservata (Bölte et al., 2019).

Sul piano genetico, sono stati identificati numerosi geni associati all'autismo, comprese varianti comuni e rare, sia ereditarie sia de novo, che mostrano sovrapposizioni con altri disturbi del neurosviluppo e psichiatrici (Modabbernia et al., 2017; Tick et al., 2016). Nonostante le alte stime di ereditabilità – comprese tra il 50% e il 90% – la sola componente genetica non appare sufficiente a spiegare l'intera variabilità osservata nei quadri clinici (Gaugler et al., 2014).

Hallmayer e colleghi (2011) hanno sottolineato come la crescente prevalenza dell'ASD non possa essere attribuita esclusivamente a fattori genetici o a modifiche nei criteri diagnostici, suggerendo un ruolo significativo delle influenze ambientali. Tra i fattori prenatali e perinatali associati a un aumento del rischio rientrano l'età avanzata dei genitori, l'assunzione materna di farmaci come il valproato, complicanze ostetriche (es. ipossia), infezioni durante la gravidanza, obesità e diabete gestazionale (Modabbernia et al., 2017; Rutter et al., 2006). È stato inoltre ipotizzato che l'esposizione precoce a inquinanti atmosferici o pesticidi possa alterare i processi neuroevolutivi attraverso meccanismi immunitari e infiammatori (Volk et al., 2013).

Anche fattori nutrizionali e psicosociali estremi sono oggetto di studio: in particolare, l'assunzione di acido folico prima e durante la gravidanza è stata associata a una minore incidenza di ASD, suggerendo un possibile effetto protettivo (Surén et al., 2013).

1.2.4 Caratteristiche cliniche e decorso evolutivo

Il Disturbo dello Spettro Autistico si manifesta attraverso un'ampia variabilità clinica, sia nella gravità sia nelle modalità di espressione dei sintomi. Le aree tipicamente coinvolte includono la comunicazione sociale, la reciprocità socio-emotiva, l'adattamento ai cambiamenti e la presenza di comportamenti ripetitivi, interessi ristretti e profili sensoriali atipici. Tale eterogeneità è osservabile fin dalle prime fasi dello sviluppo e tende a modificarsi nel tempo, con esiti che dipendono da molteplici fattori biologici e ambientali (APA, 2013; Lord et al., 2018).

Dal punto di vista clinico, i bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD) possono presentare difficoltà importanti nella regolazione delle emozioni, nella comprensione delle intenzioni altrui e nella gestione delle dinamiche sociali. È molto comune anche la presenza di comorbidità psichiatriche, neurologiche o legate al funzionamento adattivo, che contribuiscono a rendere il quadro clinico più complesso, con un impatto negativo sull'autonomia e sulla partecipazione alle attività quotidiane (Simonoff et al., 2008; LLord etal., 2018). Spesso queste manifestazioni non sono immediatamente visibili nei primi anni di vita, ma tendono a emergere in modo più marcato con l'aumento delle richieste sociali, in particolare durante l'età prescolare e scolare (Lai et al., 2014).

Caratteristiche come la rigidità cognitiva, la ripetitività e la forte adesione a routine possono interferire in modo significativo con il funzionamento nei contesti familiari ed educativi, contribuendo a delineare un profilo adattivo frequentemente compromesso.

Il decorso dell'ASD non è uniforme né prevedibile: può comprendere periodi di miglioramento, stabilità o anche regressione, a seconda della gravità del disturbo, delle comorbidità associate e della qualità degli interventi ricevuti. Come riportato da Howlin e colleghi (2013), sebbene alcune persone riescano a raggiungere un buon livello di autonomia e integrazione, una quota significativa continua a manifestare difficoltà persistenti nel funzionamento quotidiano, con bisogni di supporto che possono proseguire anche nell'età adulta. Questo evidenzia quanto sia fondamentale adottare un approccio di presa in carico di tipo longitudinale, che tenga conto dell'evoluzione del profilo di funzionamento nel tempo.

In questo contesto, la capacità di autoregolarsi sul piano emotivo e comportamentale rappresenta un elemento trasversale centrale, in grado di influenzare molteplici aspetti della vita quotidiana. Secondo Mazefsky e colleghi (2013), le difficoltà in questo ambito sono strettamente collegate a livelli elevati di stress, a problemi relazionali e a una scarsa flessibilità nel gestire i cambiamenti. Tutto ciò rende fondamentale una valutazione mirata della regolazione emotiva già in età evolutiva, insieme alla progettazione di interventi specifici.

1.2.5 Modelli teorici neuropsicologici di riferimento

Nel tentativo di spiegare i tratti cognitivi e comportamentali osservabili nei soggetti con disturbo dello spettro autistico, sono stati sviluppati nel tempo diversi modelli teorici di riferimento in ambito neuropsicologico. I più accreditati sono la Teoria della Mente (Theory of Mind, ToM), la Disfunzione Esecutiva (Executive Dysfunction) e la Debole Coerenza Centrale (Weak Central Coherence, WCC), ciascuno dei quali contribuisce a chiarire aspetti specifici del funzionamento atipico associati all'autismo (Frith, 2003; Lai et al., 2017).

La Teoria della Mente si riferisce alla capacità di attribuire stati mentali (credenze, desideri, intenzioni) a sé stessi e agli altri per spiegare e prevedere i comportamenti. Nei soggetti con ASD, numerose ricerche hanno evidenziato un deficit nell'acquisizione e nell'applicazione delle competenze legate alla ToM, che si manifesta nella difficoltà a comprendere pensieri e intenzioni altrui, nella comunicazione pragmatica e nell'adattamento sociale (Rosello et al., 2020; Rao et al., 2008). Tali difficoltà sono state confermate anche da studi di neuroimaging, i quali mostrano un'attivazione atipica delle aree cerebrali deputate alla mentalizzazione, come la corteccia prefrontale mediale e il giro temporo-parietale destro (Uddin et al., 2020). Inoltre, è stato osservato che bambini e adolescenti con ASD presentano una connettività funzionale ridotta tra le regioni cerebrali sociali durante compiti di mentalizzazione, con una minore attivazione rispetto ai pari a sviluppo tipico (Uddin et al., 2020).

La Disfunzione Esecutiva (EF) rappresenta un altro ambito teorico cruciale. Essa include funzioni cognitive superiori come la pianificazione, il controllo inibitorio, la flessibilità cognitiva e la memoria di lavoro. Gli individui con ASD mostrano frequentemente difficoltà in questi ambiti, in particolare nella gestione del cambiamento, nella capacità di adattamento e nella variabilità delle risposte comportamentali (Rao et al., 2008). Le disfunzioni esecutive possono compromettere gli aspetti cognitivi legati alla flessibilità, al problem solving e alla capacità di autoregolazione delle emozioni.

Infine, la Debole Coerenza Centrale (WCC) è una teoria secondo cui le persone con ASD tendono a focalizzarsi sui dettagli piuttosto che sul significato globale, mostrando una modalità di elaborazione dell'informazione frammentata. Questa caratteristica è stata proposta per spiegare sia le abilità visive e attenzionali ai dettagli, sia le difficoltà nel

cogliere il senso globale del linguaggio e delle situazioni sociali e comunicative (Frith, 2003).

Questi tre modelli non sono mutuamente esclusivi, bensì complementari, e suggeriscono l'esistenza di un profilo neuropsicologico eterogeneo nell'autismo. La loro integrazione può offrire una comprensione più articolata delle caratteristiche cognitive e comportamentali dell'ASD, guidando anche la progettazione di interventi mirati ed efficaci (Lai et al., 2017).

1.2.6 Interventi terapeutici ed educativi

L'intervento precoce e intensivo rappresenta uno degli elementi centrali nella presa in carico dei bambini con ASD, con l'obiettivo di potenziare le competenze cognitive, sociali e comunicative e di ridurre le difficoltà comportamentali associate. Tra i diversi approcci, l'Applied Behavior Analysis (ABA) si configura come uno dei più supportati dalla letteratura scientifica. Si basa sui principi dell'apprendimento e utilizza tecniche derivate dal condizionamento operante per promuovere cambiamenti nei comportamenti osservabili (Smith, 2010).

Un'applicazione strutturata dell'ABA è l'Early Intensive Behavioral Intervention (EIBI), destinata prevalentemente ai bambini in età prescolare. Questo intervento prevede tra le 25 e le 40 ore settimanali per almeno uno o due anni, con l'obiettivo di insegnare abilità specifiche attraverso tecniche come il discrete trial training. Una revisione Cochrane ha evidenziato effetti positivi dell'EIBI sul quoziente intellettivo, sul linguaggio e sulle abilità adattive, soprattutto quando avviato in età precoce (Reichow et al., 2018).

Accanto agli interventi intensivi, si sono sviluppati modelli che integrano approcci comportamentali e prospettive evolutive, noti come Naturalistic Developmental Behavioral Interventions (NDBI). Il più studiato è l'Early Start Denver Model (ESDM), che promuove l'apprendimento in contesti naturali, con un forte coinvolgimento del caregiver. Dawson e colleghi (2010) hanno dimostrato che il trattamento con ESDM migliora significativamente le abilità cognitive, linguistiche e sociali nei bambini con ASD tra i 18 e i 30 mesi.

Tra gli strumenti di comunicazione aumentativa, il Picture Exchange Communication System (PECS) è risultato efficace nell'incentivare l'iniziativa comunicativa, in particolare nei bambini con linguaggio limitato. Malow e colleghi, (2014) hanno mostrato che l'utilizzo di PECS può migliorare la comunicazione funzionale nei bambini in età prescolare.

Per quanto riguarda le autonomie, programmi strutturati per l'acquisizione del controllo sfinterico e la gestione della selettività alimentare si sono dimostrati efficaci quando basati su tecniche ABA, come il rinforzo differenziale e il stimulus fading (Matson e Fodstad, 2009). In parallelo, l'uso di tecniche comportamentali per la regolazione del sonno, come il bedtime fading e l'estinzione graduale, è stato validato da studi sperimentali su bambini con ASD (Malow et al., 2014).

Un'altra area di intervento importante è la Cognitive Behavioral Therapy (CBT), particolarmente utile per la gestione dell'ansia, della depressione e della disregolazione emotiva in bambini e adolescenti con ASD. Secondo White e colleghi (2018), la CBT si dimostra efficace nel migliorare l'autoregolazione e ridurre i sintomi internalizzanti, anche se la sua efficacia può variare in base al livello cognitivo del paziente.

Gli interventi mediati dai genitori (Parent-Mediated Interventions, PMI) hanno acquisito crescente rilevanza nella promozione della generalizzazione delle competenze. Oono e colleghi (2013) hanno mostrato che le PMI contribuiscono a migliorare la responsività sociale del bambino e la gestione del comportamento, con benefici anche a lungo termine.

Il programma educativo strutturato TEACCH (Treatment and Education of Autistic and related Communication-handicapped Children) si basa sull'organizzazione visiva, sulla strutturazione dell'ambiente e sul supporto alla comunicazione. Panerai e colleghi (2002) ne hanno documentato l'efficacia nel miglioramento delle autonomie personali e delle competenze funzionali nella vita quotidiana. Tali risultati evidenziano l'utilità di approcci individualizzati e adattabili al profilo di funzionamento del bambino, integrando interventi educativi, comportamentali e di supporto familiare all'interno di un quadro strutturato e continuativo.

2. APPRENDIMENTO ASSOCIATIVO IMPLICITO, INCERTEZZA E VOLATILITA' NELL'AUTISMO

2.1 L'apprendimento: definizione e modelli teorici principali

L'apprendimento può essere definito come il processo attraverso cui gli individui modificano in modo stabile il proprio comportamento o le proprie conoscenze in seguito all'esperienza. Questa capacità di acquisire, ritenere e utilizzare informazioni è fondamentale per l'adattamento all'ambiente e per il funzionamento cognitivo, rappresentando uno dei concetti centrali della psicologia (Schunk, 2012; Domjan, 2014).

Nel corso dello sviluppo delle teorie psicologiche, il concetto di apprendimento è stato interpretato secondo approcci differenti. Le prime teorie comportamentiste, come quelle di Skinner (1953), hanno descritto l'apprendimento in termini di associazione tra stimoli e risposte, sottolineando il ruolo della ricompensa e del rinforzo. A partire dalla metà del Novecento, le prospettive cognitive hanno evidenziato il ruolo attivo del soggetto nell'organizzare e interpretare l'informazione, introducendo concetti come le rappresentazioni mentali, la memoria di lavoro e la metacognizione. Le teorie dell'elaborazione dell'informazione, in particolare, hanno interpretato l'apprendimento come un insieme di processi che includono la codifica, l'immagazzinamento e il recupero delle informazioni, integrando elementi provenienti anche dalle neuroscienze e dalla scienza computazionale (Newell & Simon, 1972).

All'interno di questa cornice teorica, la letteratura distingue diverse forme di apprendimento. L'apprendimento associativo si riferisce alla capacità di stabilire connessioni tra stimoli o tra stimoli e risposte, come nel condizionamento classico e operante. L'apprendimento non associativo, invece, comprende processi come l'assuefazione e la sensibilizzazione a uno stimolo ripetuto. Altre forme di apprendimento includono l'apprendimento osservazionale o vicariante, teorizzato da Bandura (1977), che si basa sulla possibilità di acquisire nuovi comportamenti attraverso l'osservazione di modelli, e l'apprendimento per insight, che implica la ristrutturazione improvvisa del problema e la scoperta autonoma della soluzione, come descritto negli studi classici di Köhler (1925).

Un aspetto particolarmente rilevante nella ricerca contemporanea riguarda la distinzione tra apprendimento implicito ed esplicito. L'apprendimento implicito si verifica in modo

automatico e inconsapevole, senza intenzione deliberata e senza accesso cosciente alla conoscenza acquisita (Reber, 1993; Seger, 1994). Al contrario, l'apprendimento esplicito implica l'elaborazione consapevole dell'informazione e la possibilità di verbalizzare il contenuto appreso. Studi di neuroimmagine hanno confermato questa distinzione, mostrando l'attivazione di circuiti cerebrali differenti nei due processi: in particolare, le regioni coinvolte nell'apprendimento implicito includono i gangli della base e il cervelletto, mentre l'apprendimento esplicito è più strettamente associato alla corteccia prefrontale e all'ippocampo (Fletcher et al., 2005).

Alla luce di tali distinzioni teoriche e dei dati provenienti dalle neuroscienze, la prossima sezione si concentrerà in modo approfondito sulle caratteristiche dell'apprendimento implicito, con particolare attenzione alla sua rilevanza nello sviluppo atipico.

2.1.1 Apprendimento implicito ed esplicito

La distinzione tra apprendimento implicito ed esplicito si basa sul grado di consapevolezza e di intenzionalità che accompagna l'acquisizione delle informazioni. L'apprendimento esplicito si realizza quando l'individuo è consapevole del processo di apprendimento e può verbalizzare le conoscenze acquisite. Questo tipo di apprendimento si fonda su meccanismi di memoria dichiarativa e richiede strategie intenzionali di attenzione, elaborazione e memorizzazione (Dienes e Perner, 1999). L'apprendimento implicito, invece, si riferisce a un processo attraverso il quale le informazioni vengono acquisite senza intenzione di apprendere e senza consapevolezza del contenuto della conoscenza che si sta interiorizzando (Cleeremans et al., 1998). Tale apprendimento si manifesta tipicamente attraverso il miglioramento della performance, anche in assenza della capacità di verbalizzare le regole o le strutture che ne sono alla base.

A livello neuropsicologico, l'apprendimento implicito ed esplicito sono supportati da sistemi mnemonici differenti. Il primo si associa alla memoria procedurale e coinvolge circuiti subcorticali, come i gangli della base e il cervelletto, mentre il secondo si lega alla memoria dichiarativa, mediata dalle aree corticali e dall'ippocampo (Seger, 1994). Tale distinzione è supportata anche da Squire (2004), il quale descrive la memoria dichiarativa come un sistema responsabile della codifica e del recupero consapevole di informazioni esplicite, fortemente dipendente dall'integrità dell'ippocampo e delle strutture mediali del

lobo temporale. Questa distinzione è stata confermata anche da studi su soggetti con amnesia, i quali, pur avendo un deficit nella memoria dichiarativa, sono in grado di apprendere in modo implicito (Dienes e Perner, 1999).

I paradigmi sperimentali utilizzati per esplorare l'apprendimento implicito includono l'artificial grammar learning (AGL), i compiti di sequenze motorie e il controllo di sistemi dinamici (Cleeremans et al., 1998). Questi studi hanno evidenziato come l'esposizione ripetuta a stimoli strutturati consenta di acquisire conoscenze operative che guidano il comportamento anche in assenza di una consapevolezza delle regole sottostanti.

L'interazione tra apprendimento implicito ed esplicito non va considerata in termini di opposizione rigida, ma come un continuum di processi che possono coesistere e influenzarsi reciprocamente a seconda delle condizioni e delle caratteristiche individuali. In alcune circostanze, la conoscenza acquisita in modo implicito può diventare accessibile alla consapevolezza, mentre in altre permane a livello non dichiarativo (Dienes e Perner, 1999).

2.1.2 Caratteristiche dell'apprendimento associativo implicito

Come già illustrato precedentemente, l'apprendimento associativo implicito si basa sull'acquisizione automatica di regolarità tra stimoli, in assenza di consapevolezza o istruzioni esplicite (Reber, 1965; Seger, 1994).

A differenza dell'apprendimento episodico o dichiarativo, quello implicito non si fonda sul ricordo consapevole delle esperienze, ma sulla capacità di generalizzare regole e pattern attraverso la sola esperienza pratica. Le rappresentazioni che si formano non sono legate ai singoli episodi, ma emergono come conoscenze astratte e operative che guidano il comportamento (Cleeremans, Destrebecqz e Boyer, 1998).

Dal punto di vista neuropsicologico, l'apprendimento associativo implicito si basa su circuiti legati alla memoria procedurale, che coinvolgono strutture subcorticali come i gangli della base e il cervelletto, distinguendosi dalle reti corticali coinvolte nella memoria esplicita (Seger, 1994).

Tali caratteristiche rendono questo meccanismo particolarmente rilevante nello studio dei disturbi del neurosviluppo, come il disturbo dello spettro autistico, dove l'analisi delle modalità di apprendimento non consapevole può contribuire a chiarire percorsi alternativi di acquisizione delle conoscenze e orientare lo sviluppo di interventi mirati.

2.1.3 Paradigmi sperimentali per lo studio dell'apprendimento implicito

L'indagine sperimentale dell'apprendimento implicito si basa sull'utilizzo di specifici paradigmi progettati per rilevare l'acquisizione di conoscenze non consapevoli, misurando il miglioramento della prestazione anche in assenza della capacità di verbalizzare le regole acquisite. Tali compiti si fondano sull'esposizione ripetuta a sequenze di stimoli o contesti strutturati, senza richiedere al partecipante l'uso di strategie dichiarative (Cleeremans et al., 1998).

Nel paradigma AGL di Reber (1965), che solitamente viene somministrato ad adulti o adolescenti, i partecipanti osservano sequenze di lettere generate secondo regole grammaticali artificiali, senza essere informati dell'esistenza di tali regole. Successivamente viene chiesto loro di classificare nuove sequenze come grammaticali o non grammaticali. Anche in assenza di consapevolezza esplicita delle regole, i soggetti riescono a distinguere correttamente le sequenze, dimostrando di aver acquisito implicite regolarità grammaticali (Reber, 1965).

Un altro paradigma molto diffuso è il Serial Reaction Time Task (SRTT). In questo compito, gli stimoli appaiono in sequenze pseudocasuali o ripetitive e il soggetto deve premere il tasto corrispondente alla posizione dello stimolo sullo schermo. Il miglioramento dei tempi di reazione nelle sequenze strutturate rispetto a quelle casuali è interpretato come indice di apprendimento implicito (Nissen e Bullemer, 1987).

Il Dynamic System Control rappresenta un'ulteriore modalità di indagine: in questo caso, i partecipanti devono controllare un sistema complesso (come un ecosistema virtuale o il livello di un serbatoio) regolando delle variabili, senza conoscere le regole che lo governano. Anche qui, l'apprendimento è inferito dal miglioramento progressivo nella gestione del sistema, in assenza di una consapevolezza dichiarativa delle regole sottostanti (Cleeremans et al., 1998).

Oltre a questi paradigmi classici, la letteratura ha identificato approcci complementari come lo statistical learning, che studia la capacità di cogliere regolarità probabilistiche nella distribuzione di stimoli, e il priming percettivo, che valuta l'effetto dell'esposizione precedente su prestazioni successive, senza che il soggetto sia consapevole del legame tra esposizione e risposta. Studi come quello di Saffran e colleghi (1996) sul linguaggio nei bambini, e ricerche di Schacter (1992) sul priming percettivo, hanno fornito solide evidenze empiriche sulla presenza di questi meccanismi anche in età evolutiva. Questi paradigmi forniscono strumenti operativi fondamentali per studiare l'apprendimento implicito in popolazioni tipiche e atipiche, e sono oggi ampiamente utilizzati anche nella ricerca sui disturbi del neurosviluppo.

2.2 Apprendimento implicito e incertezza

L'ambiente in cui gli individui apprendono è spesso caratterizzato da diversi gradi di incertezza e imprevedibilità. In tali contesti, la capacità di adattare il comportamento in base ai cambiamenti nelle regole ambientali attraverso apprendimento implicito dipende dalla modulazione dinamica del learning rate, ovvero della velocità con cui vengono aggiornate le aspettative sulla base di nuove informazioni (Behrens et al., 2007). Le teorie bayesiane suggeriscono che l'organismo costruisce rappresentazioni probabilistiche del mondo, aggiornando le proprie credenze in base alla precisione degli stimoli sensoriali e delle aspettative pregresse (Heald, Lengyel, e Wolpert, 2023). Le aspettative vengono generate in base alla capacità di ogni individuo di estrarre informazioni sulla base delle regolarità statistiche degli eventi sensoriali esterni.La regolarità statistica può riferirsi a diverse strutture di predicibilità, a seconda della loro tendenza a rimanere stabili – e quindi prevedibili – oppure a variare – e quindi a risultare incerte.L'incertezza ambientale viene comunemente distinta in due componenti: incertezza attesa (stochasticity), che si riferisce alla variabilità intrinseca nelle relazioni tra stimoli anche in contesti stabili, e incertezza inattesa (volatility), relativa a cambiamenti non previsti nelle regole sottostanti (Topel et al., 2023). Nei contesti stabili, il learning rate tende a essere basso, favorendo rappresentazioni robuste e durature; nei contesti volatili, al contrario, l'organismo necessita di flessibilità per aggiornare rapidamente le credenze di fronte a cambiamenti ambientali. Modelli bayesiani gerarchici propongono che il sistema cognitivo stimi attivamente il grado di volatilità dell'ambiente, regolando di conseguenza il learning rate anche nei

processi impliciti, ossia in assenza di consapevolezza delle regole. In tal senso, l'apprendimento implicito non è insensibile al contesto: sebbene non guidato da strategie deliberative, risente delle fluttuazioni ambientali e si adatta alle condizioni di stabilità o mutamento (Behrens et al., 2007; Heald, Lengyel e Wolpert, 2023).

Paradigmi sperimentali che manipolano la volatilità, come quelli proposti da Manning e colleghi (2016), mostrano che l'esposizione a contesti mutevoli induce una regolazione implicita del comportamento, suggerendo che anche l'apprendimento non consapevole sia sensibile alla struttura dell'ambiente. In questi modelli, l'organismo non si limita a codificare le relazioni tra stimoli, ma inferisce attivamente il contesto, adattando la velocità di apprendimento in funzione della stabilità percepita (Heald, Lengyel e Wolpert, 2023; Topel et al., 2023).

Queste dinamiche risultano particolarmente rilevanti anche per lo studio dell'apprendimento implicito in popolazioni cliniche. La percezione e la gestione dell'incertezza sembrano infatti rappresentare meccanismi chiave, la cui disfunzione potrebbe contribuire a spiegare difficoltà nell'adattamento comportamentale e nella flessibilità cognitiva.

2.3 Apprendimento implicito e volatilità nell'autismo

L'apprendimento implicito consente di acquisire regolarità ambientali senza l'impiego di strategie consapevoli, risultando fondamentale per il funzionamento adattivo. Tuttavia, nei soggetti con disturbo dello spettro autistico, tale meccanismo può essere influenzato da un'elaborazione atipica dell'incertezza. Modelli teorici di ispirazione bayesiana ipotizzano che le persone con ASD sovrastimano la probabilità di cambiamento delle contingenze ambientali, affidandosi eccessivamente agli stimoli immediati a scapito dell'integrazione delle esperienze precedenti (Lawson et al., 2017).

Questa prospettiva si è dimostrata particolarmente utile nello studio dell'autismo. Si ipotizza, infatti, che una sovrastima della volatilità ambientale conduca a un'eccessiva dipendenza dagli input sensoriali, con un impatto negativo sulla costruzione di aspettative basate sull'esperienza (Lawson, Mathys, e Rees, 2017; Palmer, Lawson, e Hohwy, 2017). Secondo Bruckner e colleghi (2025), tali stime distorte possono alterare il learning rate, provocando bias nell'aggiornamento delle credenze: una sovrastima della volatilità porta a

flessibilità eccessiva e instabilità; una sottostima, invece, a rigidità comportamentale. Questa dinamica potrebbe spiegare caratteristiche frequentemente osservate nel disturbo, come la rigidità cognitiva e comportamentale, l'intolleranza al cambiamento e l'ipersensibilità agli stimoli. Manning e colleghi (2016) hanno fornito evidenze empiriche a supporto di queste ipotesi. In un compito di apprendimento probabilistico, i bambini con ASD hanno mostrato un'elevata reattività ai cambiamenti delle regole, suggerendo una sensibilità atipica alla volatilità. Risultati coerenti sono stati osservati anche in adulti con ASD da Lawson e colleghi (2021), rafforzando l'idea che la stima alterata della variabilità del contesto emerga precocemente.

A livello neurocognitivo, il modello proposto da Heald, Lengyel e Wolpert (2023) evidenzia che l'inferenza contestuale — ovvero la capacità di distinguere tra rumore e reali cambiamenti ambientali — può risultare compromessa nell'autismo. Di conseguenza, le strategie di apprendimento implicito risultano subottimali, anche in assenza di consapevolezza esplicita. Bruckner e colleghi (2025) sostengono che un errore sistematico nella stima dell'incertezza porti a un'alterazione della regolazione del learning rate, interferendo con la costruzione di rappresentazioni stabili.

Queste ipotesi si inseriscono in una prospettiva transdiagnostica che considera la gestione dell'incertezza come un meccanismo cognitivo condiviso tra diversi disturbi, la cui disfunzione può spiegare difficoltà trasversali nell'adattamento e nella regolazione del comportamento (Friston et al., 2017). Nel complesso, l'apprendimento implicito nell'autismo appare condizionato da una percezione distorta della volatilità ambientale, che ne compromette l'efficienza e la flessibilità. L'approfondimento di questi meccanismi può offrire spunti rilevanti per la comprensione delle difficoltà cognitive associate al disturbo e per lo sviluppo di interventi mirati.

3. LA RICERCA

3.1 Obiettivi

La presente ricerca si colloca all'interno del progetto sperimentale CALM: aspetti contestuali e individuali su attenzione e autoregolazione in età evolutiva, promosso dal gruppo di ricerca NeuroDev presso il Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova, sotto la direzione scientifica del Professore Giovanni Mento.

La seconda fase del progetto alla quale il presente elaborato di laurea fa riferimento (CALM-2) si propone in particolare di esaminare il ruolo dell'incertezza e della volatilità ambientale nei processi di regolazione cognitiva e adattamento comportamentale in età evolutiva, attraverso compiti sperimentali computerizzati progettati per simulare contesti probabilistici stabili e instabili. L'indagine coinvolge bambini e ragazzi con sviluppo tipico e atipico attraverso un approccio transdiagnostico dal momento che sono incluse nolte diagnosi (ADHD, ASD, disturbi dell'apprendimento) al fine di esplorare le modalità con cui tali gruppi apprendono e aggiornano regolarità ambientali non esplicite. Nello specifico, la presente tesi si focalizza sull'apprendimento associativo implicito in bambini con ASD e in coetanei con sviluppo tipico, mediante l'impiego del Mario Task (Srefanelli et al., in preparation), un compito comportamentale computerizzato che consente di valutare l'acquisizione e l'aggiornamento implicito di associazioni probabilistiche in contesti ambientali mutevoli (Lawson, Mathys, & Rees, 2017). Sebbene la raccolta dati includa anche questionari rivolti ai genitori e prove neuropsicologiche, nel presente elaborato di tesi verranno presentati prevalentemente i risultati relativi al compito sperimentale.

3.2 Metodo

3.2.1 Partecipanti

Il progetto CALM-2 ha coinvolto un campione iniziale di 398 bambini e adolescenti, di età compresa tra quattro e quattordici anni, reclutati su scala nazionale attraverso una rete di centri clinici pubblici e privati e istituzioni scolastiche, tra cui: IRCCS "E. Medea" – La Nostra Famiglia (sedi di Conegliano, Treviso, Padova, Oderzo, San Donà di Piave e Vicenza), Centro ADHD (Milano), Centro Punto Tondo (Conegliano), Il Piccolo Principe (Ferrara), Studio "Il Timone" (La Spezia), Studio Cagnin-Benetti (Fiesso d'Artico), Associazione Incore (Noventa Padovana), Centro La Fenice (Noale), centro Rindola

(Vicenza), Istituto Agazzi (Arezzo) e Lab28 (Chioggia). Per quanto riguarda le scuole, hanno partecipato: l'Istituto Comprensivo Statale di Cinisi (Palermo), l'Istituto Comprensivo di Cavallermaggiore (Cuneo), l'Istituto Comprensivo "Beppe Fenoglio" di Bagnolo Piemonte (Cuneo), e numerose scuole primarie e secondarie localizzate nei territori di Noale, Noventa di Piave, La Spezia, Vicenza, Chioggia e Ferrara. Tutti i partecipanti hanno preso parte a un'unica sessione sperimentale, articolata in tre fasi: una prima fase computerizzata, una seconda fase di somministrazione di prove neuropsicologiche standardizzate, e infine la compilazione di questionari da parte dei genitori. Tra i criteri di esclusione sono stati considerati la presenza di patologie neurologiche (ad esempio epilessia), condizioni genetiche note, comorbidità con Disabilità Intellettiva (DI; QI < 70). Sono inoltre stati esclusi coloro che non hanno completato i primi sei blocchi del Mario Task o che presentavano errori procedurali tali da compromettere la validità dei dati. Dopo l'applicazione di questi criteri di esclusione, il campione finale risulta composto da 391 partecipanti: 209 con sviluppo tipico (112 femmine e 97 maschi) e 160 con diagnosi riconducibili ai disturbi del neurosviluppo (39 femmine e 121 maschi).

Ai fini degli obiettivi del presente elaborato è stato ulteriormente selezionato un sottogruppo specifico del campione generale, costituito da due gruppi: un gruppo clinico, formato da 16 bambini/e e adolescenti con diagnosi di ASD (età media: 9.36 anni; deviazione standard: 1.79; range: 5-14) e un gruppo di controllo, composto da 16 bambini/e e adolescenti a sviluppo tipico (età media: 9.29 anni; deviazione standard: 1.69; range: 5-14). I partecipanti sono stati selezionati e abbinati per età e genere.

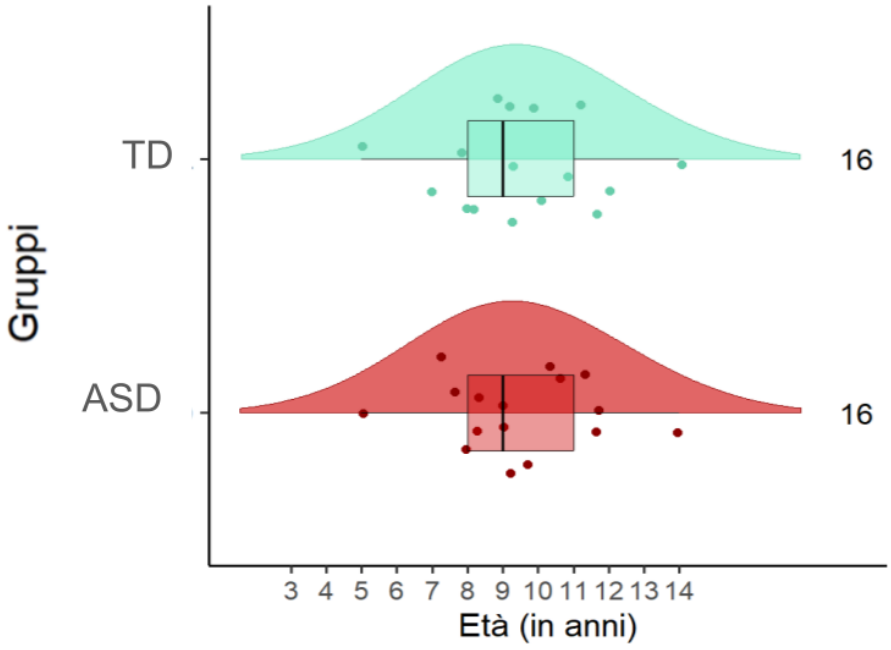

Figura 5. Distribuzione di età e genere nei gruppi ASD e controllo. Entrambi i gruppi includono 16 partecipanti.

3.2.2 Conformità etica

La partecipazione alla ricerca è avvenuta previo consenso informato scritto da parte dei genitori dei bambini coinvolti e con assenso verbale da parte dei minori. Tutte le procedure sperimentali sono state approvate dal Comitato Etico della Scuola di Psicologia dell'Università di Padova (protocollo n. 526-a) e sono state condotte nel rispetto dei principi espressi dalla Dichiarazione di Helsinki.

3.3 Strumenti

I genitori hanno fornito una descrizione dei comportamenti dei figli attraverso la compilazione online di specifici questionari, mentre i bambini hanno svolto alcune prove neuropsicologiche e il compito sperimentale al computer. Al fine di garantire l'anonimato e la riservatezza dei dati raccolti, a ciascun partecipante è stato assegnato un codice identificativo numerico, utilizzato per l'intero processo di somministrazione e analisi, inclusi i questionari e le prove al computer.

3.3.1 Questionari

Per raccogliere informazioni comportamentali e cliniche sui partecipanti, è stato chiesto ai genitori di compilare dei questionari online tramite la piattaforma Qualtrics Survey (Qualtrics, 2019), con un tempo medio di completamento di circa 30 minuti. Oltre a una sezione anamnestica generale, sono stati somministrati i seguenti strumenti: l'Intolerance of Uncertainty Scale – Parent report (IUS-P; Boulter et al., 2014; adattamento italiano a cura di Bottesi et al.), il Behavioural Rating Inventory of Executive Function – Second Edition (BRIEF-2; Gioia et al., 2000; adattamento italiano a cura di Marano et al., 2016), la Conners' Parent Rating Scale – Revised (CPRS-R; Conners et al., 1998; adattamento italiano a cura di Nobile et al., 2007) e la Social Responsiveness Scale – Second Edition (SRS-2; D'Ardia et al., 2021).

Si specifica che i dati raccolti tramite questi strumenti non sono stati inclusi nelle analisi del presente elaborato.

3.3.2 Test neuropsicologici

Per ottenere una valutazione complessiva del funzionamento cognitivo dei partecipanti, sono stati somministrati test neuropsicologici sia in formato cartaceo sia in formato computerizzato. L'erogazione delle prove è stata calibrata in base alla documentazione clinica già disponibile: i test eseguiti nei sei mesi precedenti alla data di somministrazione non sono stati ripetuti.

La sessione ha avuto inizio con l'esecuzione delle Matrici Progressive Colorate di Raven (Raven, 2008), nella versione computerizzata realizzata tramite il software Open Sesame (versione 3.3.14; Mathôt et al., 2012). Questo test misura il ragionamento non verbale attraverso problemi visivi composti da disegni astratti e restituisce un indice dell'età mentale del soggetto. A seguire, dopo il Mario Task, per valutare la flessibilità cognitiva, è stato somministrato il Wisconsin Card Sorting Test (WCST; Heaton, R. K ., & Par, S., 2000), nella versione computerizzata con 64 carte, presentata tramite il software PEBL (versione 2.1; Mueller, 2019). Durante il test, il partecipante è chiamato ad abbinare una carta-risposta a una delle quattro carte-stimolo, senza ricevere istruzioni esplicite sulla regola da applicare, che deve essere inferita implicitamente in base ai feedback ricevuti. La

regola cambia nel corso della prova, richiedendo l'adattamento della risposta e la capacità di modificare strategie apprese in precedenza.

Alle prove computerizzate sono seguite alcune prove carta e matita. In particolare, è stata valutata la memoria a breve termine tramite la prova di Backward Digit Span della Batteria di Valutazione Neuropsicologica per l'età evolutiva (BVN 5-11; Bisiacchi et al., 2005; Gugliotta et al., 2009; BVN 12-18.). Dalla medesima batteria è stata inoltre somministrata la prova di fluenza fonemica, utile per esplorare la rapidità di accesso al lessico e l'impulsività. Per approfondire ulteriormente quest'ultima funzione, sono stati utilizzati anche il Completamento Alternativo di Frasi (CAF) e lo Stroop numerico, entrambi estratti dalla Batteria Italiana per l'ADHD (BIA; Marzocchi et al., 2010). A completamento del protocollo, è stato somministrato il test di Inibizione tratto dalla NEPSY-II (Urgesi, Campanella e Fabbro, 2011), una batteria composta da più prove neuropsicologiche destinate alla valutazione delle funzioni esecutive in età evolutiva. Il test di Inibizione valuta la capacità del bambino di inibire una risposta automatica per sostituirla con una risposta più controllata. Nella condizione B, per esempio, al bambino viene chiesto di dire l'etichetta opposta rispetto allo stimolo presentato: se compare un cerchio, deve rispondere "quadrato", e viceversa. Lo stesso principio viene applicato nella seconda parte della prova, in cui deve dire "su" o "giù" in modo opposto rispetto alla direzione indicata da una freccia. Per entrambe le sezioni vengono rilevati il numero di errori, eventuali autocorrezioni e il tempo impiegato per completare l'esercizio.

3.3.3 Compito sperimentale

I partecipanti hanno svolto il Mario Task, un compito sperimentale computerizzato sviluppato con il software Open Sesame (versione 3.3.14; Mathôt et al., 2012), che costituisce un adattamento del Probabilistic Associative Learning (PAL) Task proposto da Lawson e colleghi, (2017) e successivamente rielaborato da Stefanelli e colleghi, (in prep). Il Mario Task è un Dynamic Associative Learning (DAL) task, progettato per valutare l'apprendimento implicito di associazioni in contesti in cui la prevedibilità è soggetta a variazioni dinamiche.

Il compito prevede una fase iniziale composta da schermate introduttive, istruzioni dettagliate, un blocco di prova e, a seguire, la sessione sperimentale vera e propria.

L’ambientazione è ispirata al videogioco “Super Mario” (Nintendo ©), con lo scopo di rendere il compito più coinvolgente (vedi Figura 1).

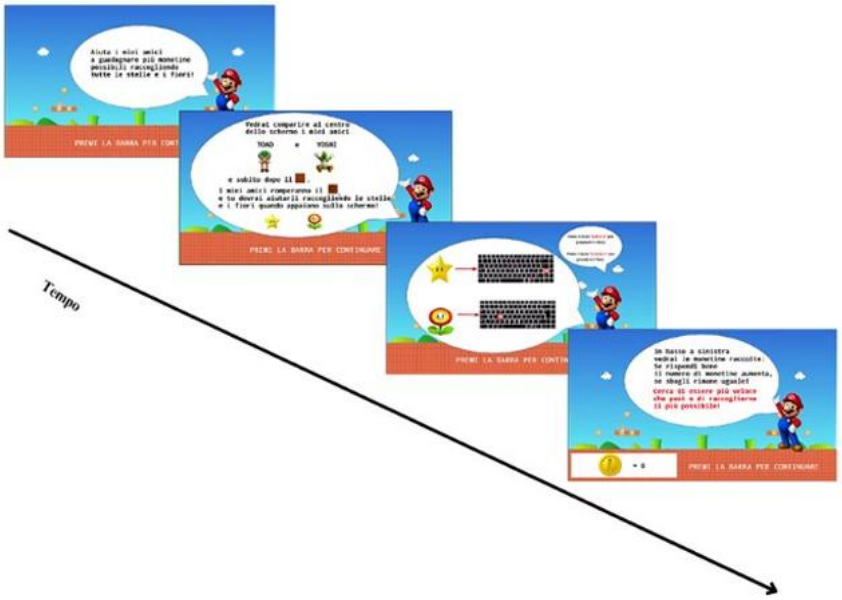

Figura 1: Schermate iniziali del Mario Task con ambientazione e istruzioni narrative.

Il compito dei partecipanti è quello di rispondere a target visivi (una stella o un fiore) che seguono la presentazione di un personaggio-cue (Toad o Yoshi), premendo un tasto sulla tastiera (tasto sinistro o tasto destro) in base allo stimolo visualizzato. L’associazione tra tasto e target è controbilanciata tra i partecipanti. Ogni risposta corretta comporta l’accumulo di monete, visibili in basso sullo schermo. Non è previsto alcun punto di fissazione. Il blocco di prova è costituito da 12 trials, ognuno dei quali include un feedback immediato, come “Super!” in caso di risposta corretta, “Riprova!” per una risposta errata, e “Risposta non data!” in caso di omissione. Ogni trial segue una struttura fissa: una schermata iniziale (1000 ms), un cue audiovisivo (500 ms), un intervallo (1000 ms) e il target (presentato fino a un massimo di 2000 ms, entro cui è richiesta la risposta, come illustrato in Figura 2).

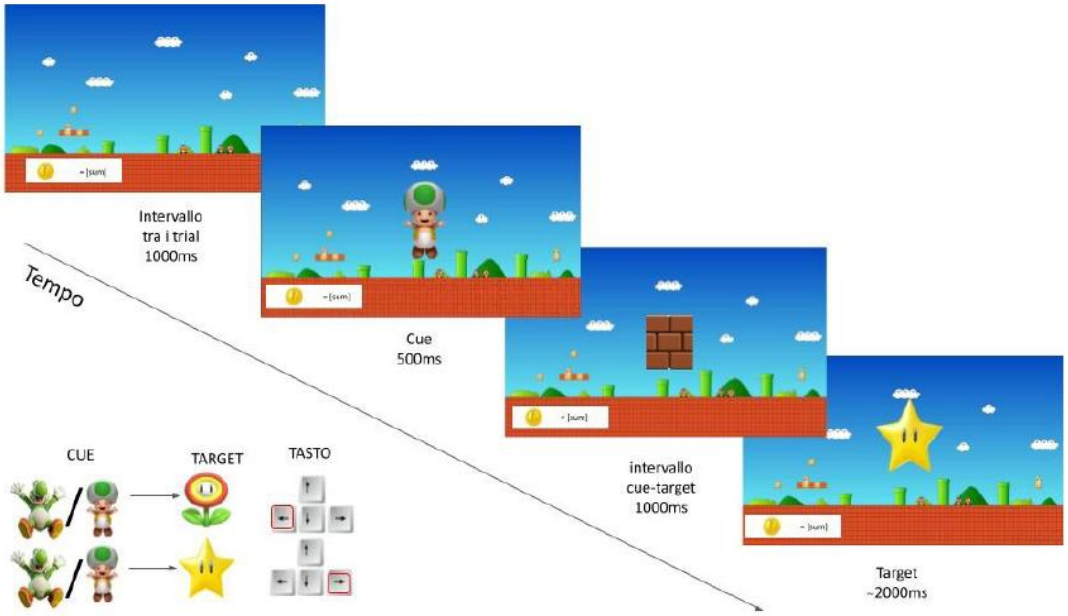

Figura 2: Sequenza temporale e struttura grafica di un singolo trial nel Mario Task, con indicazione dei tempi di presentazione e della mappatura tasto-target.

La sessione sperimentale era strutturata in due fasi consecutive: una prima fase non motivante (Non Rewarding, NR) e una seconda fase motivante (Rewarding, R), entrambe composte da sei blocchi. L'idea alla base di questa distinzione era quella di indagare se l'introduzione di una componente motivazionale potesse influenzare l'apprendimento implicito. Nella fase NR, il compito veniva proposto in modo neutro, senza ricompense o incentivi espliciti; al contrario, nella fase R, veniva aggiunta una narrazione di gioco (es. "Casa della Fortuna") pensata per rendere l'attività più coinvolgente, introducendo un sistema di premi simbolici legati alla performance.

Nel presente elaborato, l'attenzione è stata rivolta esclusivamente alla fase non motivante, in quanto più adatta a cogliere i processi di apprendimento associativo implicito in condizioni di base, prive di influenze esterne legate alla motivazione. Questa scelta ha permesso di analizzare le risposte dei partecipanti a diversi livelli di prevedibilità degli stimoli, in un contesto sperimentale più controllato. La fase NR è composta da sei blocchi presentati in ordine fisso: due blocchi con struttura A (A_1 e A_2), due con struttura B (B_1 e B_2) e due blocchi non predittivi (AB_1 e AB_2). I blocchi predittivi contengono 40 trial ciascuno, mentre quelli non predittivi ne includono 20. È prevista una breve pausa tra il terzo e il quarto blocco.

Sono state definite tre condizioni: nella relazione A, ad esempio, Yoshi predice il fiore con l'80% di probabilità e la stella con il 20%, mentre Toad l'inverso; nella relazione B, Yoshi predice la stella con l'80% e il fiore con il 20%, con Toad che mantiene la relazione opposta; nella relazione AB, entrambi i cue predicono i target in modo casuale (vedi Figura 3).

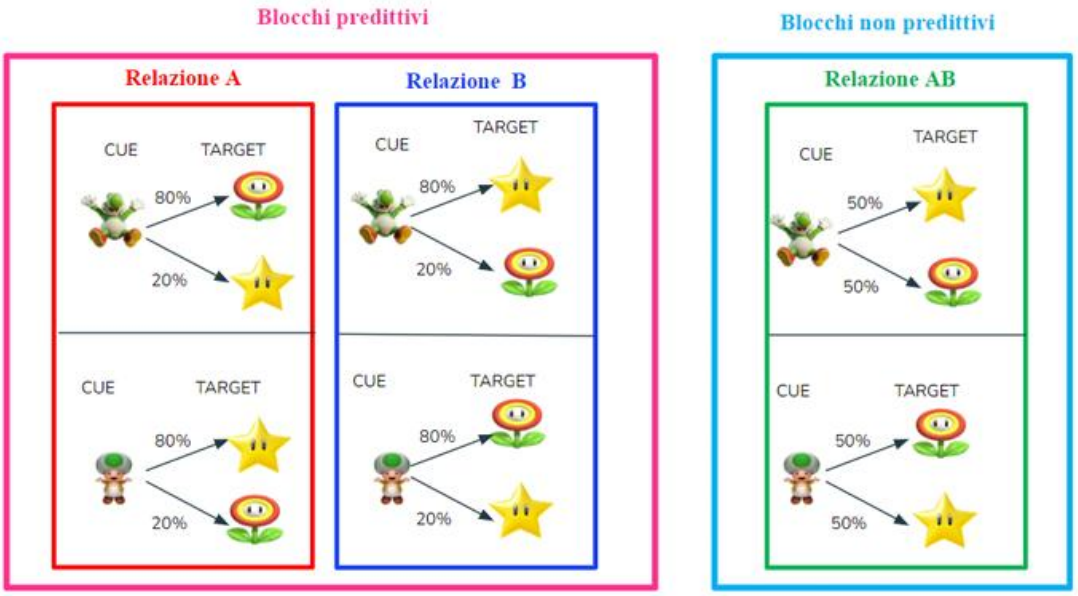

Figura 3: Rappresentazione grafica delle tre relazioni sperimentali tra cue e target (A, B e AB).

La manipolazione sperimentale consiste in variazioni non esplicitate nella probabilità di associazione tra cue e target. Nei blocchi predittivi, uno specifico cue predice un target con probabilità dell'80%, e l'altro con probabilità del 20%. Nei blocchi non predittivi, la relazione è casuale (50%-50%). L'ipotesi alla base del compito è che i partecipanti apprendano implicitamente questa regolarità, mostrando prestazioni più accurate e rapide nei trial con associazioni altamente predittive e che siano in grado di aggiornare tale apprendimento lungo il compito sulla scia del cambio di volatilità. La durata della sessione sperimentale considerata era di circa quindici minuti (vedi Figura 4).

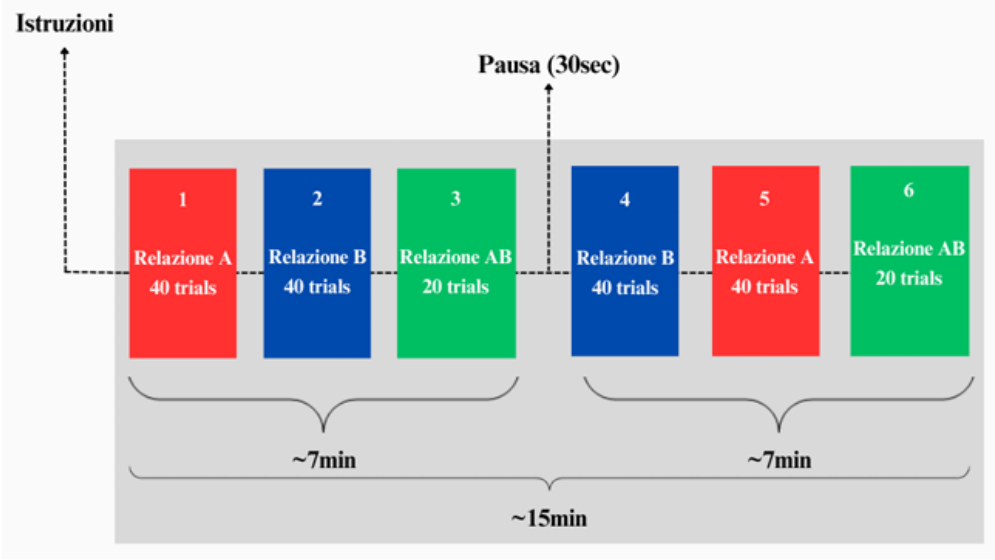

Figura 4: Struttura e ordine dei sei blocchi sperimentali inclusi nelle analisi

3.4 Procedura sperimentale

Tutte le sessioni sperimentali si sono svolte all'interno dei centri clinici e degli istituti scolastici precedentemente elencati. Ogni incontro aveva una durata complessiva di circa un'ora e mezza e poteva essere articolato in una o due giornate, a seconda delle necessità individuali. Al momento dell'accoglienza, ai genitori veniva richiesto di firmare i moduli relativi al consenso informato e al trattamento dei dati personali. Contestualmente, ricevevano un foglio contenente un codice QR per accedere ai questionari online e il codice numerico identificativo del proprio figlio, da utilizzare sulla piattaforma.

Il bambino veniva quindi accompagnato in una stanza tranquilla, ben illuminata e priva di distrazioni, dove era predisposto un computer, posto a circa 60 cm di distanza dalla postazione del partecipante. I tasti necessari per rispondere al compito sperimentale erano contrassegnati da due gommini adesivi rialzati per facilitare il riconoscimento tattile.

La sessione prevedeva una sequenza fissa: inizialmente venivano somministrate le prove neuropsicologiche in formato computerizzato, seguite dal Mario Task, e infine dai test neuropsicologici in versione cartacea. Al termine delle attività, a ogni bambino veniva consegnato un attestato di partecipazione personalizzato e due adesivi: uno raffigurante una

stella ispirata all'universo del videogioco Super Mario (Nintendo ©), e uno con il logo ufficiale del gruppo di ricerca NeuroDev.

3.5 Ipotesi sperimentali

Sulla base delle evidenze emerse dalla letteratura scientifica e degli obiettivi della presente tesi, sono state formulate le seguenti ipotesi.

H1 – Differenze generali tra gruppo ASD e gruppo TD
Si ipotizza che i bambini con diagnosi di disturbo dello spettro autistico presentino, in generale, prestazioni inferiori rispetto ai coetanei a sviluppo tipico, con una minore accuratezza e/o maggiore variabilità nei tempi di risposta. Questa ipotesi riflette un'alterata elaborazione dell'incertezza e una minore efficienza nei processi cognitivi impliciti, coerentemente con quanto osservato in precedenti ricerche (Lawson, Mathys, & Rees, 2017; Topel, Heald, Wolpert, & Lengyel, 2023).

H2 – Differenze tra gruppo ASD e TD nell'adattamento implicito ai contesti predittivi
Si ipotizza inoltre che i bambini con sviluppo tipico siano in grado di adattare implicitamente le proprie risposte in base alla struttura probabilistica del compito, mostrando migliori prestazioni nei blocchi predittivi (con cue associati ai target con probabilità dell'80%) rispetto a quelli non predittivi. Al contrario, nei bambini con ASD ci si attende un pattern meno differenziato tra condizioni sperimentali, a causa di una difficoltà nell'inferenza implicita e nella regolazione del learning rate in funzione della prevedibilità contestuale (Behrens et al., 2007; Palmer, Lawson, & Hohwy, 2017).

3.6 Analisi dei dati

Le analisi sono state condotte in *R* (v. 4.3.1) tramite l'ambiente *RStudio*, utilizzando i pacchetti *lme4* per l'adattamento dei modelli lineari generalizzati misti (*glmer()*), *emmeans* per i confronti post-hoc. È stato utilizzato un disegno fattoriale misto, composto dall'interazione tra tre variabili indipendenti: 2 (*associazione*) × 3 (*blocchi*) × 2 (*gruppo*).

La variabile within-subjects *associazione* a due livelli (Coppia_1 e Coppia_2), è stata esaminata in particolare per valutare se le prestazioni dei partecipanti variassero in funzione delle associazioni *cue-target*. La variabile within-subjects *blocchi* articolata su tre livelli (Blocco_A, Blocco_B e Blocco_AB), è stata utilizzata per verificare se la tipologia di relazione tra gli stimoli influisce sull'apprendimento associativo implicito. La scelta di suddividere a tre livelli la variabile blocchi, collassandoli tra loro per tipo di condizione sperimentale è stata presa per poter semplificare l'analisi e rendere più chiara l'interpretazione degli effetti associativi.

Per valutare eventuali differenze tra i due gruppi di partecipanti, è stata inclusa la variabile between-subjects *gruppo*, con due livelli: ASD e TD (gruppo a sviluppo tipico).

I tempi di reazione (RTs) e l'accuratezza (percentuale di risposte corrette) sono le variabili dipendenti esaminate in questo studio.

RTs sono stati analizzati considerando solamente le risposte corrette fornite in un intervallo compreso tra 150 e 2000 millisecondi, escludendo dunque risposte casuali, anticipatorie, troppo lente o assenti. Dopo la normalizzazione della distribuzione tramite trasformazione logaritmica, è stata applicata una funzione di distribuzione *Gamma* (*link function* = "log") per l'analisi con il modello misto:

*RT ~ associazione * blocchi * gruppo + genere + età (anni) + Acc_n_1 + preRT + tn_scaled + (1 | subj)*

L'accuratezza, trattata come variabile dipendente binaria (0 = errore, 1 = risposta corretta), è stata invece analizzata utilizzando una distribuzione binomial (link function = "probit"):

*accuratezza ~ associazione * blocchi * gruppo + genere + età (anni) + Acc_n_1 + tn_scaled + (1 | subj)*

È stato adottato un approccio basato su modelli generalizzati lineari misti *(Generalized Linear Mixed Models, GLMM),* appropriato per la gestione dati gerarchici e misure ripetute all'interno di compiti sperimentali, e per l'analisi di variabili non normalmente distribuite come i tempi di reazione (Lo & Andrews, 2015). L'identificativo del

partecipante è stato inserito come effetto casuale (*intercetta random*), al fine di modellare la variabilità intra-soggetto. Sono state inserite le covariate *età in anni* (scalata) e *genere*.

Inoltre, per tenere conto di potenziali effetti sequenziali, sono state incluse 3 covariate di controllo:

1. *Acc_n_1*: relativa ai *post-error trial*, tiene conto dell'effetto di un eventuale errore nel trial precedente sulla velocità di risposta a quello corrente (*post-error slowing*; Rabbitt, 1966);

2. *preRT*: rappresenta l'influenza della velocità di risposta al trial precedente su quella del trial corrente (Baayen & Milin, 2010);

3. *tn_scaled*: inseriti per controllare l'influenza del numero di trial (scalata).

In presenza di interazioni significative, sono stati condotti test *post-hoc* tramite il metodo di *Bonferroni*, per confronti multipli.

4. RISULTATI

4.1 Tempi di reazione

L'analisi non ha evidenziato alcun effetto significativo per i fattori *gruppo* ($\chi^2(1) = 0.26$, $p = .611$), associazione($\chi^2(1) = 0.20$, $p = .657$) e *blocco* ($\chi^2(2) = 4.48$, $p = .106$). L'interazione tra associazione e blocco risulta statisticamente significativa ($\chi^2(2) = 6.08$, $p = .0478$), mentre la tripla integrazione gruppo * associazione* blocco non raggiunge un livello di significatività statistica ($\chi^2(1) = 4.99$, $p = 082$). Tuttavia, dai contrasti post-hoc emerge che, sebbene non vi siano differenze significative tra i gruppi nella tripla interazione, a livello qualitativo i gruppi mostrano un andamento coerente con le aspettative in almeno uno dei blocchi predittivi. Nello specifico:

- Nel gruppo ASD, nel blocco A, i partecipanti mostrano tempi di reazione più veloci nella condizione attesa di Coppia_1 rispetto a quella non attesa ($t = -2.157$, $p = 0.31$
- Nel gruppo di controllo (TD), nel blocco B, i partecipanti risultano più veloci nella condizione attesa di Coppia_2 ($t = 1.982$, $p = .047$).
- In nessuno dei due gruppi si osservano differenze significative nei tempi di reazione all'interno del blocco AB (ASD: $t = 0.710$, $p = .478$; TD: $t = -1.453$, $p = .146$).

Questi risultati indicano che entrambi i gruppi mostrano un certo grado di adattamento implicito alla struttura probabilistica del compito, ma con pattern differenziati nei blocchi predittivi, in linea con l'ipotesi H2. L'analisi ha inoltre evidenziato che le covariate età ($\chi^2(1) = 23.63$, $p < .001$), preRT ($\chi^2(1) = 53.75$, $p < .001$) e tn_scaled ($\chi^2(1) = 74.55$, $p < .001$) sono predittori significativi dei tempi di risposta, mentre Acc_N_1 ha mostrato un effetto marginale ($\chi^2(1) = 3{,}69$, $p = .055$).

Una rappresentazione grafica dei risultati è riportata in Figura 6.

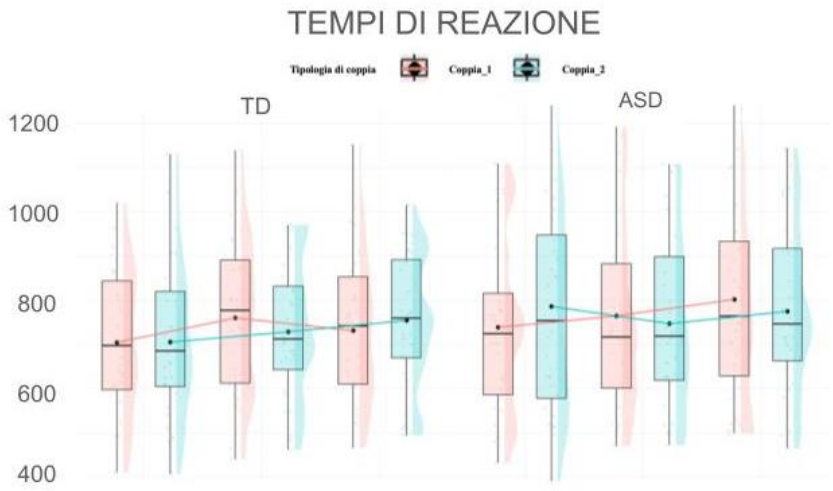

Figura 6: Tempi di reazione previsti (in millisecondi) per blocco sperimentale (A, B, AB), validità dell'associazione (Coppia_1, Coppia_2) e gruppo (ASD, TD). Le barre verticali indicano gli intervalli di confidenza al 95%.

4.2 Accuratezza

L'analisi ha evidenziato un effetto principale di gruppo ($\chi^2(1) = 7.01$, $p = .008$), con accuratezza inferiori nel gruppo ASD rispetto al gruppo di controllo, e un effetto di blocco ($\chi^2(2) = 6.10$, $p = .047$). con accuratezza maggiore nel blocco AB rispetto a B ($t= -2.951$, $p = .0095$) e rispetto ad A ($t= 2.661$, $p = .023$). L'associazione ha mostrato a sua volta un effetto significativo ($\chi^2(1) = 5.56$, $p = .018$).

L'interazione tra associazione e blocco risulta statisticamente significativa ($\chi^2(2) = 9.10$, $p = .011$), mentre la tripla interazione gruppo * associazione * blocco non raggiunge la significatività ($\chi^2(2) = 0.81$, $p = .668$). Tuttavia, dai contrasti post-hoc emerge che i gruppi mostrano un andamento coerente con le aspettative in almeno uno dei blocchi predittivi.

Nello specifico:

- Nel gruppo ASD, nel blocco AB, i partecipanti mostrano migliore accuratezza nella condizione di Coppia_2 rispetto alla Coppia_1 ($t= -2.057$, $p = .039$), sebbene in questo blocco nessuna delle due coppie fosse probabilisticamente attesa. Questo risultato potrebbe riflettere una difficoltà nel modificare le associazioni

precedentemente apprese, con una tendenza a mantenere l'apprendimento consolidato nei blocchi precedenti.

- Nel gruppo TD, nel blocco B, i partecipanti mostrano maggiore accuratezza attesa di Coppia_2 (t= -2.414, p = .016).
- In nessun gruppo si osservano differenze significative nell'accuratezza all'interno del blocco A (ASD: t= 0.975, p = .329; Controllo (TD): t= 0.495, p = .621).

Questi risultati suggeriscono che, coerentemente con l'ipotesi H2, il gruppo ASD, pur mostrando un'accuratezza inferiore (H1), non riesca ad adattare in modo flessibile le risposte alla struttura probabilistica implicita del compito, al contrario del gruppo TD, che evidenzia un apprendimento associativo più efficiente.

L'analisi ha, inoltre, evidenziato che le covariate tn_scaled ($\chi^2(1) = 8.11$, $p = .004$) e Acc_N_1 ($\chi^2(1) = 13.47$, $p < .001$) sono predittori significativi dell'accuratezza, mentre l'età non ha mostrato un effetto statisticamente significativo ($\chi^2(1) = 2.00$, $p = .157$).

In Figura 7 sono riportati i valori medi di accuratezza previsti nelle diverse condizioni.

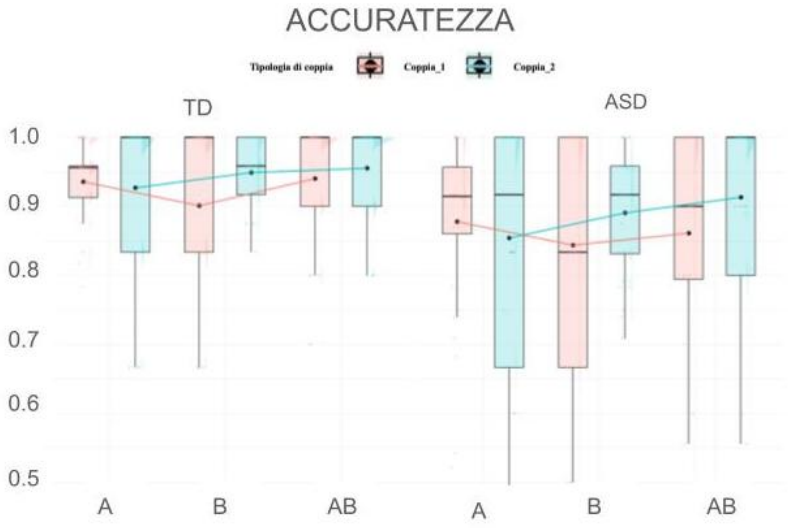

Figura 7: Accuratezza prevista (in scala proporzionale) per blocco sperimentale (A, B, AB), validità dell'associazione (Coppia_1, Coppia_2) e gruppo (ASD, controllo). Le barre verticali rappresentano gli intervalli di confidenza al 95%.

5. DISCUSSIONE

5.1 Discussione dei risultati

L'obiettivo principale di questo lavoro era indagare le differenze nell'apprendimento associativo implicito tra bambini con ASD e coetanei a sviluppo tipico, impiegando il Mario Task per simulare contesti di incertezza e volatilità ambientale. In linea con le ipotesi formulate, ci si attendeva che (H1) i bambini con ASD mostrassero, in generale, prestazioni inferiori rispetto al gruppo TD, e che (H2) tale differenza si manifestasse in modo specifico nella capacità di adattare il comportamento alla struttura probabilistica del compito. Per quanto riguarda l'aspetto dell'accuratezza, i risultati confermano l'ipotesi H1: il gruppo ASD ha evidenziato una prestazione complessivamente inferiore rispetto al gruppo TD, coerentemente con quanto riportato in letteratura in merito alle difficoltà nei compiti di apprendimento implicito e nella gestione dell'incertezza (Lawson et al., 2017; Topel et al., 2023). È emerso, inoltre, un effetto principale del blocco sperimentale, con performance significativamente migliori nel blocco AB (probabilità bilanciata) rispetto ai blocchi A e B (probabilità sbilanciata in favore della coppia 1 o 2), suggerendo un "vantaggio paradossale" nei contesti casuali dove le aspettative predittive forti sono meno forti.

In linea con l'ipotesi H2, l'analisi ha mostrato pattern specifici nei diversi blocchi: nel blocco AB, il gruppo ASD ha ottenuto risultati migliori nella condizione di Coppia_2 ($p = .0397$), nonostante in quel blocco nessuna coppia fosse predittiva. Questo comportamento potrebbe riflettere una difficoltà a modificare le associazioni apprese nei blocchi precedenti, indicando una minore flessibilità. Nel gruppo TD, al contrario, l'effetto predittivo emerge chiaramente nel blocco B, dove si osserva una maggiore accuratezza per la coppia attesa (Coppia_2 $p = .0158$). Anche il gruppo ASD mostra una tendenza simile nello stesso blocco ($p = .0614$), ma in modo meno marcato. Questi risultati supportano l'ipotesi secondo cui i bambini a sviluppo tipico riescono ad adattarsi meglio alla probabilità implicita, mentre quelli con ASD tendono a mantenere strategie meno flessibili.

Per quanto riguarda i tempi di reazione, contrariamente all'ipotesi H1, non sono emerse differenze globali significative tra i gruppi. Tuttavia, a livello qualitativo, si osserva una leggera tendenza alla riduzione dei tempi nei blocchi predittivi, potenziale indicatore di apprendimento implicito della struttura del compito (Frensch & Rünger, 2003). L'assenza di un effetto di gruppo suggerisce che le principali difficoltà nei bambini con ASD si manifestino più in termini di accuratezza che di velocità di risposta, coerentemente con

studi recenti sulla variabilità intraindividuale e la rigidità cognitiva (Topel et al., 2023).

Il pattern generale osservato – minore accuratezza nel gruppo ASD, assenza di differenze nei tempi di reazione e vantaggio nei contesti neutri – è coerente con i modelli bayesiani dell'autismo. Secondo questi modelli, i soggetti con ASD tendono a sovraponderare gli errori di previsione e a faticare nell'integrazione delle informazioni pregresse (Bruckner et al., 2025), compromettendo la loro capacità di adattarsi in modo efficiente a contesti altamente predittivi. Di conseguenza, quando le regole sono deboli o assenti, come nel blocco AB, il carico cognitivo si riduce e le prestazioni del gruppo ASD risultano meno penalizzate.

5.2 Implicazioni cliniche ed educative

I risultati emersi da questo studio offrono spunti rilevanti per la progettazione di interventi educativi e clinici rivolti a bambini con ASD. Le difficoltà riscontrate nel gruppo ASD, sia in termini di accuratezza generale (H1) sia nella modulazione flessibile delle risposte in base alla struttura probabilistica del compito (H2), sembrano riflettere una fatica nell'integrare informazioni che cambiano nel tempo, soprattutto in contesti incerti o soggetti a variazioni non esplicite. Questo tipo di rigidità cognitiva, frequentemente documentata in letteratura (Pellicano & Burr, 2012; Lawson et al., 2014), suggerisce la necessità di proporre percorsi educativi che includano gradualmente elementi di imprevedibilità e flessibilità. Un approccio utile potrebbe essere quello di affiancare attività che favoriscano l'adattamento progressivo a cambiamenti ambientali, partendo da contesti altamente strutturati e introducendo lentamente elementi di novità e incertezza. Questo tipo di lavoro può contribuire a rafforzare non solo le abilità cognitive ma anche quelle comportamentali, migliorando l'autonomia e l'adattamento sociale del bambino (Van de Cruys et al., 2014).

Dal punto di vista scolastico, sia gli insegnanti sia i professionisti che operano in ambito clinico potrebbero trarre beneficio dall'introduzione di strumenti e attività pensate per stimolare in modo indiretto le capacità di apprendimento implicito. L'utilizzo di routine flessibili, giochi a struttura variabile e ambienti prevedibili ma progressivamente più dinamici può supportare i bambini con ASD nel tollerare meglio la volatilità dell'ambiente, aiutandoli a costruire rappresentazioni più adattive e meno rigide rispetto agli schemi

appresi (Sinha et al., 2014).

Infine, è fondamentale promuovere una maggiore consapevolezza tra docenti, educatori e caregiver rispetto alle specifiche difficoltà che questi bambini possono incontrare nei processi di apprendimento non espliciti. Una conoscenza più approfondita di queste dinamiche permette non solo di offrire un sostegno più mirato, ma anche di pianificare interventi realmente personalizzati, in grado di valorizzare le risorse individuali e rispondere con maggiore efficacia ai bisogni evolutivi del bambino.

5.3 Limiti dello studio e prospettive future

Tra i principali limiti dello studio vi è la numerosità contenuta del campione, che limita la generalizzabilità dei risultati. Studi futuri potrebbero ampliare il numero di partecipanti e includere anche altri disturbi del neurosviluppo, nonché gruppi di controllo differenziati per livello cognitivo o caratteristiche socio-demografiche, al fine di comprendere meglio la specificità delle difficoltà osservate nel gruppo ASD.

Sarebbe, inoltre, auspicabile integrare metodologie complementari, come il neuroimaging funzionale o il monitoraggio dell'attività elettroencefalografica, per indagare i correlati neurali sottostanti alle differenze osservate in termini di accuratezza globale (H1) e adattamento implicito ai contesti probabilistici (H2). Tali strumenti potrebbero contribuire a chiarire in che modo la rappresentazione dell'incertezza e la regolazione del learning rate differiscano nei due gruppi.

L'impiego di disegni longitudinali rappresenta un ulteriore sviluppo promettente: osservare nel tempo l'evoluzione delle strategie implicite di apprendimento potrebbe offrire nuove prospettive per interventi clinici e psicoeducativi mirati, in particolare per supportare lo sviluppo della flessibilità cognitiva e la gestione dell'ambiguità (Heald, Lengyel & Wolpert, 2023; Palmer et al., 2017).

Nonostante questi limiti, i risultati ottenuti contribuiscono a una maggiore comprensione delle difficoltà di adattamento nei contesti di incertezza nei bambini con ASD. L'identificazione di un profilo di apprendimento implicito caratterizzato da accuratezza ridotta e difficoltà nell'aggiornare le regolarità ambientali (in linea con le ipotesi H1 e H2) può orientare la progettazione di strategie didattiche e riabilitative più flessibili, basate su

gradualità, tolleranza al cambiamento e promozione dell'adattamento progressivo.

5.4 Conclusioni

Il presente studio ha contribuito alla comprensione delle differenze nell'apprendimento associativo implicito in contesti ad alta volatilità probabilistica tra bambini con diagnosi di ASD e coetanei a sviluppo tipico. I risultati hanno evidenziato che le difficoltà principali nei partecipanti con ASD riguardano l'accuratezza globale delle risposte e la scarsa flessibilità nell'adattare il comportamento alla struttura probabilistica del contesto, piuttosto che la semplice velocità di elaborazione delle informazioni. Tali evidenze sono coerenti con l'ipotesi che i bambini con ASD fatichino a integrare regolarità implicite in ambienti mutevoli e ad alto grado di incertezza. Questi risultati sottolineano l'importanza di interventi educativi e clinici mirati, capaci di sostenere e sviluppare le competenze cognitive implicite, migliorando la qualità della vita e l'adattamento quotidiano dei bambini con ASD.

BIBLIOGRAFIA

American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). American Psychiatric Publishing.

Baayen, R. H., & Milin, P. (2010). Analyzing reaction times. International Journal of Psychological Research, 3(2), 12–28.

Bandura, A. (1977). Social Learning Theory. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. Journal of Memory and Language, 68(3), 255–278. https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.11.001

Behrens, T. E. J., Woolrich, M. W., Walton, M. E., & Rushworth, M. F. S. (2007). Learning the value of information in an uncertain world. Nature Neuroscience, 10(9), 1214–1221. https://doi.org/10.1038/nn1954

Bisiacchi, P. S., Cendron, M., Gugliotta, M., Tressoldi, P. E., & Vio, C. (2005). BVN 5–11. Batteria di valutazione neuropsicologica per l'età evolutiva. Firenze: Giunti O.S.

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. https://doi.org/10.1007/s00018-018-2978-2

Boulter, C., Freeston, M., South, M., & Rodgers, J. (2014). Intolerance of uncertainty as a framework for understanding anxiety in children and adolescents with autism spectrum disorders. Journal of Autism and Developmental Disorders, 44, 1391–1402. https://doi.org/10.1007/s10803-013-2001-x

Bruckner, R., Heekeren, H. R., & Nassar, M. R. (2025). Adaptive learning under uncertainty in neurodevelopmental disorders: A transdiagnostic approach. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 23, 334–349. https://doi.org/10.3758/s13415-023-01098-0

Bruckner, R., Heekeren, H. R., & Nassar, M. R. (2025). Overestimation of volatility in

autism: computational and behavioral evidence. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 25(1), 120-139. https://doi.org/10.3758/s13415-025-01123-1

Canu, W. H., Schatz, N. K., Ryals, K., & Frye, S. (2022). The role of neurocognition and internalizing psychopathology in adult ADHD outcomes. Journal of Attention Disorders, 26(3), 380–392. https://doi.org/10.1177/1087054720968551

Chiarotti, F., & Venerosi, A. (2020). Epidemiology of Autism Spectrum Disorders: A Review of Worldwide Prevalence Estimates Since 2014. Brain Sciences, 10(5), 274. https://doi.org/10.3390/brainsci10050274

Cleeremans, A., Destrebecqz, A., & Boyer, M. (1998). Implicit learning: News from the front. Trends in Cognitive Sciences, 2(10), 406–416. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01232-7

Conners, C. K., Sitarenios, G., Parker, J. D., & Epstein, J. N. (1998). The revised Conners' Parent Rating Scale (CPRS-R): Factor structure, reliability, and criterion validity. Journal of Abnormal Child Psychology, 26(4), 257–268. https://doi.org/10.1023/A:1022602400621

D'Ardia, C., Valeri, G., & Mazzone, L. (2021). Social Responsiveness Scale – Second Edition (SRS-2): Versione italiana. Firenze: Giunti O.S.

Dawson, G., Rogers, S., Munson, J., Smith, M., Winter, J., Greenson, J., Donaldson, A., & Varley, J. (2010). Randomized, controlled trial of an intervention for toddlers with autism: the Early Start Denver Model. Pediatrics, 125(1), e17–e23. https://doi.org/10.1542/peds.2009-0958

Dienes, Z., & Perner, J. (1999). A theory of implicit and explicit knowledge. Behavioral and Brain Sciences, 22(5), 735–808. https://doi.org/10.1017/S0140525X99002186

Doi, H., Sato, N., & Shinohara, K. (2022). Reduced neural synchronization to slow auditory stimuli in children with autism spectrum disorder. Frontiers in Neuroscience, 16, 800498. https://doi.org/10.3389/fnins.2022.800498

Domjan, M. (2014). The Principles of Learning and Behavior (7th ed.). Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.

Elsabbagh, M., Divan, G., Koh, Y. J., Kim, Y. S., Kauchali, S., Marcín, C., ... & Fombonne, E. (2012). Global prevalence of autism and other pervasive developmental disorders. Autism Research, 5(3), 160–179. https://doi.org/10.1002/aur.239

Fletcher, P. C., Buchel, C., Josephs, O., Friston, K. J., & Dolan, R. J. (2005). Learning-related neuronal responses in prefrontal cortex. Science, 283(5408), 534–538. https://doi.org/10.1126/science.283.5408.534

Fombonne, E. (2020). Epidemiology of pervasive developmental disorders. In D. Amaral, G. Dawson, & D. Geschwind (Eds.), Autism Spectrum Disorders (2nd ed., pp. 90-111). Oxford University Press.

Frensch, P. A., & Rünger, D. (2003). Implicit learning. *Current Directions in Psychological Science, 12*(1), 13–18. https://doi.org/10.1111/1467-8721.01213

Friston, K., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P., & Pezzulo, G. (2017). Active inference: A process theory. Neural Computation, 29(1), 1–49. https://doi.org/10.1162/NECO_a_00912

Frith, U. (2003). Autism: Explaining the enigma (2nd ed.). Blackwell.

Gaugler, T., Klei, L., Sanders, S. J., Bodea, C. A., Goldberg, A. P., Lee, A. B., ... & Buxbaum, J. D. (2014). Most genetic risk for autism resides with common variation. Nature Genetics, 46(8), 881–885. https://doi.org/10.1038/ng.3039

Geschwind, D. H., & State, M. W. (2015). Gene hunting in autism spectrum disorder: on the path to precision medicine. The Lancet Neurology, 14(11), 1109–1120. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00044-7

Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). Behaviour Rating Inventory of Executive Function (BRIEF). Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.

Gugliotta, M., Tressoldi, P., Vio, C., & Bisiacchi, P. S. (2009). BVN 12–18. Batteria di valutazione neuropsicologica per l'età evolutiva. Firenze: Giunti OS.

Hallmayer, J., Cleveland, S., Torres, A., Phillips, J., Cohen, B., Torigoe, T., Cheung, C. Y., Sung, Y. F., Yamashita, Y., Kato, N., Matsumoto, K., & Risch, N. (2011). Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism. Archives of General Psychiatry, 68(11), 1095–1102. https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.76

Heald, J. B., Lengyel, M., & Wolpert, D. M. (2023). Contextual inference underpins the learning of sensorimotor repertoires. Nature Communications, 14, 251. https://doi.org/10.1038/s41467-022-35753-4

Heald, J. B., Lengyel, M., & Wolpert, D. M. (2023). Contextual inference underpins the learning of sensorimotor repertoires. Nature Reviews Neuroscience, 24, 274–289. https://doi.org/10.1038/s41583-023-00710-w

Heald, J. B., Lengyel, M., & Wolpert, D. M. (2023). Contextual inference underpins the learning of sensorimotor repertoires. Nature, 614, 330–337. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05633-y

Heaton, R. K., & PAR Staff. (2000). Wisconsin Card Sorting Test (WCST), Versione computerizzata e italiana. PAR Inc.; Giunti O.S.

Heaton, R. K., & PAR Staff. (2000). Wisconsin Card Sorting Test (WCST). Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.

Howlin, P., Moss, P., Savage, S., & Rutter, M. (2013). Social outcomes in mid- to later adulthood among individuals diagnosed with autism and average nonverbal IQ as children. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 52(6), 572–581. https://doi.org/10.1016/j.jaac.2013.02.017

Hoza, B., Gerdes, A. C., Mrug, S., Hinshaw, S. P., Bukowski, W. M., Gold, J. A., ... & Arnold, L. E. (2005). Peer-assessed outcomes in the Multimodal Treatment Study of Children with ADHD. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 73(3), 433–444.

https://doi.org/10.1037/0022-006X.73.3.433

Kanne, S. M., Christ, S. E., & Reiersen, A. M. (2010). Psychiatric symptoms and psychosocial difficulties in young adults with autism spectrum disorder. Journal of Autism and Developmental Disorders, 39(6), 953–964. https://doi.org/10.1007/s10803-009-0709-9

Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. Trends in Cognitive Sciences, 2(10), 389–398. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01230-3

Köhler, W. (1925). The Mentality of Apes. London: Kegan Paul, Trench, Trubner & Co.

Lai, M. C., Kassee, C., Besney, R., Bonato, S., Hull, L., Mandy, W., ... & Ameis, S. H. (2017). Prevalence of co-occurring mental health diagnoses in the autism population: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Psychiatry, 6(10), 819–829. https://doi.org/10.1016/S2215-0366(19)30289-5

Lai, M. C., Lombardo, M. V., & Baron-Cohen, S. (2014). Autism. The Lancet, 383(9920), 896–910. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61539-1

Lawson, R. P., Bisby, J. A., Nord, C. L., Aitken, M., Mathys, C., & Rees, G. (2021). Adults with autism update their behaviour in response to volatility: evidence from a probabilistic learning task. Journal of Neuroscience, 41(47), 9854–9862. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0367-21.2021

Lawson, R. P., Bisby, J. A., Nord, C. L., Burgess, N., & Rees, G. (2021). The computational, neural, and ecological bases of decision-making under uncertainty in autism. Nature Reviews Neuroscience, 22, 549–561. https://doi.org/10.1038/s41583-021-00489-7

Lawson, R. P., Mathys, C., & Rees, G. (2014). Adults with autism overestimate the volatility of the sensory environment. *Nature Neuroscience, 17*(12), 1721–1723. https://doi.org/10.1038/nn.3881

Lawson, R. P., Mathys, C., & Rees, G. (2017). Adults with autism overestimate the volatility of the sensory environment. Nature Neuroscience, 20(9), 1293–1299. https://doi.org/10.1038/nn.4615

Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J. (2014). An aberrant precision account of autism. Frontiers in Human Neuroscience, 8, 302. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00302

Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-VanderWeele, J. (2018). Autism spectrum disorder. The Lancet, 392(10146), 508–520. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., Risi, S., Gotham, K., & Bishop, S. L. (2012). Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition (ADOS-2). Western Psychological Services.

Malow, B. A., Adkins, K. W., Reynolds, A., Weiss, S. K., Loh, A., Fawkes, D., ... & Clemons, T. (2014). Parent-based sleep education for children with autism spectrum disorders. Journal of Autism and Developmental Disorders, 44(1), 216-228. https://doi.org/10.1007/s10803-013-1866-z

Manning, C., Kilner, J., Neil, L., Karaminis, T., & Pellicano, E. (2016). Children on the autism spectrum update their behaviour in response to a volatile environment. Developmental Science, 19(5), 781–790. https://doi.org/10.1111/desc.12420

Manning, C., Kilner, J., Neil, L., Karaminis, T., & Pellicano, E. (2016). Children on the autism spectrum update their behaviour in response to a volatile environment. Developmental Science, 20(5), e12435. https://doi.org/10.1111/desc.12435

Marano, A., Fini, V., & Cornoldi, C. (2016). BRIEF-2. Batteria di valutazione delle funzioni esecutive. Firenze: Giunti O.S.

Marzocchi, G. M., Re, A. M., Cornoldi, C., & Bertolo, L. (2010). BIA – Batteria italiana per l'ADHD. Firenze: Giunti O.S.

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical

experiment builder for the social sciences. Behavior Research Methods, 44(2), 314–324. https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7

Matson, J. L., & Fodstad, J. C. (2009). International Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0820-2

Mazefsky, C. A., Pelphrey, K. A., & Dahl, R. E. (2013). The need for a broader approach to emotion regulation research in autism. Child Development Perspectives, 6(1), 92-97. https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00279.x

Ministero della Salute. (2019). *Progetto nazionale Linee di indirizzo sui disturbi dello spettro autistico: Modello organizzativo-assistenziale*. Istituto Superiore di Sanità. https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2895_allegato.pdf

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), 13. https://doi.org/10.1186/s13229-017-0121-4

Mueller, S. T. (2019). PEBL (The Psychology Experiment Building Language) [Computer software], Version 2.1. http://pebl.sourceforge.net

Muratori, F., Calderoni, S., Venuti, P., Ferretti, C., & Grossi, E. (2011). Early behavioural markers of autism spectrum disorder in the first year of life. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 41*(2), 182–190. https://doi.org/10.1007/s10803-010-1076-4

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). Human Problem Solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

NICE. (2011). Autism diagnosis in children and young people: Recognition, referral and diagnosis of children and young people on the autism spectrum (CG128). National Institute for Health and Care Excellence. https://www.nice.org.uk/guidance/cg128

Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. Cognitive Psychology, 19(1), 1–32. https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8

Nobile, M., Alberti, L., & Piccinelli, C. (2007). Adattamento italiano della CPRS-R. Milano: Giunti O.S.

Oono, I. P., Honey, E. J., & McConachie, H. (2013). Parent-mediated early intervention for young children with autism spectrum disorders (ASD). Cochrane Database of Systematic Reviews, (4), CD009774. https://doi.org/10.1002/14651858.CD009774.pub2

Palmer, C. J., Lawson, R. P., & Hohwy, J. (2017). Bayesian approaches to autism: Towards volatility, action, and behavior. Psychological Bulletin, 143(5), 521–542. https://doi.org/10.1037/bul0000097

Palmer, C. J., Lawson, R. P., & Hohwy, J. (2017). Bayesian approaches to autism: Towards volatility, action, and behavior. Current Opinion in Behavioral Sciences, 20, 210–216. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.11.017

Panerai, S., Zingale, M., Trubia, G., Finocchiaro, M., Zuccarello, R., Foti, F., ... & Elia, M. (2002). Efficacy of collaborative multimodal intervention for children with autism and their families. Journal of Intellectual Disability Research, 46(Pt 6), 597–604. https://doi.org/10.1046/j.1365-2788.2002.00455.x

Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes 'too real': A Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(10), 504–510. https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.08.009

Qualtrics. (2019). Qualtrics Survey Software. Provo, UT: Qualtrics. https://www.qualtrics.com

Rabbitt, P. M. A. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. Journal of Experimental Psychology, 71(2), 264–272. https://doi.org/10.1037/h0022853

Rao, P. A., Beidel, D. C., & Murray, M. J. (2008). Social skills interventions for children with Asperger's syndrome or high-functioning autism: A review and recommendations. Journal of Autism and Developmental Disorders, 38(2), 353-361.

Raven, J. (2008). Matrici Progressive Colorate di Raven. Firenze: Giunti O.S.

Reber, A. S. (1965). Implicit learning of artificial grammars. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 6(6), 855–863. https://doi.org/10.1016/S0022-5371(65)80168-6

Reber, A. S. (1993). Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious. New York: Oxford University Press.

Reichow, B., Barton, E. E., Boyd, B. A., & Hume, K. (2018). Early intensive behavioral intervention (EIBI) for young children with autism spectrum disorders (ASD). Cochrane Database of Systematic Reviews, 5(5), CD009260. https://doi.org/10.1002/14651858.CD009260.pub3

Rosello, B., Berenguer, C., Baixauli, I., Colomer, C., Miranda, A., & McConnell, F. (2020). Social cognition in autism spectrum disorder: A comparative study between children and adolescents. International Journal of Clinical and Health Psychology, 20(1), 41-49. https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2019.10.003

Rutter, M., Kim-Cohen, J., & Maughan, B. (2006). Continuities and discontinuities in psychopathology between childhood and adult life. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 47(3–4), 276–295.

Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. Science, 274(5294), 1926–1928. https://doi.org/10.1126/science.274.5294.1926

Salari, N., Rasoulpoor, S., Rasoulpoor, S., et al. (2022). The global prevalence of autism spectrum disorder: a comprehensive systematic review and meta-analysis. Italian Journal of Pediatrics, 48(1), 112. https://doi.org/10.1186/s13052-022-01293-5

Sandin, S., Lichtenstein, P., Kuja-Halkola, R., Hultman, C., Larsson, H., & Reichenberg, A. (2014). The familial risk of autism. JAMA, 311(17), 1770–1777. https://doi.org/10.1001/jama.2014.4144

Saulnier, C. A. (2018). Essentials of Autism Spectrum Disorders Evaluation and Assessment (2nd ed.). Wiley.

Schacter, D. L. (1992). Priming and multiple memory systems: Perceptual mechanisms of

implicit memory. Journal of Cognitive Neuroscience, 4(3), 244–256. https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.244

Schunk, D. H. (2012). Learning Theories: An Educational Perspective (6th ed.). Boston: Pearson.

Seger, C. A. (1994). Implicit learning. Psychological Bulletin, 115(2), 163–196. https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.2.163

Simonoff, E., Pickles, A., Charman, T., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2008). Psychiatric disorders in children with autism spectrum disorders: Prevalence, comorbidity, and associated factors in a population-derived sample. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 47(8), 921–929. https://doi.org/10.1097/CHI.0b013e318179964f

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. https://doi.org/10.1073/pnas.1416797111

Skinner, B. F. (1953). Science and Human Behavior. New York: Macmillan.

Smith, T. (2010). Early and intensive behavioral intervention in autism. Behavioral Interventions, 25(3), 193–194. https://doi.org/10.1002/bin.297

Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. Neurobiology of Learning and Memory, 82(3), 171–177. https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005

Stefanelli, E., De Grandis, E., & Mento, G. (in prep.). The Mario Task: A dynamic associative learning paradigm for children.

Surén, P., Bakken, I. J., Aase, H., Chin, R., Gunnes, N., Lie, K. K., ... & Stoltenberg, C. (2013). Autism spectrum disorder, ADHD, epilepsy, and cerebral palsy in Norwegian children. Pediatrics, 132(1), e35–e42. https://doi.org/10.1542/peds.2012-3956

Tick, B., Bolton, P., Happé, F., Rutter, M., & Rijsdijk, F. (2016). Heritability of autism

spectrum disorders: A meta-analysis of twin studies. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 57(5), 585–595. https://doi.org/10.1111/jcpp.12499

Topel, M., Heekeren, H. R., & Bruckner, R. (2023). Estimating volatility and learning in autism: Evidence from dynamic associative learning. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 23, 334–349. https://doi.org/10.3758/s13415-023-01098-0

Topel, S., Bruckner, R., Heekeren, H. R., & Nassar, M. R. (2023). Unexpected uncertainty shapes learning in autism. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 23, 1441–1460. https://doi.org/10.3758/s13415-023-01098-0

Uddin, L. Q., et al. (2020). Progress and Roadblocks in the Search for Brain-Based Biomarkers of Autism and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. Translational Psychiatry, 10, 106. https://doi.org/10.1038/s41398-020-0787-5

Urgesi, C., Campanella, F., & Fabbro, F. (2011). NEPSY-II: Seconda edizione della batteria neuropsicologica per l'età evolutiva. Firenze: Giunti O.S.

Van de Cruys, S., Evers, K., Van der Hallen, R., Van Eylen, L., Boets, B., de-Wit, L., & Wagemans, J. (2014). Precise minds in uncertain worlds: Predictive coding in autism. *Psychological Review, 121*(4), 649–675. https://doi.org/10.1037/a0037665

Volk, H. E., Lurmann, F., Penfold, B., Hertz-Picciotto, I., & McConnell, R. (2013). Traffic-related air pollution, particulate matter, and autism. JAMA Psychiatry, 70(1), 71–77. https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.266

White, S. W., Mazefsky, C. A., Dichter, G. S., Chiu, P. H., Richey, J. A., & Ollendick, T. H. (2018). Social-cognitive abilities and daily living skills in adults with autism spectrum disorder. Journal of Autism and Developmental Disorders, 47, 1436–1445. https://doi.org/10.1007/s10803-017-3067-8