UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CLINICHE E BIOTECNOLOGIE

Dottorato di Ricerca in Medicina Sperimentale

Curriculum in Neuroscienze di base e cliniche

XXVII ciclo

Titolo della tesi

INNOVAZIONE CLINICA E SOSTENIBILITÀ: L'UTILIZZO DI ROBOT SOCIALI E DELLA TECNOLOGIA NELLA VALUTAZIONE E INTERVENTO PER PERSONE CON AUTISMO

SSD PSIC-01/C

Dottoranda

MARIA PAOLA GRECO

282894

Coordinatore del corso

Prof.ssa Mariagrazia Perilli

Tutor

Prof.ssa Monica Mazza

a.a. 2023/2024

INDICE

Abstract 5

Introduzione 6

Parte I: Background Teorico 8

1. Teorie di riferimento 9

1.1 L'elaborazione sensoriale: Organizzazione atipica o strategia di elaborazione locale? 9

1.2 Cognizione sociale e il ruolo della Teoria della Mente 11

1.3 Presa di prospettiva e assunzione del punto di vista altrui 14

1.4 Uso dei Robot sociali ed efficacia nell'intervento 16

1.5 L'impiego delle applicazioni e dispositivi nella clinica 19

Parte II: Contributi Sperimentali 22

Introduzione 23

STUDIO 1 26

Abilità Visuo – Spaziali e Attribuzione delle Intenzioni: Una Revisione dell'Object Perspective-Taking e del Questionario Santa Barbara Sense of Direction con Analisi Grafica Esplorativa e Applicazione all'Autismo 26

1.1 Introduzione 26

Le abilità visuo-spaziali, che permettono l'elaborazione e la rappresentazione delle informazioni spaziali, sono fondamentali nelle attività quotidiane che richiedono capacità di orientamento e navigazione nell'ambiente, oltre al riconoscimento e alla manipolazione degli oggetti (Cardillo et al., 2020; Hegarty & Waller, 2005; Jansen & Heil, 2010). 26

1.2.1 Studio 1 30

1.2 Metodo e Procedura 30

1.2.2 Partecipanti 30

1.2.3 Misure 30

1.3 Analisi Statistica 32

1.3.1 Risultati 34

1.4 Studio 2 39

1.5 Partecipanti 39

1.6 Analisi Statistica 40

2.6.1 Risultati 41

1.7 Discussione *43*
STUDIO2 ..... *47*
ChatGPT ha una Teoria Della Mente Tipica o Atipica? *47*
2.1 Introduzione allo studio *47*
2.2. Materiali e Metodi *48*
2.1 Partecipanti *48*
Large Language Model *49*
2.2 Misure *49*
2.3 Procedura *50*
2.4 Analisi statistiche *51*
2.4.1 Prestazione di ChatGPT *51*
2.4.2 Confronto tra ChatGPT e le prestazioni umane *51*
2.5 Risultati *51*
2.5.1 Confronto tra i gruppi TD e ASD *51*
2.5.2 Prestazione di ChatGPT *52*
2.5.3 Confronto tra ChatGPT-3.5 e le prestazioni umane *53*
2.5.4 Confronto tra ChatGPT-4 e le prestazioni umane *53*
2.6 Discussione *54*
STUDIO 3 ..... *58*
INTEGRAZIONE DI STRUMENTI DIGITALI E SOCIAL ROBOT NELLA VALUTAZIONE DELLO SPETTRO DELL'AUTISMO: PROTOCOLLI SPERIMENTALI *58*
3.1 Introduzione *58*
3.2 Studio 1 ..... *61*
3.3 Metodo e Procedure *62*
3.3.1 Partecipanti *62*
3.3.2 Strumenti *62*
3.3.3 Procedura *63*
3.4 Analisi Statistiche *64*
3.5 Risultati *65*
3.6 Studio 2 ..... *67*
3.7 Metodo e Procedura *68*
3.7.1 Partecipanti *68*
3.7.2 Strumenti *68*

3.7.3 Procedura *69*
3.8 Analisi e Risultati *69*
3.9 Discussione *70*
Conclusioni Generali *73*
Appendice *76*
Abilità Visuo – Spaziali e Attribuzione delle Intenzioni: Una Revisione dell'Object Perspective-Taking e del Questionario Santa Barbara Sense of Direction con Analisi Grafica Esplorativa e Applicazione all'Autismo *76*
Bibliografia *80*

Abstract

This thesis investigates the contribution of digital and robotic technologies in cognitive assessment and the understanding of functional profiles in Autism Spectrum Disorder (ASD), with a specific focus on social cognition and visuospatial abilities. Autism, a complex and highly heterogeneous neurodevelopmental condition that lacks objective diagnostic biomarkers, is characterized by significant impairments in Theory of Mind (ToM) and Perspective Taking, skills that are fundamental to social functioning and autonomy and represent some of the most impactful aspects of adaptive functioning in people with ASD. This thesis is structured around three distinct studies aimed at exploring specific cognitive abilities and the potential clinical applicability of technologically advanced tools.

The first study analyzed the psychometric properties of the Object Perspective-Taking Test (OPT) and the Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSOD), comparing the performance of individuals with ASD and typically developing (TD) individuals. The results highlighted lower visuospatial performance in the ASD group, emphasizing the clinical relevance of perspective-taking as a potential target for assessment and intervention.

The second study examined the ability of Generative Language Models (ChatGPT-3.5 and ChatGPT-4) to tackle tasks related to cognitive and affective ToM, comparing their responses to those of individuals with ASD and TD. Although the models demonstrated high accuracy in ToM tasks, their verbose and repetitive conversational style showed similarities with that observed in high-functioning individuals with ASD.

The third study evaluated the effectiveness of a digital administration via a mobile app and the social robot Pepper compared to the traditional paper-based version of Raven's Progressive Matrices in an ASD sample. This was complemented by heart rate (bpm) monitoring through wearable devices. The results indicated significantly shorter completion times in the digital condition, without an increase in physiological response, suggesting good emotional tolerance and high acceptability of the technology.

In summary, the results of the three studies suggest that the integration of digital, robotic, and AI-based tools into clinical practice may support a more personalized, sustainable, and neurodiversity-aware approach to assessment for individuals with ASD. Although exploratory in nature, these findings offer valuable insights for the development of innovative protocols that integrate technology, clinical expertise, and ecological sensitivity.

Introduzione

Negli ultimi decenni, il Disturbo dello Spettro dell'Autismo (ASD) è divenuto uno dei temi più centrali nella clinica e nella ricerca, attirando un crescente interesse per le sfide diagnostiche, riabilitative e sociali che comporta.

La sua natura eterogena e la varietà dei profili cognitivi e comportamentali lo rendono una condizione estremamente complessa, che richiede approcci valutativi e terapeutici sempre più personalizzati.

Il *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,* quinta edizione (DSM-5; APA, 2013, 2022) e dall*'International Classification of Diseases* (ICD-11; OMS, 2019), evidenziano l'importanza della dimensione dello spettro, integrando la variabilità individuale e i diversi livelli di supporto richiesti.

In particolare, il funzionamento sociale, la comunicazione e l'interazione, unitamente alla presenza di comportamenti ripetitivi e di sensibilità sensoriali atipiche, rappresentano gli assi portanti della diagnosi.

Considerata l'elevata variabilità fenotipica e la natura multifattoriale del disturbo, una delle principali sfide attuali in ambito diagnostico e riabilitativo consiste nell'individuare strumenti e procedure in grado di offrire una valutazione accurata, personalizzata e sostenibile nel tempo (Lord et al., 2020; Mazza et al., 2021).

Il disturbo si associa frequentemente a difficoltà cognitive, sensoriali e a condizioni comorbide, che ne amplificano ulteriormente la complessità clinica (APA, 2013; Lai et al., 2014).

Secondo le stime più recenti, l'ASD riguarda circa 1 bambino su 100 a livello globale (Zeidan et al., 2022).

In Italia, si stima una prevalenza di circa 1 bambino su 77 nella fascia di età 7-9 anni, con una diagnosi quattro volte più frequente nei maschi rispetto alle femmine (Ministero della Salute, 2023; Scattoni et al., 2023).

Tuttavia, la letteratura suggerisce una sotto diagnosi nelle bambine e nelle donne, dovuta a meccanismi di mascheramento e compensazione comportamentale (Lai et al., 2017; Dean et al., 2017). A livello regionale, studi come quello di Valenti et al. (2019) hanno stimato una prevalenza di 8 su 1000 nei bambini tra 6 e 8 anni nella Regione Abruzzo.

In questo quadro clinico complesso, emerge con forza l'importanza di approfondire i profili funzionali dei soggetti ASD, tra cui le difficoltà nella cognizione sociale rappresentano uno degli aspetti più critici dell'ASD.

In particolare, risulta frequentemente compromessa la Teoria della Mente (ToM), ovvero la capacità di attribuire stati mentali, emozioni e intenzioni a sé stessi e agli altri (Frith & Frith, 2003; Baron-Cohen et al., 1985).

Tra le componenti chiave ancora poco esplorate di queste capacità vi è il *Perspsective-taking*, inteso sia in termini visuo-spaziali che socio-cognitivi, un costrutto fondamentale per l'autonomia personale e il funzionamento sociale.

Nelle persone ASD, le difficoltà in quest'ambito compromettono la comprensione delle intenzioni e delle emozioni altrui, ostacolando le relazioni interpersonali e la gestione di situazioni quotidiane (Hamilton et al., 2009; Cardillo et al., 2020; Mazza et al., 2022).

Tali compromissioni si riflettono in una ridotta capacità di interpretare correttamente i contesti sociale e di modulare il comportamento in modo flessibile, con impatti significativi sull'integrazione scolastica, lavorativa e comunitaria.

Parallelamente, il rapido sviluppo delle tecnologie digitali ha aperto nuove prospettive nella valutazione e nell'intervento nell'ambito dell'autismo. App, *software,* robot sociali e ambienti di realtà virtuale stanno trovando crescente applicazioni in contesti clinici ed educativi, grazie alla loro capacità di offrire ambienti strutturati, prevedibili e stimolanti, coerenti con le preferenze sensoriali e cognitive tipiche nell'autismo (Cabibihan et al., 2013; Grossard et al., 2018; Scassellati et al., 2018). Oltre a favorire l'*engagement* e la regolazione emotiva, questi strumenti consentono una raccolta dati oggettiva e standardizzabile, migliorando l'affidabilità dei percorsi diagnostici e valutativi (Pennisi et al., 2016; Mukherjee et al., 2024).

In questa cornice, il presente elaborato, si articola in due parti. La prima, teorica, affronta i principali aspetti legati all'elaborazione sensoriale atipica, alla cognizione sociale e al ruolo emergente delle tecnologie nella valutazione clinica dell'autismo.

La seconda parte è di natura sperimentale e comprende tre studi: il primo esplora le differenze tra persone con ASD e sviluppo tipico nella presa di prospettiva visuo-spaziale; il secondo analizza le capacità inferenziali di un modello di intelligenza artificiale (ChatGPT) in compiti di Teoria della Mente; il terzo esamina l'integrazione di strumenti digitali e robotici nella somministrazione di test cognitivi, valutandone l'impatto sul coinvolgimento emotivo, sui tempi di esecuzione.

In sintesi, l'obiettivo generale del lavoro è quello di esplorare come l'adozione di strumenti innovativi, tecnologicamente avanti, ma clinicamente sostenibili, possa contribuire al miglioramento della qualità della valutazione e dell'intervento nell'ambito dell'autismo, promuovendo una maggiore personalizzazione e inclusività nei percorsi diagnostici e abilitativi.

Parte I: Background Teorico

1. Teorie di riferimento

1.1 L'elaborazione sensoriale: Organizzazione atipica o strategia di elaborazione locale?

Numerosi studi indicano che i sintomi sensoriali nell'autismo emergono precocemente, con manifestazioni osservabili già a partire dai 6 mesi di età lo sviluppo delle difficoltà nella cognizione sociale (Baranek et al., 2013; Este et al., 2015).

Fin dai primi lavori di Kanner (1943) è emerso che le persone con ASD elaborano le informazioni sensoriali in modo atipico, manifestando sia ipersensibilità sia, in altri casi, una ridotta capacità di discriminare certi stimoli.

Oltre il 90% dei soggetti con ASD presenta alterazioni sensoriali che persistono nel tempo e si evolvono con l'età, spesso accompagnate dallo sviluppo di strategie compensatorie (Tomchek & Dunn, 2007; Tavassoli & Baron Cohen, 2014).

Il DSM-5 include la reattività sensoriale come sintomo principale nell'ASD, che si manifesta attraverso un'alterata percezione degli stimoli sensoriali.

Questo può presentarsi con una sensibilità atipica agli stimoli sensoriali, che può variare per ipersensibilità caratterizzata da reazioni eccessive a suoni, rumori, odori, tatto e altre percezioni sensoriali, oppure di iposensibilità, con risposta assente o attenuata agli stessi stimoli e ciò influenza notevolmente l'esperienza quotidiana e la regolazione emotiva.

L'elaborazione sensoriale nell'ASD è un tema di crescente interesse nella ricerca neuroscientifica e psicologica, come evidenziato dall'aumento del numero di pubblicazioni scientifiche negli ultimi anni (Figure.1 Hadad & Yashar, 2022).

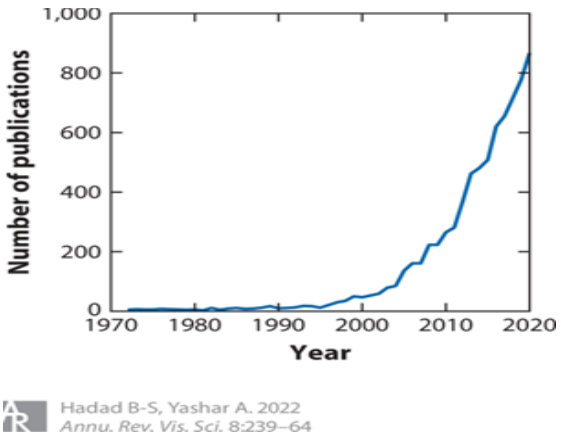


Figure.1 *Crescita delle pubblicazioni sull'elaborazione sensoriale nell'ASD (Hadad & Yashar, 2022)*

Questa crescente attenzione riflette la complessità del fenomeno: mentre alcune funzioni percettive di base, come l'acuità visiva (Kéïta et al., 2010; Tavassoli et al., 2011), la discriminazione del contrasto (De Jonge et al., 2007; Koh et al., 2010) e il rilevamento dello sfarfallio (Bertone et al., 2005; Pellicano et al., 2005) risultano intatte, mentre le fasi successive dell'elaborazione mostrano alterazioni significative.

Ad esempio, individui con ASD tendono a rilevare più rapidamente dettagli visivi in contesti complessi e manifestano una relativa insensibilità alla presenza di distrattori (Plaisted et al., 1998; O'Riordan et al., 2001; Keehn et al., 2008; Baldassi et al., 2009; Joseph et al., 2009; Kéïta et al., 2010), evidenza che è stata replicata anche in bambini piccoli mediante tecniche di *eye-tracking* (Gliga et al., 2015).

Recenti analisi dei modelli di sguardo tramite *machine learning* hanno ulteriormente rivelato una tendenza degli individui ASD a focalizzarsi su regioni salienti a livello di pixel come contrasti e colori a scapito di elementi semanticamente rilevanti, quali volti e oggetti significativi (Wang et al., 2015).

Le prime teorie sull'autismo, basate sulle osservazioni di Kanner (1943), hanno portato allo sviluppo della teoria della debole coerenza centrale (Frith, 2003).

Tale ipotesi sostiene che, mentre gli individui neurotipici integrano le informazioni sensoriali per costruire una rappresentazione globale e coerente della realtà, le persone con ASD tendono a concentrarsi sugli elementi locali, evidenziando una ridotta propensione a utilizzare spontaneamente il contesto, un fenomeno definito "cecità al contesto" da Vermeulen (2010), il quale afferma che:

"*Le persone con autismo spesso non vedono il legno per gli alberi. A volte non vedono nemmeno gli alberi, ma vedono le scanalature nella corteccia, le foglie e persino le vene nelle foglie"*

Un'evoluzione di questo modello è rappresentata dalla teoria dell'*Enhanced Perceptual Functioning* (EPF; Mottron et al., 2001, 2006) che interpreta le differenze percettive non come un deficit nell'elaborazione globale, ma come il risultato di una superiore efficienza nei processi percettivi di basso livello.

Secondo il modello EPF, le persone ASD possiedono una capacità potenziata di analizzare i dettagli locali senza che ciò comprometta necessariamente la percezione dell'insieme, evidenza supportata da studi che riportano prestazioni superiori nell'individuazione di figure incorporate (Jarrold et al., 2005) e dalla normale elaborazione degli aspetti globali quando esplicitamente richiesta (Koldewyn et al., 2013).

Questa marcata attenzione ai dettagli si manifesta in vari ambiti percettivi, dalla discriminazione di caratteristiche uditive elementari alla segmentazione di pattern visivi.

Parallelamente i risultati relativi alla suscettibilità, alle illusioni visive sono contrastanti (Happé, 1996; Hoy et al., 2004; Bölte et al., 2007; Ropar & Mitchell, 1999, 2001; Mitchell et al., 2010; Chouinard et al., 2013; Walter et al., 2009) probabilmente a causa dell'eterogeneità intrinseca dell'ASD e delle modificazioni dei sintomi sensoriali con l'età.

Queste evidenze indicano che le differenze nell'elaborazione sensoriale in ASD non rappresentano un deficit generalizzato, bensì una strategia percettiva alternativa, caratterizzata da punti di forza come l'elevata capacità di analisi dei dettagli e da sfide legate all'aggregazione delle informazioni in una percezione coerente dell'ambiente.

A completamento del quadro, Tavassoli et al., (2014) hanno sviluppato un questionario self-report*,* *Sensory Perception Quotient* (SPQ), volto a quantificare le differenze individuali nella percezione sensoriale sia nella popolazione generale sia negli adulti con ASD.

Esso è basato sul presupposto che tali tratti seguono una distribuzione normale nei campioni della comunità, l'SPQ include tutte e cinque le principali modalità sensoriali: vista, udito, tatto, olfatto e gusto e rappresenta il primo strumento in grado di evidenziare differenze di sensibilità percettiva, offrendo un promettente supporto per l'indagine delle componenti non affettive delle sensibilità sensoriali.

Tuttavia, la stretta relazione tra il modo in cui vengono percepiti gli stimoli e la capacità di interpretare gli stati mentali, suggerisce l'importanza di approfondire il contributo della teoria della mente nello sviluppo sociale degli individui ASD.

1.2 Cognizione sociale e il ruolo della Teoria della Mente

La cognizione sociale comprende un insieme di processi mentali che permettono agli individui di interpretare, comprendere e rispondere agli stimoli sociali.

Essa include abilità di base e competenze avanzate legate alla percezione e alla gestione delle informazioni socialmente rilevanti.

Numerosi studi hanno evidenziato che le difficoltà di comunicazione e interazione sociale tipiche dell'ASD derivano da deficit in questo ambito (Happé & Frith, 2014; Lai et al., 2014; Mazza et al., 2017).

Un aspetto centrale della cognizione sociale è la *Theory of Mind* (ToM) o mentalizzazione, che si riferisce alla capacità di comprendere e attribuire stati mentali a sé stessi e agli altri.

Questa abilità, che emerge tipicamente intorno ai tre anni di età (Premack & Woodruff, 1978), risulta compromessa nelle persone con ASD che mostrano difficoltà nell'inferire credenze, desideri ed intenzioni altrui (Baron-Cohen et al., 1985).

Tuttavia, sebbene la ToM sia spesso deficitaria negli ASD, alcune ricerche suggeriscono che essa possa svilupparsi in modo atipico o essere compensata attraverso strategie di ragionamento esplicito (Happé & Frith, 2014; Pino et al., 2018).

Negli anni sono stati elaborati diversi modelli teorici utili per spiegare le difficoltà nella ToM e nella cognizione sociale nell'ASD, tra cui la *Theory-Theory* (TT) si sostiene che la ToM si sviluppi attraverso un apprendimento graduale basato sull'esperienza, processo che nelle persone con ASD risulta alterato (Gopnik & Wellman, 1994; Apperly, 2008).

Un'altra prospettiva, ovvero il modello dell'inferenza *bayesiana,* ipotizza che gli individui aggiornino continuamente le proprie credenze in base alle informazioni disponibili, ma che nell'ASD vi sia una difficoltà nell'integrare esperienze sensoriali e sociali (Chambon et al., 2017).

Un'ulteriore spiegazione è offerta dalla Teoria della Simulazione (ST), secondo cui la comprensione degli stati mentali altrui avverrebbe attraverso un meccanismo di simulazione interna, compromesso nelle persone con ASD a causa di un deficit nei processi di inibizione della propria prospettiva (Goldman, 1989; Bermúdez, 2006).

Dal punto di vista neurobiologico, il sistema dei neuroni specchio è stato ipotizzato come possibile correlato neurale della simulazione, comunque, i risultati della ricerca in questo campo sono contrastanti.

Alcuni studi suggeriscono che le persone con ASD mostrino un'alterata attivazione di queste aree in risposta a stimoli sociali (Carpenter et al., 2001; Dinstein et al., 2008), mentre altri indicano che potrebbero sviluppare strategie compensatorie per sopperire a tale deficit (Bastiaansen et al., 2011).

Tali difficoltà si riflettono sul piano comportamentale, contribuendo al deficit di cognizione sociale che rappresenta una delle caratteristiche fondamentali dell'ASD, con un impatto significativo sullo sviluppo delle competenze relazionali e comunicative. Fin dalla prima infanzia, i bambini con ASD mostrano difficoltà nell'interpretare e rispondere agli stimoli sociali in modo appropriato, compromettendo la capacità di sviluppare abilità socio-cognitive avanzate come la Theory of Mind (ToM), l'empatia e la regolazione emotiva (Frith & Happé, 2005).

Uno dei primi segnali di difficoltà nella cognizione sociale è l'alterata attenzione congiunta, ovvero la capacità di seguire lo sguardo e i gesti di un'altra persona per condividere un'esperienza.

Nei bambini neurotipici, questa abilità emerge precocemente e costituisce la base per lo sviluppo del linguaggio e della comprensione degli stati mentali altrui (Tomasello, 1995).

Nei bambini con ASD, invece, l'attenzione congiunta è spesso compromessa limitando l'acquisizione di competenze sociali più avanzate (Mundy & Newell, 2007).

Un altro aspetto critico è la difficoltà nel riconoscimento e nell'interpretazione delle emozioni. Diversi studi hanno evidenziato che le persone con ASD faticano a identificare le espressioni facciali e il tono della voce specialmente per le emozioni più complesse come l'ironia, il sarcasmo e la menzogna (Harms et al., 2010; Uljarevic & Hamilton, 2013).

La compromissione della ToM è particolarmente evidente nei compiti sperimentali che valutano la capacità di attribuire credenze e intenzioni agli altri.

Ad esempio, il famoso test della falsa credenza di Sally e Anne (Baron-Cohen et al., 1985) mostra che i bambini con ASD hanno difficoltà a comprendere che un'altra persona possa avere una credenza diversa dalla realtà.

Questa difficoltà persiste anche in età adulta, sebbene alcuni individui sviluppino strategie compensatorie basate su regole logiche piuttosto che su un'elaborazione intuitiva delle intenzioni altrui (Livingston et al., 2019).

A livello neurobiologico il deficit di cognizione sociale è stato associato a disfunzioni nel cosiddetto "cervello sociale", una rete di regioni cerebrali che include l'amigdala, coinvolta nel riconoscimento delle emozioni; la giunzione temporo-parietale, implicata nella mentalizzazione; la corteccia prefrontale mediale, fondamentale per l'inferenza sugli stati mentali altrui; e il giro frontale inferiore, associato all'empatia e all'imitazione (Blakemore et al., 2007; Kennedy & Adolphs, 2012). Studi di neuroimaging hanno evidenziato anomalie strutturali e funzionali in queste aree nelle persone con ASD, suggerendo che le difficoltà di cognizione sociale siano almeno in parte legate a differenze nella connettività neurale (Pelphrey et al., 2011; Lombardo et al., 2016).

Le conseguenze del deficit di cognizione sociale nell'ASD si manifestano in molteplici contesti della vita quotidiana.

A scuola i bambini con ASD possono avere difficoltà a comprendere le dinamiche di gruppo e a instaurare amicizie, mentre in età adulta queste difficoltà possono tradursi in problemi nel contesto lavorativo e nelle relazioni affettive (Chevallier et al., 2012).

Sebbene alcuni soggetti ASD dimostrano una discreta comprensione degli stati mentali altrui in situazioni prevedibili, incontrano maggiori difficoltà in contesti meno prevedibili o in rapida evoluzione (Begeer et al., 2010).

È importante sottolineare che, sebbene le persone con ASD possano avere difficoltà nella cognizione sociale, ciò non implica una totale assenza di empatia o interesse per le relazioni interpersonali.

Alcuni studi suggeriscono che il deficit non sia dovuto a una mancanza di interesse sociale, piuttosto a una diversa modalità di elaborazione delle informazioni sociali (Bird & Viding, 2014).
Per questo motivo, gli interventi terapeutici mirano spesso a potenziare le abilità sociali attraverso strategie esplicite di apprendimento e l'uso di tecnologie assistive, come la realtà virtuale e i robot sociali (Bekele et al., 2014).
L'insieme di questi elementi evidenzia la complessità del deficit di cognizione sociale nell'ASD e sottolinea l'importanza di approcci personalizzati per supportare le persone nello sviluppo di strategie alternative di interazione sociale (Mazza & Valenti 2019)

1.3 Presa di prospettiva e assunzione del punto di vista altrui

La capacità di assumere la prospettiva visiva altrui (*Visual Perspective-Taking,* VPT) rappresenta un aspetto fondamentale della cognizione sociale ed è frequentemente compromessa nei soggetti ASD. Alcuni studi suggeriscono che la VPT e la ToM condividano processi cognitivi comuni, poiché entrambe richiedono la rappresentazione simultanea di più punti di vista diversi (Hamilton, 2009; Aichhorn et al., 2009).
Altri autori sostengono che la VPT e la ToM sono costrutti distinti e che sia possibile un deficit selettivo in una delle due capacità (Leslie, 1987).
Sebbene la VPT implichi inizialmente la capacità di comprendere ciò che un'altra persona può o non può vedere, essa si estende alla capacità di inferire e interpretare le intenzioni e le credenze altrui.
La prospettiva visiva si articola in due livelli dove, il primo (VPT1) riguarda la capacità di base di giudicare cosa un'altra persona può vedere, e si sviluppa intorno ai 18-24 mesi e si basa su processi di inferenza relativamente semplici; il secondo (VPT2), invece, implica la comprensione che due osservatori, guardando la stessa scena, possono percepirla in modi differenti (Flavell, 1977).
Quest'ultimo livello implica una trasformazione mentale della propria posizione e un'integrazione più profonda con meccanismo coinvolti nella ToM.
Ad esempio, per rispondere correttamente a un compito di VPT2, un individuo deve "mettersi nei panni" di un altro osservatore immaginando di trovarsi nella sua posizione e vedendo la scena da un altro punto di vista.
Questo processo è simile a quello richiesto nei compiti di mentalizzazione, nei quali è necessario inferire lo stato mentale altrui.

Numerosi studi indicano che gli individui ASD non prestano particolati difficoltà nei compiti VPT1 (Hobson, 1984; David et al., 2010), ma mostrano deficit significativi nei compiti VPT2 (Hamilton et al 2009).

Ciò potrebbe derivare dal fatto che il VPT2 richiede una trasformazione egocentrica della prospettiva, abilità che risulterebbe compromessa nei soggetti ASD (Klesser & Wang, 2012).

Inoltre, presentano difficoltà nell'utilizzo di strategie di prospettiva incarnata, ovvero nella capacità di identificarsi con un altro individuo e adottarne il punto di vista (Brunyé et al.,2012).

La valutazione della VPT, tuttavia, è complessa e i risultati degli studi non sono sempre concordi. Le strategie adottate dai partecipanti nei test possono variare, alcuni potrebbero affidarsi a segnali spaziali piuttosto che a informazioni sociali, il che potrebbe spiegare perché alcuni individui ASD con deficit di ToM riescano comunque a completare i compiti di VPT (Langdon & Coltheart, 2001). Tuttavia, se il VPT2 richiede l'integrazione di entrambi gli elementi le difficoltà sociali potrebbero influenzarlo in modo significativo.

Uno studio di David et al (2010) ha confrontato VPT e ToM in adulti ASD ad alto funzionamento rilevando che, sebbene la mentalizzazione fosse significativamente più lenta e meno accurata, la VPT non risultava compromessa.

Gli autori suggeriscono però che il compito utilizzato potrebbe essere stato troppo semplice per evidenziarne differenze significative.

Successivamente Conson et al. (2015) hanno osservato che i soggetti ASD tendono ad adottare strategie non incarante nei compiti VPT, mentre i controlli neurotipici utilizzano un approccio basato sull'esperienza corporea diretta.

Difficoltà nel controllo cognitivo della prospettiva di sé e dell'altro potrebbe contribuire alle problematiche sociali degli individui ASD.

Inoltre, studi di neuroimaging hanno evidenziato che entrambe le funzioni di VPT e ToM, coinvolgono regioni cerebrali simili, come la giunzione temporo-parietale e la corteccia prefrontale mediale, suggerendo l'esistenza di un substrato neurale condiviso (Schurz et al, 2014).

Tuttavia, la letteratura mette in luce il ruolo delle abilità visuo-spaziali non solo nell'interazione sociale, ma anche in molte attività quotidiane, come la navigazione nello spazio, la manipolazione di oggetti (Hegarty, 2005).

La presa di prospettiva risulta un processo complesso che integra la cognizione spaziale e sociale e non un'abilità isolata, bensì un processo complesso che integra la cognizione spaziale e sociale, influenzando direttamente la capacità di comprendere e prevedere il comportamento altrui.

1.4 Uso dei Robot sociali ed efficacia nell'intervento

Negli ultimi anni, l'impiego dei robot sociali nell'intervento con individui ASD ha suscitato un interesse crescente, in virtù della loro capacità di offrire interazioni strutturate, prevedibili e personalizzabili.

Alcuni studi recenti suggeriscono che bambini con ASD risultano maggiormente coinvolti in interazioni attive, in cui il robot risponde in maniera contingente agli stimoli ambientali (Mehmood et al., 2021a).

L'integrazione del robot in attività familiari quotidiane sembra facilitare la partecipazione (Rakhymbayeva et al., 2021) mentre la personalizzazione delle sessioni in base alle preferenze individuali di gioco è associata a livelli più elevati di coinvolgimento (Telisheva et al., 2022).

È stata anche ipotizzata l'esistenza di una sequenza ottimale di obiettivi interattivi, utile a sostenere il graduale adattamento del bambino all'interazione robotica (Baraka et al., 2022).

Un elemento rilevante è rappresentato dalla prevedibilità dei comportamenti del robot se, da un lato essa favorisce l'attenzione, dall'altro una variabilità eccessiva nella prosodia, nei movimenti o nelle risposte può comprometterla nel tempo (Schadenberg et al., 2021).

Ma la letteratura non è univoca, Peca et al. (2015), ad esempio, non hanno rilevato differenze significative tra azioni contingenti e no. Altri studi mostrano che i bambini con ASD rispondono meglio a istruzioni piuttosto che a compiti imitativi (Arent et al., 2019), e possono interagire efficacemente anche con più robot contemporaneamente (Mehmood et al., 2019a).

Rispetto all'aspetto estetico e sensoriale, un design umanizzato e un'intonazione congruente suscitano reazioni affettive positive pur non influenzando direttamente l'esecuzione del compito (Straten et al., 2018).

Le espressioni facciali robotiche facilitano il riconoscimento delle emozioni (Askari et al., 2018) e stimoli vocali sembrano attirare più rapidamente l'attenzione rispetto a quelli visivi (Mehmood et al., 2021b) benché la reattività vari in base al profilo sensoriale e alla gravità del disturbo (Ali et al., 2020a).

In questo ambito, Zehnder (2022) segnalano anche un effetto positivo del suono prodotto dagli attuatori robotici.

Cionondimeno, il livello di gravità del disturbo emerge come una variabile cruciale, i bambini con sintomatologia più severa mostrano minori segni di sguardo, affettività e partecipazione diretta (Ahmad et al., 2017; van den Berk-Smeekens et al., 2020), pur potendo manifestare un coinvolgimento crescente nelle sessioni successive (Telisheva et al., 2022).

Tali soggetti tendono anche a preferire robot dal design umanoide, probabilmente a causa del percepito livello tecnologico (Kumazaki et al., 2017a).
Al contrario, bambini con meno sintomi e migliori competenze linguistiche mostrano una maggiore propensione ad avviare interazioni sia con il robot che con gli adulti quando sollecitati dal robot (Schadenberg et al., 2020), soggetti verbali tendono a manifestare minori livelli di aggressività verso il robot rispetto ai non verbali (Sandygulova et al., 2019).
L'interazione con robot sociali è stata associata a una riduzione dello stress (Bharatharaj et al., 2017a, 2017b); l'impiego di robot abbracciabili, sebbene non sembri influenzare le prestazioni cognitive, può suscitare risposte emotive più intense e promuovere la regolazione affettiva (Kumazaki et al., 2021a; Pinto-Bernal et al., 2022).
Tali robot possono inoltre facilitare l'interazione tra pari, in contesti triadici fungono da mediatori sociali promuovendo la comunicazione e la collaborazione (Wainer et al., 2014a; Giannopulu, 2013). Kim et al. (2013) hanno rilevato che i bambini con ASD tendevano a rivolgere più discorsi a un adulto complice quando il partner interattivo era un robot rispetto ad altre condizioni (es. gioco virtuale o altro adulto).
Tra i robot sociali più utilizzati nella ricerca si distinguono NAO e Pepper (Vagnetti et al., 2024), entrambi sviluppati da *Aldebaran Robotics.*
Questi dispositivi sono dotati di sensori multimodali, tra cui telecamere, microfoni e sensori tattili che consentono loro di raccogliere una vasta gamma di informazioni sull'ambiente circostante e sull'interazione con l'utente. NAO e Pepper sono in grado sia di comunicare verbalmente che non, grazie a una complessa dotazione motoria e alla presenza di segnali visivi, come gli occhi luminosi, che facilitano l'espressione emozionale.
La letteratura ha evidenziato il potenziale di questi robot nell'aumentare l'attenzione condivisa nei bambini ASD in età prescolare (2-4 anni) e nel ridurre la frequenza di comportamenti stereotipati in bambini tra i 5 e i 13 anni.
La scelta del tipo di robot, così come della sua forma e delle sue funzionalità è effettuata con attenzione in quanto strettamente correlata agli obiettivi specifici della valutazione clinica o dell'intervento terapeutico (Kumakazi, 2020).
L'aspetto esteriore, il grado di antropomorfismo e le modalità di interazione proposte, potrebbero influenzare significativamente la risposta e il livello di coinvolgimento dell'utente.
A partire da queste evidenze si fa strada anche l'ipotesi dell'impiego del social robot come strumento di valutazione eziologica logica, il suo utilizzo in contesti domiciliati potrebbe consentire la raccolta

dati longitudinali su comportamenti spontanei, attenzione, regolazione emotiva e risposta sociale attraverso i sensori integrati.

Scassellati et al. (2018) hanno evidenziato miglioramenti significativi in abilità sociali, come l'assunzione di prospettiva e l''attenzione congiunta, accompagnata da una riduzione dello stress nei caregiver. Studi successivi (Jain et al., 2020), confermano una buona aderenza e alti livelli di interazione quotidiana.

In prospettiva, i robot sociali potrebbero essere utilizzati anche per preparare i giovani adulti ASD ad affrontare situazioni reali come un colloquio di lavoro, offrendo un ambiente strutturato e privo di giudizio, potrebbero favorire lo sviluppo di competenze comunicative e la gestione dell'ansia (Feng et al., 2018, Salin et al., 2021).

Inoltre, progetti *CoRobot* suggeriscono l'impiego di robot come "colleghi" o tutor nei contesti lavorativi, ad esempio industriali (Prajod et al., 2023).

Questo approccio potrebbe dimostrarsi promettente anche tra adolescenti ASD, in quanto nativi digitali e quindi maggiormente predisposti ad interagire con tecnologie avanzate.

I robot sociali potrebbero favorire la generalizzazione delle abilità acquisite in ambienti strutturati e in contesti ecologicamente validi.

1.5 L'impiego delle applicazioni e dispositivi nella clinica

Questi strumenti digitali, grazie alla loro semplicità d'uso e alla diffusione capillare dei dispositivi mobili, permettono di intercettare segnali di rischio anche al di fuori dei setting clinici.

Tra le soluzioni sviluppate in questa direzione, una delle più interessanti è *Autoscreen,* pensata per agevolare la selezione e il successivo invio a specialisti di bambini a rischio ASD, riducendo i tempi d'attesa nei contesti pediatrici di base (Adiani et al., 2019).

Con il tempo il sistema è stato perfezionato, diventando utilizzabile sia su smartphone che su tablet, con una gestione semplificata dei dati del paziente, come il controllo dell'attività fisica o il monitoraggio di alcuni parametri vitali (Ventola 2014)

Parallelamente, l'evoluzione tecnologica ha ampliato il potenziale di queste app, sensori integrati, strumenti di intelligenza artificiale e dispositivi indossabili stanno contribuendo a rendere le valutazioni sempre più dettagliate e precoci (van Otterdijk et al., 2020). In questo contesto il supporto i *wearable devices,* offrono un supporto significativo, registrando parametri vitali come battito cardiaco, movimento e sonno, così fornendo un quadro più ampio del comportamento dell'utente (Robinson et al., 2021).

Le app si rivelano utili anche nel tracciamento comportamentale, consentendo a genitori, educatori e terapisti di documentare comportamenti ricorrenti, evidenziando schemi che possono guidare interventi più mirati (Rehman et al., 2021).

Altre applicazioni propongono supporti visivi, come timer o sequenze di immagini, utili per strutturare le routine quotidiane, favorendo l'autonomia e riducendo l'ansia in bambini e ragazzi con ASD (Rutherford et al., 2020).

Dal punto di vista cognitivo Esposito et al., 2017, ha valutato in bambini ASD, l'efficacia di applicazioni su tablet nel potenziare specifiche abilità cognitive, quali attenzione, vocabolario e imitazione. Il gruppo sperimentale, che ha utilizzato le applicazioni ha ottenuto progressi superiori rispetto al gruppo di controllo sottoposto esclusivamente alla terapia comportamentale tradizionale, sebbene non tutti i risultati abbiano raggiunto la significatività statistica.

Le applicazioni si sono rivelate coinvolgenti per i bambini, ma in alcuni casi troppo semplici, il che potrebbe aver influenzato la motivazione nel lungo termine.

Inoltre, non è stata verificata la generalizzazione delle abilità apprese in contesti quotidiani, come la scuola o la casa.

Nonostante queste limitazioni, lo studio sottolinea il potenziale delle tecnologie digitali come strumento di supporto all'intervento educativo per bambini con ASD. Recentemente studio (*A*l-Nafjan, et al., 2023) ha dimostrato che l'impiego di applicazioni multimediali per un periodo di due mesi ha prodotto miglioramenti significativi in diverse componenti dell'intelligenza nei bambini con disabilità intellettiva, misurate tramite *Full-Scale Intelligence Quotient* (FSIQ). In particolare, è stato osservato un potenziamento del 10% nel *Perceptual Reasoning Index* (PRI) e un miglioramento del 15% sia nel *Verbal Comprehension Index* (VCI) che nel *Working Memory Index* (WMI).

Oltre agli aspetti cognitivi, i ricercatori hanno rilevato un aumento della motivazione e del rendimento scolastico.

È stato altresì sottolineato che l'efficacia maggiore si raggiunge quando queste tecnologie vengono integrate nella didattica tradizionale, piuttosto che utilizzate come unico strumento educativo.

Non mancano poi strumenti pensati per sviluppare abilità sociali, con attività interattive che aiutano gli utenti a comprendere emozioni, segnali non verbali e modalità adeguate di interazione (Hanna et al., 2022).

Un altro filone importante riguarda la formazione dei caregiver, con app che offrono supporto pratico e informazioni aggiornate su strategie educative e gestionali (Bonnot et al., 2021).

Alcune applicazioni si basano su questionari validati come il *Modified Checklist for Autism in Toddlers* (M-CHAT) e il *Social Communication Questionnaire* (SCQ) offrendo uno screening guidato e strutturato per identificare segnali precoci di rischio (Marvin et al., 2017). Interessante anche l'uso di app di analisi video, che permette di registrare il comportamento del bambino per poi analizzarlo attraverso software capaci di riconoscere pattern tipici dell'ASD, come stereotipie motorie o ridotto contatto visivo (Yang et al., 2025).

L'impiego dell'intelligenza artificiale apre infine nuove prospettive, l'analisi automatica del linguaggio, della prosodia o delle risposte a stimoli specifici consente di rilevare segnali deboli, spesso impercettibili a un osservatore umano (Asgari et al., 2021).

Tuttavia, la difficoltà periste nella personalizzazione dell'intervento. Creare app valide per età e provenienze culturali diversi, per profili di funzionamento eterogenei.

Infine, per garantire un'effettiva utilità clinica, è fondamentale che queste tecnologie siano pienamente integrate nei flussi sanitari esistenti, con standard condivisi e interoperabilità con le cartelle cliniche elettroniche.

In conclusione, l'integrazione di questi strumenti offre un'opportunità per migliorare lo screening precoce e l'intervento nell' ASD, rendendo le valutazioni più accessibili e tempestive. Tuttavia, il loro utilizzo richiede attenzione verso aspetti etici, privacy e validazioni scientifica (Reddy et al., 2024).

Parte II: Contributi Sperimentali[1]

La valutazione e la diagnosi nell'ASD rappresentano una delle sfide più complesse nella pratica clinica contemporanea.

[1] Note: Il contenuto in questa sezione fa riferimento a studi attualmente pubblicati, in sotto-missione e in progress:

- Ilenia Le Donne, **Maria Paola Greco***, Margherita Attanasio, Nicole Covone, Erika Di Giminiani, Marco Valenti, Monica Mazza (2024). *Individual differences between autism and typical development on Object Perspective Taking Test and Santa Barbara Questionnaire and relationship with intention attribution: Explorative Graph Analysis in two measures for Autism. (Under Rewiew in Acta Psychologica)*

- Margherita Attanasio, Monica Mazza, Ilenia Le Donne, Francesco Masedu, **Maria Paola Greco***, Marco Valenti (2024). *Does ChatGPT have a typical or atypical Theory of Mind? Front. Psychol. 15:1488172. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1488172*

- Margherita Attanasio & Ilenia Le Donne, **Maria Paola Greco*,** Nicole Covone, Cristina Gena, Berardina De Carolis, Marco Valenti, Monica Mazza (2025). *Integration of digital tools and social robots in the assessment of the autism spectrum: Experimental Protocols (Manuscript in preparation)*

Introduzione

L'autismo è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da un'ampia eterogeneità nella manifestazione dei sintomi, che spaziano da difficoltà nella comunicazione e nell'interazione sociale a comportamenti ripetitivi e interessi ristretti, con un impatto significativo sul funzionamento quotidiano e sulla qualità della vita *(American Psychiatric Association,* 2013).

La grande variabilità nei profili individuali, unita all'assenza di biomarcatori oggettivi, rende il processo diagnostico particolarmente articolato e pone i clinici di fronte alla necessità di ricorrere a valutazioni multidimensionali, condotte da équipe specializzate e supportate da strumenti standardizzati (Hayes et al., 2018).

Nonostante i progressi nella definizione dei criteri diagnostici e nella strutturazione dei protocolli di valutazione, permangono aree critiche, soprattutto quando si tratta di cogliere le sfumature dei profili cognitivi e sociocomunicativi degli individui nello spettro.

In particolare, le difficoltà nelle abilità sociali costituiscono una delle componenti più pervasive e invalidanti dell'ASD, influenzando la partecipazione scolastica, lavorativa e sociale, nonché l'autonomia personale.

Tra i meccanismi cognitivi implicati, la ToM, ovvero la capacità di attribuire stati mentali a sé e agli altri, rappresenta una funzione cruciale per la comprensione e la regolazione delle dinamiche interpersonali, ed è ampiamente riconosciuta come compromessa nelle persone con ASD (Frith & Frith, 2003; Mazza et al., 2024).

All'interno di questo quadro teorico, un costrutto meno noto ma particolarmente rilevante è quello del *Perspective-Taking*, che riguarda l'abilità di immaginare l'ambiente da un punto di vista diverso dal proprio (Cardillo et al., 2020; A. Friedman et al., 2020; Pearson et al., 2013).

Sebbene si tratti di una funzione visuo-spaziale, numerosi studi hanno suggerito una sovrapposizione parziale tra le abilità di *Perspective-Taking* spaziale e abilità sociali, in quanto entrambe le abilità richiedono il superamento del punto di vista egocentrico per adottare quello altrui (Hamilton et al., 2009; Pearson et al., 2013).

L'importanza dello studio delle abilità visuo-spaziali nelle persone con ASD va oltre la comprensione dei processi cognitivi sottostanti, risiede nella concreta possibilità di promuovere il trasferimento funzionale di tali abilità in contesti di vita reale. Orientarsi in un ambiente, decifrare una mappa per raggiungere il posto di lavoro, interpretare correttamente le indicazioni in un supermercato o muoversi con sicurezza nel proprio ambiente lavorativo, sono tutte situazioni in cui le abilità di presa

di prospettiva spaziale potrebbero incidere significativamente sulla qualità della vita, sull' autonomia e sull'inclusione sociale delle persone con autismo.

In questa prospettiva, la valutazione e il potenziamento di tali abilità assumono un valore non solo descrittivo, ma anche abilitativo e riabilitativo.

Sebbene la presa di prospettiva spaziale e la ToM appartengano a domini differenti, entrambe le abilità condividono un elemento fondamentale ovvero la capacità di decentrarsi dal proprio punto di vista per assumere quello di un altro, che sia una diversa posizione nello spazio o uno stato mentale altrui.

Il primo studio si è posto l'obiettivo di esplorare le proprietà psicometriche di due strumenti impiegati nella ricerca sulle abilità visuo-spaziale: l'*Object Perspective-Taking Test* (OPT; Kozhevnikov e Hegarty, 2001), che misura la capacità di assumere una prospettiva spaziale diversa dalla propria, il questionario *Santa Barbara Sense of Direction Scale* (SBSOD; Hegarty et al., 2002), volta ad indagare il senso di orientamento percepito, analizzando le differenze nelle prestazioni tra TD e ASD. L'integrazione di tali strumenti di valutazione delle abilità visuo-spaziali nei percorsi diagnostici, potrebbero rappresentare un 'opportunità per delineare interventi riabilitativi mirati a potenziare abilità fondamentali per l'autonomia e l'inclusione.

Proseguendo su questa linea, il secondo studio si concentra sul versante più astratto della mentalizzazione, interrogandosi su come anche le macchine e in particolare i modelli linguistici generativi (*Large Language Models,* LLM), come ChatGPT, siano in grado (o meno) di simulare queste funzioni tipiche della cognizione umana.

Negli ultimi anni, l'utilizzo dell'intelligenza artificiale nel campo della salute mentale ha generato crescente interesse, portando con sé interrogativi e opportunità per la valutazione clinica. Strumenti come ChatGPT e modelli simili dimostrano un'elevata capacità di produrre testi coerenti e pertinenti, simulando conversazioni umane.

Tuttavia, resta aperto il dibattito sulla capacità di tali modelli replicare forme complesse di ragionamento sociale, come quelle richieste nei compiti di ToM (Kosinski, 2023; Strachan et al., 2024). Il secondo studio presentato in questo capitolo si inserisce in questo dibattito, ponendosi l'obiettivo di indagare il grado di "umanizzazione cognitiva" di ChatGPT attraverso il confronto delle sue risposte in compiti di ToM con quelle di gruppi a TD e ASD.

Tale confronto mira a chiarire possibili implicazioni di questi strumenti in ambito clinico e riabilitativo.

Parallelamente, l'integrazione di tecnologie digitali e robotiche in ambito sanitario ha aperto nuove prospettive per la valutazione e l'intervento nell'autismo. Numerosi sono gli studi che hanno

evidenziato l'efficacia di tali strumenti nel potenziare le abilità cognitive (Esposito et al., 2017), sociali e comunicative (Odom et al.,2014; Scassellati et al., 2018) nei soggetti ASD.

L'utilizzo di dispositivi interattivi, sensori biometrici e Robot Sociali si è dimostrato particolarmente efficace per la somministrazione di test cognitivi, in particolare in quelle situazioni in cui l'adattamento dell'ambiente è cruciale per assicurare prevedibilità e favorire il coinvolgimento (Ventola et al., 2014. Esposito et al., 2017. Valencia et al., 2019. Vagnetti et al., 2024).

Le caratteristiche strutturate, ripetibili e visive di questi strumenti sembrano adattarsi bene alle specificità cognitive e sensoriali delle persone con ASD, supportando non solo il processo di *assesment* ma anche la regolazione emotiva e l'*engagement* (Scassellati et al., 2018; Kumazaki et al., 2017; Vagnetti et al., 2024). Tuttavia, affinché tali tecnologie possano mostrare appieno il loro potenziale clinico, è fondamentale che vengano efficacemente integrate nei flussi sanitari già esistenti, sia in ambito ambulatoriale che domiciliare, garantendo il supporto di operatori qualificati (Jain et al., 2020; Pakkar et al 2019, Scasselati et al., 2018).

L'ambizioso obiettivo è quello di trasformare questi strumenti in veri e propri ponti tra valutazione, intervento e reale accessibilità al trattamento.

Il terzo studio presentato in questo capitolo illustra due studi pilota condotti con l'ausilio di tecnologie digitali e robotiche nella valutazione cognitiva standardizzata, con l'obiettivo di esplorare nuove modalità di *assesment* integrate e orientate al benessere della persona.

Nel loro insieme, questi due studi offrono uno sguardo articolato e interdisciplinare sul potenziale delle tecnologie dalla valutazione visuo-spaziale, fino alla robotica sociale, nella comprensione e nel supporto delle persone con autismo.

In sintesi, se da un lato la tecnologia rappresenta una risorsa preziosa per ampliare le opportunità terapeutiche, dall'altro è necessario proseguire con rigore scientifico nella valutazione della sua efficacia e delle potenziali reazioni avverse, al fine di costruire un corpus di conoscenze solide e orientare le pratiche verso interventi sempre più efficaci, personalizzati e basati sull'evidenza.

STUDIO 1

Abilità Visuo – Spaziali e Attribuzione delle Intenzioni: Una Revisione dell'Object Perspective-Taking e del Questionario Santa Barbara Sense of Direction con Analisi Grafica Esplorativa e Applicazione all'Autismo

1.1 Introduzione

Le abilità visuo-spaziali, che permettono l'elaborazione e la rappresentazione delle informazioni spaziali, sono fondamentali nelle attività quotidiane che richiedono capacità di orientamento e navigazione nell'ambiente, oltre al riconoscimento e alla manipolazione degli oggetti (Cardillo et al., 2020; Hegarty & Waller, 2005; Jansen & Heil, 2010).

La struttura di tali abilità è ancora oggetto di dibattito tra i ricercatori, alcuni propongono un modello unifattoriale, secondo cui le abilità visuo-spaziali sarebbero governate da un unico fattore generale (Rimfeld et al., 2017), mentre altri sostengono una concezione multifattoriale del costrutto.

La letteratura scientifica supporta in una misura maggiore quest'ultima ipotesi, descrivendo le abilità visuo-spaziali come un insieme di competenze distinte ma interconnesse, piuttosto che come un'unica abilità unitaria (Carroll, 1993; Lohman, 1988; Linn & Petersen, 1985; Shah & Miyake, 2005; Uttal et al., 2013).

Ad esempio, Uttal e colleghi (2013) hanno proposto un modello classificatorio "due per due" delle abilità visuo-spaziali, basato sulla combinazione delle caratteristiche intrinseche/estrinseche e statiche/dinamiche.

Secondo i modelli multifattoriali, le abilità spaziali includono diversi processi cognitivi come la memoria di lavoro, la velocità di elaborazione, la visualizzazione spaziale, la rotazione mentale e la percezione spaziale (Cardillo et al., 2020; Hegarty & Waller, 2005).

La percezione spaziale si riferisce alla capacità di determinare le relazioni spaziali rispetto al proprio corpo (Linn & Petersen, 1985), mentre la visualizzazione spaziale è la capacità di immaginare mentalmente l'aspetto e il movimento degli oggetti da angolazioni diverse.

La rotazione mentale implica invece la capacità di ruotare mentalmente oggetti bidimensionali e tridimensionali (Gava et al., 2013; Meneghetti et al., 2012).

Un' ulteriore classificazione proposta in letteratura distingue tra trasformazione spaziale oggetto-centriche, ovvero il movimento immaginato di un oggetto attorno ad assi intrinseci, e trasformazione soggetto-centriche (o egocentriche), che implicano il movimento immaginato del proprio punto di

vista in relazione ad altri oggetti, abilità nota anche come presa di prospettiva spaziale (Kozhevnikov & Hegarty, 2001).

Quest'ultima è considerata una componente fondamentale delle abilità visuo-spaziali (Cardillo et al., 2020; Eilam & Alon, 2019).

La presa di prospettiva visuo-spaziale (VPT) è un processo cognitivo complesso che consente di comprendere le relazioni spaziali tra oggetti assumendo il punto di vista di un'altra persona (Kessler & Rutherfors, 2010).

Gli studi su queste abilità hanno avuto inizio con Piaget, attraverso il modello delle tre montagne (Piaget & Inhelder, 1956).

Successivamente, Flavell (1977) ha distinto due livelli di VPT, supportati da processi neurocogntivi differenti: il livello 1 (VPT-1), che si sviluppa tra i 18 e i 24 mesi (Moll & Tomasello, 2004; 2006), riflette la capacità di comprendere ciò che gli altri vedono; il livello 2 (VPT-2), che emerge tra i 4 e i 5 anni (Gunia et al., 2021; Newcombe, 1989), implica l'adozione mentale del punto di vista altrui per rappresentare il mondo da quella prospettiva (Flavell et al., 1981).

Questo processo coinvolge la capacità di immaginare e orientarsi nello spazio da prospettiva alternative, creando immagini mentali da un punto di vista esterno (Cardillo et al., 2020; Friedman et al., 2020; Pearson et al., 2013). La letteratura sottolinea l'importanza del VPT nell'influenzare diversi ambiti socio-cognitivi, fin dall'infanzia, tra cui il ragionamento spaziale (Newcombe & Huttenlocher, 2000), il linguaggio e l'apprendimento (Tarighat & Krott, 2021; Clements & Sarama, 2014), e la ToM (Liang et al., 2025). Alcuni studi suggeriscono che il VPT rappresenti un precursore delle abilità di mentalizzazione, in particolare della capacità di assumere la prospettiva altrui per inferirne le intenzioni (Doi et al., 2020; Hamilton et al., 2009; Nejati et al., 2021; Pearson et al., 2013).

Inoltre, le abilità visuo-spaziali e la ToM condividono processi cognitivi comuni (David et al., 2010; Hamilton et al., 2009). La ToM è una delle componenti fondamentali della cognizione sociale (Brothers, 2002; Happé et al., 2017; Mazza et al., 2017), riferendosi alla rappresentazione di stati mentali come credenze, desideri e conoscenze, e al loro utilizzo per spiegare e prevedere il comportamento altrui (Happé et al., 2017; Mazza et al., 2010, 2017; Pino et al., 2020; Vagnetti et al., 2020).

È ben documentato che le abilità di ToM si sviluppano in maniera graduale, dalle più semplici alle più complesse (Happé & Frith, 2014; Le Donne et al., 2023).

Una capacità ritenuta prerequisito per ragionare su stati mentali e affettivi è proprio l'identificazione delle intenzioni altrui (Happé & Frith, 2014; Le Donne et al., 2023).

Comprendere le intezioni che motivano un'azione consente infatti di attribuire a inferire stati mentali propri e altrui (Kozak et al., 2006), e richiede la capacità di "vedere" la situazione dal punto di vista dell'altro.

Uno studio recente (Tian et al., 2021), condotto su bambini a sviluppo tipico, ha evidenziato come il VPT sia correlato alla presa di prospettiva empatica e alla ToM, mediando la relazione con le abilità spaziali generali.

Questa ipotesi è supportata dalla prospettiva dell'*embodied cognition*, secondo cui la cognizione si basa processi sensomotori che influenzano anche le funzioni socio-cognitive, come la presa di prospettiva (Barsalou, 2010; Erle & Topolinski, 2015; Tian et al., 2021).

Secondo tale prospettiva, la comprensione degli stati mentali e intenzionali altrui potrebbe dipendere da meccanismi sensomotori di auto-rotazione immaginaria, ossia la capacità di "spostarsi" mentalmente dal proprio punto di vista a quello dell'altro.

In questo senso, il ragionamento sugli stati mentali altrui sarebbe "incarnato" nella rappresentazione spaziale del loro punto di vista (Tian et al., 2021).

Le teorie dello sviluppo cognitivo di Piaget (1956) e Selman (1971) confermano inoltre che le abilità di VPT precedano l'acquisizione delle abilità di mentalizzazione, i bambini imparano prima a comprendere il punto di vista altrui e poi ad attribuire stati mentali come false credenze, intenzioni ed emozioni.

Nonostante il ruolo fondamentale delle abilità visuo-spaziali nella rappresentazione accurata dell'ambiente e nell'interazione sociale (inclusa la previsione delle azioni altrui, cioè la ToM), queste vengono raramente indagate nelle popolazioni cliniche.

In particolare, nell'ASD, tali competenze risultano spesso trascurate rispetto alle abilità sociali cognitive generali (Cardillo et al., 2020).

L'ASD è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da difficoltà nell'interazione sociale e nella comunicazione, e dalla presenza di comportamenti ripetitivi e ristretti (APA, 2013).

Le persone ASD mostrano difficoltà nel comprendere il punto di vista altrui (Brothers, 2002; Happé et al., 2017; Mazza et al., 2017). La letteratura sul VPT nella popolazione ASD deriva principalmente da studi su bambini, con risultati contrastanti, alcuni hanno riportato difficoltà nei compiti di VPT2 (Yirmina et al., 1994), altri nessuna differenza rispetto ai bambini a sviluppo tipico (Reed & Peterson, 1990; Hamilton et al., 2009).

In generale, è emerso che gli individui TD utilizzano strategie diverse nei compiti VPT, come la rotazione mentale (MR) e la trasformazione egocentrica incarnata (EET), che implica la manipolazione della propria posizione corporea immaginata.

Quest'ultima è collegata ad altre abilità sociali e diversi studi riportano che le persone ASD avrebbero difficoltà a utilizzare tale strategia per via di un alterato senso del corpo (Pearson et al., 2014; 2016).
Nel 2001, Kozhevnikov e Hegarty hanno sviluppato un test apposito per valutare tali abilità, l'*Object Perspective Test* (OPT), volto a misurare sia le trasformazioni spaziali egocentriche che oggetto-centriche (Cardillo et al., 2020; Hegarty & Waller, 2005; Kozhevnikov & Hegarty, 2001).
Parallelamente, per esplorare le differenze individuali nelle abilità spaziali, sono stati creati strumenti *self-report.* Tra questi, la scala *Santa Barbara Sense of Direction* (SBSOD; Hegarty et al., 2002) per valutare il senso di orientamento percepito.
Nel contesto italiano, mancano strumenti validati per la popolazione adulta che misurino abilità visuo-spaziali, in particolare VPT e l'orientamento.
Uno delle poche misure disponibili è la Batteria Visuo-Spaziale (VS) (De Beni et al., 2014), destinata alla fascia adulta (21-91 anni), con una versione ridotta dell'OPT. Al momento non sono disponibili versioni italiane validate della SBSOD e il loro impiego nella pratica clinica, in particolare per l'autismo, resta ancora limitata.
La valutazione delle abilità visuo-spaziali nell'autismo, considerando il loro legane con la mentalizzazione, può fornire informazioni cruciali sia in ambito cognitivo che riabilitativo.
Infatti, entrambe richiedono la capacità di immaginare e modificare il proprio punto di vista, con implicazioni sulle attività quotidiane e sulle intenzioni sociali.
Sulla base di queste premesse, il presente studio si propone due obiettivi principali: 1) Esplorare la struttura dimensionale dell'OPT e della SBSOD in un campione di giovani adulti e indagare la possibile relazione con l'attribuzione delle intenzioni (ToM); 2) Confrontare preliminarmente le perfomance ai suddetti test tra soggetti ASD e TD, comparabili per età, QI e livello di istruzione.
A nostro avviso, la revisione delle misure citate consente una valutazione affidabile del costrutto indagato e fornisce valori normativi essenziali per l'applicazione clinica.
Questo è di fondamentale importanza, poiché permette di confrontare la perfomance individuale con il gruppo di riferimento (Vogel et al., 2022).
Ipotizziamo una relazione tra abilità visuo-spaziali e competenze di base delle ToM.
Inoltre, ci aspettiamo differenze significative tra il gruppo clinico e il gruppo di controllo nelle misure utilizzate. L'integrazione tra strumenti di valutazione delle abilità visuo-spaziali e della ToM potrebbe favorire l'identificazione di profili cognitivi distinti, offrendo informazioni rilevanti sulle differenze individuali e permettendo interventi più mirati, in particolare nelle popolazioni cliniche.

1.2.1 Studio 1

1.2 Metodo e Procedura

1.2.2 Partecipanti

Un totale di 254 soggetti appartenenti alla popolazione generale ha partecipato allo studio.

L'età anagrafica dei partecipanti era compresa tra i 19 e i 40 anni (età media di 21,53 ± 2,43 anni; 111 maschi e 143 femmine). Tutti erano parlanti nativi di lingua italiana sono stati reclutati in modo opportunistico presso strutture e organizzazioni locali. Sono stati esclusi coloro che riportavano una storia clinica, attuale o pregressa, di disturbi neurologici e/o psichiatrici o di abuso di sostanze.

Le abilità cognitive dei partecipanti sono state valutate tramite le *Raven's Standard Progressive Matrice* (RSPM; Raven, 1938), uno strumento utilizzato per la misurazione dell'intelligenza generale; sono stati esclusi i partecipanti con prestazioni medio-basse o inferiore (es. < 25° percentile; Raven, 1938).

Le caratteristiche dettagliate del campione sono riportate nella Tabella 1.1

Tabella 1.1 Informazioni sociodemografici del campione

	Maschi	**Femmine**			
	Media (SD)	**Media (SD)**	**Campione totale**	**Statistiche**	**p-value**
N	111	143	254	-	0.052[a]
Età Media (SD)	21.8 (2.8)	21.2 (2.03)	21.5 (2.4)	$t_{(252)} = 1.91$	0.06
Range di Età	19-40	19-37	19 - 40	-	-
Anni Medi di Istruzione (SD)	13.3 (1.1)	13.1 (0.7)	13.2 (1.0)	$t_{(252)} = 1.79$	0.07
QI RSPM (SD)	120.9 (5.7)	120.6 (6.3)	121 (6.0)	$t_{(252)} = 0.41$	0.67

SD: deviazione standard; QI: quoziente intellettivo; RSPM: Matrici Progressive Standard di Raven;
[a]test binominale

1.2.3 Misure

Object Perspective-taking Test (OPT; Hegarty and Waller, 2004; Kozhevnikov and Hegarty, 2001) valuta la capacità di immaginare prospettive differenti e di orientarsi nello spazio.

Il test è composto da 12 item da completare entro un tempo massimo di 5 minuti. Ogni pagina presenta una disposizione di oggetti e un cerchio con una freccia.

Al partecipante viene chiesto di determinare la direzione di uno degli oggetti rispetto agli altri.

Per ciascun item, il partecipante dovrà immaginare di trovarsi al posto di uno degli oggetti rappresentati, posizionato al centro del cerchio guardando verso un altro oggetti collocate nella parte superiore del cerchio.
Da questa prospettiva, il partecipante, deve disegnare una freccia dal centro del Cerchio per indicare la direzione del terzo oggetto.
Durante l'esecuzione, non è consentito ruotare il libretto del test né fare segni sulle immagini.
Il punteggio di ciascun item è calcolato come la differenza angolare (in gradi) tra la risposta del partecipante e la corretta.
Il punteggio finale è rappresentato dalla media degli errori angolari su tutti gli item completati. Maggiore è l'errore angolare, peggiore è la performance

Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSOD). La scala è stata sviluppata da Hegarty e colleghi (2002), è uno strumento self-report ideato per valutare le abilità di navigazione e orientamento spaziale.
La scala è composta da 15 affermazioni in formato *Likert*, che riguardano vari aspetti della cognizione spaziale ambientale (es. *"Non sono bravo a dare indicazioni", "Mi perdo facilmente in una città nuova"*). I partecipanti rispondono cerchiando un numero da 1 (fortemente d'accordo) a 7 (fortemente in disaccordo). Il punteggio finale, ottenuto è rappresentato dalla media totale delle risposte.
Un punteggio più alto indica una maggiore percezione del proprio senso di orientamento.

Matrici Progressive Standard di Raven (*SPM*; Raven, 1938) il test è stato utilizzate per valutare l'intelligenza non verbale e il ragionamento astratto. Il test consiste in un compito a scelta multipla suddivisa in cinque serie, composta da 12 item ciascuna, per un totale di 60 item.
Ogni item richiede di completare una serie di figure selezionando la risposta corretta tra quelle proposte. Il compito diventa progressivamente più difficile, richiedendo abilità di analisi, codifica e interpretazione. Le SPM rappresentano un compito la cui somministrazione è più breve durata rispetto ai classici test QI. I punteggi grezzi sono stati convertiti in punteggi QI tramite apposite tabelle di conversione.

Attribuzione delle Intenzioni – Comic Strip Task (IA-CST) (Le Donne et al, 2023). Il test è composto da 14 item, di cui 5 item di controllo (IA-CST Control) per valutare la casualità fisica, e 9 item per valutare la capacità di attribuire intenzioni (IA-CST Total).

Ogni item presenta sei vignette che illustrano una sequenza di azioni intenzionali compiute da un personaggio in un contesto di vita quotidiana.
Tre vignette descrivono l'azione o la relazione causale, mentre le altre propongono finali alternativi per completare la sequenza.
Il partecipante deve scegliere il finale corretto tra le tre opzioni:

a) il finale corretto che riflette l'intenzione del protagonista (o la relazione casuale);
b) un finale errato simile all'ultima immagine;
c) un finale errato che descrive un'azione quotidiana non collegata alla sequenza.

Ad ogni risposta corretta viene assegnato 1 punto, in caso contrario, 0 punti.

Procedura

I partecipanti hanno completato le prove in un'unica sessione della durata di circa 1 ora.
Una seconda sessione è stata organizzata per la somministrazione dell'IA-CST, con l'obiettivo di esplorare la relazione tra abilità visuo-spaziale e attribuzione delle intenzioni.
Ad ogni partecipante è stato fornito un protocollo cartaceo per la registrazione delle risposte.
Durante la somministrazione era presenta uno psicologo per fornire eventuali chiarimenti.
La codifica e la valutazione del test sono state effettuate da due membri del gruppo di ricerca.
Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico locale ed è stato condotto in conformità ai principi della Dichiarazione di Helsinki. Tutti i partecipanti hanno fornito consenso informato scritto e informazioni sociodemografiche prima dell'inizio della somministrazione.

1.3 Analisi Statistica

Analisi Grafica Esplorativa

Per valutare il numero di dimensioni e il fattore latente degli item dell'OPT e della SBSOD, è stata condotta l'Analisi Grafica Esplorativa (*Explorative Graph Analysis*, EGA) utilizzando il pacchetto "EGA" in R (Golino & Epskamp, 2017).
L'EGA appartiene alla famiglia delle reti psicometriche, sviluppate per studiare e stimare strutture basate su dati psicologici.
In questo contesto, le variabili causali (o gli item del test) sono rappresentati come "nodi", collegati da "archi" (*edges*) che indicano il livello di interazione tra le variabili (tipicamente, coefficiente di correlazione parziale). Il metodo EGA consente di identificare *cluster* di nodi altamente connessi, che

in ambito psicometrico rappresentano un modello di variabili latenti (Golino & Epskamp, 2017; Newman, 2006).

In generale, le reti vengono utilizzate per stimare le relazioni tra più variabili, secondo quanto previsto dal Modello Grafico Gaussiano (GGM, *Gaussian Graphical Mode;* Lauritzen, 1996).

Nell'EGA, la stima della rete si basa sul GGM combinato con l'algoritmo di *clustering* pesato Walktrap (Pons & Latapy, 2006), al fine di valutare la dimensionalità degli item all'interno dei costrutti psicologici.

Per stimare il modello e i parametri del GGM, è stata utilizzata la tecnica di regolarizzazione *graphical* LASSO (L*east Absolute Shrinkage and Selection Operator*; Friedman et al., 2008).

L'ottimizzazione del modello è stata effettuata attraverso la minimizzazione del criterio *bayesiano* esteso (EBIC) (Chen & Chen, 2008; Golino et al., 2020).

Per valutare la stabilità e la generalizzabilità delle dimensioni e degli item stimati tramite EGA, è stato applicato un approccio di bootstrap parametrico con 1000 interazioni (Christensen & Golino, 2021). Sono state calcolate statistiche descrittive come la mediana, intervalli di confidenza al 95% (IC) e la frequenza del numero di fattori osservati nei bootstrap.

Infine, è stata valutata la coerenza strutturale e la stabilità degli item all'interno delle dimensioni stimate.

La stabilità di un item varia da 0 (completamente instabile) a 1 (completamente stabile); secondo la letteratura di riferimento, un item è considerato sufficientemente stabile e coerente con la dimensione se presenta un valore $\geq$ 0,70. Questo approccio consente di identificare item con prestazioni insufficienti (Christensen & Golino, 2021).

Analisi Fattoriale Confermativa e Affidabilità

Il modello finale è stato successivamente valutato mediante Analisi Fattoriale Confermativa (CFA), analizzando la bontà di adattamento attraverso l'Indice di Adattamento Comparativo (CFI), la Radice Quadrata Media dell'Errore di Approssimazione (RMSEA), l'Indice di Bontà di Adattamento (GFI) e il Chi-Quadrato/Gradi di Libertà (Chisq/df).

La coerenza interna e l'affidabilità delle due misure rivisitate sono state valutate utilizzando il coefficiente α di Cronbach.

Successivamente, è stato ricalcolato il punteggio totale delle due scale rivisitate e sono stati forniti i dati descrittivi, calcolando la media e la deviazione standard per l'intero campione.

Inoltre, è stata effettua una correlazione di Pearson tra L'OPT-r e la SBSOD al fine di esplorare la relazione tra la capacità di presa di prospettiva e il senso di orientamento.

Infine, per indagare la relazione tra le due misure revisionate e le abilità di attribuzione delle intenzioni, un sottogruppo di 84 partecipanti ha completato il compito IA-CST.
Anche in questo caso, la relazione tra le misure è stata analizzata tramite correlazione di Pearson.

Dati del campione

Sono state inoltre esplorate possibili relazioni tra età anagrafica, anni di istruzione, QI (valutato tramite le SPM) e i punteggi revisionati delle due misure attraverso correlazioni di Pearson.
Per indagare eventuali associazioni con il genere, sono state effettuate correlazioni punto-biseriali.
Inoltre, è stata condotta un'analisi t per campioni indipendenti per confrontare le perfomance di maschi e femmine nei compiti revisionati.
L'analisi dei dati è stata condotta utilizzando il software R (R Core Team, 2021) e SPSS versione 27.0.1.0 (Crop, 2020).

1.3.1 Risultati

Analisi Grafica Esplorativa

Object Perspective Taking Test (OPT)

Il primo modello risultante dell'EGA ha indicato una soluzione a due dimensioni (Figura A.1, Pannello A in Appendice A), mentre il numero mediano di dimensioni emerso dalla rete bootstrap è stato pari a 3 [IC al 95% (1,97; 4,02)]. L'analisi ha mostrato che il 43% delle reti stimate presenta una struttura a due dimensioni.
Per quanto riguarda la coerenza strutturale, la Dimensione 1 è stata osservata nel 29% dei casi, indicando una bassa stabilità strutturale, ad eccezione della Dimensione 2, che è stata riscontrata nel 99% dei casi.
Esaminando la stabilità degli item, a conferma della scarsa stabilità strutturale della rete, si rilevano due item instabili (<0.70) nella Dimensione 1. Gli item della Dimensione 2, invece, mostrano un'eccellente stabilità, come evidenziato nel grafico riportato in figura A.1 (Pannello B in Appendice A), ma risultano separati dal resto della rete.
Abbiamo quindi ripetuto l'analisi escludendo gli item I10, I11 e I12, al fine di identificare la migliore soluzione strutturale per la rete relativa alle abilità di presa di prospettiva.
I risultati indicano un modello unidimensionale (Figura 1.1 A).
I dati bootstrap confermano la presenza di una sola dimensione [IC al 95% (0,48; 1,51)], ottenuta nel 94% delle reti simulate.

La buona stabilità strutturale della rete (94%) è confermata anche dall'analisi della stabilità degli item, tutti con valori molto elevati (tutti >0,80; vedi Figura 1.1B).

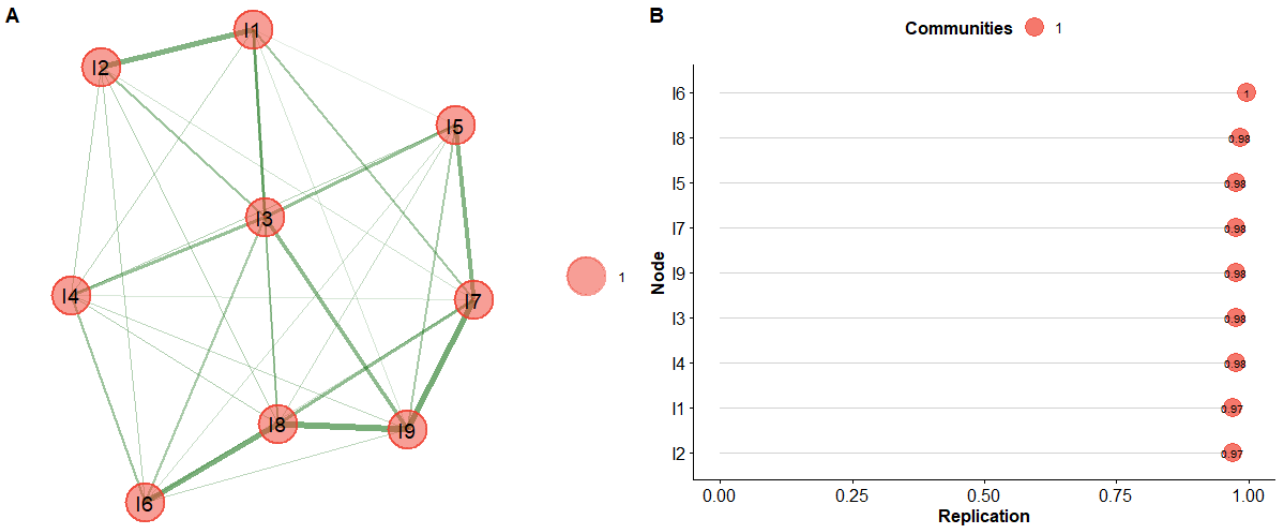


Figura 1.1. Il modello finale dell'Analisi Grafica Esplorativa (A) e i risultati della stabilità degli item dell'OPT-r (B). Il Pannello A mostra il modello EGA finale unidimensionale dell'OPT-r, che indaga le abilità di presa di prospettiva spaziale. Il Pannello B riporta i valori elevati di stabilità degli item all'interno della dimensione individuata dal modello finale.

Pertanto, la struttura unidimensionale degli item considerati nell'analisi può essere ritenuta una soluzione stabile e replicabile. Come ulteriore conferma, il modello mostrato in Figura 1A è stato analizzato tramite Analisi Fattoriale Confermativa (CFA). Gli indici di adattamento del modello CFA hanno mostrato valori soddisfacenti: CFA = 0.95, RMSEA = 0.07, GFI = 0.96 e $X^2/df = 2.5$, indicando un buon livello di fit.

Considerando i risultati congiunti dell'EGA e della CFA, la struttura unidimensionale degli item analizzati può essere considerata affidabile e replicabile. Proponiamo dunque una versione revisionata della scala, composta da 9 item in totale (*Object Perspective-Taking Test – revised; OPT-r*) che indaga le abilità di presa di prospettiva visuo-spaziale (illustrata in Figura 1).

I tre item (I10, I11, I12), che nelle nostre analisi risultano compromettere la stabilità della rete, si propone di utilizzarli come scala di comprensione, da somministrare all'inizio dello strumento, al fine di facilitare la comprensione delle istruzioni da parte del partecipante.

La modalità di attribuzione del punteggio dell'OPT-r è la stessa del test originale proposto da Kozhevnikov e Hegarty (2001): il punteggio per ciascun item corrisponde all'errore direzionale assoluto, ovvero alla deviazione angolare assoluta (espressa in gradi) tra la risposta fornita dal partecipante e la direzione corretta verso l'obiettivo. Il punteggio totale è dato dalla media delle deviazioni su tutti gli item.

Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSOD)

Il modello risultante dell'EGA indica una soluzione a 2 dimensioni (Figura A.2, Pannello A in Appendice). Il numero mediano di dimensioni emerso dalla rete bootstrap conferma una struttura bidimensionale [CI 95% (0.59; 3.40)]. L'analisi evidenzia che le due dimensioni spiegano il 50% della rete. Per quanto riguarda la coerenza strutturale, la Dimensione 1 è stata osservata nel 53% dei casi, mentre la Dimensione 2 nel 44%.

L'analisi della stabilità degli item mostra che tre item non risultano sufficientemente stabili (<0.70) all'interno delle due dimensioni, in particolare l'item I11 della Dimensione 1 e gli item I2 e I8 della Dimensione 2. Abbiamo quindi replicato l'analisi eliminando gli item I2, I8 e I11.

I risultati del secondo modello confermano nuovamente una soluzione a 2 dimensioni (Figura 2 A), con una mediana del numero di dimensioni nelle reti bootstrappate pari a 2 [CI 95% (1.05; 2.94)].

I dati mostrano che nel 75% delle reti simulate emerge una struttura a due dimensioni.

Per quanto riguarda la coerenza strutturale, la Dimensione 1 è stata osservata nel 67% dei casi e la Dimensione 2 nel 68%. Inoltre, l'analisi della stabilità degli item conferma una buona stabilità per tutti gli item rimanenti (>0.75; Figura 2B).

Alla luce di questi risultati, si può ritenere che la struttura bidimensionale sia stabile. Come ulteriore conferma, i risultati dell'Analisi Fattoriale Confermativa (CFA) mostrano una buona aderenza del modello (CFI = 0.90; RMSEA = 0.07; GFI = 0.98; $x^2/df = 2.3$).

Dall'analisi condotta, emerge che gli item della Dimensione 1 valutano le abilità di Visualizzazione Spaziale, mentre gli item della Dimensione 2 indagano le capacità di Navigazione Spaziale (o Orientamento).

Una descrizione dettagliata di ciascuna dimensione è riportata in Appendice B (Tabella B.1.2).

I punteggi totali delle due sottoscale, così come quello complessivo della scala sono calcolati come media dei punteggi ottenuti nelle risposte fornite.

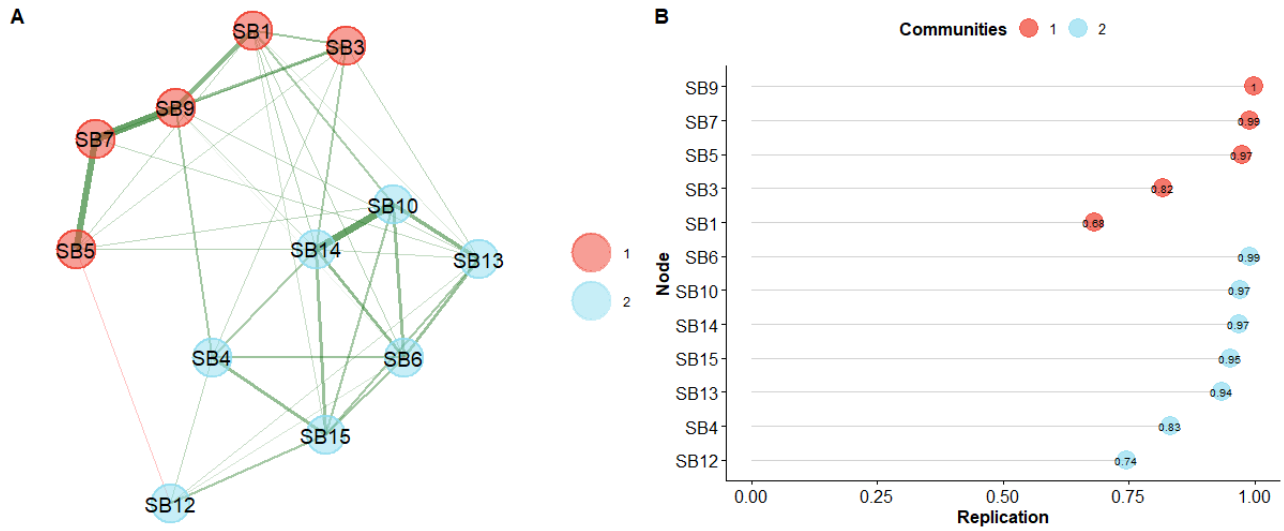


Figura 1.2. Modello finale dell'Analisi Grafica Esplorativa (A) e risultati della stabilità degli item dopo la rimozione degli item I2, I8 e I11 dalla SBSOD (B).
Il Pannello A mostra il modello EGA finale bidimensionale della scala SBSOD-r revisionata, ottenuto dopo la rimozione degli item instabili.
Il Pannello B riporta i valori di stabilità degli item all'interno di ciascuna dimensione del modello finale.

Affidabilità delle misure revisionate

L'affidabilità e la coerenza interna delle due misure revisionate sono state valutate mediante il coefficiente di Cronbach (α). I risultati indicano che l'OPT-r presenta un'ottima coerenza interna (α = 0,84). L'affidabilità per la sottoscala Visualizzazione Spaziale risulta buona (α = 0,71), anche per la sottoscala Navigazione Spaziale (α = 0,77) e ottima per la scala totale SBSOD-r (α = 0,80).

Per esplorare la relazione tra il senso dell'orientamento e le abilità spaziali, è stata condotta un'analisi di correlazione di Pearson tra le due misure revisionate.

I risultati mostrano una correlazione negativa tra il punteggio totale dell'OPT-r e per la sottoscala di Visualizzazione Spaziale ($r = -0,24$, $p < 0,001$), e tra il punteggio medio dell'OPT-r e la scala totale SBSOD-r ($r = -0,15$, $p = 0,02$).

Infine, è emersa una correlazione significativa tra il punteggio medio dell'OPT-r e l'IA-CST e il punteggio dell'OPT-r ($r = -0,26$; $p = 0,01$), mentre non è stata riscontrata alcuna correlazione significativa tra IA-CST e la scala totale SBSOD-r ($r = -0,009$; $p = 0,93$).

Dati del campione della popolazione generale

I risultati delle correlazioni di Pearson non hanno evidenziato alcuna relazione significativa tra età anagrafica e punteggi all' OPT-r ($r = 0,01$; $p = 0,84$) né con i punteggi totali della SBSOD-r ($r = 0,007$;

p = 0,914). Analogamente, non sono emerse correlazioni significative tra gli anni di istruzione e i punteggi totali dell'OPT-r (r = -0,4, p = 0,45) né con il punteggio della SBSOD-r (r = -0,008, p = 0,56).

Le correlazioni punto-biseriali hanno invece rivelato un'associazione significativa tra genere e il punteggio totale dell'OPT-r (r = 0,35, p < 0,001), nonché con il punteggio della sottoscala di Visualizzazione Spaziale della SBSOD-r (r = -0,35, p < 0,001) e con il punteggio totale della SBSOD-r (r = -0,19, p = 0,002).

Sulla base di questi risultati, sono stati forniti i dati descrittivi suddivisi per genere e per l'intero campione.

Inoltre, i risultati del t-test per campioni indipendenti hanno evidenziato una perfomance significativamente migliore dei maschi rispetto alle femmine sia nell'OPT-r ($t_{(252)} = -5,96$; p < 0,001) sia nel punteggio totale della SBSOD-r ($t_{(252)} = 3,06$; p = 0,002) e nella sottoscala di Visualizzazione Spaziale ($t_{(252)} = 6,08$; p = 0,001).

Non sono emerse differenze significative tra i maschi e femmine nella sottoscala di Navigazione Spaziale ($t_{(252)} = 0,53$; p = 0,60).

Una descrizione dettagliata dei dati descritti dell'intero campione è riportata nella Tabella 2.

le differenze di prestazione tra uomini e donne nei compiti revisionati sono state analizzate mediante un test t per campioni indipendenti. I risultati mostrano che gli uomini ottengono prestazioni significativamente migliori rispetto alle donne nell'OPT-r ($t_{(252)} = -5,960$; p < 0,001), nel punteggio totale della SBSOD-r ($t_{(252)} = 3,06$; p = 0,002) e nella sottoscala Visualizzazione Spaziale ($t_{(252)} = 6,083$; p < 0,001). Non sono emerse differenze significative nella sottoscala Navigazione Spaziale ($t_{(252)} = 0,532$; p = 0,602).

Una descrizione dettagliata dei dati descrittivi per l'intero campione è riportata nella Tabella 1.2

Tabella 1.2. Dati delle versioni revisionate di OPT-r e SBSOD-r suddivisi per genere e per l'intero campione.

	N	**Campione totale**	**95% Intervallo di Confidenza**		**Maschi**	**Femmine**	**TEST**	***p***
	Item	**Media (SD)**	**Limite inferiore**	**Limite superiore**	**Media (SD)**	**Media (SD)**	**STATISTICI**	
OPT-r	9	41.8 (23.5)	38.9	44.8	32.5 (22.2)	49.1 (21.9)	$t_{(252)} = -5.96$	**< 0 .001**
SBSOD-r	15	4.2(1.01)	4.1	4.3	4.4 (0.8)	4.0 (1.1)	$t_{(252)} = 3.06$	**0.002**

Punteggio Totale SBSOD-r Spatial Visualization	5	3.6 (1.1)	3.5	3.8	4.1 (1.0)	3.29 (1.1)	$t_{(252)} = 6.08$	**< 0 .001**
SBSOD-r Spatial Navigation	9	4.6 (1.2)	4.4	4.7	4.6 (0.9)	4.60 (1.3)	$t_{(252)} = -0.41$	0.67

Note: OPT-r= Object Perspective Taking – Versione Revisionata, Dimension 1; **OPT-r Control** = Object Perspective Taking – Scala di Controllo, Dimension 2; **SBSOD-r Totale** = Santa Barbara- Revisionato Punteggio totale; Le comparazioni signficative sono riportate in grassetto.

1.4 Studio 2

Per espolorare preliminarmente le abilità visuo-spaziali nella popolazione con ASD e il potenziale utilizzo clinico delle scale OPT-r e SBSOD-r revisionate nelle analisi precedenti, i test somministrati a un gruppo di 13 partecipanti con ASD e 13 pratecipanti del gruppo di Controllo (CG), comparabili per QI, genere, età anagrafica e anni di istruzione.

Tutti i partecipanti hanno inoltre completato il compito IA-CST e le Matrici Progressive Standard di Raven (SPM) (si veda la sezione *Strumenti e Procedura* dello Studio 1 per una descrizione dettagliata).

1.5 Partecipanti

Tredici partecipanti ASD, Livello 1 (tutti di sesso maschile); sono stati reclutati presso [dato anonimizzato]. La diagnosi di e il livello di funzionamento sono stati stabiliti da clinici mediante la l'*Autism Diagnostic Observation Schedule-2* (ADOS-2; Lord et al., 2012) e in accordo con i criteri del *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5ª ed.; DSM-5; APA, 2013).

I partecipanti ASD sono stati esclusi dallo studio qualora presentassero condizioni psichiatriche o mediche concomitanti oppure compromissione cognitiva.

A questi sono stati abbinati tredici partecipanti CG (tutti di genere maschile), comparabili per QI, età e anni di istruzione.

Le caratteristiche dettagliate dei partecipanti sono riportate nella Tabella 1.3.

Tabella 1.3. Dati demografici dei campioni e informazioni cliniche relative ai gruppi ASD e CG

	ASD (***N*** = **13**)	**CG** (***N*** = **13**)	**Test statistici**	***p***
Range di Età	15 - 46	19 - 40	-	-
Età anagrafica Media (DS)	23.4 (8.1)	24.3 (5.9)	t (24) = 0.301	0.76
QI RSPM Range	90 - 125	92 -122	-	-
QI RSPM (DS)	105.0 (11.04)	113.1 (9.6)	t (24) = -1.99	0.06
Anni Medi di istruzione (DS)	12.7 (2.6)	14.0 (1.9)	t (24) = 1.347	0.19
Informazioni Cliniche				
ADOS-2				
Comunicazione + Interazione sociale	11.3 (4.3)			
Stereotipie e comportamenti ripetitivi e interessi ristretti	0.3 (0.6)	-	-	-

ADOS-2: Autism Diagnostic Observation Schedules- Second edition; **ASD**: Autism Spectrum Disorder; **CG**: Gruppo di Controllo

1.6 Analisi Statistica

Dato il numero ridotto del campione, è stato utilizzato il test di Mann-Whitney per confrontare i punteggi dell'OPT-r e della SBSOD-r tra i gruppi ASD e CG. Inoltre, sono stati confrontati i punteggi dei singoli item dell'OPT-r tra I due gruppi.

I gruppi ASD e CG sono stati messi a confront anche in relazione ai punteggi dell'IA-CST.

Infine, all'interno del gruppo ASD, sono state esplorate le relazioni potenziale tra la performance ai test visuo-spaziali, i punteggi dell'IA-CST e quelli dell'ADOS-2, utilizzando correlazioni di Spearman.

2.6.1 Risultati

Per esplorare le differenze nelle prestazioni tra i gruppi ASD e CG nelle scale OPT-r e SBSOD-r, è stato condotto un test di Mann-Whitney. I risultati hanno mostrato una differenza significativa nel punteggio totale dell'OPT-r (U= 44; z= -2.07; p= 0.03), con il gruppo ASD che ha riportato una perfomance inferiori rispetto al gruppo di controllo.

Nessuna differenza significativa è emersa nel punteggio della scala di controllo dell'OPT-r (U= 59; z= -1.31; p= 0.19). L'analisi dei singoli item ha evidenziato differenze significative tra i due gruppi per l'Item 2 (U = 30,5, z = -2,7, p = 0,006), l'Item 4 (U = 41, z = -2,23, p = 0,02) e l'Item 9 (U = 37,5, z = -2,48, p = 0,01), in cui il gruppo ASD ha ottenuto prestazioni inferiori rispetto al CG. Un esempio delle risposte medie dei due gruppi agli item I2 e I3 è riportato in Figura 1.3.

Per quanto riguarda la scala SBSOD-r, i risultati non hanno mostrato differenze significative né nel punteggio totale (U= 62,5, z= -1.12; p= 0,25), né nella sottoscala *di* Visualizzazione Spaziale (U= 81, z= -0.18; p= 0.85) né in quella di Navigazione Spaziale (U= 60,5, z= -1.23, p= 0,21).

Infine, è stata riscontrata una differenza significativa nel punteggio totale dell'IA-CST tra i due gruppi (U= 41, z = -2,4, p= 0,03), mentre non sono emerse differenze significative nel punteggio della scala di controllo dell'IA-CST (U= 80,5, z = -0,25, p = 0,8). Tutti i risultati dei confronti tra i gruppi sono riportati nella Tabella 1.4.

L'analisi delle correlazioni all'interno del gruppo ASD non ha evidenziato relazioni significative tre l'OPT-r e il punteggio totale dell'IA-CST (r = -0,28, p = 0,33), né tra l'OPT-r e il punteggio totale dell'ADOS-2 (r = -0,32, p = 0,27). Analogamente, non sono emerse correlazioni significative tra la SBSOD-r e l'IA-CST (r = -0,25, p = 0,39), né tra la SBSOD-r e l'ADOS-2 (r = 0,08, p = 0,78).

Tabella 1.4. Confronto dei punteggi OPT-r e SBSOD-r tra i gruppi ASD e CG

	ASD (N= 13)		**CG (N=13)**		**Test Statistici**	***p***
	Media (ES)	**Mediana (1°-3° quartile)**	**Mean (ES)**	**Mediana (1st-3rd quartile)**		
OPT-r	48.04 (6.6)	48.2 (25.3 – 69.1)	29.5 (5.4)	21 (13.1 – 50.8)	*U*= 44	**0.03**
OPT- Controllo	42.5 (8.7)	35.3 (11.1 – 68.5)	30.5 (9.3)	10 (5.8 – 64.3)	*U*= 59	0.19

SBSOD-r Totale	3.9 (0.2)	3.9 (3.2 – 4.7)	4.4 (0.3)	4.1 (3.6 – 5.5)	*U*= 62.5	0.25
Visualizzazione Spaziale	3.8 (0.3)	3.8 (3.4 – 5.1)	4.01 (0.2)	3.8 (3.4 – 4.9)	*U*= 81	0.85
Navigazione Spaziale	3.9 (0.2)	4.1 (3.4 – 4.8)	4.7 (0.37)	4.5 (3.6 – 6.2)	*U*= 60.5	0.21
IA-CST Totale	6.7 (0.8)	8 (6 – 8.5)	8.6 (0.1)	9 (8-9)	U= 41	**0.02**
IA-CST Controllo	4.2 (0.4)	5 (4 – 5)	4.6 (0.1)	5 (4 – 5)	U= 80.5	0.8

Note: OPT-r Object Perspective Taking – versione Revisionata, Dimension 1; **OPT- Control** = Object Perspective Taking – Scala di Controllo, Dimension 2; **SBSOD-r Totale =** Santa Barbara- versione Revisionata, Punteggio totale; ASD: Disturbo dello Spettro Autistico; CG: Gruppo di Controllo; Le differenze significative sono riportate in grassetto.

IA-CST Totale: punteggio totale della serie che valuta la capacità di attribuire intenzioni del compito Intention Attribution Comic Strip Task; IA-CST Controllo = punteggio della serie di controllo del compito Intention Attribution Comic Strip Task.

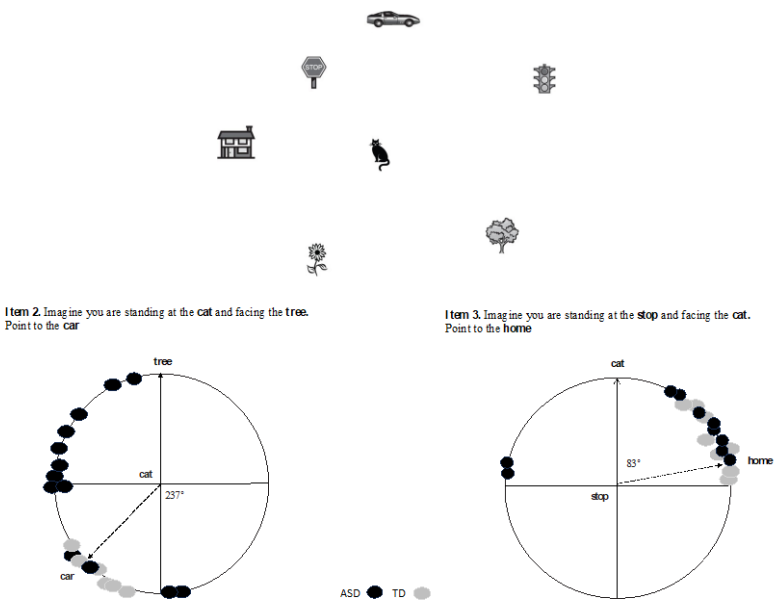


Figure 1.3. Esempio di differenza significativa nelle risposte tra ASD e TD per gli item I2 e I3 dell'OPT-r. La figura mostra le risposte medie dei gruppi ASD e TD in due item dell'OPT-r (I2 e I3), scelti a titolo esemplificativo. L'item 2 (> 180°) richiede un cambiamento di prospettiva superiore a 180° e presenta una differenza significativa tra i due gruppi: i partecipanti ASD commettono un errore angolare maggiore rispetto ai TD. Al contrario, nell'item 3 (< 90°), che richiede un cambiamento di prospettiva inferiore a 90°, entrambi i gruppi tendono a rispondere correttamente.

1.7 Discussione

Le abilità visuospaziali, così come la capacità di comprendere l'ambiente circostante, sono essenziali per lo svolgimento di molte attività quotidiane. La loro importanza è stata confermata anche da scoperte neuroscientifiche fondamentali (ad esempio, John O'Keefe, May-Britt Moser ed Edvard I. Moser, vincitori deli Premio Nobel per la Medicina nel 2014 per la scoperta delle cellule reticolari dell'ippocampo), che ne hanno evidenziato il ruolo nella percezione e nell'interazione con il mondo che ci circonda (Burgess, 2014).

Risulta pertanto di primaria importanza valutare tali abilità attraverso strumenti specifici, soprattutto nelle popolazioni cliniche che possono presentare un'elaborazione atipica degli stimoli visuo-spaziali, come nel caso dell'autismo (Cardillo et al., 2020; Doi et al., 2020).

Per tali ragioni, nel nostro studio abbiam esplorato la struttura dimensionale e revisionato due strumenti utilizzanti in letteratura per valutare le abilità visuo-spaziali (OPT e SBSOD) nel contesto italiano (Studio 1). Inoltre, abbiamo confrontato preliminarmente le prestazioni dei gruppi ASD e CG sulle due versioni revisionate (Studio 2).

Relativamente alla struttura dell'OPT, i risultati dell'EGA hanno mostrato che, eliminando tre item (I10, I11, e I12), la migliore struttura è unidimensionale, che indaga la capacità di presa di prospettiva. Questo risultato è stato ulteriormente confermato dalla CFA, che ha evidenziato una buona adattabilità del modello al nostro campione.

In particolare, la struttura unidimensionale degli item è risultata stabile e replicabile, portando alla proposta di una scala rivisitata, denominata OPT-r, composta da 9 item.

Tuttavia, proponiamo di mantenere i tre item (I10, I11, I12) come fase iniziale di addestramento del test, escludendoli dal punteggio totale della scala.

Riteniamo che una fase di addestramento possa risultare particolarmente utile per facilitare la comprensione delle istruzioni.

In letteratura, il test OPT ha permesso di distinguere tra orientamento spaziale e visualizzazione spaziale, ossia la capacità di eseguire trasformazioni spaziali sia egocentriche che basate sugli oggetti Cardillo et al., 2020; Hegarty & Waller, 2005; Kozhevnikov & Hegarty, 2001). I nostri risultati sono in linea con quanto evidenziato da Hegarty e Waller (2005), che hanno validato questa distinzione mediante CFA, separando il fattore "*Perspective Taking"* dalle abilità di rotazione mentale, identificando un fattore specifico.

Inoltre, poiché la misura la misura SBSOD *self-report* viene utilizzata per indagare le differenze individuali nelle abilità spaziali, abbiamo esplorato la sua dimensionalità e proposto una revisione.
La nostra analisi supporta una soluzione bidimensionale (Visualizzazione Spaziale e Navigazione Spaziale), differente rispetto agli studi precedenti (Hegarty, 2002; Turgut, 2014), che hanno identificato un singolo fattore.
Tali risultati trovano supporto teorico nella proposta di McGee (1979), secondo cui le abilità spaziali si suddividono in due componenti principali: la visualizzazione spaziale, che include sotto-abilità come rotazione, manipolazione e proiezione da 2D a 3D, e la navigazione spaziale, associato alla capacità di creare immagini mentali da un punto di vista differente. L'assegnazione dei nomi alle due dimensioni è coerente con l'analisi semantica condotta sugli item le compongono.
Pertanto, proponiamo una versione revisionata della scala SBSOD, composta da 12 item (SBSOD-r).
Le due misure revisionate, OPT-r e SBSOD-r, hanno mostrato una buona coerenza interna e affidabilità. Le analisi hanno evidenziato una significativa correlazione negativa tra le due scale visuo-spaziali, in particolare tra il punteggio totale dell'OPT-r sia il punteggio totale della SBSOD-r, che la sottoscala di Visualizzazione Spaziale.
Questo risultato suggerisce che un punteggio più alto nell'OPT-r (ovvero una performance meno efficace, con maggiore errore angolare) è associato a una minore percezione soggettiva delle proprie abilità di orientamento e visualizzazione. Tale evidenza è in linea con quanto riportato in letteratura: una performance meno accurata in compiti di valutazione spaziale si associa a una percezione ridotta delle proprie capacità di orientamento.
I risultati confermano anche le differenze di genere già evidenziate in letteratura (Bartlett & Camba, 2023; Meneghetti et al., 2012): nel nostro campione, gli uomini hanno mostrato migliori abilità nella presa di prospettiva spaziale e una maggiore consapevolezza delle proprie capacità di visualizzazione spaziale rispetto alle donne. Tuttavia, non sono emerse differenze di genere nella sottoscala di Navigazione Spaziale, suggerendo che uomini e donne abbiano una consapevolezza simile delle proprie abilità nel creare immagini mentali da punti di vista differenti, pur differendo nella manipolazione e utilizzo delle stesse.
Avevamo ipotizzato una relazione tra abilità visuo-spaziali e comprensione delle intenzioni altrui, sulla base di studi precedenti (David et al., 2010; Hamilton et al., 2009; Kessler & Wang, 2012; Tian et al., 2021). I nostri risultati supportano tale ipotesi, mostrando una relazione tra IA-CST e OPT-r, suggerendo che la comprensione delle intenzioni e le abilità di presa di prospettiva si influenzano reciprocamente (David et al., 2010; Pearson et al., 2013). La comprensione di queste relazioni può

offrire spunti significativi per la ricerca e le applicazioni cliniche, soprattutto in popolazioni con difficoltà di mentalizzazione (Nejati et al., 2021; Tian et al., 2021).

Nel secondo studio, abbiamo confrontato le performance nei compiti revisionati (OPT-r e SBSOD-r) tra un gruppo di giovani adulti con ASD e un gruppo di controllo, comparabili per QI, età e livello di istruzione. La varietà di approcci presenti in letteratura sottolinea l'importanza di indagare in modo dettagliato le abilità di presa di prospettiva spaziale nei soggetti con ASD. Nel nostro campione, i partecipanti con ASD hanno ottenuto in generale prestazioni inferiori rispetto al gruppo di controllo nell'OPT-r. I risultati hanno mostrato che la disparità angolare degli stimoli ha un impatto significativo in entrambi i gruppi: l'aumento dell'errore è correlato all'aumento del cambiamento di prospettiva (tra 90° e 180°), confermando quanto riportato in studi precedenti (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Zacks & Michelon, 2005). Tuttavia, le differenze tra i gruppi scompaiono negli item che richiedono cambiamenti minimi di prospettiva. In Figura 3 è riportato un esempio delle risposte medie per due item (I2 e I3): nell'Item 2 (>180°) si osserva una differenza significativa con maggiore errore nel gruppo ASD, mentre nell'Item 3 (<90°) entrambi i gruppi rispondono correttamente.

Questa osservazione nei partecipanti ASD offre un contributo importante alla comprensione delle specificità delle abilità di assunzione della prospettiva in questa popolazione. Un modello simile di prestazione sulla deviazione angolare è stato mostrato in studi precedenti che includevano bambini con ASD (Cardillo et al., 2020), confermando che tali difficoltà possono persistere anche in età adulta. Al contrario, non sono emerse differenze nei punteggi della SBSOD-r, suggerendo che i partecipanti ASD abbiano una percezione del proprio senso di orientamento simile a quella del gruppo di controllo. Una possibile spiegazione di questo risultato potrebbe risiedere nel livello di consapevolezza effettiva delle proprie competenze da parte dei soggetti con ASD. Tuttavia, data la dimensione ridotta del campione dello Studio 2, questo aspetto necessita di ulteriori approfondimenti.

È noto che le persone con ASD presentano difficoltà nelle abilità di ToM (Le Donne et al., 2023; Mazza et al., 2024), e i nostri risultati evidenziano differenze tra i gruppi ASD e CG nel compito IA-CST, in cui il gruppo ASD ha ottenuto punteggi significativamente inferiori. Considerando che i processi di presa di prospettiva possono variare in funzione del contenuto (visivo o spaziale) e della presenza o meno di un agente sociale (Tarampi et al., 2016), i nostri risultati seppur preliminari suggeriscono che l'abilità misurata dall'OPT-r possa rappresentare un prerequisito per abilità più complesse, come l'adozione della prospettiva altrui, notoriamente compromessa nelle persone con ASD (Le Donne et al., 2023; Mazza et al., 2024; Pearson et al., 2013).

La valutazione di tali abilità potrebbe essere fondamentale in ambito riabilitativo, ad esempio nell'allenamento delle competenze visuo-spaziali utili per attività quotidiane e per il potenziamento

delle abilità sociali, come la mentalizzazione. Diversi studi hanno dimostrato l'efficacia di interventi volti a migliorare la presa di prospettiva, attraverso *video modeling* (Charlop-Christy & Daneshvar, 2003) o l'uso di *serious games* (Hughes et al., 2016).

Nonostante i risultati interessanti e l'approccio esplorativo del nostro studio, siamo consapevoli di alcune limitazioni che ricerche future dovranno affrontare. In particolare, il processo di validazione delle scale dovrebbe essere approfondito, includendo anche altri tipi di validità (es. predittiva). Inoltre, sebbene le correlazioni tra OPT-r, SBSOD-r e IA-CST siano risultate significative, l'effetto riscontrato è modesto e merita ulteriori approfondimenti.

Una limitazione rilevante riguarda la dimensione ridotta del campione dello Studio 2; pertanto, i risultati devono essere considerati preliminari e dovranno essere verificati in studi futuri con campioni più ampi e inclusivi del genere femminile. Infatti, il nostro campione ASD era composto esclusivamente da maschi, e sebbene ciò rappresenti una limitazione, va considerato che il genere maschile è sovrarappresentato nell'autismo (APA, 2013).

Non sono state rilevate relazioni significative tra i punteggi dei test visuo-spaziali revisionati, le abilità di attribuzione di intenzione e i punteggi sintomatologici dell'ADOS-2 all'interno del campione ASD. Questo risultato potrebbe essere stato influenzato dalla dimensione del campione, che potrebbe non essere sufficiente per raggiungere la significatività statistica.

Di conseguenza, studi futuri dovrebbero indagare queste relazioni in un campione più ampio, poiché i soggetti con ASD tendono a presentare una notevole variabilità nei loro profili clinici e cognitivi.

Un ulteriore aspetto da approfondire riguarda le strategie adottate dai soggetti ASD per risolvere i compiti di presa di prospettiva, tenendo conto anche della distinzione tra presa di prospettiva oggetto-centrica e persona-centrica. Lo Studio 2 presenta risultati preliminari che non intendono offrire conclusioni definitive, anche in considerazione delle possibili discrepanze tra le valutazioni in laboratorio e le competenze applicate nella vita quotidiana, che andranno ulteriormente esplorate.

Un'ultima limitazione riguarda il gruppo di controllo, per il quale non è stata effettuata una valutazione clinica sistematica volta a indagare la presenza di eventuali tratti autistici, ma si è richiesto ai partecipanti di autodichiarare eventuali storie pregresse o attuali di disturbi neurologici, psichiatrici o di abuso di sostanze.

Infine, è importante sottolineare che i risultati preliminari ottenuti, pur evidenziando una buona accuratezza delle performance, devono essere considerati come punto di partenza e necessitano di ulteriori approfondimenti per poter essere pienamente confermati e sviluppati.

STUDIO2

ChatGPT ha una Teoria Della Mente Tipica o Atipica?

2.1 Introduzione allo studio

La Teoria della Mente (ToM), ovvero la capacità di comprendere e inferire gli stati mentali propri e altrui in termini di credenze, intenzioni, pensieri, emozioni e desideri (Frith e Frith, 2003; Mazza et al., 2024), rappresenta una competenza fondamentale per la vita sociale di un individuo.

Considerata una delle abilità più complesse e sofisticate dell'essere umano, la ToM rappresenta una sfida ardua nello sviluppo dell'intelligenza artificiale (IA) moderna.

Negli ultimi anni, i *Large Languange Models* (LLMs), come i modelli *Generative Pre-trained Trasformer* (GPT), hanno dimostrato straordinarie capacità nell'elaborazione del linguaggio naturale e nel simulare i modelli comportamentali e cognitivi umani (Sartori e Orrù, 2023).

ChatGPT, è una chatbot basato su LLM, si distingue per la sua capacità di conversare con gli utenti umani grazie agli algoritmi di *machine learning*.

Sebbene ChatGPT sia in grado di generare con successo informazioni teoriche e inferenziali accurate in vari ambiti, la sua capacità di manifestare una ToM adeguata, simile a quella degli esseri umani in sviluppo tipico, rimane un tema di dibattito e interesse nella psicologia clinica sperimentale (Marchetti et al., 2023; Tavella et al., 2024; Trott et al., 2023).

Ad esempio, nello studio condotta da Strachan et al, (2024), è stato utilizzato GPT-3.5, che ha ottenuto punteggi significativamente inferiori rispetto a quelli degli esseri umani nei test di comprensione dell'ironia e nel test del *faux pas.*

Kosinski (2023) ha mostrato che i modelli più avanzati, come ChatGPT-4, a differenze dei modelli più piccoli, sono in grado di risolvere compiti di falsa credenza, ottenendo performance simi a quelle di bambini di sei anni.

Altri studi hanno mostrato risultati contrastanti, suggerendo che le performance dipendono dal tipo di compito, dal *prompt* fornito alle domande poste (Brunet-Gouet et al., 2023).

Un recente studio condotto da Barattini di San Pietro et al. (2023), ha confermato le capacità linguistiche pragmatiche di ChatGPT-3.5 con quelle degli esseri umani, mostrando che le performance di ChatGPT erano simili a quelle umane, ma con una diminuzione nel ricoscimento delle metafore fisiche, nella compnresione dell'umorismo e nella violazione dei massimi di Grice (Grice, 1975), supportando una tendenza verso l'artificialità della risposta (Marchetti et al., 2023).

Per quanto riguarda la dimensione affettiva della ToM e le abilità empatiche, gli studi hanno mostrato che i LLM sono potenzialmente in grado di simulare alcuni aspetti dell'empatia, sebbene le loro risposte spesso appaiano ripetitive o troppo generali (Chen et al., 2023; Schaaff et al., 2023; Sorin et al., 2023).

Elyoseph et al (2023) hanno dimostrato che ChatGPT è in grado di generare risposte caratterizzate da una consapevolezza emotiva adeguata, incluso l'indentificare e descrivere correttamente le emozioni.

Le difficoltà nella ToM, nelle abilità di consapevolezza emotiva e nel linguaggio pragmatico sono ampiamente documentate in letteratura come tratti distintivi delle popolazioni cliniche, in particolare nel Disturbo dello Spretto Autistico (ASD) (Baron-Cohen et al., 2025; Boada et al., 2020; Deliens et al., 2018; Mazza et al., 2022, 2024).

L'ASD è un disturbo neuroevolutivo complesso caratterizzato da deficit nella comunicazione e nell'interazione sociale e modelli di comportamento e interessi ristretti e ripetitivi (*American Psychiatric Association,* 2013).

Un recente studio di Mazza et al., (2022) ha evidenziato che l'analisi dello stile di risposta nei compiti avanzati di ToM, contribuisce a distinguere tra popolazioni cliniche e non cliniche, supportando la diagnosi differenziale tre ASD e Disturbo delle Spettro Schizofrenico.

A nostra conoscenza, lo stile di risposta utilizzato dai LLM per risolvere compiti avanzati di ToM non è stato ancora esplorato in dettaglio.

Inoltre, studi che esaminano le abilità di ToM e dei LLM con partecipanti umani, comprese le popolazioni cliniche, sono ancora scarsi in letteratura.

Sulla base di queste premesse e considerando che gli studi sulle potenziali applicazioni dell'IA e dei LLM in contesti clinici e di salute mentale sono in espansione (Thirunavukarasu et al., 2023a, 2023b), abbiamo condotto un'indagine preliminare per esplorare e discutere se lo stile di ragionamento utilizzato da ChatGPT nei compiti di mentalizzazione coincida con quello adottato dalle popolazioni con sviluppo tipico (TD) o ASD.

2.2. Materiali e Metodi

2.1 Partecipanti

Due distinti gruppi di individui TD, reclutati tramite campionamento opportunistico presso strutture e organizzazioni locali, hanno partecipato allo studio in due sessioni separate: 54 soggetti sani (39 donne e 15 uomini; età cronologica media 20,8 ± 2,35 anni) hanno completato l'A*dvanced Theory of Mind Task* (Blair e Cipolotti, 2000; Prior et al., 2003).

I criteri di esclusione considerati comprendevano la presenza di patologie neurologiche, disturbi psichiatrici, disturbi cognitivi, dipendenze da sostanze e traumi cranici.

Il gruppo ASD era composto da 51 individui con ASD Livello 1 (11 donne e 40 uomini; età cronologica 22,4 ± 7,87 anni; QI medio 99,7 ± 12,9), reclutati presso il Centro Regionale di Riferimento per l'Autismo di L'Aquila, Italia.

La diagnosi è stata formulata da esperti clinici sulla base dei criteri del DMS-5 (*American Psychiatric Association*, 2013) e mediante l'utilizzo dell'*Autism Diagnostic Observation Schedule-Versione 2* (Lord et al., 2012). I criteri di esclusione includevano la presenza di disabilità intellettiva, epilessia, disturbi del linguaggio e comorbidità psichiatriche.

Large Language Model

È stato utilizzato ChatGPT (OpenAI, San Francisco), uno dei modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM) più noti e accessibili online. Gli esperimenti sono stati condotti utilizzando la versione di ChatGPT 3.5 del 22 gennaio 2024 e quella di ChatGPT-4 del 26-27 febbraio 2024.

2.2 Misure

- *Advanced Theory of Mind Task* (A-ToM) (Blair e Cipolotti, 2000; Mazza et al., 2022; Prior et al., 2003) è un adattamento italiano di un compito cognitivo di *Theory of Mind* (ossia le *Strange Stories* di Happé, 1994), composto da 13 storie che descrivono eventi reali. Per interpretare correttamente ciascuna storia, il partecipante deve andare oltre il significato letterale del testo e formulare un'inferenza sullo stato mentale del protagonista.

  Ogni storia rappresenta un diverso tipo di attribuzione di stato mentale, ovvero: finzione, persuasione, scherzo, menzogna, bugia a fin di bene, equivoco, ironia, doppio bluff e sarcasmo (Mazza et al.,2022). Dopo ogni risposta vengono poste due domande: una domanda di comprensione (es. "Quello che ha detto X era vero?") e una domanda di giustificazione (es. "Perché X ha detto questo?"). Per ciascuna storia si assegna un punteggio di 1 se entrambe le domande ricevono una risposta corretta, altrimenti viene attribuito un punteggio di 0.

  Una risposta alla domanda di giustificazione è considerata corretta se contiene un'attribuzione fisica (cioè riferita a eventi non mentali, come aspetto fisico, azione di un oggetto, eventi fisici o risultati) oppure un'attribuzione mentale (cioè che identifica correttamente pensieri, emozioni, desideri o figure retoriche). Il punteggio totale può variare da 0 a 13, con valori più alti indicativi di una maggiore comprensione degli stati mentali altrui.

- *Emotion Attribution Task* (EAT) (Blair e Cipolotti, 2000; Prior et al., 2003) è un compito affettivo di *Theory of Mind* che valuta la capacità di attribuire stati emotivi agli altri.

  Il compito è composto da 58 storie che descrivono situazioni emotive in grado di suscitare l'attribuzione di emozioni positive e negative, in particolare: 10 storie evocano felicità, 10 tristezza, 10 paura, 12 imbarazzo, 3 disgusto, 10 rabbia e 3 invidia.

  Al partecipante viene chiesto di indicare l'emozione che meglio descrive lo stato d'animo vissuto dal protagonista della storia.

  La codifica avviene tramite una lista di risposte corrette (emozioni target e loro sinonimi) per ciascuna storia. La risposta è codificata come 1 se corretta, altrimenti come 0.

  Un punteggio più alto indica una migliore capacità di attribuzione delle emozioni altrui.

2.3 Procedura

I partecipanti umani sono stati valutati individualmente tramite una procedura *paper and pencil.*

Il protocollo sperimentale è stato approvato dal Comitato Etico Locale (Azienda Sanitaria Locale 1 - ASL 1, protocollo n. 0052505/21). Lo studio è stato condotto nel rispetto dei principi stabiliti dalla Dichiarazione di Helsinki, e il consenso informato è stato ottenuto da ciascun partecipante prima della somministrazione dei test.

Per testare le prestazioni di ChatGPT 3.5 e ChatGPT-4, sono stati utilizzati gli stessi protocolli previsti per i partecipanti umani.

Le storie dei compiti sono state inserite nella casella di testo di ChatGPT, che è stato istruito a rispondere alle domande previste dai due test.

Le domande e le risposte erano in lingua italiana. In particolare, sono state avviate due conversazioni distinte per i due compiti e ogni storia è stata inserita in modo sequenziale.

Nell'EAT, sia ChatGPT-3.5 che ChatGPT-4 hanno richiesto un ulteriore prompt (*"Cerca di essere il più preciso possibile nell'indicare l'emozione che proverà il protagonista"*) per portare a termine il compito e cercare di arrivare ad una risposta accurata.

Questa specificazione è stata aggiunta per ogni storia dopo aver ricevuto una prima risposta senza alcun prompt aggiuntivo.

Le valutazioni sono state effettuate sulla base delle risposte fornite dopo l'inserimento di tale richiesta supplementare.

Le risposte generate da ChatGPT sono state valutate seguendo gli stessi criteri applicati ai partecipanti umani e sono state codificate indipendentemente da tre ricercatori del team.

Eventuali discrepanze sono state discusse fino al raggiungimento di un accordo unanime.

2.4 Analisi statistiche

Confronto tra i gruppi TD e ASD

Le differenze tra i gruppi ASD e TD in termini di età cronologica e prestazioni nei compiti A-ToM ed EAT sono state analizzate utilizzando il test di Mann–Whitney.

2.4.1 Prestazione di ChatGPT

Le prestazioni di ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4 sono state analizzate come due casi singoli, calcolando i punteggi grezzi totali (risposte corrette e incorrette) e la proporzione di accuratezza per ciascun test. Le prestazioni dei due modelli linguistici sono state confrontate mediante un test z per la proporzione su due campioni indipendenti.

2.4.2 Confronto tra ChatGPT e le prestazioni umane

Per ciascun compito sono stati calcolati i punteggi medi e le proporzioni medie di accuratezza per ciascun gruppo (TD e ASD).

Le proporzioni di risposte corrette ottenute da ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4 sono state confrontate con quelle dei gruppi ASD e TD mediante un test sulle proporzioni per un singolo campione (*binomial test*).

2.5 Risultati

2.5.1 Confronto tra i gruppi TD e ASD

Il gruppo TD e il gruppo ASD che hanno completato il test A-ToM non hanno mostrato differenze significative rispetto all'età cronologica ($U = 1.130$, $p < 0.001$), in cui il gruppo ASD ha riportato punteggi inferiori rispetto al gruppo TD.

Per quanto riguarda il test EAT, i risultati hanno mostrato che i gruppi ASD e TD non differivano per età cronologica ($U = 1.176$, $p = 0.19$). È stata riscontrata una differenza significativa nel punteggio totale ($U = 931$, $p = 0.004$) e nel punteggio relativo all'emozione dell'imbarazzo ($U = 770$, $p < 0.001$), con prestazioni inferiori del gruppo ASD rispetto al gruppo TD. Non sono emerse altre differenze significative tra i gruppi nel test EAT.

I risultati sono riportati nella Tabella 2.1

Tabella.2.1 Confronto tra i gruppi TD e ASD nei test A-ToM ed EAT

	TD (*n* = 54)	ASD (*n* = 51)	*U*	*p*
A-ToM	11.52 (1.26)	9.45 (2.92)	737	**<0.001**
EAT				
Tristezza	6.31 (2.28)	6.31 (2.07)	1,352	0.87
Paura	8.04 (1.75)	7.57 (2.21)	1,244	0.38
Embarrassment	8.07 (1.84)	5.24 (3.68)	770	**<0.001**
Disgusto	2.50 (0.79)	2.31 (0.81)	1,172	0.13
Felicità	8.13 (1.69)	7.37 (2.64)	1,230	0.34
Rabbia	5.31 (2.29)	4.92 (2.51)	1,265	0.47
Invidia	1.78 (1.00)	1.51 (1.22)	1,227	0.32
EAT Punteggio Totale	40.15 (7.57)	35.24 (9.25)	931	**0.004**

I confronti significativi sono riportati in grassetto

2.5.2 Prestazione di ChatGPT

Nel compito A-ToM, ChatGPT-3.5 ha risposto correttamente a 11 delle 13 domande (84,6%).

In particolare, ha commesso un errore in una domanda di comprensione (Storia 2 – Persuasione) e in una domanda di giustificazione (Storia 11 – Doppio bluff).

Al contrario, ChatGPT-4 ha risposto correttamente a tutte le domande, sia di comprensione che di giustificazione, ottenendo un punteggio totale di 13 su 13 (100%).

I risultati del test z per il confronto tra due proporzioni ($z = -1.47$, $p = 0.14$) non hanno evidenziato differenze significative tra le prestazioni di ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4 nel compito A-ToM.

Nel test EAT, ChatGPT-3.5 ha ottenuto un punteggio di 31 su 58 (53,4%), mostrando maggiori difficoltà nell'identificazione delle emozioni di rabbia, invidia e tristezza.

Abbiamo osservato una prestazione complessivamente migliore in ChatGPT-4, con un punteggio totale di 38 su 58 (65,52%), sebbene la differenza rispetto a ChatGPT-3.5 non sia risultata statisticamente significativa ($z = -1.32$, $p = 0.18$).

Per quanto riguarda le singole emozioni, non sono emerse differenze statisticamente significative tra ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4, ad eccezione dell'invidia ($z = -2.45$, $p = 0.01$), dove ChatGPT-4 ha raggiunto il 100% di risposte corrette, mentre ChatGPT-3.5 non ha fornito alcuna risposta corretta.

In modo simile a ChatGPT-3.5, anche ChatGPT-4 ha mostrato difficoltà nel rispondere correttamente alle storie che coinvolgevano emozioni negative, in particolare tristezza e rabbia.

2.5.3 Confronto tra ChatGPT-3.5 e le prestazioni umane

I risultati del test binomiale non hanno evidenziato differenze significative tra le proporzioni di accuratezza di ChatGPT-3.5 e quelle del gruppo TD ($p = 0.65$) o del gruppo ASD ($p = 0.53$) per quanto riguarda il compito A-ToM.

La Figura 2.1 riporta nel dettaglio lo stile di risposta utilizzato da ChatGPT-3.5 e dai gruppi umani.

Per quanto riguarda il test EAT, ChatGPT-3.5 ha mostrato un'accuratezza significativamente inferiore rispetto al gruppo TD ($p = 0.01$), ma non ha mostrato differenze significative rispetto al gruppo ASD ($p = 0.28$) nel punteggio totale.

Inoltre, è stata osservata una tendenza verso la significatività nel tasso di accuratezza relativo alla rabbia tra ChatGPT-3.5 e il gruppo TD ($p = 0.053$), ma non tra ChatGPT-3.5 e il gruppo ASD ($p = 0.11$). Non sono state riscontrate ulteriori differenze significative tra ChatGPT-3.5 e i gruppi umani. Per maggiori dettagli, si veda la Figura 2.2.

2.5.4 Confronto tra ChatGPT-4 e le prestazioni umane

Le proporzioni di accuratezza di ChatGPT-4 nel compito A-ToM non differivano significativamente da quelle del gruppo TD ($p = 0.39$), mentre risultavano significativamente superiori rispetto a quelle del gruppo ASD ($p = 0.02$).

La Figura 1 mostra nel dettaglio lo stile di risposta adottato da ChatGPT-4 e dai gruppi umani.

Non sono emerse differenze significative tra ChatGPT-4 e i gruppi TD ($p = 0.57$) e ASD ($p = 0.50$) nel punteggio totale del test EAT.

Anche per ChatGPT-4, i punteggi relativi alla rabbia hanno mostrato una tendenza verso la significatività nel confronto con il gruppo TD ($p = 0.053$), ma non con il gruppo ASD ($p = 0.11$).

Infine, la proporzione di accuratezza di ChatGPT-4 nell'attribuzione dell'emozione imbarazzo è risultata significativamente superiore rispetto a quella del gruppo ASD ($p = 0.04$).

Non sono state rilevate ulteriori differenze significative tra ChatGPT-4 e i gruppi umani.

Per maggiori dettagli, si veda la Figura 2.2.

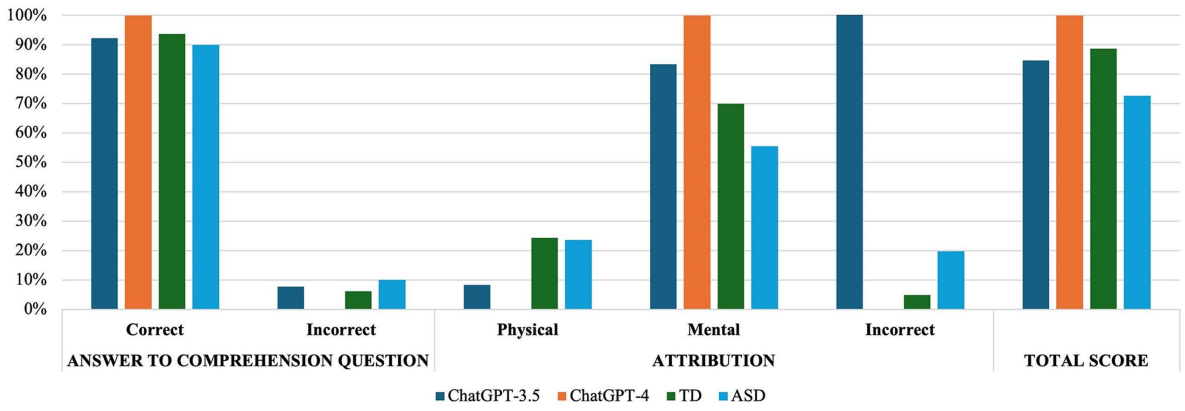
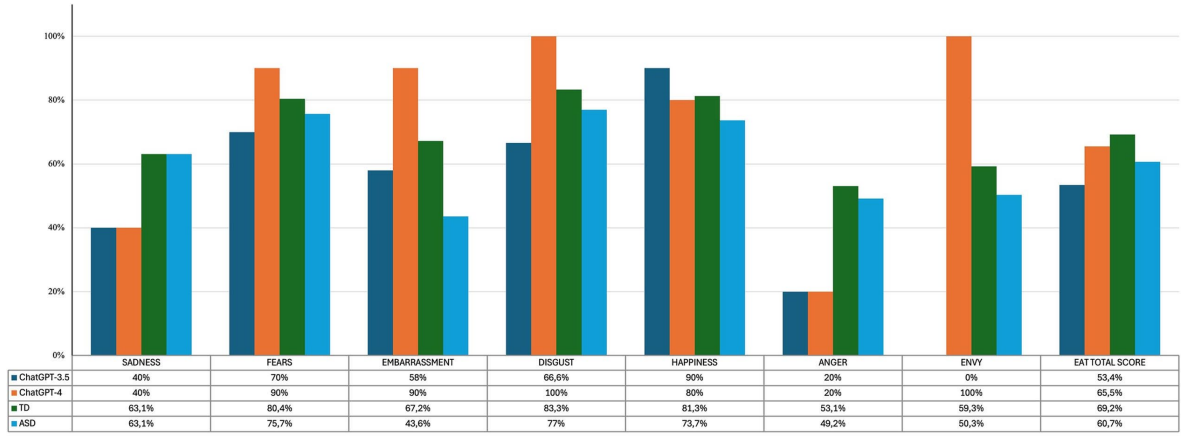


Figura 2.1
Stile di risposta adottato da ChatGPT e dai gruppi umani nel compito A-ToM



	SADNESS	FEARS	EMBARRASSMENT	DISGUST	HAPPINESS	ANGER	ENVY	EAT TOTAL SCORE
ChatGPT-3.5	40%	70%	58%	66,6%	90%	20%	0%	53,4%
ChatGPT-4	40%	90%	90%	100%	80%	20%	100%	65,5%
TD	63,1%	80,4%	67,2%	83,3%	81,3%	53,1%	59,3%	69,2%
ASD	63,1%	75,7%	43,6%	77%	73,7%	49,2%	50,3%	60,7%

Figura 2.2
Percentuali di risposte corrette nel test EAT per ChatGPT-3.5, ChatGPT-4, gruppo TD e gruppo ASD

2.6 Discussione

Negli ultimi anni, l'interazione tra intelligenza artificiale (IA) ed esseri umani è cresciuta considerevolmente, diventando parte integrante di molteplici aspetti della vita quotidiana (Haque e Li, 2024).

Sebbene le sorprendenti capacità dei LLM di simulare il linguaggio umano aprano a riflessioni critiche e sollevino interrogativi etici e morali (Aru et al., 2023), il loro potenziale impiego in ambiti sperimentali non può essere ignorato (Sartori e Orrù, 2023; Thirunavukarasu et al., 2023a).

In tal senso, alcuni studi hanno indagato i punti di forza e le limitazioni dei LLM come ChatGPT nei contesti educativo, clinico e della salute mentale (Dave et al., 2023; Haque e Li, 2024; Nori et al., 2023; Thirunavukarasu et al., 2023a, 2023b).

Partendo dal presupposto che le innovazioni tecnologiche nel campo della salute mentale, se basate su evidenze empiriche, costituiscano un valore aggiunto, ci siamo interrogati su come i LLM simulino una delle abilità umane fondamentali per l'interazione sociale e interpersonale: la ToM, nota per essere compromessa in popolazioni cliniche come nei ASD.

Per questo motivo, abbiamo somministrato un compito affettivo e uno cognitivo di ToM a due versioni largamente diffuse di LLM, ovvero ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4, confrontandone le prestazioni con quelle di individui con sviluppo tipico (TD) e con ASD di livello 1.

I risultati preliminari offrono spunti interessanti, tra cui l'ipotesi di un possibile impiego dell'IA come supporto per soggetti con ASD ad alto funzionamento.

Il primo livello di analisi ha riguardato il confronto tra individui TD e ASD, confermando quanto già emerso in letteratura (Baron-Cohen et al., 2001; Mazza et al., 2022, 2024; Polónyiová et al., 2024):

i soggetti ASD ottengono risultati peggiori rispetto ai TD nei compiti che richiedono inferenze su stati mentali ed emotivi in scenari sociali.

Il secondo livello di analisi ha coinvolto le prestazioni dei LLM: complessivamente non sono emerse differenze statisticamente significative tra ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4 nei test somministrati, sebbene quest'ultimo abbia mostrato livelli di accuratezza superiori.

Nel compito A-ToM, entrambi i modelli hanno privilegiato l'uso di attribuzioni mentali rispetto a quelle fisiche; tuttavia, a differenza di ChatGPT-4 (che ha risposto correttamente a tutte le storie), ChatGPT-3.5 ha commesso due errori in storie che indagavano stati mentali complessi.

In particolare, ha sbagliato la domanda di comprensione nella Storia 2 (Persuasione), in cui una donna cerca di convincere un ragazzo ad adottare un gattino, sostenendo che altrimenti sarà costretta ad annegarli.

La risposta generata da ChatGPT-3.5 appare artificiale e ridondante, mancando il nucleo centrale della storia e rimanendo troppo ancorata al testo.

Sebbene riconosca l'intento persuasivo, non giunge alla conclusione che la donna stia mentendo.

La persuasione, infatti, è uno stato mentale particolarmente complesso, che richiede la comprensione che l'altro possiede uno stato mentale modificabile (Lonigro et al., 2017; Mazza et al., 2022) e coinvolge aspetti come manipolazione e senso di colpa, difficili da cogliere se non si adottano prospettive sociali multiple.

Anche nella Storia 11 (Doppio Bluff), che richiede una ToM di terzo ordine, ChatGPT-3.5 ha fallito. Sebbene abbia riconosciuto che il personaggio principale è un bugiardo, non è riuscito a inferire correttamente lo stato mentale dell'altro personaggio, né a prevederne il comportamento.

Una difficoltà simile è stata osservata nel campione ASD, in cui il doppio bluff è stata la seconda storia con più errori.

È noto che la ToM di terzo ordine implica una complessità ricorsiva elevata ("*Io penso che tu pensi che lui/lei pensi che...*") e richiede una meta-rappresentazione dello stato mentale altrui, andando oltre il significato letterale del testo.

In questo, ChatGPT-3.5, così come i soggetti con ASD, sembra fallire.

Al contrario, ChatGPT-4 non ha commesso questo tipo di errori, in linea con quanto riportato in letteratura (van Duijn et al., 2023).

Nel nostro studio, la sua performance nel compito A-ToM non è risultata significativamente diversa da quella del gruppo TD, ma è risultata significativamente migliore rispetto al gruppo ASD.

Come suggerito da Kosinski (2023), non si può escludere che i LLM, in particolare quelli più avanzati come ChatGPT-4, siano stati esposti ripetutamente a compiti di falsa credenza durante il training, imparandone le risposte corrette.

Un aspetto comune a ChatGPT-3.5 e ChatGPT-4 è la tendenza a produrre risposte ripetitive, verbose e meccaniche.

Sebbene spesso corrette nel contenuto, queste risposte appaiono lunghe, a volte fuori tema, ambigue e non sempre basate su prove contestuali, violando così le massime conversazionali di Grice (Barattieri di San Pietro et al., 2023; Grice, 1975; Marchetti et al., 2023).

Al contrario, i soggetti TD forniscono risposte brevi, chiare e pertinenti, ancorate al contesto (es. "*Non è vero, lo dice per convincere Giuseppe a prendere uno dei gattini"*), rispettando le massime della quantità, qualità, relazione e maniera.

In alcuni casi, lo stile di ChatGPT ricorda quello di soggetti con ASD ad alto funzionamento, i quali tendono a fornire dettagli irrilevanti o interpretazioni ambigue, rimanendo ancorati al significato letterale.

Anche nel test EAT, la difficoltà di ChatGPT nell'adottare uno stile comunicativo chiaro e conciso è emersa.

Entrambe le versioni hanno necessitato di prompt aggiuntivi per indicare con maggiore precisione l'emozione provata dal protagonista.

Nonostante ciò, spesso sono state fornite più emozioni (es. paura, rabbia, tristezza) o stati fisici/mentali (es. frustrazione, stanchezza), piuttosto che una singola emozione base.

Risposte simili emergono anche nei soggetti ASD, che tendono a confondere emozioni con stati mentali o a sovrapporre emozioni a valenza negativa.

In questo contesto, ChatGPT-3.5 ha ottenuto risultati significativamente peggiori rispetto ai soggetti TD, ma non differenti rispetto al gruppo ASD, con difficoltà evidenti nell'identificazione delle emozioni negative (tristezza, invidia, rabbia) e una maggiore accuratezza nell'identificazione della felicità.

Tale tendenza potrebbe essere legata alla predisposizione dei LLM a generare risposte con connotazioni positive, frutto del loro *training* (Bian et al., 2023), in linea con il "*Pollyanna Principle"* (Boucher e Osgood, 1969).

ChatGPT-4 ha mostrato prestazioni migliori rispetto alla versione 3.5, pur continuando a mostrare difficoltà nell'attribuzione di emozioni come tristezza e rabbia.

Questi risultati suggeriscono che comprendere e attribuire emozioni potrebbe rappresentare un compito ancora più complesso per un LLM rispetto all'inferenza di stati mentali dal contesto.

È noto che il riconoscimento delle emozioni ha una funzione adattiva ed evolutiva (Ekman e Davidson, 1994), e coinvolge componenti non verbali (es. espressioni facciali, linguaggio del corpo) e socio-culturali, aspetti non presenti in un'intelligenza artificiale.

STUDIO 3
INTEGRAZIONE DI STRUMENTI DIGITALI E SOCIAL ROBOT NELLA VALUTAZIONE DELLO SPETTRO DELL'AUTISMO: PROTOCOLLI SPERIMENTALI

3.1 Introduzione

L'era digitale ha plasmato profondamente la nostra esistenza, rendendo la tecnologia un elemento onnipresente nella quotidianità, in particolare per le nuove generazioni, spesso definite "*nativi digitali"*. Tuttavia, questa trasformazione non riguarda unicamente il mondo giovanile: la tecnologia sta influenzando ogni fascia d'età, portando con sé inediti modi di comunicare, apprendere e interagire. In questo scenario di trasformazione, il settore sanitario e terapeutico sta assistendo un'apertura verso l'impiego di dispositivi digitali e robot sociali, intravvedendo nuove e promettenti vie per il trattamento di disturbi complessi come il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD).

L'ASD è un disturbo del neurosviluppo che si manifesta tipicamente nella prima infanzia e comporta difficoltà nella comunicazione sociale reciproca e nell'interazione con gli altri, accompagnate da comportamenti ripetitivi o interessi ristretti (APA, 2013).

La sua presentazione è altamente variabile e può includere un ampio spettro di capacità cognitive e sociali, il che rende difficoltoso l'applicazione di interventi standardizzati.

Di conseguenza, nonostante la disponibilità di numerosi approcci terapeutici, le evidenze sull'efficacia di questi interventi nella pratica clinica restano limitate proprio a causa dell'eterogeneità dei profili individuali (Lai et al., 2019; Mazza et al., 2021).

In risposta a questa complessa sfida, l'interesse della comunità scientifica e clinica verso l'impiego della tecnologia, in particolare robot sociali e dispositivi digitali, è cresciuto notevolmente (van Otterdijk et al., 2020; Grossard et al., 2018; Yuan & Ip, 2018).

Questi strumenti tecnologici hanno dimostrato di essere promettenti nel supportare lo sviluppo delle abilità comunicative, sociali e adattive di bambini e adolescenti con ASD, contribuendo a creare ambienti di apprendimento più strutturati, prevedibili e meno stressanti (Cabibihan et al., 2013; Scassellati et al., 2018; Jain et al., 2020).

Tale supporto risulterebbe significativo se si considera che una delle principali difficoltà dello spettro riguarda la comunicazione non verbale. Spesso si osserva un uso scarso o assente del contatto oculare, dei gesti e delle espressioni facciali, frequentemente compromessi e rappresentano un ostacolo

significativo nelle interazioni sociali. Ciò si riflette anche nell'integrazione in contesti relazionali complessi, come ad esempio l'ambiente lavorativo (Salin et al., 2021) e nelle abilità di vita comunitaria.

La difficoltà nell'interpretare e utilizzare i segnali non verbali nelle persone ASD deriva spesso da una compromissione delle Teoria della Mente (ToM), ovvero l'abilità di comprendere e attribuire stati mentali propri e altrui. Essendo questa capacità deficitaria nelle persone ASD (Baron-Cohen, Leslie & Frith, 1985), ne consegue una ridotta comprensione delle proprie azioni sugli altri e una conseguente minore motivazione ad acquisire competenze sociali e comunicative (Strickland et al., 2013; Chevallier et al., 2012; Mazza et al., 2020).

In questo contesto, i dispositivi tecnologici e la robotica emergono come strumenti promettenti.

Studi recenti hanno dimostrato che i robot sociali possono facilitare l'apprendimento e la comprensione dei comportamenti non verbali, contribuendo a migliorare la consapevolezza sociale nei soggetti con ASD (Kumazaki, Muramatsu et al., 2017). Robot umanoidi come NAO e Pepper, sviluppati da *Aldebaran Robotics*, sono ampiamente impiegati in contesti di ricerca e intervento. NAO, con il suo design compatto e le funzionalità programmabili, è stato utilizzato per migliorare l'attenzione, l'apprendimento e la risposta agli stimoli nei bambini con ASD (Kim et al., 2013). Pepper, un robot umanoide più sofisticato è dotato di sensori multimodali (telecamere, microfoni, sensori tattili) e di una sofisticata interfaccia multimodale, è in grado di riconoscere e rispondere a stimoli verbali e non verbali, adattando il proprio comportamento all'interazione in corso. Studi hanno evidenziato che Pepper può facilitare l'interazione sociale e ridurre l'ansia percepita, favorendo ambienti di apprendimento più accessibili (Kumazaki et al., 2020; Hashim et al., 2019).

In particolare, l'utilizzo di robot in simulazioni di colloqui di lavoro ha mostrato effetti positivi non solo in termini di aumento dell'autostima auto-riferita, ma anche nella riduzione dello stress percepito, confermata da un calo significativo del cortisolo salivare, un indicatore biologico di ansia (Kumazaki et al., 2017). Questi risultati suggeriscono che l'interazione mediata da robot può offrire un contesto strutturato e meno ansiogeno, potenzialmente più accessibile per l'apprendimento di abilità sociali complesse.

L'introduzione di robot dotati di sensori biometrici e interfacce interattive, offrono nuove prospettive nell'intervento con soggetti con ASD. Questi strumenti non solo facilitano un apprendimento personalizzato, ma permettono anche la raccolta di dati oggettivi utili per monitorare le reazioni emotive e comportamentali (Hopkins et al., 2011; Sağdıç, et al., 2021).

L'importanza del monitoraggio della frequenza cardiaca (bpm) come indice dell'attivazione fisiologica nei soggetti ASD, in particolare durante compiti cognitivi e di interazione sociale, è stata

ampiamente riconosciuta in studi recenti. In tal senso, l'impiego di dispositivi indossabili, come sensori da polso e cardiofrequenzimetri, ha mostrato affidabilità e sensibilità nel rilevare le variazioni della frequenza cardiaca, offrendo uno strumento non invasivo per la valutazione dello stress, dell'*engagement* e della regolazione emotiva (Robinson et al., 2021; Bal et al., 2010; Kim et al., 2019). Tuttavia, è fondamentale interpretare i bpm in combinazione con altri indicatori comportamentali e contestuali per garantire un'analisi più completa dello stato emotivo del soggetto (Dautenhahn & Werry 2004).

Le caratteristiche strutturate, ripetibili e prevedibili dei robot, unitamente alla natura visiva delle tecnologie impiegate come tablet, schermi o dispositivi con LED, risultano particolarmente efficaci per persone ASD, i quali spesso mostrano una preferenza per stimoli visivi e ambienti altamente prevedibili (Vagnetti et al., Shane & Albert 2008; 2024; LeBlanc et al., 2003).

La somministrazione dei compiti di apprendimento tramite modalità digitale, si è dimostrata più efficace rispetto all'utilizzo di materiale in formato cartaceo, favorendo prestazioni più efficienti nei soggetti ASD (Mechling et al., 2006; Latendorf et al.,2020).

Nonostante il grande potenziale, l'integrazione stabile di questi strumenti in ambito clinico richiede attenzione (Masi et al., 2017). Permangono barriere legate alla formazione degli operatori, alla disponibilità di risorse tecnologiche e alla necessità di protocolli progettati in modo mirato (Mukherjee et al., 2024).

La qualità della progettazione degli interventi è decisiva per garantirne l'efficacia (Chung et al., 2024), così come il monitoraggio a lungo termine dell'impatto sullo sviluppo globale e sul benessere psicologico dei soggetti coinvolti (Gomez et al., 2024).

Alla luce delle evidenze attuali, l'impiego delle tecnologie robotiche in ambito clinico si configura come una strategia promettente per supportare lo sviluppo delle abilità sociali e comunicative nei soggetti con ASD. Tuttavia, resta fondamentale approfondire il potenziale di questi strumenti anche nelle fasi diagnostico-valutative, integrandoli con test clinici e cognitivi standardizzati.

In linea con queste considerazioni, il presente protocollo sperimentale si propone di esplorare l'impiego di dispositivi digitali e robot sociali come strumenti di supporto e valutazione per le persone con ASD, con particolare attenzione al contesto ecologico e all'interazione attiva dei soggetti.

Vengono presentati due studi pilota di natura esplorativa e preliminare, finalizzati a valutare l'utilizzo di dispositivi digitali e robotici nella somministrazione di uno dei test cognitivi più utilizzati nella pratica clinica, ovvero le *Raven's Progressive Matrices (RSPM; Raven 1930).*

Il primo studio ha esplorato l'efficacia della somministrazione del test cognitivo tramite il Robot Sociale Pepper. L'obiettivo era monitorare i tempi di somministrazione, la correttezza delle risposte

e la frequenza cardiaca, per valutare l'impatto con il robot sia sulla performance cognitiva che sull'esperienza dei partecipanti con ASD.

Il secondo studio si concentra sul monitoraggio dei tempi di esecuzione e dell'attivazione fisiologica durante l'esecuzione del test cognitivo, utilizzando dispositivi indossabili per la rilevazione del battito cardiaco, permettendo un confronto diretto dei tempi di risposte tra la modalità cartacea e quella digitale.

L'ipotesi di partenza è che la modalità digitale consentirebbe tempi di esecuzione inferiori rispetto alla modalità cartacea, grazie ad un maggiore coinvolgimento degli utenti. Inoltre, sulla base della letteratura (Odom et al., 2014; Grynszpan et al., 2014; Mechling et al., 2006; Esposito et al., 2017), l'utilizzo di dispositivi digitali è stato indicato come strategia efficace per il potenziamento di specifiche abilità cognitive in soggetti ASD, in particolare per quanto riguarda abilità attentive. Si ipotizza, inoltre che l'integrazione dell'app, potrebbe associarsi ad una maggiore correttezza nello svolgimento del compito. Un ulteriore obiettivo è stato quello di esplorare l'attivazione fisiologica durante la somministrazione del test al fine di monitorare eventuali fluttuazioni indicative di potenziali livelli di ansia.

L'obiettivo complessivo è contribuire allo sviluppo di protocolli di valutazione più accessibili e personalizzati grazie al supporto dei dispositivi tecnologici, applicabili all'interno dei setting clinici spesso percepiti come imprevedibili o stressanti per le persone ASD.

I due studi presentati sono stati condotti in conformità con la Dichiarazione di Helsinki e hanno ricevuto l'approvazione del Comitato Etico di riferimento. Il consenso informato è stato ottenuto da tutti i partecipanti maggiorenni e, per i minorenni, dai rispettivi tutori legali.

Data la natura pilota delle ricerche e le dimensioni ridotte dei campioni, i risultati vanno considerati esplorativi e non generalizzabili. Tuttavia, questi studi sono utili per verificare la fattibilità dei protocolli, identificare pattern preliminari e fornire indicazioni operative per future indagini su scala più ampia.

3.2 Studio 1

Obiettivo

L'obiettivo del presente studio è stato quello di confrontare se la modalità di somministrazione cartacea e digitale del test *Standard Progressive Matrices (SPM),* influenzi la *perfomance* in adolescenti e giovani adulti con ASD. In particolare, sono state analizzate la correttezza delle risposte

fornite, i tempi di esecuzione e le variazioni fisiologiche rilevate tramite dispositivi indossabili, tenendo conto delle difficoltà progressive del test.

3.3 Metodo e Procedure

3.3.1 Partecipanti

Hanno partecipato allo studio 19 soggetti con diagnosi ASD, di cui 17 maschi e 2 femmine. L'età dei partecipanti era compresa tra i 14 e 30 anni (età media= 20.2 anni, DS = 4.52), con una scolarità media di 11.8 (DS= 2,48). La diagnosi è stata formulata secondo i criteri del DSM-5 (*American Psychiatric Association*, 2013) e confermata mediante ADOS-2 (Lord et al., 2012). Nello specifico, 17 partecipanti presentano diagnosi di ASD di Livello 1, mentre 2 presentavano diagnosi di ASD di Livello 2.

I partecipanti sono stati reclutati presso il Centro di Riferimento Regionale per l'Autismo (CRRA) dell'Aquila (Valenti et al., 2019), erano di madrelingua italiana e non presentavano condizioni psichiatriche o mediche concomitanti, né difficoltà nella percezione dei colori.

Tenendo conto dell'età e del livello di funzionamento, i partecipanti che hanno partecipato allo studio hanno costituito due gruppi:

- Gruppo 1 (somministrazione cartacea): 7 partecipanti, età media 22.5 anni (DS = 4.31), scolarità media 13.1 anni (DS = 1.46).
- Gruppo 2 (somministrazione tramite app): 12 partecipanti, età media 18.7 anni (DS=4.18), scolarità media 11.0 anni (DS = 2.66).

3.3.2 Strumenti

Raven's Standard Progressive Matrices (RSPM)

Il test è stato impiegato per valutare l'intelligenza fluida e il ragionamento logico di tipo non verbale. Per mantenere l'omogeneità del carico cognitivo tra le diverse modalità di somministrazione e facilitare il confronto tra i due gruppi, sono state somministrate esclusivamente le serie A, B, C, e D, escludendo la serie E. Il Gruppo 1 ha svolto il test nella modalità cartacea, il Gruppo 2 nella modalità digitale implementata tramite App. La scelta del Raven è motivata dalla sua natura non verbale, che lo rende idoneo per la popolazione con ASD e facilmente adattabile a contesti di somministrazione tecnologici senza comprometterne la validità.

RSPM implementata su App

È stata sviluppata un'applicazione per la somministrazione digitale del RSPM, fruibile tramite tablet o computer.

L'app è stata progettata per replicare la struttura e le modalità operative del formato cartaceo, mantenendo inalterata la correttezza nella raccolta dei dati e offrendo maggiore praticità e accessibilità.

All'avvio dell'App, lo sperimentatore inserisce l'ID del partecipante. Lo sperimentatore fornisce le istruzioni per l'esecuzione del compito e dopo aver verificato la comprensione da parte del soggetto, si avvia la somministrazione selezionando il pulsante "*play*". A partire da quel momento, il timer interno inizia automaticamente la registrazione del tempo di esecuzione.

Il soggetto procede in autonomia nella risoluzione degli item, selezionando la risposta mediante interazione touchscreen o con il mouse. Come nella versione tradizionale, non è consentito tornare agli item precedenti per modificare le risposte fornite.

Uno dei principali punti di forza dell'app, è la possibilità di interrompere la somministrazione senza perdita dei dati acquisiti. Le risposte vengono salvate automaticamente in un file Excel, che fornisce i risultati registrati. I dati raccolti includono il numero totale di risposte corrette ed errate, il tempo complessivo di esecuzione, nonché, per ciascuna serie, il tempo impiegato per ogni item, la correttezza delle risposte.

Dispositivo di monitoraggio della frequenza cardiaca (Moofit HW401)

Per monitorare le risposte fisiologiche dei partecipanti durante l'interazione con il robot, sono stati utilizzati orologi (Moofit HW401), dotati di tecnologia a sensori ottici per un cardiofrequenzimetro di alta precisione, testato milioni di volte e con una precisione fino a ±1 battiti al minuto (bpm). Registra i dati della frequenza cardiaca in tempo reale, collegati a un'applicazione dedicata.

3.3.3 Procedura

La somministrazione è stata condotta individualmente presso il Centro di Riferimento Regionale per l'Autismo (CRRA) dell'Aquila, in ambienti strutturati, silenziosi e privi di distrazioni esterne, adeguatamente predisposti per rispondere alle esigenze sensoriali e cognitive dei partecipanti.

Prima dell'inizio del compito, a tutti i partecipanti è stato fornito, un orologio da polso con rilevatore di frequenza cardiaca (*Moofit HW401*), che ha registrato i dati fisiologici durante l'intera somministrazione.
Ciascun partecipante è stato affiancato da uno sperimentatore che ha fornito istruzioni chiare prima dell'inizio del compito, assicurandosi della corretta comprensione del *task.*
Per quanto riguarda il Gruppo 1, i partecipanti hanno svolto la versione cartacea del SPM (Serie A – D). Le risposte fornite e i tempi di esecuzione per ciascuna serie (A, B, C, D) sono stati registrati manualmente dallo sperimentatore. Al termine della prova, sono stati calcolati il numero totale di risposte corrette, i tempi parziali per ogni serie e il tempo totale di esecuzione.
Il Gruppo 2, invece, ha svolto il medesimo test utilizzando la versione digitale tramite App sul tablet. In questa modalità, le risposte e i tempi sono stati registrati automaticamente dal sistema, mantenendo struttura, sequenza degli item e istruzioni fedeli alla versione cartacea, per garantire coerenza metodologica.
La raccolta dei dati relativi alla frequenza cardiaca è stata accuratamente sincronizzata con i tempi di esecuzione e l'accuratezza delle risposte fornite durante il test per ciascun partecipante, al fine di consentire un'analisi delle eventuali variazioni fisiologiche correlate alla modalità di somministrazione (cartacea o digitale).
La durata media della somministrazione, in entrambe le modalità, si è mantenuta entro i 15-20 minuti, in linea con quanto previsto per questo tipo di test.

3.4 Analisi Statistiche

Per esplorare l'omogeneità dei due gruppi, sono state condotte analisi preliminari utilizzando un t-test di Student per campioni indipendenti, le variabili considerate includevano età, e genere.
Mentre per le variabili categoriali come genere e livello di funzionamento e stato condotto un test del chi-quadrato.
Successivamente è stata condotta un'analisi multivariata della varianza (MANOVA) con un disegno fattoriale 2x4, che prevede 2 modalità di somministrazione (cartacea vs digitale) per 4 livelli di complessità (serie A, B, C, D), considerando entrambi i fattori (modalità di somministrazione e complessità) come variabile tra soggetti. Le variabili dipendenti incluse nelle analisi sono state il tempo medio di risposta, frequenza cardiaca (bpm) e accuratezza della risposta.
Questa analisi ha permesso di valutare in modo simultaneo l'effetto combinato di questi fattori su più variabili dipendenti, esaminando sia gli effetti principali di ciascun fattore sia la loro interazione. Le analisi statistiche sono state eseguite tramite *software* IBM SPSS *Statistics (IBM 27.0.1)*

3.5 Risultati

I risultati preliminari hanno indicato assenza di differenze statisticamente significative tra i gruppi in termini di età, genere, livello di funzionamento e anni di scolarizzazione come ripotato nella Tabella 3.2

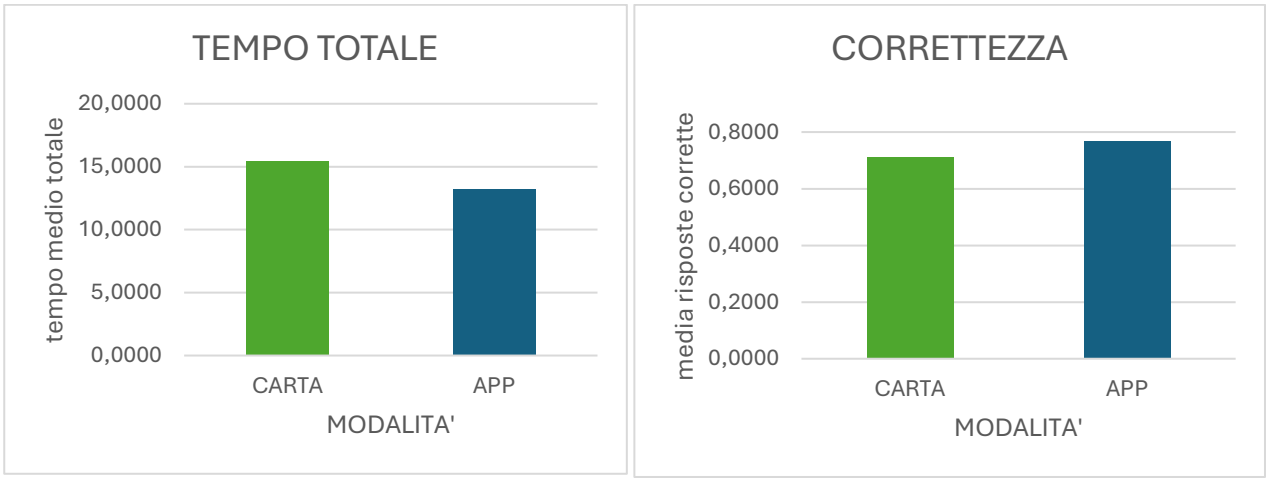
Tabella.3.2 *Caratteristiche sociodemografiche del campione*

	APP	**CARTACEO**	**Test Statistics**	**p**
N	12	7		
Genere (M;F)	11(91.7%); 1(8.3%)	6(85.7%);1(14.3%)	$x^2_{(1;19)} = 0.16$	0.68
Eta' M (DS)	18.75(4.18)	22.57 (4.31)	$t_{(17)} = 1.90$	0.07
Scolarita' M (DS)	11.0 (2.66)	13.1 (1.46)	$t_{(17)} = 1.95$	0.06
Livello				
Livello 1	11	6	$x^2_{(1;19)} = 0.16$	0.71
Livello 2	1	1		

Note. DS: Deviazione standard; M: Maschio; F: Femmina

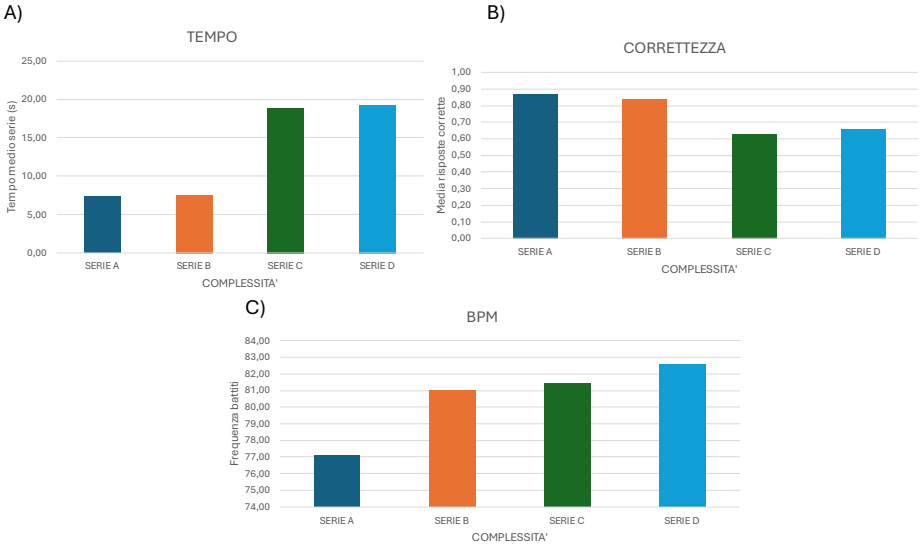
I risultati della MANOVA hanno mostrato un effetto principale significativo della modalità di somministrazione sulla varabile tempo [$F\ (1,904) = 17.264,\ p < .001,\ n^2_p = .019$], con tempi di somministrazione mediamente più lunghi nel gruppo che ha svolto il test in modalità cartacea (Gruppo 1) rispetto al gruppo che ha svolto il test nella modalità app (Gruppo 2). Inoltre, emerge un effetto significativo della modalità di somministrazione sulla variabile correttezza $F(1, 904) = 3.994$, $p < .046$, $\eta^2_p = 0.004$). Pur trattandosi di un effetto di piccola entità, questo risultato suggerisce che l'utilizzo dell'app potrebbe portare verso a una maggiore correttezza nelle risposte, come illustrato nel Grafico 3.1.

Grafico3.1 Effetti Principali della Modalità di Somministrazione sulle variabili tempo e correttezza



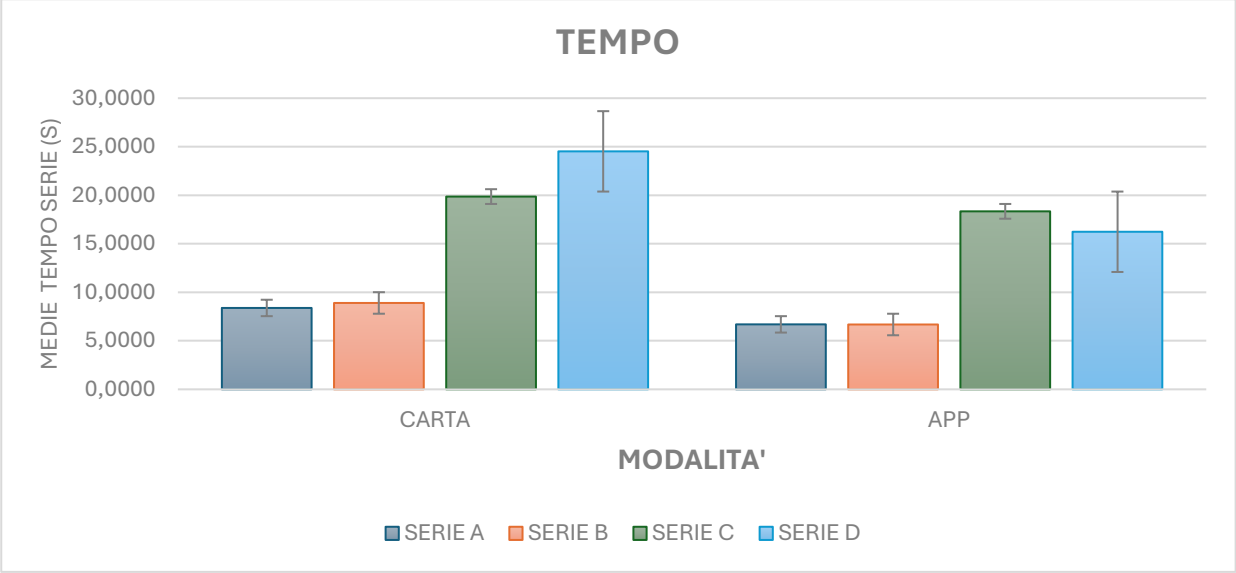
Inoltre, è stato osservato che la variabile complessità del compito un effetto significativo su tutte le variabili considerate (Tempo: $F(3, 904) = 71.76$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.192$; BPM: $F(3, 904) = 4.334$, $p = .005$, $\eta^2_p = 0.014$; Correttezza: $F(3, 904) = 15.952$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.05$), indicando che il tempo, la correttezza e il battito variano in funzione del livello di difficoltà del compito come illustrato nel Grafico 3.2

Grafico 3.2 Effetto Principale della Complessità sul tempo (A), correttezza (B) e BPM (C)



E’ stata inoltre riscontrata un’interazione significativa tra la modalità di somministrazione (cartaceo o digitale) e la complessità delle serie sul tempo di somministrazione [$F(3, 904) = 3.87$, $p = .009$, $\eta^2_p = .013$], suggerendo che l'effetto della modalità sui tempi di risposta varia a seconda del livello di complessità del compito (Grafico 3.3)

Grafico 3.3 Interazione significativa Modalità di Somministrazione X Complessità per il tempo di somministrazione



3.6 Studio 2

È fondamentale sottolineare che il presente studio si basa su un’ipotesi preliminare ed è stato condotto con uno scopo esplorativo. A causa della limitata disponibilità del Robot (Pepper), dovuta ai tempi prolungati per il suo acquisto, siamo riusciti a testare un numero estremamente ridotto di partecipanti, pari a soli tre soggetti grazie alla collaborazione con l’Università di Bari che ha fornito in prestito il robot Pepper.

Obiettivo

Il presente studio si propone di esplorare come indagine preliminare a carattere esplorativo, l’andamento della frequenza cardiaca nei partecipanti con ASD durante la somministrazione del test cognitivo *Standard Progressive Matrices* (*RSPM; Raven & Court, 1938*) mediata da un robot sociale umanoide (Pepper). L’obiettivo è osservare i tempi di esecuzione e la correttezza della prestazione al fine di esplorare l’interazione con il robot, in termini di attivazione fisiologica e comfort percepito.

3.7 Metodo e Procedura

3.7.1 Partecipanti

Lo studio ha coinvolto 3 partecipanti di genere maschile, di età compresa tra 14 e 16 anni, con diagnosi di ASD secondo i criteri del DSM-5 (APA, 2013).

Tutti i partecipanti hanno ottenuto un punteggio pari o superiore al cut-off clinico dell'ADOS-2 (Lord et al., 2012) e sono stati sottoposti a valutazione clinica di routine.

I partecipanti sono stati reclutati presso il Centro di Rifermento Regionale per l'Autismo (CRRA) dell'Aquila (Valenti et al., 2019). Tutti erano di madrelingua italiana e non presentavano disturbi psichiatrici in comorbidità. I dati demografici e clinici sono riportati in Tabella 3.1

Tabella 3.1. *Dati clinici e demografici dei partecipanti*

	M	**G**	**S**
Età	15	16	14
Scolarità (in anni)	10	11	9
Punteggio Tot. Raven	40	31	41
QI Raven	98	91	100
Percentile Raven	97	89	96

3.7.2 Strumenti

Standard Progressive Matrices (RSPM; Raven & Court, 1938)

Il test è composto da quattro serie (A, B, C, D, E) ciascuna contenente 12 item in bianco e nero, di difficoltà crescente. È un test di intelligenza non verbale che misura l'intelligenza fluida e le abilità logico-deduttive. Il punteggio è dato dalla somma delle risposte corrette. Nel presente studio è stata utilizza la versione contenuta nella Batteria per la Valutazione Neuropsicologica dell'età evolutiva (BVN 12-18). In linea con il protocollo previsto dalla batteria e in linea con gli obiettivi esplorativi dello studio, la somministrazione è stata limitata alle prime quattro serie (A-D).

Questa scelta ha permesso di contenere il carico cognitivo e rendendo la prova più adatta alle caratteristiche del campione.

Dispositivo indossabile (Moofit HW401)

La frequenza cardiaca è stata registrata tramite un dispositivo indossabile da polso durante la fase di somministrazione del test cognitivo, al fine di monitorare le risposte fisiologiche legate all'esperienza valutativa, descritto nello Studio 1.

Descrizione Robot Pepper

Pepper è un robot umanoide sviluppato dalla società giapponese *SoftBank Robotics,* progettato per interagire con le persone e rispondere in modo empatico. È alto circa 1,2 metri e ha un design che combina una testa sferica con occhi e bocca espressivi, permettendogli di simulare emozioni umane. Il corpo è snodato, con braccia che possono muoversi e mani con dita articolate per interazioni più complesse, ed è dotato di touch screen.

3.7.3 Procedura

L'esperimento si è svolto presso il CRRA. Prima della sessione, ogni partecipante ha indossato l'orologio *Moofit,* il quale ha iniziato registrare la frequenza cardiaca già in fase di baseline, ovvero prima dell'interazione con il robot Pepper e dell'avvio del compito.

Dopo aver familiarizzato con il robot, i partecipanti hanno eseguito il test SPM, completamente somministrato dal robot Pepper.

Pepper ha guidato il compito fornendo istruzioni chiare e incoraggianti, mentre il cardiofrequenzimetro ha continuato a monitorare l'attivazione fisiologica. Al termine, l'orologio è stato rimosso e i dati esportati. La frequenza cardiaca è stata considerata indice indiretto di attivazione emotiva e stress.

Il robot è stato programmato per fornire le istruzioni delle SPM, per somministrare il test e per registrare i tempi di esecuzione e l'accuratezza.

3.8 Analisi e Risultati

Per esplorare la relazione tra frequenza cardiaca, velocità di esecuzione e accuratezza delle risposte nel test SPM somministrato tramite robot sociale Pepper, è stata condotta una correlazione di *Spearman.*

I risultati hanno evidenziato una correlazione significativa tra i tempi di somministrazione e il numero di risposte corrette ($r = -0.224$; $p = 0.007$), suggerendo che una maggiore rapidità nell'esecuzione del compito tende ad associarsi a una maggiore accuratezza nelle risposte.

Tale risultato indicherebbe un possibile effetto facilitante della modalità di somministrazione mediata dal robot sulla prestazione cognitiva, almeno in termini di efficienza e prontezza esecutiva.

Non sono emerse invece correlazioni significative tra la frequenza cardiaca e le risposte corrette (r = -0.016; p = 0.84), né tra la frequenza cardiaca e i tempi di esecuzione (r = 0.04; p= 0.62), indicando che i livelli di attivazione fisiologica e la prestazione cognitiva non sono in relazione nel presente campione.

In Figura 3.3 è possibile osservare l'andamento della frequenza cardiaca dei tre partecipanti. Da un punto di vista qualitativo, appare interessante l'andamento del partecipante GC per il quale si osserva una riduzione della frequenza cardiaca durante la valutazione con il robot rispetto al baseline (misurato prima della prova). Sebbene si tratti di un risultato preliminare e relativo a un singolo caso, tale dato suggerisce che la presenza del robot possa favorire una condizione emotiva più regolata, potenzialmente facilitante nei contesti valutativi.

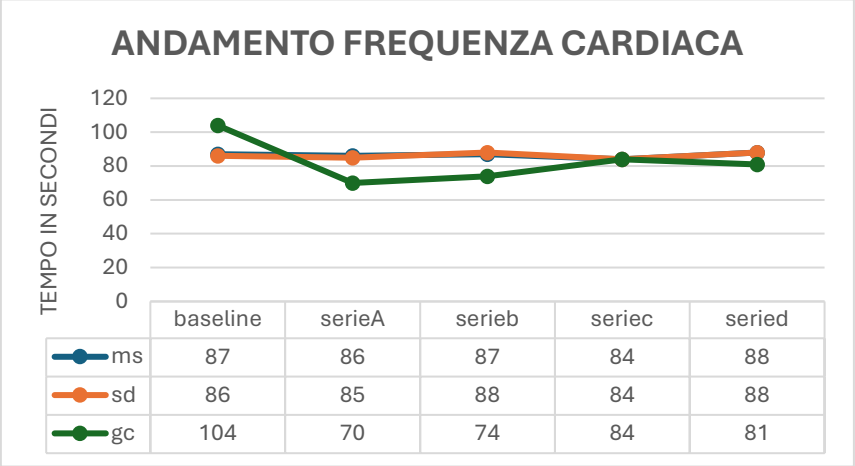


Figura 3.3 *Andamento della frequenza cardiaca al baseline e durante la somministrazione dei 3 partecipanti Si osserva in GC una riduzione della frequenza cardiaca nel corso dell'interazione*

3.9 Discussione

Negli ultimi anni, un cresciute interesse clinico e terapeutico si è focalizzato sull'impiego di app e robot sociali come strumenti di supporto in ambito clinico e terapeutico per le persone ASD.

La letteratura evidenzia come l'utilizzo di tecnologie digitali possa facilitare l'acquisizione di abilità sociali e cognitive (Odom et al., 2014; Pino et al., 2021; Saleh, 2021; Gomez et al., 2024), migliorando al contempo la qualità dell'interazione, la partecipazione attiva e il coinvolgimento nei compiti proposti.

Sulle base di queste premesse, il presente protocollo sperimentale articolato in due studi pilota, ha esplorato l'utilizzo di strumenti digitali e robotici nella valutazione cognitiva di soggetti ASD.

I risultati del primo studio pilota mostrano che la modalità di somministrazione digitale tramite app consente un'esecuzione del compito più rapida e tendenzialmente più accurata rispetto alla modalità cartacea in linea con quanto riportato da Latendorf et al. (2020).

Inoltre, è emerso che la complessità del compito influisce in modo significativo sulle prestazioni, i partecipanti tendono a rispondere più lentamente, con minore correttezza e con un'attivazione fisiologica maggiore confermando il modello proposto da Sweller (1988), secondo cui l'eccessivo carico cognitivo, determinato da compiti complessi, potrebbe indurre un peggioramento della prestazione.

Altri studi (Scassellati et al., 2018; Alban et al., 2023) hanno evidenziato l'importanza di considerare le risposte fisiologiche per comprendere il livello di impegno richiesto dai compiti cognitivi. Tuttavia, l'interazione tra la modalità di somministrazione e la complessità ha mostrato che la differenza nei tempi di risposta tra app e cartaceo diventa più evidente nei compiti più difficili.

In particolare, nella modalità digitale, i partecipanti presentano tempi di risposta più veloci nelle serie C e D, considerate più complesse dal punto di vista cognitivo.

In questi casi, la somministrazione tramite app ha offerto un vantaggio chiaro in termini di velocità di esecuzione.

Risultati analoghi sono stati riportati in studi precedenti da Meching et al., (2006) e successivamente in un campione di bambini ASD, da Esposito et al., (2017), hanno riscontrato effetti simili, suggerendo miglioramenti nelle abilità cognitive attraverso l'uso di dispositivi digitali.

Nel complesso, questi dati suggeriscono che l'utilizzo di app digitali per la somministrazione di test cognitivi può rappresentare una soluzione efficace anche per adolescenti e giovani adulti con ASD. La tecnologia risulta spesso coinvolgente per questa fascia di popolazione (Keintz et al., 2013), e la presentazione visiva delle informazioni rappresenta una modalità di apprendimento e supporto generalmente preferita (Shane & Albert, 2008). La modalità digitale rende i test più rapidi, coinvolgenti e meno faticosi, come sottolineato anche da Arnold e Reed (2019).

In particolare, l'interazione tra modalità e complessità indica che, nei compiti più impegnativi, la scelta dello strumento di somministrazione può influire sensibilmente sui tempi di risposta.

Questo aspetto è importante soprattutto nei contesti educativi e clinici, dove è necessario adattare l'intervento alle caratteristiche individuali delle persone con ASD.

I risultati complessivi suggeriscono che l'approccio digitale, rispetto a quello tradizionale (carta e matita), potrebbe aumentare l'efficienza nella somministrazione del test e, talvolta, promuovere una riduzione dei livelli di attivazione fisiologica durante la prova.

Nel secondo studio pilota, è stato utilizzato il robot umanoide Pepper per somministrare il test SPM a tre adolescenti con ASD di Livello 1.

I partecipanti hanno mostrato un buon livello di *engagement* e cooperazione, con un'interazione generalmente positiva con il robot.

Per esplorare l'attivazione fisiologica durante l'interazione, è stata monitorata la frequenza cardiaca tramite dispositivi indossabili, sia prima che durante la somministrazione del test.

La frequenza cardiaca è stata considerata come indicatore di coinvolgimento emotivo, stress e ansia permettendo una comprensione più profonda dell'esperienza vissuta durante l'attività (Alban et al., 2023). L'analisi ha evidenziato una correlazione negativa significativa tra i tempi di risposta e il numero di risposte corrette, suggerendo che un'esecuzione più rapida si associ a una maggiore accuratezza. Al contrario, non sono emerse correlazioni significative tra la frequenza cardiaca e le prestazioni cognitive. Nonostante l'assenza di dati quantitativi rilevanti per la variabile fisiologica, l'analisi qualitativa ha rivelato aspetti interessanti. In particolare, nel caso del partecipante GC, si è osservata una frequenza cardiaca elevata al *baseline*, che è progressivamente diminuita durante l'interazione con il robot. Questo dato suggerisce che l'ambiente mediato da Pepper potrebbe ridurre lo stato d'ansia iniziale, rendendo la somministrazione del test più tollerabile e meno stressante. Questi risultati si allineano agli studi precedenti che evidenziano come i robot sociali possano offrire un ambiente meno ansiogeno e più accessibile per l'apprendimento e la valutazione (Kumazaki *et al.*, 2020; Yussof *et al.*, 2019).

I risultati di questo lavoro si allineano con molte evidenze in letteratura, secondo cui l'utilizzo di tecnologie digitali e robotiche durante la valutazione può rendere l'esperienza più piacevole e meno stressante per i pazienti con ASD (Kumazaki et al., 2018; Tapus et al., 2012; Zorcec et al., 2021).

Si potrebbe affermare che l'impiego di robot sociali possa agire come un "ponte" tra il paziente e l'ambiente reale, facilitando l'adattamento e la comunicazione. Tuttavia, è importante sottolineare che la maggior parte della letteratura esistente si è concentrata principalmente sui bambini con ASD, mentre gli studi su adolescenti e giovani adulti risultano ancora limitati.

In conclusione, i due studi presentati suggeriscono che strumenti digitali e robotici non solo possono ridurre i tempi di somministrazione, ma possono anche contribuire a creare ambienti di valutazione più tollerabili, personalizzati e motivanti per le persone con ASD. Queste tecnologie potrebbero

quindi essere integrate con successo nella pratica clinica, rendendo i percorsi diagnostici e riabilitativi più accessibili, flessibili e centrati sul paziente (Esposito et al., 2017; Mukherjee et al., 2024).

Conclusioni Generali

La presente tesi si è posta l'obiettivo di esplorare nuove prospettive nella valutazione e nell'intervento clinico per ASD, attraverso l'integrazione critica di nuove tecnologie digitali, robotiche e modelli di intelligenza artificiale. In un contesto clinico che risiede sempre più approcci personalizzati data l'elevata complessità diagnostica, l'utilizzo di strumenti tecnologici emerge non solo come un'opportunità metodologica, ma come una condizione fondamentale per una clinica moderna, accessibile e orientata alla persona.

Nello specifico, i tre studi rappresentano solo l'inizio di una prospettiva in cui le tecnologie emergenti potrebbero offrire soluzioni accessibili e sostenibili per il percorso clinico delle persone ASD.

I loro benefici comprendono la riduzione dei tempi dal miglioramento dell'efficienza nella valutazione cognitiva, la regolazione emotiva durante i test, fino alla simulazione e alla comprensione dei meccanismi della cognizione sociale attraverso modelli linguistici generativi.

Nel primo studio è stata validata la struttura psicometrica di strumenti come OPT e SBOSD, specifici per la valutazione delle abilità visuo-spaziali, attraverso l'utilizzo di analisi psicometriche moderne (EGA). Il nostro lavoro ha esplorato la struttura e dimensionalità della versione originale di due test per la valutazione delle abilità visuo-spaziali (OPT e SBSOD). Inoltre, i nostri risultati, in linea con quanto riportato in letteratura, suggeriscono che le abilità visuo-spaziali siano correlate alle competenze di mentalizzazione, che potrebbero rappresentare un prerequisito per lo sviluppo di abilità più complesse, come l'assunzione del punto di vista altrui e la comprensione delle prospettive degli altri. L'applicazione di tali misure nella popolazione con ASD consente di valutare aspetti spesso trascurati, ma che potrebbero rappresentare punti di forza o fragilità da considerare nel processo diagnostico e nella strutturazione di interventi personalizzati.

Il secondo studio ha analizzato la capacità dei Modelli Linguistici di Grandi Dimensioni (LLM), come ChatGPT, di simulare la Teoria della Mente (ToM), confrontandole con le loro prestazioni con quelle di individui TD e con ASD. I nostri risultati preliminari mostrano che, in termini di accuratezza, le prestazioni di ChatGPT si collocano a metà strada tra quelle degli individui TD e ASD. I migliori risultati sono stati osservati nella ToM cognitiva, anche se ChatGPT-3.5 ha fallito nei compiti che richiedevano inferenze su stati mentali più complessi.

La capacità di simulare abilità umane, tra cui la comprensione delle emozioni e l'uso del linguaggio pragmatico in modo adeguato, rimane una delle sfide più grandi per i LLM.

Sono necessari ulteriori studi che includano diverse versioni di test ToM, ripetute nel tempo e su modelli differenti.

Futuri studi dovrebbero indagare sulle possibili applicazioni di ChatGPT come potenziale supporto e facilitazione per le persone ASD, ad esempio per decodificare situazioni di vita quotidiana e sociale.

Il presente studio presenta alcune limitazioni, tra cui la distribuzione di genere del campione.

Sebbene l'obiettivo principale non fosse il confronto tra prestazioni umane, la maggiore presenza di partecipanti di sesso femminile nei gruppi TD limita la generalizzabilità dei risultati. Futuri studi dovrebbero replicare questi risultati con campioni più bilanciati, indagare in modo più sistematico le strategie comunicative e le competenze pragmatiche dei LLM.

La letteratura sui profili cognitivi e sociali dei LLM è ancora limitata, ed è auspicabile sviluppare strumenti standardizzati per valutare tali abilità.

Ad esempio, la somministrazione ripetuta di compiti ToM a ChatGPT potrebbe fornire un numero sufficiente di osservazioni per un confronto più robusto con campioni umani.

Inoltre, sarebbe utile studiare l'effetto di diversi *prompt* e analizzare in dettaglio la variabilità delle risposte di ChatGPT.

Nonostante il carattere preliminare dello studio, i risultati ottenuti aprono a interessanti prospettive di ricerca futura sulla ToM nei LLM in confronto con l'essere umano.

Il terzo studio ha evidenziato l'efficacia della somministrazione digitale di test cognitivi tramite App e dell'impiego del Robot Sociale Pepper nel contesto valutativo.

In particolare, la somministrazione tramite App si è rivelata significaticamente più rapida rispetto al formato cartaceo, specialmente nei compiti di maggiore difficoltà, con una riduzione dei tempi di esecuzione e un miglioramento nella correttezza, ulteriore supporto all'utilità dell'approccio digitale.

L'interazione con il robot umanoide Pepper ha mostrato buoni livelli di *engagement* e ha suggerito una relazione inversa tra i tempi di risposta e l'accuratezza, suggerendo un possibile effetto facilitante.

Interessante è anche l'osservazione, in un caso specifico di una riduzione della frequenza cardiaca durante la prova, ipotizzando un effetto di regolazione emotiva.

Tuttavia, è fondamentale interpretare questi risultati preliminari con cautela, tenendo presenti alcune limitazioni intrinseche agli studi pilota. Tra queste, spiccano la dimensione ridotta del campione, la prevalenza del genere maschile e l'assenza di un gruppo di controllo con cui poter comparare direttamente i dati. Inoltre, la scelta di utilizzare solo le serie A-D del test RSPM ha limitato l'estensione

del range di difficoltà esplorato. A questi aspetti si aggiungono limiti specifici legati all'uso di strumenti digitali in ambito clinico.

Differenze nella familiarità con i dispositivi, la dipendenza da infrastrutture tecnologiche adeguate e il digital divide possono influenzare le prestazioni e limitare l'accessibilità. Inoltre, un'eccessiva tecnologizzazione rischia di ridurre la qualità dell'interazione umana, compromettendo l'alleanza terapeutica e l'empatia clinica.

Sarà quindi fondamentale esplorare l'applicazione di tale metodologia anche con altri test cognitivi, per valutarne la generalizzabilità e l'efficacia in contesti diversi.

Nonostante tali limiti, i risultati di questi studi pilota forniscono una base empirica incoraggiante per lo sviluppo di protocolli clinici innovativi. L'integrazione della tecnologia in ambito valutativo si è dimostrata non solo praticabile, ma anche potenzialmente vantaggiosa in termini di efficienza, coinvolgimento e accettabilità da parte dei partecipanti con ASD. Pertanto, sicuramente sono necessari ulteriori studi al fine di dare ulteriore supporto ai risultati preliminari attraverso campioni più ampi. Inoltre, sarebbe interessare valutare l'utilizzo di altri test clinici e impiegare ulteriori strumenti per la valutazione dell'*engagement* e dei livelli di attivazione fisiologica.

Emergono chiare indicazioni verso lo sviluppo di modelli dinamici, multimodali e sostenibili, capaci di coniugare efficienza, partecipazione attiva e rispetto delle differenze neurodivergenti. Particolarmente rilevante è la dimensione della sostenibilità, intesa sia in termini ecologici, grazie alla potenziale riduzione dell'uso di materiali cartacei e dei costi logistici, sia in termini psicofisiologici, garantendo contesti valutativi meno stressanti e più compatibili con i profili sensoriali delle persone con ASD.

Dal punto di vista metodologico, questa tesi ribadisce l'importanza di integrare approcci quantitativi e qualitativi, adottando una prospettiva evolutiva che tenga pienamente conto delle traiettorie di sviluppo individuali.

In conclusione, questa tesi intende contribuire alla costruzione di un paradigma clinico innovativo, capace di coniugare rigore scientifico, innovazione tecnologica ed etica della cura, ponendosi al servizio di una visione della neurodiversità non più come semplice deficit, ma come risorsa da valorizza e comprendere.

In questa prospettiva, il presente lavoro si propone come base teorico- metodologica per lo sviluppo futuro di interventi clinici e riabilitativi orientati all'inclusione sociale e professionale delle persone con ASD, con l'obiettivo futuro di facilitare il loro accesso al mondo del lavoro attraverso percorsi valutativi personalizzati, tecnologicamente sostenibili.

Appendice

Abilità Visuo – Spaziali e Attribuzione delle Intenzioni: Una Revisione dell'Object Perspective-Taking e del Questionario Santa Barbara Sense of Direction con Analisi Grafica Esplorativa e Applicazione all'Autismo

Studio 1: Appendice A

Figura A.1.1: Analisi Grafica Esplorativa (A) e risultati della stabilità degli item per l'OPT (B). Il Pannello A mostra il primo modello risultante dall'EGA con una soluzione bidimensionale. I nodi rappresentano gli item dell'OPT e gli archi (linee) indicano le correlazioni parziali regolarizzate tra gli item; lo spessore degli archi rappresenta l'intensità della correlazione. Ogni dimensione (comunità) è evidenziata con un colore diverso. Il Pannello B riporta la stabilità degli item all'interno di ciascuna dimensione; sull'asse x sono riportati i valori dei singoli item (valori > 0,70 sono considerati accettabili).

Figura A.1.2: Analisi Grafica Esplorativa (A) e risultati della stabilità degli item per la Santa Barbara Sense-of-Direction Scale (SBSOD) (B). Il Pannello A mostra il primo modello risultante dall'EGA con una soluzione bidimensionale. I nodi rappresentano gli item della SBSOD e gli archi (linee) indicano le correlazioni parziali regolarizzate tra gli item; lo spessore degli archi rappresenta l'intensità della correlazione. Ogni dimensione (comunità) è evidenziata con un colore differente. Il Pannello B riporta la stabilità degli item all'interno di ciascuna dimensione; sull'asse x sono riportati i valori dei singoli item (valori > 0,70 sono considerati accettabili).

Figura A.1.1: Analisi Grafica Esplorativa (A) e risultati della stabilità degli item per l'OPT (B). Il Pannello A mostra il primo modello risultante EGA con una soluzione bidimensionale. I nodi rappresentano gli item dell'OPT e gli archi (linee) indicano le correlazioni parziali regolarizzate; lo spessore degli archi riflette l'intensità della correlazione. Ogni dimensione (comunità) è rappresentata

da un colore diverso. Il Pannello B riporta la stabilità degli item all'interno di ciascuna dimensione (comunità); sull'asse x sono indicati i valori relativi ai singoli item (valori > 0,70 sono considerati accettabili).

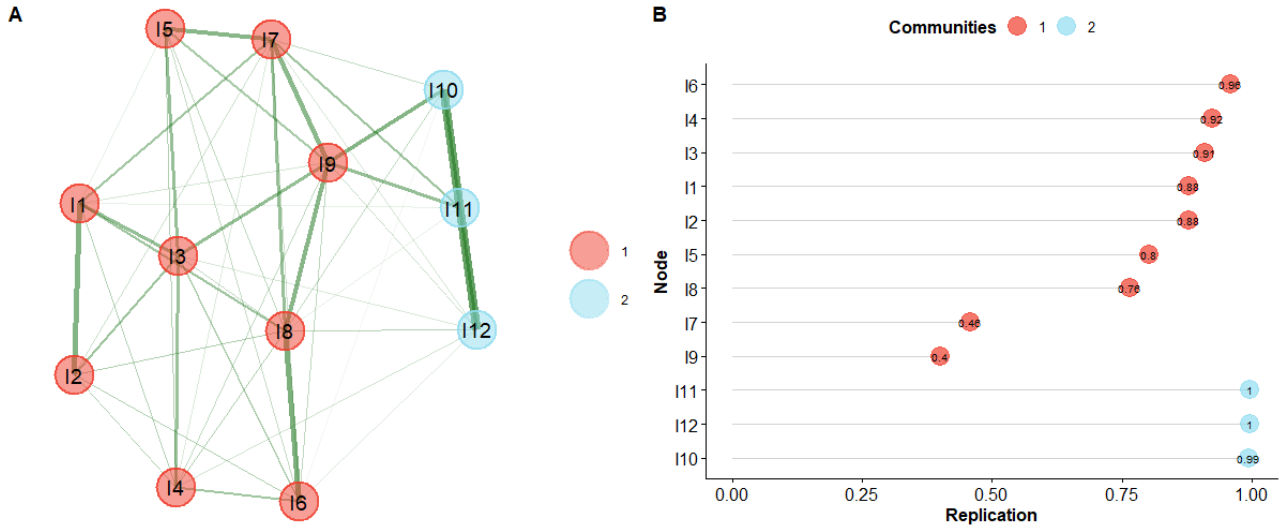
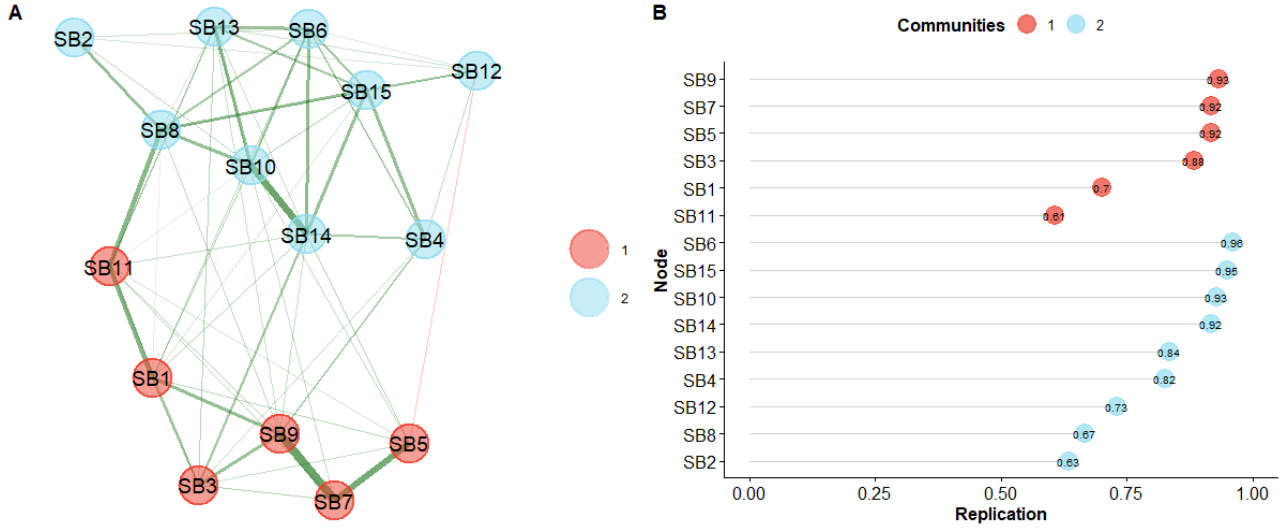


Figura A.1.2. Analisi Grafica Esplorativa (A) e risultati della stabilità degli item per la Santa Barbara Sense-of-Direction Scale (B). Il Pannello A mostra il primo modello risultante EGA con una soluzione bidimensionale. I nodi rappresentano gli item della scala SBSOD e gli archi (linee) indicano le correlazioni parziali regolarizzate; lo spessore degli archi riflette l'intensità della correlazione. Ogni dimensione (comunità) è rappresentata da un colore diverso. Il Pannello B riporta la stabilità degli item all'interno di ciascuna dimensione (comunità); sull'asse x sono indicati i valori relativi ai singoli item (valori > 0,70 sono considerati accettabili).



Studio 1: Appendice B

Tabella B.1.1 Descrizione delle dimensioni del modello di rete finale della SBSOD-r.

Tabella B1.2. Confronto tra gruppi sui singoli item dell'OPT-r.

Tabella B.1.1. Descrizione delle dimensioni del modello di rete finale della SBSOD-r.

Dimensione	**Descrizione**	**Item**
Visualizzaizone Spaziale	Gli item descrivono la capacità necessaria per effettuare manipolazioni visive complesse e articolate in più passaggi.	I1, I3, I5, I7, I9
Navigazione Spaziale	Gli item descrivono l'abilità di creare immagini mentali da un altro punto di vista, osservando un oggetto o un ambiente da una prospettiva diversa.	I4, I6, I10, I12, I13, I14, I15

Tabella B.1.2. Confronto tra gruppi sui singoli item dell'OPT-r.

Item OPT-r	**Perspective Change (°)**	**ASD (N= 13)**		**CG (N=13)**		**Test Statistic**	**p**
		Mean (ES)	**Median (1st-3rd quartile)**	**Mean (ES)**	**Median (1st-3rd quartile)**		
Item 1	**123**	60,69 (8,83)	73 (37,5 – 87,5)	34,15 (9,8)	18 (3,5 – 71)	*U*= 51	0,08

Item 2	**237**	47,85 (9,35)	30 (18 – 85,5)	13,15 (2,6)	10 (7 – 19,5)	*U*= 30,5	**0,006**
Item 3	**83**	41,69 (9,88)	30 (9,5 – 90)	22,31 (6,7)	12 (6 – 34)	*U*= 56	0,14
Item 4	**156**	47,69 (9,93)	34 (24 – 84,5)	21,15 (6,9)	15 (3,5 – 28,5)	*U*= 41	**0,02**
Item 5	**319**	43,31(10,07)	37 (9 – 90)	32,93 (8,47)	19 (9 – 54,5)	*U*= 75	0,62
Item 6	**235**	42,62 (10,52)	30 (10 – 87,5)	37,69 (8,2)	28 (15,5 – 60)	*U*= 79	0,77
Item 7	**333**	34,69 (11,3)	11 (3 -90)	31,54 (9,4)	14 (8 – 61)	*U*= 74	0,58
Item 8	**260**	43,15 (7,4)	40 (22,5 – 66)	32,92 (8,5)	18 (8,5 – 52,5)	*U*= 63,5	0,28
Item 9	**280**	70,69 (7,78)	90 (42 – 90)	39,92 (8,7)	37 (4 -62)	*U*= 37,5	**0,01**
Item OPT-r Control							
Item 10	**48**	36,92 (10,6)	28 (4 – 90)	24 (8,8)	8 (0,5 – 34,5)	*U*= 67	0,36
Item 11	**26**	37,85 (11,28)	14 (4 – 90)	35,69(10,7)	15 (6,5 – 90)	*U*= 82,5	0,91
Item 12	**150**	52,8 (11,6)	70 (10 – 90)	32(10)	11 (8- 75)	*U*= 61	0,22

Note: OPT-r= Object Perspective Taking – Revised, Dimension 1; **OPT- Control** = Object Perspective Taking – Control; ASD: Autism Spectrum Disorder; CG: Control Group; Significant comparisons are reported in bold.

Bibliografia

Adiani, D., Schmidt, M., Wade, J., Swanson, A. R., Weitlauf, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2019). Usability enhancement and functional extension of a digital tool for rapid assessment of risk for autism spectrum disorders in toddlers based on pilot test and interview data. In C. Stephanidis (Ed.), *Universal access in human-computer interaction. Multimodality and assistive environments: 13th international conference, UAHCI 2019, held as part of the 21st HCI international conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, proceedings, part II* (Vol. 21, pp. 13–22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23563-5_2

Ahmad, M. I., Shahid, S., & Tahir, A. (2017, September). Towards the Applicability of NAO Robot for Children with Autism in Pakistan. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 463-472). Springer, Cham.

Aichhorn, M., Perner, J., Weiss, B., Kronbichler, M., Staffen, W., & Ladurner, G. (2009). Temporo-parietal junction activity in theory-of-mind tasks: Falseness, beliefs, or attention. Journal of Cognitive Neuroscience, 21(6), 1179–1192.

Alban, A. Q., Alhaddad, A. Y., Al-Ali, A., So, W. C., Connor, O., Ayesh, M., ... & Cabibihan, J. J. (2023). Heart rate as a predictor of challenging behaviours among children with autism from wearable sensors in social robot interactions. *Robotics*, *12*(2), 55.

Ali, S., Mehmood, F., Dancey, D., Ayaz, Y., Khan, M. J., Naseer, N., ... & Nawaz, R. (2019). An adaptive multi-robot therapy for improving joint attention and imitation of ASD children. *IEEE Access*, 7, 81808-81825.

Al-Nafjan, A., Alhakbani, N., & Alabdulkareem, A. (2023). Measuring engagement in robot-assisted therapy for autistic children. *Behavioral Sciences*, *13*(8), 618.

American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Washington, DC: American Psychiatric Association.

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.). American Psychiatric Publishing.

Apperly, I. A. (2008). Beyond simulation–theory and theory–theory: Why social cognitive development needs a plurality of perspectives. *Developmental Science, 11*(1), 1–10.

Arent, K., Brown, D. J., Kruk-Lasocka, J., Niemiec, T. L., Pasieczna, A. H., Standen, P. J., & Szczepanowski, R. (2022). The use of social robots in the diagnosis of autism in preschool children. *Applied Sciences*, *12*(17), 8399. https://doi.org/10.3390/app12178399

Arent, K., Kruk-Lasocka, J., Niemiec, T., & Szczepanowski, R. (2019, August). Social robot in diagnosis of autism among preschool children. In *2019 24th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)* (pp. 652-656). IEEE.

Aru, J., Larkum, M. E., and Shine, J. M. (2023). The feasibility of artificial consciousness through the lens of neuroscience. Trends Neurosci. 46, 1008–1017. doi: 10.1016/j. tins.2023.09.009

Asgari, M., Chen, L., & Fombonne, E. (2021). Quantifying voice characteristics for detecting autism. Frontiers in Psychology, 12, 665096.

Askari, F., Feng, H., Sweeny, T. D., & Mahoor, M. H. (2018, August). A pilot study on facial expression recognition ability of autistic children using ryan, a rear-projected humanoid robot. In *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 790-795). IEEE

Bal, E., Harden, E., Lamb, D., Van Hecke, A. V., Denver, J. W., & Porges, S. W. (2010). Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: Relations to eye gaze and autonomic state. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(3), 358–370. https://doi.org/10.1007/s10803-009-0884-3

Baldassi, S., Pei, F., Megna, N., Recupero, G., Viespoli, M., Igliozzi, R., Tancredi, R., Muratori, F., & Cioni, G. (2009). Search superiority in autism within, but not outside the crowding regime. *Vision Research*, *49*(16), 2151–2156.

Banimelhem, O., and Amayreh, W. (2023). The performance of ChatGPT in emotion classification. In 2023 14th international conference on information and communication systems (ICICS) (pp. 1–4). IEEE.

Baraka, K., Couto, M., Melo, F. S., Paiva, A., & Veloso, M. (2022). "Sequencing matters": Investigating suitable action sequences in robot-assisted autism therapy. *Frontiers in Robotics and AI, 9*, 784249. https://doi.org/10.3389/frobt.2022.784249

Baranek, G. T., Watson, L. R., Boyd, B. A., Poe, M. D., David, F. J., & McGuire, L. (2013). Hyporesponsiveness to social and nonsocial sensory stimuli in children with autism, children with developmental delays, and typically developing children. *Development and Psychopathology*, *25*(2), 307–320. https://doi.org/10.1017/S0954579412001071

Barattieri di San Pietro, C., Frau, F., Mangiaterra, V., and Bambini, V. (2023). The pragmatic profile of ChatGPT: assessing the communicative skills of a conversational agent. Sistemi Intelligenti 35, 379–399. doi: 10.1422/108136

Baron-Cohen, S., Bowen, D. C., Holt, R. J., Allison, C., Auyeung, B., Lombardo, M. V., et al. (2015). The "Reading the mind in the eyes" test: complete absence of typical sex difference in ~400 men and women with autism. PLoS One 10:e0136521. doi: 10.1371/ journal.pone.0136521

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, *21*(1), 37–46. https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8

Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H., & Cohen, D. J. (1999). The theory of mind deficit in autism: Evidence from the eyes task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *40*(6), 735–748. https://doi.org/10.1111/1469-7610.00485

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., and Plumb, I. (2001). The "Reading the mind in the eyes" test revised version: a study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. J. Child Psychol. Psychiatry 42, 241–251. doi: 10.1111/1469-7610.00715

Barsalou, L. W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. Topics in Cognitive Science, 2,716724.

Bartlett, K. A., & Camba, J. D. (2023). Gender differences in spatial ability: A critical review. Educational Psychology Review, 35(1), 8.

Bastiaansen, J. A., Thioux, M., Nanetti, L., van der Gaag, C., Ketelaars, C., Minderaa, R., & Keysers, C. (2011). Age-related increase in inferior frontal gyrus activity and social functioning in autism spectrum disorder. *Biological psychiatry*, *69*(9), 832-838.

Begeer, S., Malle, B. F., Nieuwland, M. S., & Keysar, B. (2010). Using theory of mind to represent and take part in social interactions: Comparing individuals with high-functioning autism and typically developing controls. *European Journal of Developmental Psychology, 7*(1), 104–122.

Bekele, E., Crittendon, J. A., Swanson, A., Sarkar, N., & Warren, Z. E. (2014). Pilot clinical application of an adaptive robotic system for young children with autism. *Autism, 18*(5), 598–608.

Bermúdez, J. L. (2007). *Philosophy of psychology: contemporary readings*. Routledge.

Bertone A, Mottron L, Jelenic P, Faubert J. 2005. Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain* 128:102430–41

Bharatharaj, J., Huang, L., Al-Jumaily, A., Elara, M. R., & Krägeloh, C. (2017b, September). Investigating the effects of robot-assisted therapy among children with autism spectrum disorder using bio-markers. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 234, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.

Bharatharaj, J., Huang, L., Al-Jumaily, A., Mohan, R. E., & Krägeloh, C. (2017a). Sociopsychological and physiological effects of a robot-assisted therapy for children with autism. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(5), 1729881417736895.

Bian, N., Lin, H., Liu, P., Lu, Y., Zhang, C., et al. (2023). Influence of external information on large language models mirrors social cognitive patterns. Arxiv. doi: 10.48550/arXiv.2305.04812

Blair, R. J., and Cipolotti, L. (2000). Impaired social response reversal. A case of 'acquired sociopathy'. Brain 123, 1122–1141. doi: 10.1093/brain/123.6.1122

Blakemore, S. J., Bristow, D., Bird, G., Frith, C., & Ward, J. (2005). Somatosensory activations during the observation of touch and a case of vision-touch synaesthesia. *Brain, 128*(7), 1571–1583.

Boada, L., Lahera, G., Pina-Camacho, L., Merchán-Naranjo, J., Díaz-Caneja, C. M., Bellón, J. M., et al. (2020). Social cognition in autism and schizophrenia Spectrum disorders: the same but different? J. Autism Dev. Disord. 50, 3046–3059. doi: 10.1007/ s10803-020-04408-4

Bölte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt perception and local–global processing in high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *37*(8), 1493–1504

Bonnot, O., Adrien, V., Venelle, V., Bonneau, D., Gollier-Briant, F., & Mouchabac, S. (2021). Mobile app for parental empowerment for caregivers of children with autism spectrum disorders: prospective open trial. *JMIR Mental Health*, *8*(9), e27803.

Boucher, J., and Osgood, C. E. (1969). The pollyanna hypothesis. J. Verbal Learn. Verbal Behav. 8, 1–8. doi: 10.1016/S0022-5371(69)80002-2

Brothers, L. (2002). The social brain: A project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain.https://direct.mit.edu/books/edited-volume/chapter pdf/2174380/9780262269674_caz.pdf

Brunet-Gouet, E., Vidal, N., and Roux, P. (2023). Do conversational agents have a theory of mind? A single case study of ChatGPT with the hinting, false beliefs and false photographs, and strange stories paradigms. doi: 10.5281/zenodo.7637476

Brunye,T.T.,Ditman,T.,Giles,G. E.,Mahoney,C.R.,Kessler,K., and Taylor,H.A.(2012).Gender and autisticpersonalitytraitspre- dict perspective-takingabilityin typicaladults. Pers.Indiv.Differ. 52, 84–88.doi:10.1016/j.paid.2011. 09.004

Burgess, N. (2014). The 2014 Nobel Prize in Physiology or Medicine: A Spatial Model for Cognitive Neuroscience. Neuron, 84(6), 1120–1125. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.12.009.

Cabibihan, J. J., Javed, H., Ang, M., & Aljunied, S. M. (2013). Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. *International Journal of Social Robotics*, 5(4), 593-618.

Cabibihan, J.-J., Javed, H., Ang, M., & Aljunied, S. M. (2013). Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. *International Journal of Social Robotics*, *5*(4), 593–618. https://doi.org/10.1007/s12369-013-0202-2

Cardillo, R., Erbì, C., & Mammarella, I. C. (2020). Spatial perspective-taking in children with autism spectrum disorders: The predictive role of visuospatial and motor abilities. Frontiers in human neuroscience, 14, 208.

Carpenter, M., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (2001). Understanding of others' intentions in children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, *31*, 589-599.

Chambon, V., Farrer, C., Pacherie, E., Jacquet, P. O., Leboyer, M., & Zalla, T. (2017). Reduced sensitivity to social priors during action prediction in adults with autism spectrum disorders. *Cognition*, *160*, 17-26.

Charlop-Christy, M. H., & Daneshvar, S. (2003). Using video modeling to teach perspective taking to children with autism. *Journal of Positive Behavior Interventions*, *5*(1), 12–21. https://doi.org/10.1177/10983007030050010201

Chen, J., & Chen, Z. (2008). Extended Bayesian information criteria for model selection with large model spaces. Biometrika, 95(3), 759–771. https://doi.org/10.1093/biomet/asn034.

Chen, S., Wu, M., Zhu, K. Q., Lan, K., Zhang, Z., and Cui, L. (2023). LLM-empowered Chatbots for psychiatrist and patient simulation: application and evaluation. Arxiv. doi: 10.48550/arXiv.2305.13614

Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(4), 231–239.

Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(4), 231–239.

Chouinard, P. A., Unwin, K. L., Landry, O., & Sperandio, I. (2016). Susceptibility to optical illusions varies as a function of the Autism-Spectrum Quotient but not in ways predicted by local–global biases. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *46*(6), 2224–2239.

Christensen, A. P., & Golino, H. (2021). Estimating the Stability of Psychological Dimensions via Bootstrap Exploratory Graph Analysis: A Monte Carlo Simulation and Tutorial. Psych, 3(3), Articolo 3. https://doi.org/10.3390/psych3030032.

Chung, E. Y. H., Sin, K. K. F., & Chow, D. H. K. (2024). Development and evaluation of a robotic intervention framework to enhance social engagement of children with autism spectrum disorder. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1–11. https://doi.org/10.1080/17483107.2024.2412076

Clements, D. H., & Sarama, J. (2014). Developing young children's mathematical thinking and understanding. The Routledge International Handbook of Young Children's Thinking and Understanding (pp. 331–344). Routledge

Conson, M., Mazzarella, E., Esposito, D., Grossi, D., Marino, N., Massagli, A., & Frolli, A. (2015). "Put Myself Into Your Place": Embodied Simulation and Perspective Taking in Autism Spectrum Disorders. Autism Research, 8(4), 454–466

Conson, M., Mazzarella, E., Esposito, D., Grossi, D., Marino, N., Massagli, A., & Frolli, A. (2015). "Put Myself Into Your Place": Embodied Simulation and Perspective Taking in Autism Spectrum Disorders. Autism Research, 8(4), 454–466

Crop, I. B. M. (2020). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 27.0)[Computer software]. IBM Corp.

Dautenhahn, K., & Werry, I. (2004). Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges. *Pragmatics & Cognition*, 12(1), 1–35. https://doi.org/10.1075/pc.12.1.03dau

Dautenhahn, K., & Werry, I. (2004). Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges. *Pragmatics & Cognition*, *12*(1), 1-35.

Dave, T., Athaluri, S. A., and Singh, S. (2023). ChatGPT in medicine: an overview of its applications, advantages, limitations, future prospects, and ethical considerations. Front. Artif. Intelli. 6:1169595. doi: 10.3389/frai.2023.1169595

David, N., Aumann, C., Bewernick, B. H., Santos, N. S., Lehnhardt, F.-G., & Vogeley, K. (2010). Investigation of Mentalizing and Visuospatial Perspective Taking for Self and Other in Asperger Syndrome. Journal of Autism and Developmental Disorders, 40(3), 290–299. https://doi.org/10.1007/s10803-009-0867-4

De Beni, R., Meneghetti, C., Fiore, F., Gava, L., & Borella, E. (2014). Batteria visuo-spaziale. Strumenti per la valutazione delle abilità visuo-spaziali nell'arco di vita adulta [Visuo-spatial Battery: Istrument for assessing visuospatial abilities across the adult life span]. Florence, Italy: Hogrefe.

De Jonge MV, Kemner C, de Haan EH, Coppens JE, van Den Berg TJTP, van Engeland H. 2007. Visual information processing in high-functioning individuals with autism spectrum disorders and their parents. *Neuropsychology* 21:165–73

De Marchena, A., and Eigsti, I. M. (2016). The art of common ground: emergence of a complex pragmatic language skill in adolescents with autism spectrum disorders. J. Child Lang. 43, 43–80. doi: 10.1017/S0305000915000070

Dean, M., Harwood, R., & Kasari, C. (2017). The art of camouflage: Gender differences in the social behaviors of girls and boys with autism spectrum disorder. *Autism*, *21*(6), 678–689. https://doi.org/10.1177/1362361316671845

Deliens, G., Papastamou, F., Ruytenbeek, N., Geelhand, P., and Kissine, M. (2018). Selective pragmatic impairment in autism Spectrum disorder: indirect requests versus irony. J. Autism Dev. Disord. 48, 2938–2952. doi: 10.1007/ s10803-018-3561-6

Di Michele, V., Mazza, M., Cerbo, R., Roncone, R., and Casacchia, M. (2007). Deficits in pragmatic conversation as manifestation of genetic liability in autism. Clin. Neuropsychiatry 4, 144–151.

Dinstein, I., Gardner, J. L., Jazayeri, M., & Heeger, D. J. (2008). Executed and observed

disorders. *Cognition*, 160, 17-26.

Doi, H., Kanai, C., Tsumura, N., Shinohara, K., & Kato, N. (2020). Lack of implicit visual perspective taking in adult males with autism spectrum disorders. Research in developmental disabilities, 99, 103593. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103593

Eilam, B., & Alon, U. (2019). Children's Object Structure Perspective-Taking: Training and Assessment. International Journal of Science and Mathematics Education, 17(8), 1541–1562. https://doi.org/10.1007/s10763-018-9934-7.

Ekman, P. E., and Davidson, R. J. (1994). The nature of emotion: Fundamental questions. Oxford: Oxford University Press.

Elyoseph, Z., Hadar-Shoval, D., Asraf, K., and Lvovsky, M. (2023). ChatGPT outperforms humans in emotional awareness evaluations. Front. Psychol. 14:1199058. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1199058

Erle, T. M., & Topolinski, S. (2015). Spatial and empathic perspective-taking correlate on a dispositional level. Social Cognition, 33, 187–210. https://doi.org/10.1521/ soco.2015.33.3.187

Esposito, M., Sloan, J., Tancredi, A., Gerardi, G., Postiglione, P., Fotia, F., ... & Vicari, S. (2017). Using tablet applications for children with autism to increase their cognitive and social skills. *Journal of Special Education Technology*, *32*(4), 199-209.

Este, D., Schneider, N., & St-Pierre, M.-C. (2015). Sensory processing in children with autism spectrum disorder and impact on functioning. *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*, *25*(1), 15–24. https://doi.org/10.1016/j.hkjot.2013.11.003

Feng, Y., Jia, Q., & Wei, W. (2018). A control architecture of robot-assisted intervention for children with autism spectrum disorders. *Journal of Robotics*, *2018*(1), 3246708.

Flavell, J. (1977). The development of knowledge about visual perception. Nebraska Symposium on Motivation, 25,43-76.

Flavell, J. H., Everett, B. A., Croft, K., & Flavell, E. R. (1981). Young children's knowledge about visual perception: Further evidence for the Level 1–Level 2 distinction. Developmental Psychology, 17(1), 99-103. https://doi.org/10.1037/0012-1649.17.1.99.

Fox, J., & Weisberg, S. (2020). *car: Companion to Applied Regression* [R package]. https://cran.r-project.org/package=car

Friedman, A., Kohler, B., Gunalp, P., Boone, A. P., & Hegarty, M. (2020). A computerized spatial orientation test. Behavior Research Methods, 52(2), 799–812. https://doi.org/10.3758/s13428-019-01277-3.

Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2008). Sparse inverse covariance estimation with the graphical lasso. Biostatistics, 9(3), 432–441. https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxm045.

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

Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *358*(1431), 459–473. https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1218

Frith, U., & Happe, F. (1994). Autism—beyond theory of mind. Cognition, 50(1–3), 115–132.

Frith, U., and Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. functioning in autism spectrum disorder. *Biological psychiatry*, *69*(9), 832-838.

Gardner, M. R., Brazier, M., Edmonds, C. J., & Gronholm, P. C. (2013). Strategy modulates spatial perspective-taking: evidence for dissociable disembodied and embodied routes. Frontiers in human neuroscience, 7, 457.

Gava, L., Meneghetti, C., Borella, E., & Beni, R. D. (2013). Abilità spaziali: Differenze di età dai giovani adulti ai grandi vecchi. Giornale italiano di psicologia, 4/2013. https://doi.org/10.1421/76945

Giannopulu, I. (2013). Multimodal cognitive nonverbal and verbal interactions: the neurorehabilitation of autistic children via mobile toy robots. *IARIA International Journal of Advances in Life Sciences*, 5(10.1109).

Gliga, T., Bedford, R., Charman, T., Johnson, M. H., & the BASIS Team. (2015). Enhanced visual search in infancy predicts emerging autism symptoms. *Current Biology*, *25*(13), 1727–1730.

Goldman, A.I. (1989). Interpretation Psychologized. *Mind e Language*, *4*(3), 161-185.

Golino, H. F., & Epskamp, S. (2017). Exploratory graph analysis: A new approach for estimating the number of dimensions in psychological research. PLOS ONE, 12(6), e0174035. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174035

Gómez-Espinosa, A., Moreno, J. C., & Pérez-de la Cruz, S. (2024). Robot assistiti nelle terapie per bambini autistici nella prima infanzia. *Sensors*, 24(5), 1503. https://doi.org/10.3390/s24051503

Gómez-Espinosa, A., Moreno, J. C., & Pérez-de la Cruz, S. (2024). Assisted robots in therapies for children with autism in early childhood. *Sensors*, *24*(5), 1503.

Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). *The Theory Theory*. In Hirschfield L. and Gelman S., Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 257–293). Cambridge, UK: Cambridge University Press

Grice, H. P. (1975). "Logic and conversation" in Syntax and semantics: Speech acts. eds. R. Cole and J. Morgan (New York: Academic Press).

Grynszpan O, Weiss PL, Perez-Diaz F, Gal E. Innovative technology-based interventions for autism spectrum disorders: a meta-analysis. Autism. 2014 May;18(4):346-61. doi:10.1177/1362361313476767. Epub 2013 Oct 3. PMID: 24092843.

Grossard, C., Grynspan, O., Serret, S., Grynszpan, O., & Cohen, D. (2018). Serious games to teach social interactions and emotions to individuals with autism spectrum disorders (ASD). *Computers & Education*, *113*, 195–211. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.05.002

Grossard, C., Palestra, G., Xavier, J., Chetouani, M., Grynszpan, O., & Cohen, D. (2018). ICT and autism care: State of the art. *Current Opinion in Psychiatry, 31*(6), 474–483.

Gunia, A., Moraresku, S., & Vlček, K. (2021). Brain mechanisms of visuospatial perspective-taking in relation to object mental rotation and the theory of mind. Behavioural Brain Research, 407, 113247. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113247.

Hadad, B. S., & Yashar, A. (2022). Sensory perception in autism: What can we learn? *Annual Review of Vision Science*, *8*, 239–264. https://doi.org/10.1146/annurev-vision-093020-035217

Hamilton, A. F. D. C., Brindley, R., & Frith, U. (2009). Visual perspective taking impairment in children with autistic spectrum disorder. Cognition, 113(1), 37–44. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.07.007

Hamilton, A. F. de C., Brindley, R., & Frith, U. (2009). Goals, intentions and mental states: Challenges for theories of autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *50*(8), 881–892. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02098.x

Happé, F. (1996). Studying weak central coherence at low levels: Children with autism do not succumb to visual illusions. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *37*(7), 873–877

Happé, F. G. (1994). An advanced test of theory of mind: understanding of story characters' thoughts and feelings by able autistic, mentally handicapped, and normal children and adults. J. Autism Dev. Disord. 24, 129–154. doi: 10.1007/BF02172093

Happé, F., & Frith, U. (2014). Annual research review: Towards a developmental neuroscience of atypical social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 55*(6), 553–577

Happé, F., Cook, J. L., & Bird, G. (2017). The Structure of Social Cognition: In(ter)dependence of Sociocognitive Processes. Annual Review of Psychology, 68(1), 243–267. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044046

Haque, M. A., and Li, S. (2024). "Exploring chatgpt and its impact on society" in AI and ethics, 1–13. doi: 10.1007/s43681-024-00435-4

Harms, M. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2010). Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: A review of behavioral and neuroimaging studies. *Neuropsychology Review*, *20*(3), 290–322.

Hashim, R., & Yussof, H. (2017, October). Preparation for adulthood: Benefits of assistive technologies in social skills training of children with autism. In *2017 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS)* (pp. 374-378). IEEE.

Hegarty, M. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. Intelligence, 30(5), 425–447. https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2

Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. The Cambridge handbook of visuospatial thinking, 121–169.

Hobson,R.P.(1984).Earlychildhood autism andthequestionofego- centrism. J. AutismDev.Disord. 14, 85–104. doi:10.1007/BF02408558

Hopkins, I. M., Gower, M. W., Perez, T. A., Smith, D. S., Amthor, F. R., Casey Wimsatt, F., & Biasini, F. J. (2011). Avatar assistant: improving social skills in students with an ASD through a computer-based intervention. *Journal of autism and developmental disorders*, *41*, 1543-1555.

Hoy, J. A., Hatton, C., & Hare, D. (2004). Weak central coherence: A cross-domain phenomenon specific to autism? *Autism*, *8*(3), 267–281.

Hughes, D. E., Vasquez, E., & Nicsinger, E. (2016). Improving perspective taking and empathy in children with autism spectrum disorder. 2016 IEEE International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 1–5. https://doi.org/10.1109/SeGAH.2016.7586232

Jain, S., Thiagarajan, B., Shi, Z., Clabaugh, C., & Matarić, M. J. (2020). Modeling engagement in long-term, in-home socially assistive robot interventions for children with autism spectrum disorders. *Science Robotics*, 5(39), eaaz3791. https://doi.org/10.1126/scirobotics.aaz3791

Jain, S., Thiagarajan, B., Shi, Z., Clabaugh, C., & Matarić, M. J. (2020). Modeling engagement in long-term, in-home socially assistive robot interventions for children with autism spectrum disorders. *arXiv preprint arXiv:2002.02453*.

Jansen, P., & Heil, M. (2010). The relation between motor development and mental rotation ability in 5-6 years old children. European Journal of Developmental Science, 4, 66–74. https://doi.org/10.3233/DEV-2010-4105

Jarrold, C., Gilchrist, I. D., & Bender, A. (2005). Embedded figures in autism and typical development: Preliminary evidence for a double dissociation in relationships with visual search. *Developmental Science*, *8*(4), 344–351.

Joseph, R. M., Keehn, B., Connolly, C., Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2009). Why is visual search superior in autism spectrum disorder? *Developmental Science*, *12*(6), 1083–1096.

Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous child*, *2*(3), 217-250.

Keehn, B., Brenner, L., Palmer, E., Lincoln, A. J., & Müller, R. A. (2008). Functional brain organization for visual search in ASD. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *14*(6), 990–1003.

Keintz, J., Goodwin, MS, Hayes, G. e Abowd, G. (2013). Tecnologie interattive per l'autismo. In Synthesis Lectures on Assistive, Rehabilitative, and Health-Preserving Technologies (Vol. 2, Numero 2, pp. 1–177). Morgan & Claypool. doi: 10.2200/s00533ed1v01y201309arh004Return

Kéïta L, Mottron L, Bertone A. 2010. Far visual acuity is unremarkable in autism: Do we need to focus on crowding?. *Autism Res* 3:6333–41

Kennedy, D. P., & Adolphs, R. (2012).*The social brain in psychiatric and neurological disorders. Trends in Cognitive Sciences, 16*(11),

Kerby, D. S. (2014). The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation. *Comprehensive Psychology, 3*, 2165–2228. https://doi.org/10.2466/11.IT.3.1

Kessler, K., & Rutherfors, H. (2010). The two Forms of visuo-spatial perspective taking are differently embodied and subserve different spatial prepositions. Frontiers in Psychology, 1.

Kessler, K., & Wang, H. (2012). Spatial Perspective Taking is an Embodied Process, but Not for Everyone in the Same Way: Differences Predicted by Sex and Social Skills Score. Spatial Cognition & Computation, 12(2–3), 133–158. https://doi.org/10.1080/13875868.2011.634533.

Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., & Scassellati, B. (2013). Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5), 1038–1049. https://doi.org/10.1007/s10803-012-1645-2

Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., & Scassellati, B. (2013). Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5), 1038-1049

Koh HC, Milne E, Dobkins K. 2010. Spatial contrast sensitivity in adolescents with autism spectrum disorders. *J. Autism Dev. Disord.* 40:8978–87

Koldewyn, K., Jiang, Y. V., Weigelt, S., & Kanwisher, N. (2013). Global/local processing in autism: Not a disability, but a disinclination. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(10), 2329–2340.

Kosinski, M. (2023). Theory of mind might have spontaneously emerged in large language models. arXiv:2302.02083.

Kozak, M. N., Marsh, A. A., & Wegner, D. M. (2006). What do I think you're doing? Action identification and mind attribution. Journal of personality and social psychology, 90(4), 543.

Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. Memory & Cognition, 29(5), 745–756. https://doi.org/10.3758/BF03200477

Kumazaki, H., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Ishiguro, H., Kikuchi, M., ... & Mimura, M. (2020). Optimal robot for intervention for individuals with autism spectrum disorders. *Psychiatry and clinical neurosciences*, *74*(11), 581-586.

Kumazaki, H., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Ishiguro, H., Kikuchi, M., ... & Mimura, M. (2020). Optimal robot for intervention for individuals with autism spectrum disorders. *Psychiatry and clinical neurosciences*, *74*(11), 581-586.

Kumazaki, H., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Miyao, M., Ishiguro, H., ... & Kikuchi, M. (2017). Tele-operating an android robot to promote the understanding of facial expressions and to increase facial expressivity in individuals with autism spectrum disorder. *American Journal of Psychiatry*, *174*(9), 904-905.

Kumazaki, H., Sumioka, H., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Shimaya, J., Iwanaga, R., ... & Mimura, M. (2021a). Brief report: The effectiveness of hugging a huggable device before having a conversation with an unfamiliar person for autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52(7), 3294-3303.

Kumazaki, H., Warren, Z., Corbett, B. A., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Higashida, H., ... & Kikuchi, M. (2017). Android robot-mediated mock job interview sessions for young adults with autism spectrum disorder: A pilot study. *Frontiers in psychiatry*, *8*, 169.

Kumazaki, H., Warren, Z., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Miyao, M., ... & Kikuchi, M. (2017a). A pilot study for robot appearance preferences among high-functioning individuals with autism spectrum disorder: Implications for therapeutic use. *PloS One*, 12(10), e0186581.

Kumazaki, H., Warren, Z., Swanson, A., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Takahashi, H., Sarkar, N., Ishiguro, H., Mimura, M., Minabe, Y., & Kikuchi, M. (2018). Can robotic systems promote self-disclosure in adolescents with autism spectrum disorder? A pilot study. *Frontiers in Psychiatry*, 9, 36. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2018.00036

Lai, M. C., Kassee, C., Besney, R., Bonato, S., Hull, L., Mandy, W., Szatmari, P., & Ameis, S.H. (2019). Prevalence of co-occurring mental health diagnoses in the autism population: a systematic review and meta-analysis. *The lancet Psychiatry*, *6*(10), 819‑829.

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

Lai, M. C., Lombardo, M. V., Ruigrok, A. N. V., Chakrabarti, B., Wheelwright, S. J., Auyeung, B., Szatmari, P., Happé, F., & Baron-Cohen, S. (2017). Quantifying and exploring camouflaging in men and women with autism. *Autism*, *21*(6), 690–702. https://doi.org/10.1177/1362361316671012

Langdon, R.,andColtheart,M. (2001). Visualperspective-taking and schizotypy:evidencefor a simulation-basedaccount of mentalizinginnormal adults. Cognition 82, 1–26.doi: 10.1016/S0010-0277(01)00139-1

Lauritzen, S. L. (1996). Graphical models (Vol. 17). Clarendon Press.

Latendorf, A., Runde, LM, Salminen, T. et al. Digitalizzazione della diagnostica neuropsicologica: uno studio pilota per confrontare tre valutazioni cognitive cartacee e digitalizzate. Aging Clin Exp Res 33 , 1585–1597 (2021). https://doi.org/10.1007/s40520-020-01668-z

Le Donne, I., Attanasio, M., Bologna, A., & others. (2023). Autism and intention attribution test: A non-verbal evaluation with comic strips. *Annals of General Psychiatry*, *22*, 29. https://doi.org/10.1186/s12991-023-00461-2

LeBlanc, L. A., Coates, A. M., Daneshvar, S., Charlop-Christy, M. H., Morris, C., & Lancaster, B. M. (2003). Using video modeling and reinforcement to teach perspective-taking skills to children with autism. *Journal of applied behavior analysis*, *36*(2), 253-257.

Leslie,A.M.(1987).Pretenseandrep- resentation-theoriginsoftheoryof mind. Psychol.Rev. 94, 412–426.doi: 10.1037/0033-295X.94.4.412

Liang, J., Sun, J., Xu, X., Lee, K., & Siu, C. T. S. (2025). Early Development of Visual Perspective-Taking: Its Associations with Stimuli Feature, Child Age, and Family Socio-Economic Status. Early Childhood Education Journal, 1-16.

Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. Child Development, 56(6), 1479–1498.

Livingston, L. A., Shah, P., & Happé, F. (2019). Compensatory strategies below the behavioural surface in autism: A qualitative study. *The Lancet Psychiatry*, *6*(9), 766–777.

Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg, Advances in the psychology of human intelligence (p. 181-248). New York: Psychology Press.

Lombardo, M. V., Lai, M.-C., Auyeung, B., Holt, R. J., Allison, C., Smith, P., Chakrabarti, B., Ruigrok, A. N., Suckling, J., Bullmore, E. T., Ecker, C., Craig, M. C., Murphy, D. G., Happé, F., Baron-Cohen, S., & MRC AIMS Consortium. (2016). Unsupervised data-driven stratification of mentalizing heterogeneity in autism. *Scientific Reports, 6*, 35333.

Lonigro, A., Baiocco, R., Baumgartner, E., and Laghi, F. (2017). Theory of mind, affective empathy, and persuasive strategies in school-aged children. Infant Child Dev. 26, 1–12. doi: 10.1002/icd.2022

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P., Risi, S., Gotham, K., and Bishop, S. (2012). Autism diagnostic observation schedule. (ADOS-2) Manual (Part I): Modules. 2nd Edn. Torrance, CA: Western Psychological Services.

Marchetti, A., Di Dio, C., Cangelosi, A., Manzi, F., and Massaro, D. (2023). Developing ChatGPT's theory of mind. Front. Robot. AI 10:1189525. doi: 10.3389/frobt.2023.11895

Marvin, A. R., Marvin, D. J., Lipkin, P. H., & Law, J. K. (2017). Analysis of Social Communication Questionnaire (SCQ) screening for children less than age 4. *Current developmental disorders reports*, *4*, 137-144.

Mazza, M., & Valenti, M. (2019). Cognizione Sociale e autismo. Modelli comportamentali, implicazioni cliniche e valutazione. Franco Angeli Editore, Serie di Psicologia

Mazza, M., Donne, I. L., Vagnetti, R., Attanasio, M., Paola Greco, M., Chiara Pino, M., & Valenti, M. (2024). Normative values and diagnostic optimisation of three social cognition measures for autism and schizophrenia diagnosis in a healthy adolescent and adult sample. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 77(3), 511–529. https://doi.org/10.1177/17470218231175613

Mazza, M., Le Donne, I., Vagnetti, R., Attanasio, M., Greco, M. P., Pino, M. C., et al. (2024). Normative values and diagnostic optimisation of three social cognition measures for autism and schizophrenia diagnosis in a healthy adolescent and adult sample. Q. J. Exp. Psychol. 77, 511–529. doi: 10.1177/17470218231175613

Mazza, M., Lucci, G., Pacitti, F., Pino, M. C., Mariano, M., Casacchia, M., & Roncone, R. (2010). Could schizophrenic subjects improve their social cognition abilities only with observation and imitation of social situations? Neuropsychological Rehabilitation, 20(5), 675–703. https://doi.org/10.1080/09602011.2010.486284

Mazza, M., Mariano, M., Peretti, S., Masedu, F., Pino, M. C., & Valenti, M. (2017). The Role of Theory of Mind on Social Information Processing in Children With Autism Spectrum Disorders: A Mediation Analysis. Journal of Autism and Developmental Disorders, 47(5), 1369–1379. https://doi.org/10.1007/s10803-017-3069-5

Mazza, M., Pino, M. C., Keller, R., Vagnetti, R., Attanasio, M., Filocamo, A., ... & Valenti, M. (2022). Qualitative differences in attribution of mental states to other people in autism and schizophrenia:

what are the tools for differential diagnosis?. *Journal of autism and developmental disorders*, *52*(3), 1283-1298.

Mazza, M., Pino, M. C., Vagnetti, R., Filocamo, A., Attanasio, M., Calvarese, A., & Valenti, M. (2021b). Intensive intervention for adolescents with autism spectrum disorder: comparison of three rehabilitation treatments. International journal of psychiatry in clinical practice, 25(1), 28-36.

McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. Psychological Bulletin, 86(5), 889–918. https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889

Mechling, L. C., Gast, D. L., & Cronin, B. A. (2006). The effects of presenting high-preference items, paired with choice, via computer-based video programming on task completion of students with autism. Focus on Autism and other developmental disabilities, 21(1), 7-13.

Mehmood, F., Ayaz, Y., Ali, S., Amadeu, R. D. C., & Sadia, H. (2019a). Dominance in visual space of ASD children using multi-robot joint attention integrated distributed imitation system. *IEEE Access*, 7, 168815-168827.

Mehmood, F., Ayaz, Y., Ali, S., Amadeu, R. D. C., & Sadia, H. (2019b). Dominance in visual space of ASD children using multi-robot joint attention integrated distributed imitation system. *IEEE Access*, 7, 168815-168827.

Meneghetti, C., Pazzaglia, F., & De Beni, R. (2012). Which spatial abilities and strategies predict males' and females' performance in the object perspective test? Cognitive Processing, 13(1), 267–270. https://doi.org/10.1007/s10339-012-0500-x

Ministero della Salute. (2023). *Linee di indirizzo per i disturbi dello spettro autistico (ASD)*. https://www.pnrr.salute.gov.it/portale/saluteMentale/dettaglioContenutiSaluteMentale.jsp?area=salute+mentale&id=4628&lingua=italiano&menu=autismo

Mitchell, P., Mottron, L., Soulières, I., & Ropar, D. (2010). Susceptibility to the Shepard illusion in participants with autism: Reduced top-down influences within perception? *Autism Research*, *3*(3), 113–119

Moll, H., & Tomasello, M. (2004). 12- and 18-month-old infants follow gaze to spaces behind barriers. Developmental Science, F1-F9. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00315.x.

Moll, H., & Tomasello, M. (2006). Level 1 perspective-taking at 24 months of age. British Journal of Developmental Psychology, 24,603-613. doi:10.1348/026151005X55370

Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. In J. A. Burack, T. Charman, N. Yirmiya, & P. R. Zelazo (Eds.), *The development of autism: Perspectives from theory and research* (pp. 131–148)Erlbaum.

Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. A. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *36*, 27–43.

Mukherjee, D., et al. (2024). Using mobile health technology to assess childhood autism in low-resource settings. *Autism*, *28*(1), 123–135. https://doi.org/10.1177/13623613231182801

Mundy, P., & Newell, L. (2007). Attention, joint attention, and social cognition. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(5), 269–274.

Nejati, V., Moradkhani, L., Suggate, S., & Jansen, P. (2021). The impact of visual-spatial abilities on theory of mind in children and adolescents with autism spectrum disorder. Research in developmental disabilities, 114, 103960. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.103960

Newcombe, N. (1989). The development of spatial perspective taking. Advances in Child Development and Behavior, 22, 203-247. https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60415-2.

Newcombe, N., & Huttenlocher, J. (2000). Making space: The development of spatial representation and reasoning. MIT Press.

Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(23), 8577–8582. https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103.

Nori, H., King, N., McKinney, S. M., Carignan, D., and Horvitz, E. (2023). Capabilities of gpt-4 on medical challenge problems. Arxiv. doi: 10.48550/arXiv.2303.13375

O'Riordan MA, Plaisted KC, Driver J, Baron-Cohen S. 2001. Superior visual search in autism. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 27:3719–30

Pearson, A., Marsh, L., Hamilton, A., & Ropar, D. (2014). Spatial transformations of bodies and objects in adults with autism spectrum disorder. Journal of autism and developmental disorders, 44, 2277-2289.

Pearson, A., Marsh, L., Ropar, D., & Hamilton, A. (2016). Cognitive Mechanisms underlying visual perspective taking in typical and ASC children. Autism Research, 9(1), 121-130.

Pearson, A., Ropar, D., & Hamilton, A. F. de C. (2013). A review of visual perspective taking in autism spectrum disorder. Frontiers in Human Neuroscience, 7. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00652

Pellicano E, Gibson L, Maybery M, Durkin K, Badcock DR. **2005**. Abnormal global processing along the dorsal visual pathway in autism: a possible mechanism for weak visuospatial coherence?. *Neuropsychologia* 43:71044–53

Pelphrey, K. A., Shultz, S., Hudac, C. M., & Vander Wyk, B. C. (2011). Research review: Constraining heterogeneity: The social brain and its development in autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 52*(6), 631–644.

Pennisi, P., Tonacci, A., Tartarisco, G., Billeci, L., Ruta, L., Gangemi, S., & Pioggia, G. (2016). Autism and social robotics: A systematic review. *Autism Research*, *9*(2), 165–183. https://doi.org/10.1002/aur.1527

Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci. 358, 459–473. doi: 10.1098/rstb.2002.1218

Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). The Child's Conception of Space. London: Routledge and Kegan Paul.

Pino, M. C., Spoto, A., Mariano, M., Granziol, U., Peretti, S., Masedu, F., ... & Vidotto, G.

Pino, M. C., Vagnetti, R., Masedu, F., Attanasio, M., Tiberti, S., Valenti, M., & Mazza, M. (2020). Mapping the Network of Social Cognition Domains in Children With Autism Spectrum Disorder Through Graph Analysis. Frontiers in Psychiatry, 11. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.579339

Pino, M. C., Vagnetti, R., Valenti, M., & Mazza, M. (2021). Comparing virtual vs real faces expressing emotions in children with autism: An eye-tracking study. Education and Information Technologies, 26(5), 5717-5732.

Pinto-Bernal, M. J., Cespedes, N., Castro, P., Munera, M., & Cifuentes, C. A. (2022). Physical human-robot interaction influence in ASD therapy through an affordable soft social robot. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, *105*(3), 67.

Plaisted K, O'Riordan M, Baron-Cohen S. 1998. Enhanced visual search for a conjunctive target in autism: a research note. *J. Child Psychol. Psychiatry* 39:5777–83

Polónyiová, K., Kruyt, J., and Ostatníková, D. (2024). Correction to: to the roots of theory of mind deficits in autism Spectrum disorder: a narrative review. Rev. J. Autism Dev. Disord. 1–5. doi: 10.1007/s40489-024-00459-w

Pons, P., & Latapy, M. (2006). Computing communities in large networks using random walks. Journal of graph algorithms and applications, 10(2), 191-218.

Prajod, P., Lavit Nicora, M., Mondellini, M., Falerni, MM, Vertechy, R., Malosio, M., & André, E. (2024). Flusso nella collaborazione uomo-robot: analisi multimodale e rilevamento delle sfide percepite in scenari industriali. *Frontiers in Robotics and AI* , *11* , 1393795.

Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind?. *Behavioral and brain sciences*, *1*(4), 515-526.

Prior, M., Marchi, S., and Sartori, G. (2003). Cognizione Sociale e Comportamento. Uno Strumento Per la Misurazione. Padova: Upsel Domenghini Editore. Vol. 1.

R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.1) [Computer software]. https://cran.r-project.org
(R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01)

Rakhymbayeva, N., Amirova, A., & Sandygulova, A. (2021). A long-term engagement with a social robot for autism therapy. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 180

Raven, J. C. (1938). *Standard Progressive Matrices.* London: H.K. Lewis & Co.

Raven, J. C. (2000). The Raven's Progressive Matrices: A Review of the Standardization and Development of the Test. *Psychological Assessment, 12*(4), 313-318.

Raven, J. C., & Court, J. H. (1938). Raven’s progressive matrices. Western Psychological Services.

Reddy, K., Taksande, A., Kurian, B., & REDDY, K. (2024). Harnessing the Power of Mobile Phone Technology: Screening and Identifying Autism Spectrum Disorder With Smartphone Apps. *Cureus*, *16*(2).

Reed, T., & Peterson, C. (1990). A comparative study of autistic subjects' performance at two levels of visual and cognitive perspective taking. Journal of autism and developmental disorders, 20(4), 555-567.

Robinson, N. L .,Connolly, J.., Hides, L., & Kavanagh, D. J. (2020). Social robots as treatment agents: Pilot randomized controlled trial to deliver a behavior change intervention. *Internet Interventions*, 21, 100320. https://doi.org/10.1016/j.invent.2020.100320

Ropar, D., & Mitchell, P. (1999). Are individuals with autism and Asperger's syndrome susceptible to visual illusions? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *40*(8), 1283–1293

Ropar, D., & Mitchell, P. (2001). Susceptibility to illusions and performance on visuospatial tasks in individuals with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *42*(4), 539–549

Rutherford, M., Baxter, J., Grayson, Z., Johnston, L., & O'Hare, A. (2020). Visual supports at home and in the community for individuals with autism spectrum disorders: A scoping review. *Autism*, *24*(2), 447-469.

Sağdıç, A., Elumar-Efe, E., & Sani-Bozkurt, S. (2024). GenAI, robots, and inclusive special education: Autism spectrum disorder in the age of generative AI. In *Transforming education with generative AI: Prompt engineering and synthetic content creation* (pp. 309-326). IGI Global Scientific Publishing.

Saleh, M. A., Hanapiah, F. A., & Hashim, H. (2021). Robot applications for autism: a comprehensive review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *16*(6), 580-602.

Salimi, Z., Jenabi, E., & Bashirian, S. (2021). Are social robots ready yet to be used in care and therapy of autism spectrum disorder: A systematic review of randomized controlled trials. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *129*, 1-16.

Sandygulova, A., Zhexenova, Z., Tleubayev, B., Nurakhmetova, A., Zhumabekova, D., Assylgali, I., ... & Zhakenova, A. (2019). Interaction design and methodology of robot-assisted therapy for children with severe ASD and ADHD. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 10(1), 330-345.

Sartori, G., and Orrù, G. (2023). Language models and psychological sciences. Front. Psychol. 14:1279317. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1279317

Scassellati, B., Boccanfuso, L., Huang, C.-M., Mademtzi, M., Qin, M., Salomons, N., Ventola, P., & Shic, F. (2018). Improving social skills in children with ASD using a long-term, in-home social robot. *Science Robotics*, 3(21), eaat7544. https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat7544

Scattoni, M. L., Micai, M., Fatta, L. M., Gila, L., Caruso, A., Salvitti, T., Fulceri, F., Ciaramella, A., D'Amico, R., Del Giovane, C., Bertelli, M., Romano, G., Schünemann, H. J., & De Vito, R. (2023). Prevalence of co-occurring conditions in children and adults with autism spectrum disorder: A

systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *155*, 105436. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105436

Schaaff, K., Reinig, C., and Schlippe, T. (2023). Exploring ChatGPT's empathic abilities. In 2023 11th international conference on affective computing and intelligent interaction (ACII) (pp. 1–8). IEEE.

Schadenberg, B. R., Reidsma, D., Evers, V., Davison, D. P., Li, J. J., Heylen, D. K., ... & Pellicano, E. (2021). Predictable Robots for Autistic Children—Variance in Robot Behaviour, Idiosyncrasies in Autistic Children's Characteristics, and Child–Robot Engagement. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 28(5), 1-42

Schadenberg, B. R., Reidsma, D., Heylen, D. K., & Evers, V. (2020). Differences in spontaneous interactions of autistic children in an interaction with an adult and humanoid robot. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 28.

Schurz, M., Radua, J., Aichhorn, M., Richlan, F., & Perner, J. (2014). Fractionating theory of mind: A meta-analysis of functional brain imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 42*, 9–34

Schurz, M., Radua, J., Aichhorn, M., Richlan, F., & Perner, J. (2014). Fractionating theory of mind: A meta-analysis of functional brain imaging studies. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 42, 9–34

Selman RL (1971). Taking Another's Perspective: Role-Taking Development in Early Childhood. Child Development. 42 (6): 1721–1734. doi:10.2307/1127580. JSTOR 1127580.

Shane, H. C., & Albert, P. D. (2008). Electronic screen media for persons with autism spectrum disorders: Results of a survey. Journal of autism and developmental disorders, 38, 1499-1508

Sorin, V., Brin, D., Barash, Y., Konen, E., Charney, A., Nadkarni, G., et al. (2023). Large language models (llms) and empathy-a systematic review. Medrxiv. doi: 10.1101/2023.08.07.23293769

Strachan, J. W. A., Albergo, D., Borghini, G., Pansardi, O., Scaliti, E., Gupta, S., et al. (2024). Testing theory of mind in large language models and humans. Nat. Hum. Behav. 8, 1285–1295. doi: 10.1038/s41562-024-01882-z

Strickland, D. C., Coles, C. D., & Southern, L. B. (2013). JobTIPS: A transition to employment program for individuals with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 43*(10), 2472–2483.

Surian, L., Baron-Cohen, S., and Van der Lely, H. (1996). Are children with autism deaf to gricean maxims? Cogn. Neuropsychiatry 1, 55–72. doi: 10.1080/135468096396703

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive science, 12(2), 257-285.

Tapus, A., Peca, A., Aly, A., Pop, C., Jisa, L., Pintea, S., Rusu, A. S., & David, D. O. (2012). Children with autism social engagement in interaction with Nao, an imitative robot: A series of single case experiments. *Interaction Studies*, 13(3), 315–347. https://doi.org/10.1075/is.13.3.01tap

Tarampi, M. R., Heydari, N., & Hegarty, M. (2016). A Tale of Two Types of Perspective Taking: Sex Differences in Spatial Ability. Psychological Science, 27(11), 1507–1516. https://doi.org/10.1177/0956797616667459

Tarighat, S., & Krott, A. (2021). Bilingualism enhances reported perspective taking in men, but not in women. Frontiers in psychology, 12, 679524.

Tavassoli T, Latham K, Bach M, Dakin SC, Baron-Cohen S. 2011. Psychophysical measures of visual acuity in autism spectrum conditions. *Vis. Res.* 51:151778–80

Tavassoli, T., & Baron-Cohen, S. (2014). Sensory over-responsivity in adults with autism spectrum conditions. *Autism*, *18*(4), 428–432. https://doi.org/10.1177/1362361313477246

Tavassoli, T., Hoekstra, R. A., & Baron-Cohen, S. (2014). The Sensory Perception Quotient (SPQ): Development and validation of a new sensory questionnaire for adults with and without autism. *Molecular Autism*, *5*, 29.

Tavella, F., Manzi, F., Vinanzi, S., Di Dio, C., Massaro, D., Cangelosi, A., et al. (2024). Towards a computational model for higher orders of theory of mind in social agents. Front. Robot. AI 11:1468756. doi: 10.3389/frobt.2024.1468756

Team, R. C. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Published online 2020. Supplemental Information References S, 1, 371–378.

Telisheva, Z., Amirova, A., Rakhymbayeva, N., Zhanatkyzy, A., & Sandygulova, A. (2022). The Quantitative Case-by-Case Analyses of the Socio-Emotional Outcomes of Children with ASD in Robot-Assisted Autism Therapy. *Multimodal Technologies and Interaction, 6*(6), 46.

The jamovi project. (2022). *jamovi* (Version 2.3) [Computer software]. https://www.jamovi.org

Thirunavukarasu, A. J., Hassan, R., Mahmood, S., Sanghera, R., Barzangi, K., El Mukashfi, M., et al. (2023b). Trialling a large language model (ChatGPT) in general practice with the applied knowledge test: observational study demonstrating opportunities and limitations in primary care. JMIR Med. Educ. 9:e46599. doi: 10.2196/46599

Thirunavukarasu, A. J., Ting, D. S. J., Elangovan, K., Gutierrez, L., Tan, T. F., and Ting, D. S. W. (2023a). Large language models in medicine. Nat. Med. 29, 1930–1940. doi: 10.1038/s41591-023-02448-8

Tian, M., Luo, T., Ding, J., Wang, X., & Cheung, H. (2021). Spatial ability and theory of mind: A mediating role of visual perspective taking. Child Development, 92(4), 1590-1604.

Tomasello, M. (1995). Joint attention as social cognition. In C. Moore & P. J. Dunham (Eds.), *Joint attention: Its origins and role in development* (pp. 103–130). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Tomchek, S. D., & Dunn, W. (2007). Sensory processing in children with and without autism: A comparative study using the Short Sensory Profile. *American Journal of Occupational Therapy*, *61*(2), 190–200. https://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190

Trott, S., Jones, C., Chang, T., Michaelov, J., and Bergen, B. (2023). Do large language models know what humans know? Cogn. Sci. 47:e13309. doi: 10.1111/ cogs.13309

Turgut, M. (2014). Turkish validity studies of an environmental spatial ability scale: Santa Barbara sense of direction. Acta Didactica Universitatis Comenianae Mathematics, 14, 87–103.

Uljarevic, M., & Hamilton, A. (2013). Recognition of emotions in autism: A formal meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(7), 1517–1526.

Vagnetti, R., Di Nuovo, A., Mazza, M., & Valenti, M. (2024). Robot sociali: uno strumento promettente per supportare le persone con autismo. Una revisione sistematica delle ricerche recenti e un'analisi critica dal punto di vista clinico. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders* , 1-25.

Vagnetti, R., Pino, M. C., Masedu, F., Peretti, S., Le Donne, I., Rossi, R., Valenti, M., & Mazza, M. (2020). Exploring the social cognition network in young adults with autism spectrum disorder using graph analysis. Brain and Behavior, 10(3), e01524. https://doi.org/10.1002/brb3.1524

Valenti, M., Vagnetti, R., Masedu, F., Pino, M. C., Rossi, A., and Scattoni, M. L. (2019). Register-based cumulative prevalence of autism spectrum disorders during childhood and adolescence in Central Italy. Epidemiol. Biostat. Public Health 16, e13226-1–e13226-7. doi: 10.2427/13226

Valenti, M., Vagnetti, R., Masedu, F., Pino, M. C., Rossi, A., Scattoni, M. L., & Mazza, M. (2019). Register-based cumulative prevalence of Autism Spectrum Disorders during childhood and adolescence in Central Italy. *Epidemiology Biostatistics and Public Health*, *16*(4). https://doi.org/10.2427/13226

Valle, A., Massaro, D., Castelli, I., and Marchetti, A. (2015). Theory of mind development in adolescence and early adulthood: the growing complexity of recursive thinking ability. Eur. J. Psychol. 11, 112–124. doi: 10.5964/ejop.v11i1.829

van Duijn, M. J., van Dijk, B., Kouwenhoven, T., de Valk, W., Spruit, M. R., and van der Putten, P. (2023). Theory of mind in large language models: examining performance of 11 state-of-the-art models vs. children aged 7-10 on advanced tests. In: Proceedings of the 27th conference on computational natural language learning (CoNLL). Singapore: Association for Computational Linguistics. 389–402.

van Otterdijk, M. T., de Korte, M. W., van den Berk-Smeekens, I., Hendrix, J., van Dongen-Boomsma, M., Den Boer, J. C., ... & Barakova, E. I. (2020). The effects of long-term child–robot interaction on the attention and the engagement of children with autism. *Robotics*, 9(4), 79.

Ventola, C. L. (2014). Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits. *Pharmacy and Therapeutics*, *39*(5), 356.

Vermeulen, P. (2012). *Autism as context blindness*. Shawnee Mission, KS: AAPC Publishing.

Vogel, A., Jørgensen, K., & Larsen, I. U. (2022). Normative data for emotion hexagon test and frequency of impair- ment in behavioral variant frontotemporal dementia, Alzheimer's disease and Huntington's disease. Applied Neuropsychology: Adult, 29(1), 127–132.

Wainer, J., Dautenhahn, K., Robins, B., & Amirabdollahian, F. (2014a). A pilot study with a novel setup for collaborative play of the humanoid robot KASPAR with children with autism. *International Journal of Social Robotics*, 6(1), 45-65.

Walter, E., Dassonville, P., & Bochsler, T. M. (2009). A specific autistic trait that modulates visuospatial illusion susceptibility. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *39*(2), 339–349.

Wang, S., Jiang, M., Duchesne, X. M., Laugeson, E. A., Kennedy, D. P., Adolphs, R., & Zhao, Q. (2015). Atypical visual saliency in autism spectrum disorder quantified through model-based eye tracking. *Neuron*, *88*(3), 604–616.

World Health Organization. (2019). *International classification of diseases for mortality and morbidity statistics (11th Revision)*. https://icd.who.int/

Yang, Z., Zhang, Y., Ning, J., Wang, X., & Wu, Z. (2025). Early Diagnosis of Autism: A Review of Video-Based Motion Analysis and Deep Learning Techniques. *IEEE Access*.

Yirmiya, N., Sigman, M., & Zacks, D. (1994). Perceptual perspective-taking and seriation abilities in high-functioning children with autism. Development and psychopathology, 6(2), 263-272.

Yuan, S. N. V., & Ip, H. H. S. (2018). Using virtual reality to train emotional and social skills in children with autism spectrum disorder. *London Journal of Primary Care, 10*(4), 110–112.

Zacks, J. M., & Michelon, P. (2005). Transformations of Visuospatial Images. Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, 4(2), 96–118. https://doi.org/10.1177/1534582305281085

Zehnder, E., Jouaiti, M., & Charpillet, F. (2022, December). Evaluating robot acceptance in children with ASD and their parents. In *International conference on social robotics* (pp. 45-53). Cham: Springer Nature Switzerland.

Zeidan, J., Fombonne, E., Scorah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, *15*(5), 778–790. https://doi.org/10.1002/aur.2696

Zorcec, T., Ilijoski, B., Simlesa, S., Ackovska, N., Rosandic, M., Popcevic, K., Robins, B., Nitzan, N., Cappel, D., & Blum, R. (2021). Arricchire l'interazione uomo-robot con un'app mobile negli interventi sui bambini con disturbo dello spettro autistico. *Prilozi (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki)*, 42(2), 51–59. https://doi.org/10.2478/prilozi-2021-0021

Tesi redatta con il sostegno finanziario del programma
FSE-REACT-EU, PON “Ricerca e Innovazione” 2014-2020 (D.M. 1061/2021)
Asse IV “Istruzione e ricerca per il recupero – REACT-EU”
Azione IV.5 “Dottorati e Contratti di ricerca su tematiche green”



