

di Federica Floris¹, Davide Ghiglino², Davide De Tommaso², Tiziano Priolo¹, Agnieszka Wykowska² - ¹ *Piccolo Cottolengo di Don Orione (Genova)*, ² *Istituto Italiano di Tecnologia - Social cognition in human-robot interaction (S4HRI) (Genova)*

UTILIZZO DELLA ROBOTICA PER LO SVILUPPO DI COMPETENZE NELL'AUTISMO: UN PERCORSO SPERIMENTALE

ABSTRACT

Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse per l'impiego delle tecnologie nei contesti riabilitativi, in particolare per i disturbi del neurosviluppo. Dal 2018, un progetto sperimentale che ha coinvolto il Centro Boggiano Pico, polo specializzato nel trattamento di tali disturbi, ha esplorato l'uso della robotica per supportare lo sviluppo delle competenze sociali nei bambini con autismo. Utilizzando il robot Cozmo all'interno di un disegno sperimentale *crossover*, lo studio ha coinvolto bambini con diversi livelli di funzionamento. I risultati preliminari suggeriscono che la robotica, integrata in un approccio ecologico e centrato sulla persona, può rappresentare una risorsa utile per arricchire i percorsi terapeutici.

Un crescente interesse si sta sviluppando attorno all'applicazione delle nuove tecnologie nel campo dell'assistenza sanitaria. Recenti dati di letteratura hanno dimostrato l'efficacia di alcuni trattamenti effettuati con l'ausilio di agenti artificiali nell'ambito dei disturbi del neurosviluppo e, in particolare, nel caso dei disturbi dello spettro autistico. Tuttavia, molti di questi risultati sono basati su piccoli campioni sperimentali e non consentono di trarre conclusioni definitive.

Il disturbo dello spettro autistico è un insieme eterogeneo di disturbi del neurosviluppo (DNS) che esordisce nel corso dell'età evolutiva, caratterizzato da deficit comunicativi e nell'interazione sociale. Sulla base delle ricerche epidemiologiche condotte a oggi, l'autismo colpisce tra l'1% e il 2% della popolazione mondiale. In Italia, le persone interessate dall'autismo sono tra le 600 mila e 1 milione e 200 mila, mentre si stima che almeno 4000 individui sui 393 mila nuovi nati nel 2022 potrebbero essere diagnosticati nel corso della loro età evolutiva.

Con l'obiettivo di sperimentare l'utilizzo della robotica in un contesto clinico-riabilitativo, a partire dal 2018, un team del laboratorio Social Cognition in Human-Robot Interaction, coordinato da Agnieszka Wykowska dell'Istituto Italiano di Tecnologia - IIT, e un'equipe del Centro Boggiano Pico, polo specializzato nel trattamento dei disturbi del neurosviluppo dell'Opera Don Orione Genova, hanno iniziato un percorso di progettazione di protocolli riabilitativi mediati da agenti robotici, partendo dai bisogni dei bambini con autismo accolti presso il centro orionino.

Ma perché utilizzare la robotica nei processi riabilitativi?

L'approccio ai DNS si è spostato dal focus su fattori genetici predeterminati ad una valutazione legata alle risorse che la persona ha, o potrebbe avere, in relazione alle capacità individuali (comportamento adattivo) e alle occasioni di accesso ad opportunità (sostegni) e soddisfazione di bisogni e desideri che il contesto offre. Si è dunque passati a un approccio ecologico, riconoscendo la centralità della persona con disabilità rispetto alla rete delle relazioni e del contesto fisico, sociale e culturale della comunità in cui nasce, cresce e vive. Pertanto, viene superato il modello che riduce la disabilità alla semplicistica valutazione del deficit e, dunque, dei soli fattori genetici, focalizzando invece l'attenzione su approcci più evoluti e complessi che la interpretano come la risultante dell'interazione tra la persona e il suo contesto (Croce, 2007).

Infatti, il funzionamento umano è influenzato dall'interazione tra le competenze personali e i contesti in cui le persone vivono. Nello sviluppo neurotipico, le richieste dell'ambiente corrispondono complessivamente alle competenze personali; per le persone con DNS, invece, emerge una discrepanza tra quelle che sono le risorse individuali e il bagaglio di competenze e capacità che i vari contesti di vita richiedono (Croce e Di Cosimo, 2009).

Nei primi anni del 1900, Lev Vygotsky teorizzò che lo sviluppo cognitivo è fortemente supportato dall'ambiente (sociale), che può amplificare le potenzialità della mente, concetto che fu poi definito in psicologia dello sviluppo come "*scaffolding*" (Bliss et al., 1996). Sebbene le teorie di Vygotsky si riferissero alle fasi di sviluppo dei bambini, la sua visione può essere applicata anche alla filogenesi della nostra specie (Rheingold, 2000). Un domino di innovazioni ci ha catapultati dalla rivoluzione industriale a quella tecnologica, cambiando sostanzialmente le nostre vite e consentendo l'aumento cognitivo in vari domini (Raisamo et al., 2019) o, come avrebbe detto Vygotskij, lo *scaffolding* del nostro sviluppo. L'evoluzione della cognizione umana dovuta alle impalcature ambientali ha acceso speculazioni filosofiche anche sul concetto di "mente". Clark e Chalmers hanno coniato il concetto di "mente estesa", sostenendo che la cognizione non è un processo isolato che avviene nel cervello, ma piuttosto dipendente (e distribuito attraverso) il cervello, il corpo e l'ambiente di un agente (Clark e Chalmers, 1998). Possiamo riformulare tale concetto dicendo che il potenziale di una mente non si basa esclusivamente sulle capacità biologiche e innate, ma anche sulle risorse ambientali, che sono parte integrante della cognizione. È importante sottolineare che gli strumenti tecnologici innovativi non solo aumentano le capacità umane, ma supportano anche l'apprendimento di nuove abilità, come la lingua (Ahmadi e Reza, 2018). Ad oggi, l'idea di aumentare o supportare l'acquisizione di nuove competenze è stata esplorata nel contesto di meccanismi cognitivi (Newen et al., 2018), come l'orientamento spaziale o la memoria (Grinschgl et al., 2021; Tudoreanu, 2016), ma in maniera poco approfondita per quel che concerne le competenze sociali.

Un piccolo inizio con un piccolo robot

La prima parte della sperimentazione si è conclusa nell'estate 2019 e ha coinvolto un gruppo di 27 bambine e bambini già inseriti nel percorso terapeutico del Centro Boggiano Pico.

Questo primo training ha visto l'utilizzo di un piccolo robot giocattolo, Cozmo, un Microbot palmare armato di sensori, motori e capacità visive, controllabile attraverso smartphone e tablet. È dotato di una pala che consente un certo grado di interazione con gli oggetti (toccando, muovendo, sollevando) e può essere utilizzata per modulare la sua espressività emotiva (sollevandola delicatamente quando mostra felicità o freneticamente quando mostra agitazione). Ulteriori dettagli sul suo design e funzionamento sono disponibili nella descrizione del prodotto (disponibile all'indirizzo: <https://ankicozmorobot.com/>).



Credit photo, STARTUPITALIA - <https://startupitalia.eu/education/scuola/un-po-wall-e-e-un-po-eve-cozmo-il-robot-che-ride-si-emoziona-e-si-arrabbia-per-gioco/>

Il training ha esplorato l'efficacia di un addestramento robotizzato, svolto da soli operatori sanitari durante sessioni riabilitative individuali di diverse settimane, nello sviluppo/incremento di prerequisiti sottesi allo sviluppo delle competenze sociali.

È stato quindi progettato uno studio *crossover* in cui bambini con disturbi dello spettro autistico (DSA) sono stati esposti ad attività con un robot giocattolo. Durante le attività, le terapisti dell'Ambulatorio Boggiano Pico hanno utilizzato il robot in modo autonomo e indipendente, per una durata di dieci settimane, all'interno delle regolari sessioni di terapia. In questo lavoro si è cercato di essere il più inclusivi possibile, coinvolgendo bambini con autismo di diversa gravità, non solo ad alto funzionamento. Questa scelta è stata condivisa con l'equipe, volendo valutare la versatilità del protocollo in scenari di vita reale, evitando un *bias* di selezione. Pertanto, lo studio ha cercato di essere quanto più "ecologico" possibile, tenendo conto delle esigenze pratiche degli operatori sanitari, che assistono quotidianamente un panorama eterogeneo di pazienti.

Per garantire a tutti i bambini coinvolti nello studio la possibilità di interagire con il robot, abbiamo optato per un disegno sperimentale *crossover* a due periodi. Questo disegno sperimentale a misure ripetute consiste nell'esporre i partecipanti a una sequenza di due trattamenti diversi, durante due periodi diversi, e riduce al minimo gli effetti confondenti sui risultati dovuti all'ordine di somministrazione dei trattamenti. In tale disegno sperimentale, ogni partecipante passa da un trattamento all'altro e i miglioramenti dovuti a ciascuno dei trattamenti vengono infine confrontati. Nel nostro caso, i partecipanti sono stati esposti all'addestramento assistito dal robot e alla terapia standard, ed è stata confrontata l'efficacia di entrambi gli allenamenti sulle abilità sociali dell'individuo.

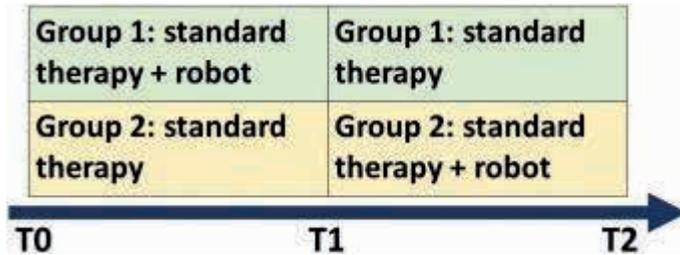


Fig. 1. *Disegno sperimentale crossover*. La figura illustra il disegno sperimentale adottato nello studio in oggetto.

Considerando il campione relativamente piccolo, abbiamo diviso i partecipanti in due gruppi: un gruppo (Gruppo 1) ha ricevuto l'addestramento assistito da robot durante il primo periodo dello studio e la terapia standard durante il secondo periodo, l'altro gruppo (Gruppo 2) ha ricevuto i trattamenti in ordine inverso. I bambini sono stati assegnati ai due gruppi sulla base delle osservazioni cliniche e dei risultati di ADOS e ADI-R; i bambini con DSA sono solitamente raggruppati in tre livelli funzionali, secondo i criteri delineati nel DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013)

- il Livello 1 di DSA comprende gli individui che necessitano di supporto a causa delle loro difficoltà nell'iniziare l'interazione sociale e nell'organizzazione e nella pianificazione;
- il Livello 2 include gli individui che necessitano di un supporto sostanziale, poiché le loro interazioni sociali sono solitamente limitate a ristretti interessi speciali e accompagnate da comportamenti ristretti e/o ripetitivi;
- il Livello 3 si riferisce a individui che necessitano di un supporto molto consistente, a causa di gravi deficit nella comunicazione sociale e il loro forte disagio può essere causato dal cambiare comportamento o dal concentrarsi su determinate attività.

Sebbene suddividere gli individui con autismo esclusivamente in base ai livelli funzionali del DSM-5 possa essere considerato una semplificazione eccessiva delle manifestazioni cliniche dello spettro autistico, abbiamo voluto massimizzare, per quanto possibile, l'omogeneità tra i gruppi di studio, in termini di profili funzionali. Pertanto, abbiamo considerato i livelli funzionali del DSM-5 per assegnare in modo pseudo-casuale i bambini ai due gruppi sperimentali. Inoltre, abbiamo bilanciato l'età cronologica dei bambini tra i gruppi (vedere la Tabella 1 per i dettagli).

Livelli del DSM-5	4 anni		5 anni		6 anni		7 anni		Totale
	Gruppo 1	Gruppo 2							
Livello 1	2	3	2	2	1	1	2	1	14
Livello 2	1	1	1	2	2	2	0	1	10
Livello 3	2	1	2	2	2	1	1	1	12
Totale	5	5	5	6	5	4	3	3	

Tabella 1. *Campione iniziale*. Raggruppamento basato sui livelli funzionali del DSM-5 e sull'età cronologica.

È stato sviluppato un *setup* specifico per svolgere l'attività e il controllo del robot. Nella figura 2 è possibile osservare a sinistra il robot Cozmo e i cubi utilizzati per l'addestramento, mentre a destra è riprodotto il pannello di controllo dell'applicazione fornita ai terapeuti per eseguire l'addestramento. Utilizzando il pannello, i terapeuti hanno potuto avviare la prova (sezione B), annotare la risposta e fornire *feedback* tramite il robot (sezione D). Inoltre, i terapeuti sono stati in grado di fornire incoraggiamenti durante la prova utilizzando feedback aggiuntivi (sezione A) e di far muovere nuovamente il robot verso il cubo bersaglio (sezione C).

Intervento di studio

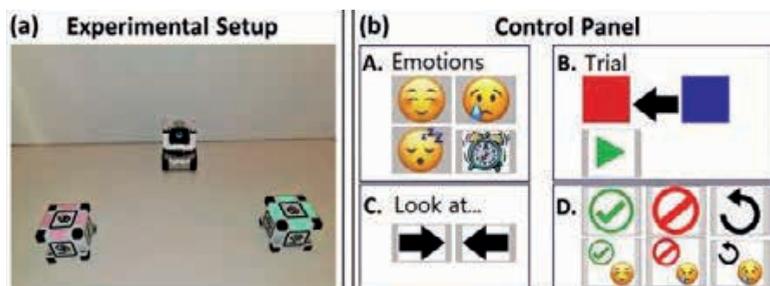


Fig. 2. *Configurazione sperimentale*

Ogni sessione di allenamento consisteva in dodici turni di gioco con il robot, della durata complessiva di circa dieci minuti. Durante ogni turno, il robot e il bambino si trovavano uno di fronte all'altro. Due cubi elettronici erano posizionati tra il robot e il bambino.

All'inizio di ogni turno, i due cubi si illuminavano di due colori diversi. Il robot si girava verso uno dei due cubi, lo "guardava" per alcuni secondi e tornava alla posizione iniziale, "fissando" il bambino. Quindi, l'operatore sanitario chiedeva al bambino quale dei due cubi Cozmo stesse guardando. Al bambino era consentito rispondere verbalmente o manualmente (indicando il cubo, toccandolo o toccando il colore corrispondente su una striscia comunicativa). In base alla correttezza della risposta del bambino, il robot

reagiva con un sorriso (*feedback* positivo) o con una faccina triste (*feedback* negativo). Inoltre, al terapeuta era consentito evitare di fornire *feedback* nel caso in cui fosse stato valutato come non necessario o controproducente. Dopo il *feedback* di Cozmo, il turno terminava e iniziava un nuovo turno. La durata relativamente breve di ogni sessione di allenamento è stata determinata per ridurre al minimo il conflitto con altre attività terapeutiche svolte dai medici. Inoltre, per garantire agli operatori sanitari la possibilità di svolgere le attività in parallelo ed evitare problemi di coordinamento, sono stati utilizzati per lo studio un totale di cinque robot Cozmo. L'interfaccia personalizzata sviluppata per il controllo del robot è stata installata sul computer di ciascun operatore sanitario, in modo che tutti nella struttura potessero accedervi in caso di sostituzioni.

Il principale risultato dello studio è stato il miglioramento clinico misurato utilizzando la Early Social Communication Scale (ESCS, Seibert, Hogan e Mundy, 1982). La scala è stata utilizzata per valutare le capacità sociali e comunicative dei bambini prima dell'inizio delle attività e dopo ogni fase dello studio.

La scala consiste in un'osservazione strutturata che valuta le abilità sociali del bambino in diverse situazioni semi-strutturate. In particolare, lo strumento valuta tre dimensioni: Interazione Sociale, Attenzione Congiunta e Richieste Comportamentali. Queste tre componenti vengono valutate in parallelo e sono interdipendenti. La dimensione Interazione Sociale si riferisce alla tendenza del bambino a impegnarsi in interazioni giocose con gli altri, rispettando il proprio turno. La dimensione Attenzione Congiunta si riferisce alla capacità dell'individuo di utilizzare il comportamento non verbale per condividere l'esperienza degli oggetti con gli altri. La dimensione Richieste Comportamentali si riferisce alla capacità del bambino di utilizzare le abilità non verbali per richiedere aiuto nell'ottenere oggetti. L'ESCS è spesso utilizzata dagli operatori sanitari per valutare le abilità sociali non verbali dei bambini con DSA. Nel caso di individui neurotipici, la scala viene somministrata a bambini con un'età mentale compresa tra 8 e 30 mesi. Tuttavia, la versione italiana della scala è ampiamente utilizzata per valutare le competenze sociali dei bambini più grandi in caso di comprovati deficit comunicativi (Molina et al., 2016). Pertanto, per il presente studio, abbiamo adottato l'ESCS, tenendo conto dell'eterogeneità delle competenze comunicative tra i bambini autistici del nostro campione e della presenza di individui non comunicativi. Questa scelta ha permesso di evitare l'esclusione dei partecipanti basata esclusivamente sulle loro competenze comunicative e ha anche permesso di valutare l'efficacia del nostro training assistito da robot con una misura clinicamente valida e uniforme.

Dopo la prima valutazione con l'ESCS (T₀), tutti i bambini sono stati sottoposti a una fase iniziale di familiarizzazione con il robot, consistente in un prototipo dell'addestramento vero e proprio. Questa fase era necessaria per valutare se i bambini fossero in grado di comprendere le istruzioni e di impegnarsi nelle attività con il robot. Dopo la fase di familiarizzazione, dieci bambini sono stati esclusi dallo studio, poiché non erano in grado di comprendere le istruzioni del gioco o si sentivano a disagio/disinteressati alle attività con il robot. Subito dopo la fase di familiarizzazione, il Gruppo 1 ha iniziato il periodo di addestramento assistito dal robot, mentre il Gruppo 2 ha continuato la terapia standard per le successive cinque settimane. Dopo che il Gruppo 1 ha completato il periodo di addestramento assistito dal robot, entrambi i gruppi sono stati valutati (T₁) utilizzando l'ESCS. Successivamente, il Gruppo 2 ha iniziato il periodo di addestramento assistito dal robot, mentre il Gruppo 1 ha ricevuto la terapia standard, per un totale di

cinque settimane. Infine, entrambi i gruppi sono stati valutati una terza volta utilizzando l'ESCS (T2). Come risultato del nostro disegno sperimentale, entrambi i gruppi sono stati sottoposti ad addestramento assistito dal robot, due volte a settimana, per cinque settimane. La durata del training era compresa tra 10 e 15 minuti a sessione.

Durante il secondo periodo di addestramento assistito da robot, due bambini sono stati ritirati dallo studio dalle rispettive famiglie per motivi personali e di conseguenza esclusi dal campione finale. Un totale di ventiquattro bambini (età = $5,79 \pm 1,02$, 5 femmine, QI (Griffith) = $58,08 \pm 19,39$) hanno completato sia la fase di addestramento che quella di controllo.

Livelli del DSM-5	4 anni		5 anni		6 anni		7 anni		Totale
	Gruppo 1	Gruppo 2							
Livello 1	1	1	1	1	1	2	2	2	11
Livello 2	0	0	0	1	1	2	1	1	6
Livello 3	1	0	2	1	1	1	1	0	7
Totale	2	1	3	3	3	5	4	3	

Tabella 2. Campione finale. Raggruppamento basato sui livelli funzionali del DSM-5 e sull'età cronologica.

Tabella 2. *Campione finale*. Raggruppamento basato sui livelli funzionali del DSM-5 e sull'età cronologica.

Considerate le distribuzioni sbilanciate dei nostri punteggi ESCS, la variabile dipendente delle analisi relative al miglioramento su ciascuna sottoscala ESCS era la differenza calcolata tra due valutazioni successive ($T_1 - T_0$; $T_2 - T_1$; la Tabella 3 riporta i punteggi ESCS medi in ciascun punto temporale per gruppo).

Tabella 3. *Punteggi ESCS*. Punteggi medi delle abilità sociali valutate con l'ESCS nel Gruppo 1 e nel Gruppo 2 nei periodi dello studio.

Gruppo	Dimensione	Sottodimensione	T0	T1	T2	
Gruppo 1	Interazione sociale (SI)	Avvio di SI	4,43 ± 5,63	14,72 ± 8,44	14,80 ± 8,47	
		Rispondere a SI	10,52 ± 10,77	14,65 ± 9,96	16,21 ± 9,54	
		Mantenere SI	5,73 ± 9,18	10,73 ± 10,64	10,73 ± 10,64	
	Richieste comportamentali (BR)	Avvio di BR	8,96 ± 8,36	12,71 ± 8,69	15,00 ± 7,23	
		Rispondendo a BR	8,02 ± 8,86	10,15 ± 8,10	10,33 ± 7,94	
		Attenzione congiunta (JA)	2,58 ± 5,63	4,04 ± 5,95	4,18 ± 5,87	
	Attenzione congiunta (JA)	Avvio di JA	2,58 ± 5,63	4,04 ± 5,95	4,18 ± 5,87	
		Rispondendo a JA	9,48 ± 9,00	14,45 ± 8,24	14,95 ± 8,14	
		Mantenere JA	5,24 ± 6,44	9,17 ± 7,60	9,98 ± 8,01	
	Gruppo 2	Interazione sociale (SI)	Avvio di SI	12,86 ± 10,80	15,36 ± 8,80	16,93 ± 7,83
			Rispondere a SI	12,44 ± 10,22	16,10 ± 9,74	18,75 ± 8,34
			Mantenere SI	8,51 ± 10,43	10,83 ± 10,59	15,74 ± 10,15
Richieste comportamentali (BR)		Avvio di BR	11,35 ± 10,08	10,10 ± 7,47	17,64 ± 6,84	
		Rispondendo a BR	9,63 ± 7,69	10,88 ± 7,20	15,08 ± 5,62	
		Attenzione congiunta (JA)	2,13 ± 2,70	4,63 ± 5,85	7,44 ± 6,97	
Attenzione congiunta (JA)		Avvio di JA	2,13 ± 2,70	4,63 ± 5,85	7,44 ± 6,97	
		Rispondendo a JA	11,73 ± 9,15	15,40 ± 9,16	18,53 ± 6,15	
		Mantenere JA	9,52 ± 6,93	11,41 ± 8,59	14,89 ± 7,52	

Tabella 3. Punteggi ESCS. Punteggi medi delle abilità sociali valutate con l'ESCS nel Gruppo 1 e nel Gruppo 2 nei periodi dello studio.

Quali sono stati gli effetti del trattamento robot-assistito?

La combinazione tra la terapia standard e l'addestramento assistito dal robot si è rivelata più efficace della sola terapia standard nel migliorare la tendenza dei bambini a iniziare l'interazione sociale [$\beta = 4,64$, $t_{23} = 2,39$, $p = 0,026$, 95% CI = (0,83, 8,45)] (Trattamenti combinati: $M = 5,93$, $SE = 1,38$; Terapia standard: $M = 1,29$, $SE = 1,38$). Tuttavia, non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra i trattamenti per quanto riguarda il miglioramento della tendenza dei bambini a rispondere all'interazione sociale [$\beta = 0,77$, $t_{23} = 0,51$, $p > 0,05$, 95% CI = (-2,17, 3,72)] (Trattamenti combinati: $M = 3,39$, $SE = 1,06$; Terapia standard: $M = 2,61$, $SE = 1,06$). Inoltre, è stata riscontrata solo una differenza marginale tra i trattamenti per quanto riguarda la tendenza a mantenere l'interazione sociale [$\beta = 3,79$, $t_{23} = 2,06$, $p = 0,051$, 95% CI = (0,18, 7,41)] (Trattamenti combinati: $M = 4,95$, $SE = 1,30$; Terapia standard: $M = 1,16$, $SE = 1,30$).

La combinazione tra la terapia standard e l'addestramento assistito dal robot è stata più efficace della sola terapia standard nel migliorare la tendenza dei bambini a iniziare richieste comportamentali [$\beta = 5,12$, $t_{23} = 2,95$, $p = 0,007$, 95 % CI = (1,73, 8,52)] (Trattamenti combinati: $M = 5,64$, $SE = 1,23$; Terapia standard: $M = 0,52$, $SE = 1,23$) (Fig. 3 a). Inoltre, abbiamo trovato una differenza marginale tra i trattamenti sul miglioramento della tendenza dei bambini a rispondere alle richieste comportamentali [$\beta = 2,45$, $t_{23} = 2,07$, $p = 0,050$, 95 % CI = (0,14, 4,76)] (Trattamenti combinati: $M = 3,17$, $SE = 0,84$; Terapia standard: $M = 0,72$, $SE = 0,84$) (Fig. 3 b).

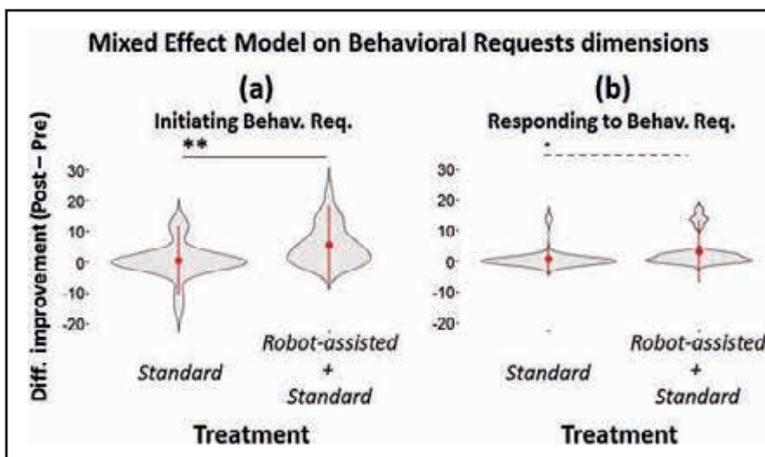


Fig. 3. Miglioramenti nelle richieste comportamentali. Grafico a violino che riassume l'effetto fisso sulle dimensioni delle richieste comportamentali dovuto all'intervento assistito da robot. I punti rossi indicano i valori medi. Le barre rosse indicano +/- 1 errore standard. Gli asterischi indicano differenze significative (** $p < 0,01$; * $p < 0,05$). Il punto nero indica un confronto marginalmente significativo ($0,05 < p < 0,055$). (Per l'interpretazione dei riferimenti al colore nella legenda di questa figura, si rimanda il lettore alla versione web di questo articolo).

I risultati della sperimentazione indicano che questa interazione relativamente semplice e prevedibile con un robot giocattolo commerciale è stata utile per incoraggiare i bambini a iniziare interazioni sociali e a formulare richieste non verbali durante

l'interazione con un adulto. In generale, l'esposizione ripetuta al comportamento del robot si è tradotta nel potenziamento di competenze sociali fondamentali, cruciali per un individuo con limitate capacità comunicative. Per una comprensione più approfondita del significato dei nostri risultati, è necessario interpretarli insieme alla scala che abbiamo utilizzato per la valutazione delle competenze sociali.

L'ESCS è ampiamente utilizzato in ambito clinico durante la procedura di valutazione dei bambini con disturbi del neurosviluppo. Una delle caratteristiche chiave valutate con questa scala è la capacità del bambino di comprendere e comportarsi secondo le regole del rispetto dei turni e della comunicazione durante scenari ludici (Seibert et al., 1982). Infatti, l'ESCS valuta la capacità del bambino di comunicare in modo efficiente, formulando richieste e rispondendo alle attività proposte dall'adulto. In particolare, la sottoscala relativa alla Richiesta Comportamentale si concentra sulle strategie non verbali che il bambino utilizza per comunicare un desiderio all'adulto o per rispondere alle sue richieste. La sottoscala relativa all'Interazione Sociale si riferisce alla tendenza spontanea del bambino a partecipare ad attività ludiche con un atteggiamento positivo. La sottoscala relativa ai comportamenti di attenzione congiunta si riferisce alla tendenza del bambino a utilizzare comportamenti non verbali per condividere l'esperienza di oggetti o eventi con gli altri. Dato il design del nostro training, si ipotizza che i bambini inclusi nello studio abbiano esplorato principalmente la capacità di comunicare richieste e rispettare i turni durante l'interazione. Il compito richiedeva al bambino di rispondere indicando il colore del cubo verso cui il robot si stava girando. Ciò richiedeva al bambino di interpretare il comportamento del robot come una richiesta non verbale, simile a un gesto di indicare o di guardare. Ipotizziamo che l'esposizione ripetuta alle richieste non verbali del robot, durante un gioco a turni, abbia promosso la tendenza dei bambini a mostrare gesti non verbali simili durante l'interazione spontanea con l'adulto. La mancanza di effetto del training sul punteggio di attenzione congiunta nell'ESCS potrebbe essere dovuta al fatto che l'ESCS considera l'attenzione congiunta come la tendenza a condividere esperienze di oggetti o eventi con gli altri, senza uno scopo strumentale o imperativo. Il training che abbiamo progettato non era mirato a coprire questo aspetto dell'interazione, poiché la comunicazione non verbale del robot ha sempre avuto una connotazione strumentale. Inoltre, il robot non è stato presentato come un partner sociale durante le attività. Ciò potrebbe aver ridotto la motivazione sociale e il coinvolgimento dei bambini nei confronti del giocattolo. Pertanto, la mancanza di un effetto significativo sull'attenzione congiunta dei bambini è coerente con la progettazione del training. È interessante notare che il robot giocattolo che abbiamo utilizzato per questo studio era estremamente semplice e che il miglioramento delle abilità sociali non ha richiesto l'esposizione dei bambini a un robot umanoide, che sarebbe stato in grado di mostrare un comportamento di indicazione o di sguardo più accurato. Questo suggerisce che i bambini con DSA potrebbero essere in grado di astrarre il comportamento mostrato da un robot e di adattarlo al loro repertorio comportamentale. Nel nostro studio, ciò si è tradotto in un miglioramento significativo nella capacità dei bambini di avviare interazioni sociali e richieste comportamentali adottando strategie di comunicazione non verbale.

iCUB: l'utilizzo di un robot umanoide per incrementare le competenze sociali

È stato già introdotto il concetto di *scaffolding* e come è possibile considerare tra le risorse ambientali a disposizione per l'accrescimento delle competenze anche la tec-

nologia. Con questo ulteriore step di ricerca si è voluta esplorare la possibilità che le tecnologie, che possono interagire fisicamente con gli esseri umani e condividere il loro ambiente, possano essere sfruttate come strumenti per addestrare la cognizione sociale.

Come esempio *proof-of-concept*, possiamo prendere La Teoria della Mente (ToM) (Premack e Woodruff, 1978). ToM si riferisce alla capacità di comprendere i processi mentali alla base del comportamento altrui (Singer, 2006). La ToM è considerata uno dei meccanismi più cruciali della cognizione sociale (Bjorklund et al., 2005) e, negli individui neurotipici, si sviluppa attraverso la naturale interazione iterativa con l'ambiente sociale (Slaughter, 2015), che ne sostiene il consolidamento.

Durante la prima infanzia, l'interazione con i caregivers consente agli individui una comprensione graduale della distinzione implicita (di basso livello) tra stati mentali interiori e realtà esterna, differenziando ciò che è il "Sé" da ciò che è "l'altro-da-Sé" (Gallagher e Frith, 2003; Liu et al., 2004). Questa capacità di disaccoppiamento è un requisito fondamentale per i processi di livello superiore, come l'esplicita inibizione della propria prospettiva a favore delle prospettive altrui. Questo, a sua volta, consente di elaborare l'incongruenza tra i propri stati mentali e quelli degli altri (Baron-Cohen et al., 2013). Queste due abilità (cioè il disaccoppiamento e la comprensione dell'incongruenza) sono componenti chiave della ToM, consentendo la separazione della propria mente da quella di un altro e affrontando le differenze tra i rispettivi stati mentali.

È interessante notare che lo sviluppo atipico dei meccanismi di disaccoppiamento e di comprensione dell'incongruenza caratterizza una serie di condizioni atipiche (Moriguchi et al., 2006; Sprong et al., 2007) e sono elementi nucleari in individui con diagnosi di Disturbo dello Spettro Autistico (DSA) (Rosen et al., 2021). Sfruttare l'ambiente come *scaffolding* per consolidare la cognizione sociale sembra essere estremamente impegnativo per le persone con DSA, che di solito trovano difficile navigare nell'interazione (Quiñones-Camacho et al., 2021). In effetti, gli esseri umani generano una quantità schiacciante di informazioni sociali che possono sovraccaricare gli individui con DSA, portando alla sensazione di esaurimento sociale, stress ed espressioni cliniche di ansia (Dell'Osso et al., 2021). Tuttavia, i robot umanoidi che possono imitare da vicino il comportamento umano, potrebbero essere utilizzate per esporre le persone con DSA a prototipi semplificati di interazione sociale. L'interazione con un robot umanoide è meno complessa da esplorare rispetto all'ambiente sociale naturale. Pertanto, questo tipo di "proxy" dell'interazione sociale potrebbe essere vantaggioso per coloro che si sentono spesso sopraffatti dalle tipiche interazioni sociali con altri esseri umani.

Per testare questo approccio, è stato progettato un protocollo di interazione con il robot umanoide iCub (Metta et al., 2010) che è stato incorporato nelle attività di riabilitazione standard pianificate per un gruppo di bambini con DSA. Obiettivo: esercitare comportamenti legati ai meccanismi di disaccoppiamento e comprensione dell'incongruenza, poiché queste abilità sono componenti fondamentali della ToM. Per determinare se il repertorio motorio simile a quello umano di un robot è cruciale per il successo dell'approccio, è stato progettato uno studio di controllo attivo in cui un altro gruppo di bambini con DSA era impegnato nell'interazione con un robot giocattolo non umano, Cozmo, che non poteva manipolare oggetti. È importante sottolineare che il compito dei bambini in questi due gruppi era identico. È stato ipotizzato che il protocollo con l'umanoide possa evocare meccanismi di cognizione sociale necessari per consolidare le capacità di ToM. È stato inoltre ipotizzato che questo effetto possa essere unico per

il robot umanoide e non emergerebbe necessariamente con il robot giocattolo, date le limitate capacità comportamentali di quest'ultimo. Questa ipotesi si basa sul presupposto che una forma e un repertorio motorio simili a quelli umani può consentire di evocare meccanismi impliciti e residui di simulazione sensomotoria (Roselli et al., 2022; Sahai et al., 2017; Wykowska et al., 2016) .

Il compito (in entrambe le condizioni del robot) consisteva in un gioco di presa di prospettiva visuo-spaziale, sviluppato *ad hoc* per questo esperimento. Durante il compito, il robot è stato posizionato sul lato opposto del bambino, con un piccolo dado posizionato tra il bambino e Cozmo (condizione di robot-giocattolo) o consegnato all'i-Cub e tenuto in mano (condizione umanoide). Il compito dei bambini era determinare quale lato del dado stava guardando il robot. Poiché i bambini erano seduti sul lato opposto del robot, il lato dei dadi visibile dal punto di vista del robot era diverso dal punto di vista dei bambini. Pertanto, rispondere alla domanda su ciò che il robot stava guardando richiedeva entrambi i meccanismi di disaccoppiamento e comprensione dell'incongruenza (Figura 4).

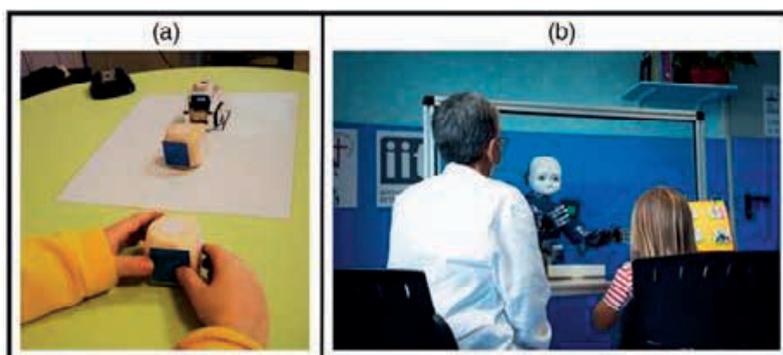


Fig. 4. *Setup sperimentale*. A sinistra: il robot Cozmo gioca con un bambino durante una seduta del trattamento. A destra: prototipo di allestimento progettato per l'addestramento assistito da iCub.

L'interazione con iCUB

Le attività di training sono state svolte utilizzando iCub (Metta et al., 2010), un robot umanoide. Ogni sessione di allenamento era inserita nel piano di trattamento standard dei bambini e consisteva in otto turni, della durata totale di circa 15 minuti. Durante ogni turno, iCub e il bambino si fronteggiavano. Al bambino sono stati dati due dadi morbidi identici. Due stimoli bersaglio sono stati attaccati ai due lati opposti di ciascun dado, in modo che fosse impossibile guardare i due bersagli contemporaneamente. Dopo aver verificato che i due dadi fossero identici, al bambino è stato chiesto (con l'assistenza della terapeuta) di passare uno dei dadi al robot che, afferrandolo, ringraziava il bambino, per poi sollevarlo ed esplorarlo, ruotandolo. Il secondo dado è rimasto in possesso del bambino, così da poterlo ruotare e osservare per tutta la durata del turno. Quindi, il robot è stato programmato per tenere i dadi in modo tale che uno stimolo target fosse visibile solo dal punto di vista del bambino, mentre l'altro lo fosse solo dal punto di

vista del robot. Al bambino è stato chiesto di guardare i dadi del robot e di indicare quale lato era visibile dalla prospettiva di ciascun giocatore. Alla fine, il robot ha fornito un *feedback* basato sulla correttezza della risposta del bambino, congratulandosi con lui per le risposte corrette e incoraggiando nuovi tentativi di risposte errate. Il protocollo di allenamento è stato svolto due volte a settimana per 8 settimane, comprendendo quindi sedici sessioni da 15 minuti. Ogni sessione consisteva in otto prove. Se un bambino rispondeva correttamente nel 75% delle prove (sei su otto), passava alla seduta successiva, altrimenti la seduta veniva ripetuta in un altro giorno della stessa settimana per un massimo di tre volte. Quando il bambino non è in grado di superare una sessione per tre volte di seguito, torna al livello di complessità precedente, per consolidare i risultati di apprendimento acquisiti fino a quella sessione. Tuttavia, tutti i bambini inclusi nel presente studio hanno raggiunto il massimo livello di difficoltà durante le sessioni finali del training.

Le interazioni con Cozmo

Come condizione di controllo attivo, è stato progettato un addestramento simile utilizzando Cozmo (Anki Robotics, San Francisco, CA, USA), un piccolo robot giocattolo commerciale. L'obiettivo era progettare una condizione di controllo con un robot che avesse un repertorio motorio diverso rispetto al robot umanoide iCub. Ciò era correlato alla nostra ipotesi che la simulazione sensomotoria svolge un ruolo nell'acquisizione di abilità socio-cognitive. Gli stimoli target, così come la struttura del gioco, erano identici nei protocolli di allenamento Cozmo e iCub. Tuttavia, dato il limitato repertorio motorio di Cozmo, non vi è stata alcuna manipolazione dei dadi. Pertanto, i dadi assegnati al robot Cozmo sono stati posizionati dal terapeuta in modo tale che uno stimolo target fosse visibile solo dalla prospettiva del bambino e l'altro visibile solo dalla prospettiva del robot. Il Cozmo era programmato per muoversi verso i suoi dadi e fermarsi di fronte ad esso, con aria perplessa. Inoltre, il *feedback* fornito dal robot era più semplice (cioè ballare allegramente e cantare o lamentarsi mentre arretrava con rabbia) e tutte le sue azioni erano controllate direttamente dal terapeuta, senza il coinvolgimento di uno sperimentatore. Tenendo conto della limitazione motoria di Cozmo, e per rendere il gioco il più coinvolgente possibile, al termine di ogni prova è stata data al terapeuta la possibilità di mostrare la prospettiva del robot su un tablet trasmettendo in streaming le informazioni visive raccolte dalla telecamera frontale del robot.

Per ogni training si è optato per un design *crossover* a due periodi. Questo disegno a misura ripetuta consiste nell'esporre i partecipanti a una sequenza di due diversi trattamenti (terapia assistita da robot e terapia tradizionale), durante due periodi diversi, riducendo al minimo gli effetti confondenti dovuti all'ordine di somministrazione dei trattamenti. In un tale progetto, ogni partecipante passa da un trattamento all'altro e alla fine vengono confrontati i miglioramenti nelle capacità di cognizione sociale dovuti a ciascuno dei trattamenti. Nel nostro caso, i partecipanti sono stati esposti a uno dei due allenamenti assistiti da robot e alla terapia standard, e l'efficacia di tutte le sessioni di allenamento sulla cognizione sociale dell'individuo è stata confrontata in diversi momenti temporali (T₀, T₁ e T₂; vedi Figura 5).

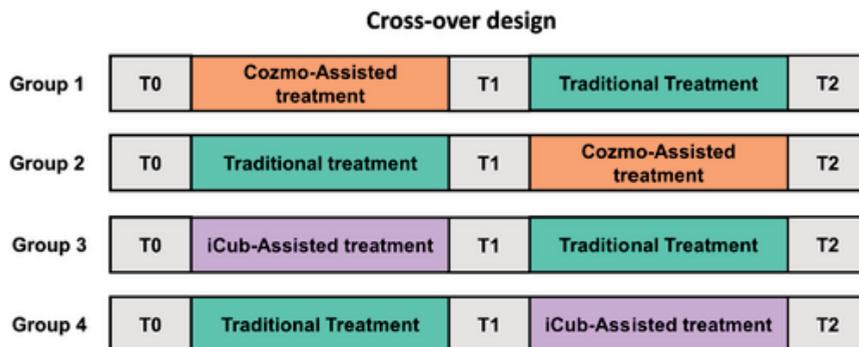


Fig. 5. Design crossover adottato nello studio

All'inizio e alla fine di ogni periodo del progetto, le capacità di cognizione sociale dei bambini sono state valutate utilizzando NEPSY-II (Korkman et al., 2007; vedi anche Brooks et al., 2009). NEPSY-II è una batteria di test comunemente utilizzati in ambito clinico per valutare lo sviluppo neuropsicologico nei bambini di età compresa tra 3 e 16 anni. Considerando la progettazione della formazione, ci siamo concentrati solo su due componenti di NEPSY-II:

- il punteggio combinato delle due sottoscale di Theory of Mind 3 è stato utilizzato per valutare la capacità dei bambini di spiegare e prevedere il comportamento individuale in base ai loro stati mentali e consiste in brevi narrazioni che coinvolgono personaggi con conoscenza incongruente di determinate situazioni. Questo subtest è comunemente usato per valutare la capacità dei bambini di comprendere prospettive, esperienze e credenze degli altri e per valutare la cognizione sociale negli individui con DSA (vedi, ad esempio, Kilroy et al., 2022; Simmons et al., 2020);

- la sottoscala Geometric Puzzle è stata utilizzata per valutare le abilità visuospatiali dei bambini 4 e consiste in immagini di grandi griglie contenenti diverse forme che il bambino deve abbinare con le stesse forme presentate al di fuori della griglia.

Le scale sono state somministrate a T0, T1 e T2. Per ciascuna dimensione, i punteggi grezzi sono stati standardizzati in base alla fascia di età e alle popolazioni di riferimento, per adattarsi a una distribuzione normale con una media di 10 e una deviazione standard di 3, come suggerito nel manuale della batteria. I punteggi scalari vanno da 1 (corrispondente alla prestazione più bassa) a 19 (corrispondente alla prestazione più alta).

Considerando l'eterogeneità della manifestazione di DSA, la variabile dipendente considerata per le analisi principali era la differenza (delta, ▲) calcolata tra due successive valutazioni NEPSY-II (cioè T1-T0; T2-T1). La tabella 4 riporta i punteggi medi scalati divisi per gruppo e momento della valutazione.

gruppo	NEPSY II					
	T0		T1		T2	
	Tom	Puzzle geometrici	Tom	Puzzle geometrici	Tom	Puzzle geometrici
Gruppo 1	4.82	6.64	7.73	7.64	9.36	8.73
Gruppo 2	3.92	7.83	6.00	5.92	6.75	9.08
Gruppo 3	5.55	6.27	10.36	9.91	10.64	10:00
Gruppo 4	5.00	8.00	6.09	8.45	9.18	11.09

Tabella 4. *Punteggi medi scalati suddivisi per gruppo e momento della valutazione*

L'analisi dei dati ha mostrato un effetto principale del tipo di allenamento sulle capacità di teoria della mente (ToM) dei bambini [$F_{(2, 87)} = 9,62, p < 0,001$]. I confronti pianificati hanno mostrato che l'addestramento con il robot umanoide ha avuto successo nell'aumentare le capacità di ToM dei bambini più del trattamento tradizionale ($\beta_{Stima} = 2,67, t_{87} = 4,30, p < 0,001$; $CI_{inferiore} = 1,47, CI_{superiore} = 3,86$) e il Cozmo- Allenamento assistito ($\beta_{Stima} = 2.17, t_{87} = 3.01, p = 0.009$; $CI_{inferiore} = 1.47, CI_{superiore} = 3.86$), mentre nessuna differenza è stata riscontrata tra questi ultimi due interventi ($p > 0.05$) (Figura 6a). Abbiamo anche riscontrato un significativo effetto principale del trattamento sulle capacità visuospatiali dei bambini nella risoluzione di puzzle geometrici ($F_{(2, 87)} = 9,26, p < 0,001$). I confronti pianificati hanno rivelato che il trattamento tradizionale era meno efficace sia del trattamento Cozmo-Assisted ($\beta_{Stima} = 2,20, t_{87} = 2,80, p = 0,006$; $IC_{inferiore} = 1,47, IC_{superiore} = 3,86$) sia del trattamento iCub-Assisted ($\beta_{Stima} = 3,20, t_{87} = 4,02, p < 0,001$; $CI_{inferiore} = 1,47, CI_{superiore} = 3,86$), mentre nessuna differenza è stata trovata tra i due trattamenti assistiti da robot ($p > 0,05$) (Figura 6b).

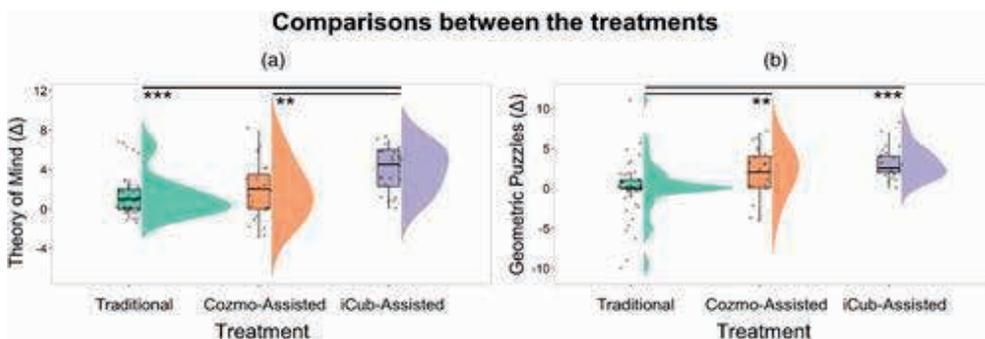


Fig. 6. *Grafico della nuvola di pioggia che riassume gli effetti fissi dei due allenamenti assistiti da robot sulle sottoscale NEPSY-II Geometric Puzzles (a) e Theory of Mind (b). I punti neri indicano i singoli punti dati. Le linee orizzontali all'interno dei box plot indicano il valore mediano di ciascuna distribuzione. Le linee orizzontali fuori dal box plot indicano confronti significativi. Gli asterischi denotano una differenza significativa (***) $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$).*

I risultati mostrano come le abilità di ToM misurate con la scala standardizzata NEPSY sono migliorate maggiormente dopo che i bambini hanno interagito con l'umanoide, rispetto alle altre due condizioni. È possibile ipotizzare che questo effetto sia dovuto al repertorio comportamentale (e motorio) dell'umanoide, che può agire insieme all'utente in uno spazio condiviso e manipolare oggetti in modo umano. Ciò renderebbe più facile simulare – a livello sensomotorio – le azioni compiute dal robot, facilitando l'azione congiunta. In quanto tali, i risultati dello studio forniscono un'importante informazione: supportare lo sviluppo delle capacità di cognizione sociale non riguarda solo il compito, ma anche il modo in cui il compito viene svolto dal punto di vista dell'azione stessa. In altre parole, l'azione deve essere simile al (ed evocativa del) comportamento umano, inclusa la possibilità di manipolare oggetti e agire sull'ambiente. Questo aspetto sembra essere cruciale per le capacità di cognizione sociale di alto livello, come la ToM.

Il percorso sperimentale fin qui sviluppato ha visto lavorare i bambini con agenti robotici per sviluppare competenze via via più complesse e astratte: si è iniziato con l'attenzione congiunta, passando per la prospettiva spaziale e lavorando sulla Teoria della Mente (ToM).

Ad oggi sono state sperimentati (ma ancora in via di pubblicazione) altri training legati alla "simulazione" di attività quotidiane, come andare al cinema, in gelateria, ecc. (focus incentrato su specifiche richieste comportamentali, attenzione condivisa, *turn-taking*, segnali sociali), e sono in fase di sviluppo attività incentrate sulle "autonomie" e "capacità narrative" (focus su sequenze per compiti della vita quotidiana – preparare un panino, lavarsi i denti, ecc. –, sulle competenze narrative, partendo dalla costruzione di storie per arrivare a parlare di sé, e sulla gestione di dinamiche stressogene (esami, interazione con persone nuove, interrogazioni, ecc.).



Questo percorso è stato possibile grazie a un continuo lavoro di confronto che ha visto coinvolti terapisti, clinici e ricercatori, con l'obiettivo di sviluppare protocolli riabilitativi efficaci ma sufficientemente strutturati metodologicamente da avere valore di ricerca scientifica.

Per questo si ringraziano le terapisti del Centro Boggiano Pico, che negli anni, con il loro continuo supporto hanno permesso e permettono il proseguo di questa avventura.

BIBLIOGRAFIA

Ahmadi, D. e Reza, M. (2018). The use of technology in English language learning: A literature review. *International Journal of Research in English Education*, 3(2), 115-125.

Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H. e Lombardo, M. (2013). *Understanding other minds: Perspectives from developmental social neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.

Bjorklund, D. F., Cormier, C. A. e Rosenberg, J. S. (2005). The evolution of theory of mind: Big brains, social complexity, and inhibition. In W. Schneider (Ed.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (Vol. 318, pp. 147-174). London: Psychology Press.

Bliss, J., Askew, M. e Macrae, S. (1996). Effective teaching and learning: Scaffolding revisited. *Oxford Review of Education*, 22(1), 37-61.

Brooks, B. L., Sherman, E. M. S. e Strauss, E. (2009). NEPSY-II: A developmental neuropsychological assessment, Second Edition. *Child Neuropsychology*, 16(1), 80-101.

Clark, A. e Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7-19.

Croce, L. e Di Cosimo, F. (2009). Partecipazione, interazioni e ruolo sociale delle Persone con Disabilità Intellettiva: che cosa abbiamo imparato dal Modello dei Sostegni, Relazione tenuta al convegno internazionale promosso da Mediterraneo Senza Handicap a Nizza il 21 aprile 2009. *Disabilities*, 7(4), 283-294.

Croce, L., Faini, M., Cottini, L., Buntinx, W., Schalock, R. L., Leopardi M., Fusaro, G., Rovetto, F., Cavagnola, R., Leoni, M. e Pilone, M. (2007). I sostegni

per incrementare la qualità di vita della persona con disabilità intellettiva e relazionale. Una sperimentazione. *AJMR, edizione italiana*, 6(3), 397-398.

Dell'Osso, L., Lorenzi, P. e Carpita, B. (2021). Camouflaging: Psychopathological meanings and clinical relevance in autism spectrum conditions. *CNS Spectrums*, 26(5), 437-439.

Gallagher, H. L. e Frith, C. D. (2003). Functional imaging of "theory of mind". *Trends in cognitive sciences*, 7(2), 77-83.

Ghiglino, D., Floris, F., De Tommaso, D., Kompatsiari, K., Chevalier, P., Priolo, T. e Wykowska, A. (2023). Artificial scaffolding: Augmenting social cognition by means of robot technology. *Autism Research*, 16(5), 997-1008.

Ghiglino, D., Chevalier, P., Ciardo, F., Floris, F., Priolo, T. e Wykowska, A. (2021). Follow the white robot: efficacy of robot-assistive training for children with autism-spectrum condition. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 86, 101822.

Grinschgl, S., Papenmeier, F. e Meyerhoff, H. S. (2021). Consequences of cognitive offloading: Boosting performance but diminishing memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(9), 1477-1496.

Kilroy, E., Ring, P., Hossain, A., Nalbach, A., Butera, C., Harrison, L., Jayashankar, A., Vigen, C., Aziz-Zadeh, L. e Cermak, S. A. (2022). Motor performance, praxis, and social skills in autism spectrum disorder and developmental coordination disorder. *Autism Research*, 15(9), 1649-1664.

Korkman, M., Kirk, U. e Kemp, S. (2007). *Nepsy-II*. San Antonio: Pearson.

Metta, G., Natale, L., Nori, F., Sandini, G., Vernon, D., Fadiga, L., von Hofsten, C., Rosander, K., Lopes, M., Santos-Victor, J., Bernardino, A. e Montesano, L. (2010). The iCub humanoid robot: An open-systems platform for research in cognitive development. *Neural Networks*, 23(8-9), 1125-1134.

Molina, P. F. M., Guidetti, M., Thommen, E., Sala, M. N., Bulgarelli, D., Ongari, B. et al. (2016). Evaluating early communicative development. *Proceedings of 17th European Conference on Developmental Psychology* (pp. 103-109). Bologna. Medimond International Proceedings.

Moriguchi, Y., Ohnishi, T., Lane, R. D., Maeda, M., Mori, T., Nemoto, K., Matsuda, H. e Komaki, G. (2006). Impaired self-awareness and theory of mind: An fMRI study of mentalizing in alexithymia. *NeuroImage*, 32(3), 1472-1482.

Newen, A., De Bruin, L. e Gallagher, S. (2018). *The Oxford handbook of 4E cognition*. Oxford: Oxford University Press.

Premack, D. e Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *The Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515-526.

Quiñones-Camacho, L. E., Fishburn, F. A., Belardi, K., Williams, D. L., Huppert, T. J. e Perlman, S. B. (2021). Dysfunction in interpersonal neural synchronization as a mechanism for social impairment in autism spectrum disorder. *Autism Research*, 14(8), 1585-1596.

Raisamo, R., Rakkolainen, I., Majaranta, P., Salminen, K., Rantala, J. e Farooq, A. (2019). Human augmentation: Past, present and future. *International Journal of Human-Computer Studies*, 131, 131-143.

Roselli, C., Ciardo, F., De Tommaso, D. e Wykowska, A. (2022). Human-likeness and attribution of intentionality predict vicarious sense of agency over humanoid robot actions. *Scientific Reports*, 12, 13845.

Seibert, J. M., Hogan, A. E. e Mundy, P. C. (1982). Assessing interactional competencies: The early social-communication scales. *Infant Mental Health Journal*, 3(4), 244-258.

Simmons, G. L., Ioannou, S., Smith, J. V., Corbett, B. A., Lerner, M. D. e White, S. W. (2020). Utility of an observational social skill assessment as a measure of social cognition in autism. *Autism Research*, 14, 709-719.

Singer, T. (2006). The neuronal basis and ontogeny of empathy and mind reading: Review of literature and implications for future research. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 855-863.

Slaughter, V. (2015). Theory of mind in infants and young children: A review. *Australian Psychologist*, 50(3), 169-172.

Sprong, M., Schothorst, P., Vos, E., Hox, J. e van Engeland, H. (2007). Theory of mind in schizophrenia: Meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry: The Journal of Mental Science*, 191, 5-13.

Wykowska, A., Chaminade, T. e Cheng, G. (2016). Embodied artificial agents for understanding human social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1693), 20150375.