

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Tesi di Dottorato

Corso di Dottorato in Mind, Gender and Language

XXXIII Ciclo

- Borsa di dottorato innovativo a caratterizzazione industriale -

Assessment e riabilitazione delle abilità sensomotorie e del linguaggio nell'autismo tramite l'utilizzo di interfacce tangibili e sistemi di analisi computazionale

Candidato

Roberta Simeoli

Tutor

Davide Marocco

Angelo Rega

Paul Walsh

Anno Accademico 2019/2020



Indice

Introduzione	7
Capitolo 1	10
1.1 Le teorie classiche e i nuovi approcci al disturbo dello spettro autistico	10
1.2 La teoria dell’embodied cognition applicata ai disturbi dello spettro autistico	14
Capitolo 2	21
2.1 Lo sviluppo linguistico e motorio nell’infanzia tipica e nell’autismo	21
2.2 I deficit del movimento e le loro ripercussioni sulla sintomatologia autistica	23
Capitolo 3	28
3.1 Gli ausili alla comunicazione nell’autismo: gli strumenti di comunicazione alternativa (CAA)	28
3.2 Materiali e metodi	28
3.2.1 LI-AR: Language Interface For AAC Rehabilitation	33
3.2.2 Disegno sperimentale	39
3.2.3 Partecipanti	40
3.2.4 Setting	41
3.2.5 Definizione della risposta e misurazioni	41
3.2.6 Procedura	42
3.3 Risultati	44
3.4 Discussioni	46
Capitolo 4	50

4.1 I limiti e le innovazioni, dal metodo osservativo ad una misura oggettiva del disturbo.	50
4.2 Metodologia	56
4.2.1 Partecipanti	56
4.2.2 Strumenti	58
4.2.3 Protocollo Sperimentale	60
4.2.4 Acquisizione dati e analisi.....	61
4.2.5 Analisi supplementari.....	63
4.2.6 Metodi di classificazione.....	64
4.3 Risultati	68
4.4 Discussioni.....	73
Capitolo 5.....	81
5.1 Studio pilota: l'utilizzo del software easy draw per la riabilitazione del movimento.....	81
5.2 Metodologia	83
5.2.1 Partecipanti.....	83
5.2.2 Strumenti	84
5.2.3 Protocollo sperimentale.....	86
5.2.4 Misurazioni.....	87
5.3 Risultati	87
5.4 Discussioni.....	89
Conclusioni.....	93
Bibliografia.....	97

Abstract

Il presente lavoro descrive un percorso metodologico che mira ad intrecciare vari approcci e costrutti che avvolgono la sfera clinica dei disturbi dello spettro autistico (ASD) al fine di riuscire ad arricchire, in maniera dinamica ed innovativa, i processi di assessment diagnosi e riabilitazione che la caratterizzano.

A partire da due approcci apparentemente lontani, *l'Embodied Cognition* e l'analisi del comportamento applicata (*Applied Behavior Analysis*), illustreremo come, avvalendoci delle potenzialità delle nuove tecnologie, possiamo ottenere nuove misure oggettive del disturbo e ridefinire i percorsi di riabilitazione a partire da esse.

A partire dai costrutti teorici dell'Embodied Cognition abbiamo immaginato e sviluppato degli strumenti ad hoc per il rilevamento di pattern di movimento specifici.

Servendoci dei principi metodologici dell'Applied Behavior Analysis, il lavoro illustra nuovi modi di affrontare la riabilitazione nell'ambito dell'autismo.

Dividendo il lavoro in tre sessioni sperimentali il lavoro illustra tre aspetti distinti ma consequenziali dell'approccio all'autismo secondo questa nuova ottica:

La prima sessione sperimentale è dedicata all'implementazione e alla verifica dell'efficacia di un nuovo strumento di comunicazione aumentativa alternativa (CAA) LI-AR, studiato ad hoc per riabilitare il comportamento comunicativo nell'autismo.

La seconda sessione sperimentale descrive le potenzialità di un nuovo strumento per il rilevamento di pattern tipici di movimento nell'autismo.

La terza sessione unisce gli approcci e propone l'utilizzo, in ambito riabilitativo, di un nuovo strumento che sfruttando una metodologia basata sul condizionamento classico e quindi di natura comportamentista, mira a riabilitare un aspetto trasparente del comportamento, ovvero, la propriocezione e i rapporti di causalità tra corpo e mondo esterno, tipicamente alterati in ASD.

Lo studio spinge a ripensare ai modi di affrontare l'autismo senza perdere di vista la storia

che ha caratterizzato la clinica del disturbo, ma anzi, a partire da essa, con l'obiettivo di potenziare i costrutti comportamentisti, ad oggi di elezione per il trattamento della sindrome, intrecciandoli ad approcci cognitivisti e cercando di sfruttare al massimo i vantaggi che oggi la tecnologia e i sistemi di intelligenza artificiale possono fornirci.

English Version

This work illustrates a methodological path that combines the different approaches surrounding the clinical field of autism spectrum disorders (ASD). This work offers an innovative point of view in order to enhance the entire clinical process of assessment, diagnosis, and rehabilitation in the field.

Trying to merge two different approaches, Embodied Cognition and Applied Behavior Analysis (ABA), we illustrate the potential of new technologies in obtaining new objective measures of ASD and in redefining rehabilitation processes to define a new multi-component approach for autism treatment.

Starting from the theoretical base of Embodied Cognition, we designed and developed a new tool for detecting autistic motor patterns.

Based on the methodological principles of Applied Behavior Analysis, the work illustrates new ways of dealing with rehabilitation processes in the field of ASD symptomatology.

The work is essentially divided into three experimental sessions:

The first experimental session describes the implementation process and the evaluation of effectiveness for a new Augmentative and Alternative Communication system (AAC) LI-AR.

A tool expressly designed to rehabilitate the communicative behavior of autistic individuals.

The second experimental session describes the potential of a new software tool for detecting typical movement patterns in autism.

The third session combines both approaches and proposes the use of an innovative rehabilitation tool.

Inspired by ABA methodology and classical conditioning theory, the tool aims to rehabilitate a transparent component of the behavior: the proprioception system and its relative awareness of the cause-effect relationship between body action and external world reaction.

Therefore, the study suggests rethinking the way of approaching autism. It points out the need not to lose the classical principles for approaching autism, as the ABA approach and behaviorism approach in general, but rather, starting from them, with the aim of strengthening them, combining them with “cognitivist” approaches, and exploiting most the advantages that technology and artificial intelligence systems can provide.

Introduzione

Il presente lavoro, si inserisce all'interno del progetto *“Sviluppo di un ibrido per la riabilitazione del linguaggio basato su interfacce tangibili e multisensoriali”* del programma dei Dottorati di ricerca innovativi con caratterizzazione industriale (Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020).

Ha previsto la collaborazione di tre importanti enti:

- Il laboratorio di tecnologie naturali ed artificiali (NAC) del dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli studi di Napoli Federico II (Supervisore: professore Davide Marocco);
- L'istituto di Ricerca e Formazione sulle disabilità IRFID S.R.L. di Ottaviano (Supervisore: dottor Angelo Rega);
- L' NSilico Lifescience Ltd, afferente al Cork Institute of Technology di Cork, Irlanda (Supervisore: professor Paul Walsh).

Il lavoro di ricerca sviluppatosi in questi tre anni ha avuto l'obiettivo di ideare, progettare e realizzare una nuova metodologia di assessment, diagnosi e riabilitazione del linguaggio e delle abilità sensomotorie nell'ambito dei disturbi dello spettro autistico (ASD). Sfruttando le possibilità di interazione uomo-macchina e le potenzialità di analisi di reti neurali artificiali abbiamo proposto un nuovo metodo clinico affidabile e robusto nel settore del technology-enhanced assessment and learning.

Potendo sfruttare la multidisciplinarietà del contesto di ricerca, costituito da psicologi, neuropsicologi ed informatici messi a disposizione dai tre enti partner del progetto, il lavoro ha avuto l'ambizione di proporre uno strumento di nuova generazione tale da rappresentare un vero e proprio paradigma innovativo per il trattamento dell'ASD.

Il presente lavoro di ricerca nasce, quindi, con l'obiettivo di arricchire e potenziare i metodi già esistenti di assessment e riabilitazione clinica sfruttando le potenzialità delle

nuove tecnologie a disposizione per proporre un nuovo approccio di analisi, assessment e riabilitazione del disturbo. La definizione e il riconoscimento della sintomatologia autistica sono sempre stati argomenti di dibattito nella letteratura scientifica e subiscono ancora oggi rimodellamenti e ridefinizioni continui, fino all'ultima definizione di autismo che propone il *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th Ed.; DSM-V; American Psychiatric Association, 2013). Ad oggi il disturbo dello spettro autistico (ASD) si definisce principalmente per la presenza di disordini della comunicazione e dell'interazione sociale e per la presenza di interessi ristretti ripetitivi e stereotipati.

In linea con numerosi studi dell'ultimo ventennio, ci si è posti l'obiettivo di individuare le radici del malfunzionamento autistico indagando anche altri aspetti disfunzionali ritenuti, per lungo tempo, aspetti marginali e/o supplementari dell'ASD. Facciamo riferimento a tutta la sfera relativa alle disfunzioni sul piano sensomotorio.

La letteratura a cui faremo riferimento fa parte di un filone di approcci teorici e di studi che guardano all'Autismo da una prospettiva legata alla ri-considerazione del movimento e dell'interazione individuo-ambiente.

Proporremo nuovi modi per utilizzare le capacità di apprendimento intelligente che le nuove tecnologie possono fornire a supporto della ricerca in ambito clinico e riabilitativo, dai sistemi di analisi più sofisticati, fino ai device più diffusamente utilizzati. Da una parte abbiamo riconsiderato i sistemi di comunicazione aumentativa alternativa (CAA) hi-tech, lavorando per sfruttare al meglio le loro potenzialità di mettere in relazione dinamicamente l'individuo con l'ambiente, facendo affidamento sulle pratiche di intervento dell'Analisi del Comportamento Applicata. Dall'altro, dopo aver analizzato e riflettuto sui molteplici contributi e sulle teorie che nel tempo hanno provato a delineare peculiarità e manifestazioni di questo disturbo, interrogandosi sulle sue origini (Kanner, 1943; Baron-Cohen et al., 1985; Frith, Happè, 1994;), passeremo alla descrizione di un

nuovo approccio per riconsiderare l'assessment e la riabilitazione dell'ASD. Passando dalla teoria dell'Embodied Cognition applicata all'autismo (De Jaegher, H., 2013) per arrivare alla rivalutazione del ruolo del corpo e dei sistemi Periferici (Valera et al., 1991; Von Holst, Mittelstaedt, 1950). Interfacciandoci con i numerosi studi che hanno analizzato le caratteristiche profonde di azioni e movimenti (Masterton & Biederman, 1983; Cattaneo et al., 2007).

Il lavoro e le teorie di Torres E. applicate all'Autismo, la sua ri-considerazione della diagnosi e dei profili di movimento di questi individui, hanno costituito i prodromi del nostro lavoro (Torres et al., 2013a; Torres et al., 2013b; Torres et al., 2020).

Infine, dunque, dopo aver scandagliato qualche riferimento specifico sull'utilizzo delle nuove tecnologie per l'assessment e la riabilitazione nei disturbi dello spettro autistico (Anzulewicz et al., 2013) proporremo i risultati ottenuti dalla sperimentazione di un nostro prototipo di movement-detection software dalle molteplici potenzialità, dalla diagnosi, all'assessment longitudinale, fino alla riabilitazione.

Capitolo 1

La sintomatologia autistica

1.1 Le teorie classiche e i nuovi approcci al disturbo dello spettro autistico

Una buona analisi della sintomatologia del disturbo non può prescindere dalla sua storia e dai numerosi approcci che sono stati sperimentati per l'osservazione, la diagnosi e la riabilitazione dell'ASD. Per questo motivo partiremo da una riesamina dei vari approcci classici, fino ad arrivare alle nuove proposte e agli studi più attuali di riconsiderazione dell'ASD, cercando di mantenere attivo il focus su tutti quegli aspetti strutturali e neuro fisiologici che probabilmente muovono i fili di tutto il disturbo.

Già nel primo saggio sull'argomento, che risale al 1943, lo psichiatra infantile Leo Kanner individua quello che definisce "Autistic Disturbance of Affective Contact". L'autore, nell'analisi di 11 piccoli pazienti, riesce a tracciare i punti chiave che identificano ancora oggi questo disturbo. La prima cosa che l'autore sottolinea è l'importanza di tenere a mente l'unicità delle manifestazioni e dei comportamenti di ogni individuo. Infatti, nonostante le somiglianze che riconducono all'Autismo, ogni caso merita considerazione rispetto alle proprie peculiarità, che devono essere messe al primo posto sia in fase di assessment che per la definizione del trattamento. Ciononostante, la sua analisi pionieristica evidenzia le tre caratteristiche comuni a tutti i casi, ancora oggi ritenute i capisaldi delle teorie sull'Autismo, quali *isolamento* rispetto a tutto ciò che viene dall'esterno, *ripetitività* nelle azioni, movimenti, comportamenti e le cosiddette *isole di capacità* (Kanner, 1943). L'autore sottolinea, inoltre, quanto, nonostante le difficoltà nello sviluppo e nell'utilizzo del linguaggio parlato, sia individui verbali che non-verbali con autismo possano avere delle buone potenzialità cognitive, mentre è dal punto di vista delle relazioni sociali che si riscontrano, in tutti i casi, i problemi più importanti. Alcuni studi degli ultimi anni avrebbero dimostrato che l'interazione con robot umanoidi sia

molto meglio accettata dai pazienti con ASD e questi possono spesso fungere da mediatori nelle acquisizioni di nuove abilità o per l'interazione sociale stessa (Esteban, P. G., et al., 2017; Kozima, L. B., et al., 2005; Conti, D., et al., 2017; Warner., J., 2008).

È proprio Kanner che inizia ad individuare nei volti dei piccoli affetti da autismo espressione di tensione ed ansia quando si trovano al cospetto di altre persone, ed è egli uno dei primi ad attribuire a queste reazioni come causa la “difficoltà nell'anticipare il possibile interferire di queste persone nella propria stabilità” (Kanner, 1943). L'autore è inoltre uno dei primi ad osservare che, nonostante lo sviluppo fisico non si allontani troppo dalla tipicità, gli individui con autismo risultano generalmente goffi nei movimenti grosso-motori o nell'andatura, ma quello che colpisce di più è l'attenzione posta rispetto alla carenza di anticipazione e regolazione dei movimenti. Kanner denota che bambini a sviluppo tipico, già intorno ai 4 mesi maturano, grazie all'esperienza ripetuta, una tensione facciale e l'atto di alzare le spalle quando stanno per essere sollevati dai caregiver. Trovandosi molto spesso in quella situazione, i neonati familiarizzano con quei movimenti e, letteralmente, li apprendono, imparando a riconoscere quando stanno per presentarsi e a seguirli mentre si verificano. Nessuno dei casi analizzati da Kanner, però, matura questo tipo di comportamento almeno prima dei 2 o 3 anni di vita, e alcuni neanche per quell'età. Sembrerebbe dunque come se gli individui con autismo fallissero proprio nel processo di codifica dei segnali dall'esterno e nei processi di regolazione e pianificazione dell'azione contingente da mettere in atto. Secondo l'autore il problema non sarebbe attribuibile a un deficit nello sviluppo fisico e neanche sarebbe riconducibile ad una mera incapacità di imparare dall'esperienza, il problema viene attribuito, già da Kanner nel 1943, ad un deficit nei processi di anticipazione, codifica dei segnali e regolazione del movimento.

Oggi l'Autismo viene considerato dalla Comunità Scientifica Internazionale un disturbo pervasivo dello sviluppo, che si manifesta entro il terzo anno di età con gravi deficit nelle aree della comunicazione (turbe qualitative e quantitative del linguaggio), dell'interazione sociale (turbe qualitative e quantitative delle capacità relazionali, con tendenza evidente all'isolamento), dell'immaginazione/ pianificazione dell'azione e uso funzionale degli oggetti (uso inappropriato e stereotipato di oggetti) e con problemi di comportamento (auto ed etero aggressività, iperattività fisica accentuata, ipersensibilità alle variazioni dell'ambiente circostante o delle figure di riferimento affettivo), pur accompagnandosi generalmente ad uno sviluppo fisico tipico. Il risultato della combinazione di questi fattori si concretizza in gravi difficoltà e limitazioni nell'adattamento alla realtà esterna e nelle interazioni sociali. Questi individui gestiscono con molta fatica tutto ciò che esula dal loro isolamento, che viola la ripetitività, che è improvviso, o che ha a che fare con vari livelli e forme di comunicazione sociale.

Secondo Ami Klin (2012), direttore del Marcus Autism Center, gli esseri umani hanno la capacità di comprendere il significato delle azioni degli altri individui della propria specie, anche prima che queste vengano compiute, come se le intuissero, in un meccanismo che mettono in gioco continuamente, a volte anche inconsapevolmente e senza quasi poterlo evitare. L'Autismo, invece, si caratterizza per la forte lacuna in queste capacità, ed è ciò che lo rende un disturbo particolarmente grave, considerato che questi comportamenti "mancanti" si configurerebbero come tecniche di sopravvivenza ereditate in anni di evoluzione. A esempio, l'istinto ad orientarsi verso il caregiver, preferire sin dai primi giorni di vita suoni che caratterizzano altri esseri umani piuttosto che rumori che provengono dall'ambiente, e tendere ad osservare le persone piuttosto che le cose, fanno parte di queste "tecniche di sopravvivenza". Nello specifico, i neonati si concentrano spontaneamente sugli occhi dell'altro e prediligono l'osservazione di persone che ricambiano lo sguardo piuttosto che di quelle che guardano altrove, ed è

quindi da questa coreografia di sguardi che si rinforza reciprocamente che, secondo Klin (2012), dipenderebbe l'emergere del cervello sociale.

Potrebbe essere, dunque, interessante riuscire a riconoscere, dal punto di vista del bambino, come si evolve o si interrompe la dinamica di questi meccanismi di sopravvivenza innati, per farlo dovremmo riuscire a “guardare il mondo dal punto di vista del neonato, quasi attraverso i suoi occhi”. Jones e Klin hanno proposto nel 2013 di monitorare il contatto oculare di bambini nei primi due anni di vita attraverso strumenti di eye-tracking. Si tratta di uno studio longitudinale in cui sono stati osservati 110 neonati (di cui 59 ad alto rischio e 51 con scarso rischio di sviluppare autismo) per 10 volte nel corso dei primi due anni di vita (dai 2 mesi di vita ai 24). I bambini sono stati esposti alla visione di video di interazioni naturalistiche con un caregiver mentre l'orientamento del loro sguardo veniva registrato. I risultati hanno mostrato che i neonati a sviluppo tipico tendono a concentrare la loro attenzione soprattutto su occhi e bocca in particolare dai 2 ai 6 mesi, intorno ai 18 mesi raggiungono una fissazione in particolare sulla bocca, mentre decresce durante tutto il primo anno l'attenzione ad altri oggetti circostanti e ad altre zone del corpo. Nei neonati con una successiva diagnosi di autismo, invece, si identifica un graduale ma significativo decrescere della fissazione agli occhi dell'altro, mentre tende a crescere, in particolare durante il secondo anno di vita, quella rivolta perlopiù ad oggetti.

Un'altra teoria che è intervenuta nel corso della storia a delineare il quadro del disturbo è certamente la teoria della Coerenza Centrale (Frith, Happè, 1994) secondo cui le difficoltà degli individui autistici sono messe in relazione ad una predisposizione cognitiva a focalizzare l'attenzione sui dettagli piuttosto che sulle figure/oggetti nella loro interezza. Questa anomalia condurrebbe alla difficoltà di riconoscere le stesse situazioni in contesti diversi, dove anche solo piccoli dettagli cambiano impedendo di riconoscere la situazione, conducendo ad una difficoltà nel fronteggiarla nel modo più adeguato. La

cognizione umana, tipicamente, ha una naturale ed involontaria tendenza all'integrazione delle informazioni, al fine di costruirne un significato globale applicabile ai diversi contesti permettendo il cosiddetto adattamento.

Così, se da un lato alcune teorie cercano di trovare la causa dell'ASD in particolari anomalie che intervengono nel percorso di sviluppo, resta comunque ancora parzialmente ignoto il motivo per cui il percorso di sviluppo per questi bambini prenderebbe direzioni anomale.

L'approccio teorico e metodologico che scegliamo di seguire nel nostro lavoro, si pone proprio l'obiettivo di raggiungere il punto forse più basso e più raramente esplorato che potrebbe però spiegare gran parte della sintomatologia autistica.

Secondo questo approccio le manifestazioni dell'autismo, dai deficit di comunicazione e interazione sociale ai comportamenti ristretti ripetitivi e stereotipati, potrebbero tutti derivare da una disintegrazione di base nel processo di integrazione tra informazioni propriocettive e informazioni sensoriali provenienti dall'esterno.

Questo punto di vista abbraccia le teorie secondo cui la mente deve essere analizzata nel contesto delle sue relazioni con un corpo fisico. I processi cognitivi sarebbero, quindi, profondamente radicati nelle interazioni del corpo con il mondo e il corpo si troverebbe, dunque, a rivestire un ruolo centrale nel modellare la mente.

1.2 La teoria dell'embodied cognition applicata ai disturbi dello spettro autistico

I modelli classici che spiegano il processamento delle informazioni rappresentano la sensorialità il movimento e l'esperienza emotiva come estirpate dalle loro basi esperienziali e percettive. In questi modelli, largamente ispirati alla metafora di "mente come computer", le informazioni ricavate dai sensi sono conservate nella memoria in forma di simboli astratti, funzionalmente separati dai sistemi neurali di origine (ovvero

quelli coinvolti nell'atto motorio, nella visione, nell'udito, ecc.) che li codificano in principio.

Contrariamente a queste teorie, il framework teorico dell'embodied cognition considera l'esperienza corporea come fulcro della cognizione umana e ritiene che le nostre esperienze siano conservate in modo da generare delle "mappe" per i sistemi sensomotori che codificano l'informazione proveniente dall'ambiente. In questa formulazione, l'abilità di rappresentarsi oggetti ed eventi è subordinata al sistema sensomotorio che governa l'interazione con gli oggetti e gli eventi del mondo (Barsalou, 1999). Quando gli oggetti e gli eventi sono richiamati dalla memoria per perseguire un obiettivo, il sistema sensomotorio, coinvolto nella rappresentazione originaria, viene riattivato. Secondo alcuni studi sarebbe vero anche l'inverso, ovvero che attivando anticipatamente il sistema sensomotorio di fronte ad una situazione questa viene percepita in maniera diversa, influenzata dall'attivazione stessa del sistema, come indicato nell'esperimento di Strack et al., 1988. Questi avrebbero dimostrato che facendo tenere una matita tra le labbra mentre si osserva una scena, la stessa viene percepita come più divertente nei casi in cui la matita costringe l'individuo a mimare un sorriso. Sebbene non vi sia nessuna ragione per cui guardare una scena con una matita tra le labbra debba spingere a ritenerla più divertente, a quanto pare questo avviene e potrebbe essere spiegato col fatto che l'espressione del sorriso viene codificata anch'essa durante l'esperienza come parte della scena stessa. Se questo è vero, presumibilmente, è vero anche l'opposto, ovvero se i movimenti motori sono inibiti ci sarà un'interferenza nell'esperienza e nel processamento dell'informazione (Niedenthal et al., 2005). Alcuni autori ritengono che difficoltà nelle abilità motorie, generalmente, conducano ad una menomazione delle abilità di generare e decifrare le informazioni adeguate dall'ambiente per poter adeguatamente "reagire" o muoversi al suo interno in maniera adattiva (Johnson and Wade, 2009). Casasanto e colleghi hanno formulato un'ipotesi secondo cui, corpi differenti formulano ipotesi

differenti sul mondo in quanto lo percepiscono e integrano le informazioni tra sé e il mondo in maniera diversa (Casasanto, 2011).

Klin et al., (2003) propongono che differenze nell'embodied cognition sociale possano spiegare gran parte della sintomatologia autistica. In particolare, percependo gli stimoli sociali in maniera meno pregnante è come se fossero "socially disembodied" (Dawson et al., 1998). Eigsti, nel 2013, propone che alla luce delle anomalie riscontrate nell'autismo a livello dei processi motori, del rumore nei processi di sincronizzazione a livello neurale (Milne, 2011) e a causa della ridotta connettività corticale (Belmonte, 2004; Just et al., 2012), le informazioni sensomotorie nell'autismo non siano adeguatamente integrate attraverso le varie modalità.

Se un individuo non è capace di pianificare e organizzare in maniera efficace un movimento, questo ridurrà l'efficacia con cui questa persona riuscirà a costruire delle connessioni tra il proprio movimento e la propria azione nello spazio e le informazioni sensoriali provenienti dall'esterno. In altre parole, questo individuo esperirà in maniera diversa la sua relazione col mondo, la relazione del suo corpo nello spazio e nell'ambiente.

Tra gli studiosi che hanno cercato di scendere nel dettaglio di questo meccanismo di integrazione delle informazioni sensoriali esterne e propriocettive interne possiamo sicuramente annoverare gli studi di Friston e la teoria del predictive coding. Dopo la teorizzazione di Pellicano e Burr, del 2012, i quali avevano attribuito a questi sintomi percettivi tipici dell'autismo una spiegazione in termini di fallimento dell'inferenza Bayesiana, Lawson, Rees e Friston nel 2014 ipotizzano che se questo è vero molte caratteristiche della percezione autistica possono essere attribuite ad una "*aberrante precisione*" o meglio a convinzioni forzate sulla precisione sensoriale. Tutto questo è

comprensibile in un contesto in cui si assume un passaggio di informazione gerarchico a vari livelli neurali, come descritto da Friston, et al., nel 2013.

Da una prospettiva Bayesiana, i nostri sensi sono bombardati con input dal mondo e il nostro cervello è chiamato a generare costantemente ipotesi circa le cause delle evidenze sensoriale che riceve. Queste ipotesi o “*prior*” possono essere considerate come delle aspettative generate costantemente sulla realtà. La formulazione del predictive coding (e.g., Friston, 2005; Bastos et al., 2012) ha proposto che le aspettative formulate a livelli alti generano delle predizioni *top-down* che incontrano gli stimoli *bottom-up* ovvero i segnali recepiti ai livelli più bassi della gerarchia (le aree sensoriali) (Figura 1).

La discrepanza tra input sensoriali (*bottom-up*) e predizioni discendenti (*top-down*) è riconosciuta come “*prediction error*”, ovvero errore di predizione. Quello che viene definito tale è tutto ciò che era inaspettato ma allo stesso tempo degno di nota. Questa informazione, perciò, viene passata alla parte alta della gerarchia per informare i sistemi superiori deputati a formulare la predizione, di modo da poter generare predizioni migliori in futuro e in quel momento risolvere l’errore.

L’influenza dei sistemi top-down (*prior beliefs*) sulle informazioni sensoriali (sensory evidence) dipende dalla precisione o “fiducia” riposte nell’errore di predizione ad ogni livello della gerarchia e quindi dal “potere” che questo assume sulla gestione delle informazioni (Friston, 2008).

Un’alta precisione sensoriale innalzerà i livelli di influenza della predizione dell’errore ascendente, quindi l’informazione sarà maggiormente gestita dal canale sensoriale. Al contrario una bassa precisione sensoriale determinerà un *bias* nella direzione di una maggiore influenza dei *prior* e quindi delle aspettative *top-down*.

Nello schema del predictive coding l’azione e la percezione lavorano per minimizzare l’errore di predizione cercando di ottimizzare il processo di formazione delle aspettative

(*posterior beliefs*). La percezione gioca un ruolo fondamentale in questo processo in cui l'accurata selezione degli input sensoriali ha il potere di garantire una migliore predizione. Nell'autismo sarebbe proprio questo meccanismo di precisione sensoriale ad essere attenuato (Friston et al., 2013). In altre parole, nell'autismo si osserverebbe un fallimento nella gestione delle informazioni sensoriali, dell'integrazione con i *prior* e della loro contestualizzazione ottimale.

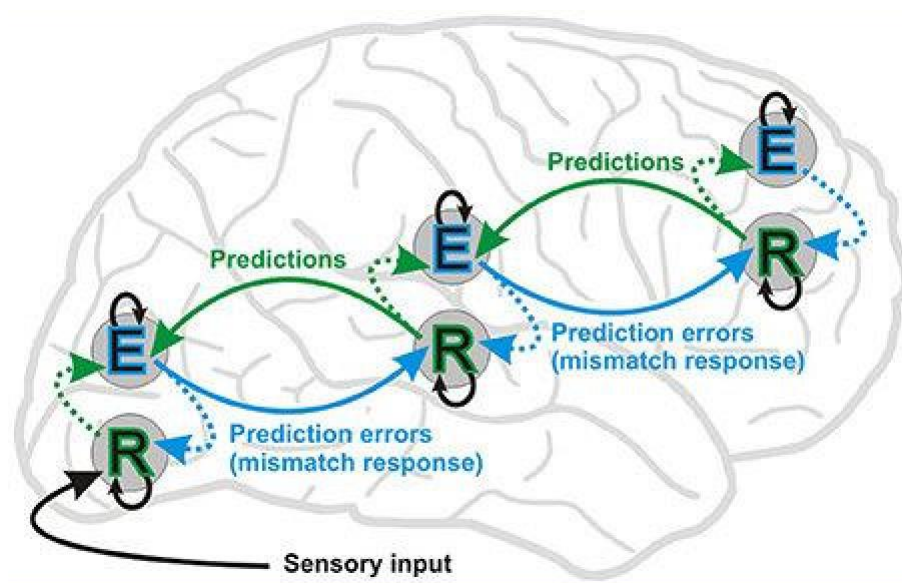


Figure 1 Schema semplificato della formazione gerarchica del predictive coding (Friston, 2008). La figura mostra il messaggio che passa attraverso due popolazioni neuronali: le unità d'errore (E) e le unità di rappresentazione (R). In questo quadro, le connessioni bottom-up trasmettono le informazioni sensoriali e quindi gli errori di previsione (prediction error) e le connessioni top-down trasportano le previsioni (priors beliefs e posterior beliefs).

Da questa prospettiva sembra trattarsi di un problema metacognitivo che però ha delle chiare evidenze a vari livelli che, in quest'ottica, smettono di riguardare esclusivamente il corpo e la sua azione nel mondo, ma inizia ad esser chiaro che riguardino anche il modo in cui questo mondo viene filtrato e tutto ciò che questa armonia o disarmonia di informazioni può generare nel comportamento.

Diversi anni fa Rogers e Pennington (1991) proposero che deficit nelle abilità motorie potessero essere di importanza rilevante nella sintomatologia autistica. Questa idea fu seguita da numerosi studi (Smith and Bryson, 1994). Più recentemente, Mostofsky ha proposto che i deficit motori sono centrali nel fenotipo autistico (e.g., Mostofsky et al.,

2006). Una varietà di studi hanno dimostrato i problemi di coordinazione motoria nell'autismo, includendo problemi di: controllo fino-motorio (Szatmari et al.,1990); pianificazione del movimento di prensione (Hughes,1996); preparazione dei movimenti anticipatori (Rinehart et al., 2001); andatura e postura (Ghazziuddin et al., 1992; Fournier et al., 2010); equilibrio e coordinazione (Mari et al.,2003); imitazione e gestualità (DeMyer et al., 1972; Stone et al., 1997); movimento per avvicinare ed afferrare oggetti (Glazebrook et al., 2009). Queste differenze nelle abilità motorie si manifesterebbero molto precocemente (Teitelbaum et al., 1998; Brian et al., 2008; Dowell et al., 2009). Ad esempio, Teitelbaum et al. (1998) hanno mostrato la presenza di disturbi del movimento già a 4-6 mesi in bambini in seguito diagnosticati con autismo. Uno studio longitudinale, che ha seguito un ampio numero di bambini, avrebbe mostrato che le abilità motorie nell'infanzia possono essere un importante predittore dei successivi risultati in ambito comunicativo e sociale nei bambini con ASD (Sutera et al., 2007). Gowen ed Hamilton nel 2013, definiscono il problema nell'autismo come caratterizzato essenzialmente da due componenti: a) scarsa integrazione delle informazioni per un'efficiente pianificazione del movimento; b) deficit nell'organizzazione delle competenze motorie.

Numerose evidenze suggeriscono una spiegazione neurofisiologica per queste differenze. Probabilmente tra i ritrovamenti più influenti c'è quello relativo alla ridotta connettività tra regioni distanti del cervello (Belmonte, 2004; Just et al., 2004; Kana et al., 2006). Una ridotta connessione tra aree prefrontali e altre regioni corticali è specificamente implicata nei processi socio cognitivi tipicamente deficitari in ASD (Wicker et al., 2008; Klin et al., 2003). Il cervelletto, implicato nel timing e nell'integrazione del comportamento, in molti studi appare caratterizzato da un'anatomia atipica nell'autismo (Courchesne et al., 1988). L'ammiccamento oculare, ad esempio, che è mediato dal cervelletto, richiede un preciso timing e pare essere deficitario in ASD (Sears et al., 1994). Il cervelletto inoltre controlla il timing di comportamenti che hanno componenti sia motorie che cognitive (Glickstein,

2006), che richiedono una certa sincronia (Katz and Steinmetz, 2002), come la produzione vocale (Ackermann et al., 2004). Tutti questi ritrovamenti spingono dunque a credere che l'autismo sia caratterizzato da una lacuna nel processo di embodiment, la quale potrebbe stare alla base della maggior parte della sintomatologia che caratterizza questo disturbo. Oltre che nell'esperire la realtà sociale, questo tipo di anomalie possono andare ad interferire in maniera diretta sull'acquisizione del linguaggio oltre che della comunicazione in senso lato. Per esempio, Linda Smith e colleghi suggeriscono un importante link tra funzioni sensomotorie e acquisizione precoce delle parole (Yu and Smith, 2012).

Capitolo 2

Lo sviluppo interconnesso dalla percezione all'azione

2.1 Lo sviluppo linguistico e motorio nell'infanzia tipica e nell'autismo

“... motor development is not an independent process, but has rich and complex relationships with the development of other cognitive domains ...” (Leonard & Hill, 2014, p. 167).¹

Per comprendere il forte impatto che può avere sullo sviluppo infantile la presenza di difficoltà motorie nell'autismo è necessario fare un passo indietro e riconsiderare il ruolo che tipicamente rivestono i sistemi motori nel linguaggio e nello sviluppo cognitivo. Il corpo è il veicolo per l'esplorazione del mondo, nei primi mesi di vita il repertorio vocale è strettamente dipendente dalle precoci e prerequisite abilità motorie orofacciali, in particolare l'abilità di controllare e coordinare i movimenti di mascella, labbra e lingua (Green, Baird et al., 2002; Green, Moore et al., 2002; Nip, Green, & Marx, 2009). Man mano che queste abilità si affinano i suoni passano dall'essere vocalizzazioni (3 mesi) a balbettii (6 mesi) fino a diventare intere parole (12 mesi).

L'atto motorio di base del balbettio si può ritenere un precursore fondamentale per lo sviluppo del linguaggio. Inoltre, in linea con le teorie neurobiologiche, il balbettio è fondamentale al processo di costruzione dei circuiti corticali (Locke, 1993) deputati al riutilizzo, la ripetizione, la ricombinazione e l'utilizzo autonomo degli elementi del linguaggio (Pulvermuller et al., 2014). La produzione di sillabe, che costituiscono la maggior parte del prodotto di un balbettio implicano l'attivazione non solo dei neuroni dell'area motoria articolatoria frontale (dove l'output linguistico è controllato), ma anche dei neuroni uditivi dell'area temporale posteriore, deputata a rispondere

¹ ...lo sviluppo motorio non è un processo indipendente, ma ha ricche e complesse relazioni con lo sviluppo di altri domini cognitivi...

all'autoproduzione vocale. Questa attività neuronale è stata definita "action perception circuits" (Garagnani et al., 2008; Garagnani, Wennekers, & Pulvermuller, 2009), in quanto queste attività neuronali permettono di mettere in relazione informazioni circa l'azione e la sua relativa percezione.

Se questi circuiti hanno un ruolo centrale nella costruzione del linguaggio e dei meccanismi socio comunicativi, qualsiasi anomalia in questa connessione tra aree frontali e lobi temporali potrebbe avere un impatto sul linguaggio e la comprensione. Capacità elementari di interazione sociale che normalmente emergono verso la fine del primo anno d'età, come ripetere i gesti e le parole di altri, in realtà non possono prescindere da connessioni sensomotorie funzionali.

Oltre all'interazione sociale e allo sviluppo, la progressione delle capacità motorie grossolane come trascinare, gattonare, stare in piedi e camminare, altera radicalmente la relazione di un bambino con gli oggetti e le persone intorno a lui e fornisce una vasta gamma di nuove esperienze di apprendimento (Iverson, 2010). Oggetti precedentemente invisibili o irraggiungibili sono ora visibili e possono essere potenzialmente manipolati, aprendo nuove interazioni col mondo e con gli altri (Karasik, Tamis-Lemonda, & Adolph, 2011). Inoltre, un maggiore controllo delle mani consente la comunicazione gestuale, che molti ritengono essere un precursore chiave dello sviluppo del linguaggio (Iverson & Goldin-Meadow, 2005; Liszkowski, 2008). Lo sviluppo dei movimenti ritmici del braccio, cioè lo scuotere un sonaglio, precede leggermente o coincide con il balbettio vocale (Bates & Dick, 2002; Iverson, Hall, Nickel, & Wozniak, 2007), e si suppone possa predisporre nei bambini la capacità di praticare le abilità alla base delle vocalizzazioni ritmiche e temporizzate e di ricevere feedback multimodali sulle loro azioni (Iverson, 2010).

Alcuni gesti della testa e delle mani sono predittivi della comprensione del linguaggio e del vocabolario stesso nei bambini piccoli (Cochet & Byrne, 2016; Hsu & Iyer, 2016; Ozcaliskan, Adamson, & Dimitrova, 2015), così come alcune espressioni di interazione sociale precoce come l'attenzione congiunta, la quale anch'essa è strettamente connessa allo sviluppo motorio (Campos et al., 2000) e fortemente legata all'apprendimento della relazione tra parola e oggetto (Baldwin, 1995). È stato ipotizzato che i bambini con deficit motori possano avere meno risorse per lo sviluppo dell'attenzione congiunta (Mody et al., 2017). In definitiva, lo sviluppo dei domini sociali e cognitivi non può essere separato dallo sviluppo concomitante di sistemi motori (e sensoriali), che sono dinamicamente intrecciati.

Alla luce degli studi finora riportati, non sorprende che i ritardi e le anomalie del linguaggio siano un aspetto essenziale dei criteri diagnostici per l'autismo (Eigsti, et al., 2011; Lord, Risi, & Pickles, 2004; Luyster, Kadlec, Carter e Tager-Flusberg, 2008).

La capacità di imitare atti motori, che include la capacità di ripetere espressioni verbali, a due anni di età, è stata vista come fortemente predittiva delle capacità espressive del linguaggio dei bambini autistici di quattro e cinque anni (Stone & Yoder, 2001; Thurm, Lord, Lee e Newschaffer, 2007). Altri studi avrebbero indicato che la fluidità del linguaggio all'età di circa otto anni era fortemente correlata alle segnalazioni dei genitori e all'evidenza video delle capacità motorie nei primi due anni di vita (Gernsbacher et al., 2008). Molti studi hanno effettivamente dimostrato che la compromissione del movimento nell'autismo è predittivo dello sviluppo del linguaggio.

2.2 I deficit del movimento e le loro ripercussioni sulla sintomatologia autistica

Alcuni studi hanno evidenziato che individui con autismo con maggiore compromissione dell'interazione sociale, interessi più ripetitivi e limitati e mancanza di immaginazione (Baron-Cohen et al., 2001) hanno mostrato il massimo grado di ipoattività, ergo,

anormalità nei sistemi motori e nell'integrazione percezione/azione (Moseley, Mohr et al., 2013; Moseley, Shtyrov et al., 2015; Moseley, Ypma et al., 2015). Catani et al. (2016) hanno riportato una relazione nei loro partecipanti autistici, tra il grado di anormalità nei fascicoli arcuati e uncinati e i sintomi del linguaggio infantile come misurato dall'Autism Diagnostic Interview-Revised (Le Couteur et al., 2003). A livello comportamentale, le relazioni tra deficit di movimento e gravità dei sintomi autistici sono ben documentati da numerosi studi (MacDonald, Lord, & Ulrich, 2014; MacDonald, Lord, & Ulrich, 2013; Papadopoulos et al., 2012; Stevenson, Lindley, & Murlo, 2017; Travers et al., 2015, 2013; Uljarevic, Hedley, Alvares, Varcin e Whitehouse, 2017).

Un legame tra disturbo motorio e sintomi dell'autismo è stato proposto per la prima volta da Leary e Hill (1996), che hanno sottolineato gli effetti delle anomalie del movimento su linguaggio, espressione emotiva, interazione sociale e comunicazione. Questi autori hanno prodotto una rivisitazione radicale ma poco notata della "triade autistica". La loro tesi ha ricevuto scarso sostegno negli anni '90, ma è stata seguita in parte dall'approccio dell'"enactive mind" (Klin, Jones, Schultz e Volkmar 2003), secondo cui "... i processi cognitivi sociali emergono solo da schemi sensorimotori ricorrenti che consentono all'azione di essere guidata percettivamente".

La connessione tra interruzione sensomotoria fondamentale e menomazioni cognitive e sociali superiori è stata da allora resa più esplicita da altri teorici, come Eigsti (2013), che ha tracciato un presunto legame tra deficit di movimento in ASD e menomazioni nella percezione del movimento. Una serie di studi hanno, poi, dimostrato che il disturbo del movimento può effettivamente avere un valore predittivo per i sintomi autistici maggiore rispetto alla previsione dello sviluppo del linguaggio (Bhat et al., 2012; Donnellan et al., 2013; Gernsbacher et al., 2008; Hellendoorn et al., 2015; Lebarton & Iverson, 2013; Stone & Yoder, 2001; Thurm et al., 2007).

In una prospettiva più ampia, tale evidenza è indicativa di un ruolo cruciale dei sistemi motori e dei processi di integrazione percezione/azione nello sviluppo cognitivo e sociale tipico. Un bambino con disabilità motorie non può collegare efficacemente precedenti percettivi e conseguenze alle proprie attività motorie, e quindi avrà difficoltà a interagire con il mondo esterno e altri agenti con facilità e flessibilità. Tra gli altri problemi, le menomazioni motorie causerebbero difficoltà nell'esplorare l'ambiente, manipolare oggetti, guardare gli altri e produrre tentativi di comunicazione. Con capacità motorie limitate, diventa più difficile eseguire i suddetti movimenti ritmici elementari delle estremità e le articolazioni vocali (balbettii, lallazioni), già nella seconda metà del primo anno di vita. Acquisizioni che possono essere cruciali per stabilire connessioni tra azione e circuiti cerebrali percettivi e servire in seguito come veicolo per le ripetizioni.

Riconcettualizzando i sintomi dell'autismo alla luce della relazione tra disfunzione motoria e sintomatologia autistica, una scoperta sorprendente e inaspettata è che la capacità di raggiungere oggetti o volti, a tre mesi, in realtà aumenta di per sé l'interesse spontaneo e l'orientamento verso i volti (Libertus & Needham, 2011). Questa scoperta è particolarmente degna di nota alla luce di un modello popolare di autismo che attribuisce la causa primaria della sintomatologia ad anomalie nella motivazione sociale (Chevallier, Kohls, Troiani, Brodtkin e Schultz, 2012). Sono state segnalate differenze nell'orientamento sociale e nell'attenzione insieme ad anomalie motorie entro il primo anno di vita (Clifford, Hudry, Elsabbagh, Charman, & Johnson, 2013; Maestro et al., 2002; Ozonoff et al., 2010). Una presunta connessione tra disfunzione motoria e diminuzione dell'inclinazione sociale è evidente in una certa misura, ma resta da dimostrare se i deficit sociali chiave possano essere spiegati in termini di integrazione della percezione dell'azione.

Alla luce di quanto precedentemente illustrato, concentrarsi sul disturbo motorio autistico e sul ruolo dei sistemi motori nella cognizione superiore può avere importanti implicazioni cliniche e terapeutiche che stanno ora iniziando ad essere esplorate (Donnellan et al., 2013; Lee, Lambert, Wittich, & Park, 2016).

Il nostro lavoro ha preso le mosse proprio da questi studi e dalle teorie sopracitate per cercare di affrontare da una nuova prospettiva la sintomatologia autistica, con l'obiettivo di applicare queste nuove conoscenze e questi nuove prospettive ai trattamenti per l'autismo, alla diagnosi e ai processi di riabilitazione stessi.

Osservare l'autismo da un punto di vista più bio-meccanico e talvolta neuro funzionale, però, necessariamente ci discosta dai classici metodi di intervento, soprattutto per quel che riguarda gli strumenti di assessment e di diagnosi. Ci siamo avvalsi, perciò, delle nuove tecnologie, dalle più diffuse ed ampiamente utilizzate, come ad esempio smart tablet device, sistemi più sofisticati di analisi tramite metodi di machine learning e reti neurali artificiali per analizzare i nostri dati.

I paragrafi che seguono, divisi in sessioni sperimentali, ci condurranno all'interno del percorso di riformulazione dei processi clinici per l'autismo, formulato durante questo progetto di dottorato, dalla diagnosi, all'intervento, alla riabilitazione dell'autismo.

-La sezione sperimentale I ci introdurrà ai primi studi condotti in ambito di intervento e strategie di trattamento per l'autismo, più nello specifico, analizzeremo criticamente i primi risultati di validazione dell'efficacia di utilizzo di un nuovo strumento hi-tech di comunicazione aumentativa alternativa (CAA), il *Language Interface, for AAC Rehabilitation* (LI-AR);

-La II sezione sperimentale illustrerà i risultati ottenuti dalla sperimentazione del nostro prototipo di *movement-detection* per l'analisi del movimento in ambito di diagnosi e assessment dell'autismo;

-La III ed ultima sezione sperimentale rappresenta un ampliamento degli orizzonti, illustreremo, infatti i primissimi risultati di uno studio pilota relativo all'utilizzo del software "*Easy-Draw*" per la riabilitazione in ambito di ASD, a partire dalla rieducazione del movimento e dal rafforzamento dei rapporti causa-effetto tra individuo e ambiente.

Capitolo 3

Sezione sperimentale I: Le strategie di intervento per l'autismo

3.1 Gli ausili alla comunicazione nell'autismo: gli strumenti di comunicazione aumentativa alternativa (CAA)

Alla luce della precedente letteratura, i disturbi della comunicazione dell'autismo non deriverebbero da una menomazione di natura meramente linguistica, ma da una base di sviluppo disfunzionale che intacca i circuiti di integrazione dell'informazione dalla percezione all'azione. Questa disregolazione ostacola il naturale apprendimento fin dai primissimi mesi di vita sfociando nelle difficoltà più tipiche dell'autismo fino alle difficoltà di comunicazione e quindi di interazione sociale.

Secondo il National Institute on Deafness and Other Communication Disorders (NIDCD, 2010), circa il 25% delle persone con ASD non sono capaci di utilizzare il linguaggio in maniera naturale per comunicare. Queste difficoltà tendono a persistere per tutta la vita (Howlin, et al., 2000); ciononostante dei miglioramenti sono possibili quando vengono implementati interventi comportamentali precoci e intensivi (EIBI) (Matson et al., 2007).

Gli strumenti di comunicazione aumentativa alternativa (CAA) sono un esempio di ausilio alla comunicazione per i bambini con autismo, ampiamente utilizzati. Questi strumenti offrono delle modalità alternative al linguaggio per comunicare i propri bisogni e possono essere utilizzate anche nella delicata fase di riabilitazione verso l'acquisizione del linguaggio stesso, andando a stimolare la reciprocità che è l'aspetto più carente e determinante nel disturbo comunicativo tipico dell'ASD.

In generale possiamo elencare 3 forme di CAA tipicamente usate con i bambini con ASD, queste includono: approcci unaided (es. segni e gesti), approcci aided di cui "low-tech" image-based systems (es. PECS), e sistemi "hi-tech" speech-generating device (SGD) (Ganz, 2015).

In particolare, i sistemi di CAA hi-tech possono bypassare le complicazioni di altri sistemi di CAA, come ad esempio, il linguaggio dei segni, molto difficilmente generalizzabile a contesti diversi da quello familiare o terapeutico.

Diversi studi hanno indicato che i metodi più adatti di CAA per bambini con ASD sono PECS ed SGD (Bondy A., 2001; Frost & Bondy, 1998; Thomson, J., 2003; Schlosser & Blischak, 2001).

L'obiettivo principale di questi strumenti è quello di insegnare il comportamento di richiesta e la reciprocità insita nel comportamento comunicativo stesso. Per esempio, nella prima fase del training con PECS, lo studente viene istruito a consegnare l'immagine per poter comunicare col partner (Frost & Bondy, 1998), l'aspetto di scambio reciproco ed interattivo è l'elemento cardine in un percorso di riabilitazione adatto ad individui con autismo.

Secondo la letteratura riportata, molti studi si sono soffermati sull'efficacia dei PECS e degli SGD in termini di abilità di richiesta, tralasciando tutti gli altri aspetti coinvolti nel comportamento verbale. Un aspetto importante è infatti l'interazione sociale che sottende ad ogni atto comunicativo. La comunicazione consiste, infatti, in un comportamento diretto verso un'altra persona, la quale successivamente fornirà una conseguenza. Un comportamento verbale può ritenersi tale solo quando include la mediazione di un'altra persona. (Skinner B.F., 1957).

Interazione sociale può definirsi come l'abilità di iniziare e mantenere uno scambio comunicativo con un partner astenendosi da altri comportamenti socialmente inappropriati (Gresham & Elliott, 1984). Un'interazione sociale efficace richiede l'integrazione di differenti abilità sociali e comunicative. Ad esempio, quando uno scambio comunicativo ha inizio, è socialmente appropriato per coloro che usano un

sistema di CAA guardare ed orientarsi verso il partner comunicativo piuttosto che voltarsi dalla parte opposta, come spesso accade per gli individui con autismo.

Con gli SGD, finora, l'aspetto di reciprocità è, invero, stato tralasciato, infatti, anziché scambiare le immagini lo studente, in questo caso, impara a selezionare icone sullo schermo di un device elettronico con la conseguenza di riprodurre un messaggio vocale sintetizzato (Sigafos, et al., 2003), che quindi anche a distanza può essere ascoltato e recepito e condurre all'ottenimento dell'oggetto desiderato. Questo avanzamento tecnologico però è forse nel caso dell'autismo un deterrente allo sviluppo del comportamento comunicativo. Il linguaggio e la comunicazione nell'autismo, infatti, sono principalmente ostacolati dai sottostanti problemi di interazione sociale, tipici del disturbo, che ostacolano i comportamenti di scambio e quindi la comunicazione. Uno strumento che favorisce la comunicazione a distanza, dunque, potrebbe allontanare ancor di più l'utente dall'acquisizione del comportamento comunicativo come scambio sociale. Nel presente studio verranno valutati gli effetti dell'introduzione ad un training comunicativo con SGD sviluppato per adattarsi ad una metodologia fondata sui principi dell'Applied Behavior Analysis (ABA) e di ispirazione PECS, che nasce con l'obiettivo di riabilitare la comunicazione a partire dallo scambio sociale.

Il Sistema PECS pur essendo stato originariamente immaginato per aumentare i comportamenti di richiesta spontanea, ha dimostrato di avere effetti positivi addizionali. Ad esempio, Charlop et al. (2002) hanno riportato una riduzione e in alcuni casi la completa scomparsa dei comportamenti problema dopo l'implementazione del Sistema PECS. Nello stesso studio, sono stati dimostrati effetti benefici dei PECS anche su altri comportamenti comunicativi e sociali (es. contatto oculare, attenzione congiunta, gioco condiviso). Altri studi, invece, hanno mostrato gli effetti positivi del sistema PECS sulla produzione linguistica spontanea (Charlop et al., 2002; Tincani et al., 2006). Diversi autori (Filippin et al., 2010; Hart & Banda, 2010; Schlosser & Wendt, 2008)

riporterebbero che il Sistema PECS è il miglior modo per aumentare il repertorio di richiesta spontanea e altre abilità comunicative.

Lo stesso vale per gli effetti del training SGD. Molti studi hanno dimostrato un aumento nelle abilità di richiesta dopo intervento con SGD (Durand, 1993; Sigafos et al., 2003; Sigafos et al., 2004; van der Meer et al., 2012), e alcuni studi hanno dimostrato un aumento generale anche nella produzione vocale (Olive et al., 2007; Schlosser and Wendt, 2008) e nelle abilità di comunicazione e interazione sociale (Sigafos et al., 2009).

Mentre l'aumento delle abilità linguistiche è ben documentato, ci sono pochi studi che documentano gli effetti sulle abilità di interazione sociale. In particolare, resta controverso il tema di come l'output vocale, generato tipicamente dagli SGD, possa in realtà influenzare negativamente l'interazione sociale, non andando a stimolare l'interazione con il partner comunicativo, in quanto generabile anche a distanza dall'interlocutore.

Il nostro lavoro di ricerca parte dallo sviluppo di un nuovo strumento di CAA che con le sue caratteristiche metodologiche si propone di compensare i limiti evidenziati dalla letteratura in merito agli SGD. Il Language Interface for AAC Rehabilitation (LI-AR), è un nuovo tipo di SGD. Il software è sviluppato per garantire un percorso per insegnare le abilità di interazione sociale, connettendosi all'ambiente e utilizzando sistema di tecnologia Bluetooth che svolgono il ruolo di arbitro dell'interazione. Diversamente dai più popolari SGD, durante il training con LI-AR, l'output vocale è completamente gestito dal partner comunicativo. Attraverso uno strumento Bluetooth l'interlocutore può, infatti, decidere di attivare o meno l'output vocale in funzione del comportamento di interazione dello studente, che generalmente si intende completo quando lo studente si avvicina all'interlocutore porgendogli il tablet con l'obiettivo di comunicare. In questo modo è possibile lavorare sulla reciprocità sociale, aspetto fondamentale del comportamento comunicativo.

Pochi studi hanno comparato i livelli di acquisizione delle abilità di richiesta dopo l'intervento con PECS ed SGD e poche differenze sono emerse tra i due sistemi in termini di velocità di acquisizione e facilità d'uso. Ad esempio Sigafos et al. (2009) hanno osservato i tempi di acquisizione dell'abilità richiestiva e la preferenza per i due sistemi. I risultati hanno mostrato una leggera differenza in termini di velocità di acquisizione che sembrerebbe più rapida con PECS.

Son et al. (2006) hanno comparato l'efficacia, la preferenza e la velocità di acquisizione di sistemi PECS ed SGD osservando un leggera preferenza per i PECS. Tuttavia, questa preferenza non era correlata con performance migliori e maggiore velocità di acquisizione. Altri studi hanno ottenuto risultati opposti, ad esempio, Lorah et al. (2013) hanno comparato l'uso di un iPad con SGD e PECS in 5 bambini con autismo. Tutti i partecipanti allo studio hanno acquisito abilità di comunicazione usando entrambi gli strumenti ma producevano un numero maggiore di risposte indipendenti con SGD e 4 su 5 bambini mostrarono anche di preferire l'SGD al PECS. Gli studi che hanno messo a confronto questi due strumenti hanno, ad oggi, apportato risultati controversi e talvolta divergenti tra loro. Una ragione potrebbe indubbiamente far capo all'estrema variabilità dell'utenza a cui tali strumenti si rivolgono, ma indubbiamente studi ulteriori sono necessari.

Considerato che molti studi avrebbero dimostrato che gli SGD sono poco in grado di elicitar e quindi riabilitare gli aspetti di interazione sociale nei bambini con ASD, uno strumento SGD studiato per riabilitare anche gli aspetti di interazione con l'ambiente risulta mancante e quindi necessario.

Nei prossimi paragrafi saranno illustrati i risultati ottenuti su tutti gli aspetti correlati alla comunicazione finora riportati, dallo sviluppo del linguaggio vero e proprio ai comportamenti problema, mettendo a confronto l'utilizzo da un lato del classico sistema PECS e dall'altro l'innovativo utilizzo della tecnologia tramite LI-AR.

3.2 Materiali e metodi

3.2.1 LI-AR: Language Interface For AAC Rehabilitation

LI-AR è un sistema software e hardware pensato per favorire lo sviluppo della comunicazione e del linguaggio in persone con gravi disturbi della Comunicazione Espressiva e con assenza di Linguaggio parlato. Il software riproduce le funzioni dei classici SGD, è utilizzato principalmente come comunicatore dinamico attraverso il quale si favorisce lo scambio di messaggi tramite la selezione di pittogrammi e la sintesi vocale in lingua italiana. Il dispositivo consente di inserire un numero illimitato di immagini organizzabili in maniera personalizzata. Le immagini possono essere raccolte dal web o dal contesto circostante attraverso l'utilizzo della fotocamera di cui il device è dotato. L'obiettivo ultimo di LI-AR è di assicurare all'utente una modalità di comunicazione efficace e altamente comprensibile in modo da renderlo realmente autonomo. Per questo motivo alcuni algoritmi intelligenti sono stati implementati per favorire la fluidità dell'utilizzo di questo strumento. Ad esempio, un algoritmo di apprendimento è stato inserito per semplificare e velocizzare la costruzione del messaggio. Dall'esperienza di interazione tra utente e dispositivo, le interfacce interattive si riorganizzano in modo da mostrare per primi gli item o i pittogrammi in generale più utilizzati, facendo una sorta di previsione di ciò che potrebbe seguire l'immagine selezionata e comporre l'intera frase. Inoltre, questo dispositivo è studiato per la comunicazione con oggetti smart che rendono gli ambienti interattivi, aumentando il numero e la qualità delle occasioni comunicative, inseriti nell'ambiente, questi oggetti, vengono riconosciuti dal tablet tramite un sistema di segnali bluetooth mediato dall'utilizzo di beacons inseriti nella stanza e associati a specifici oggetti, rilevanti per l'utente. Questo permette di proporre e quindi di mostrare in via preferenziale quei determinati pittogrammi che rappresentano le attività che lo studente potrebbe effettivamente compiere in quella stanza e con quegli oggetti.

Tutte queste condizioni ambientali incidono su alcuni aspetti della comunicazione, che possono sembrare di second'ordine, ma che però, in una popolazione di utenti con ASD risultano di prioritario interesse, come ad esempio gli aspetti motivazionali e di comunicazione interpersonale. Il tentativo di elicitare la richiesta spontanea tramite la manipolazione della motivazione è, infatti, uno degli aspetti più complessi e quindi più interessanti da riabilitare in un contesto clinico di questo tipo.

A differenza di altri sistemi di comunicazione che usano il tablet, non è necessario avere dei prerequisiti per usare LI-AR. Il software è, infatti, strutturato secondo un training che contiene in sé tutte le fasi necessarie all'apprendimento della comunicazione richiestiva tramite SGD. Alcune di queste fasi mirano proprio al corretto utilizzo dello strumento, non solo da un punto di vista comunicativo ma anche motorio e di interazione.

La metodologia alla base del training è completamente ispirata ai principi dell'Applied Behavior Analysis (ABA) e sfrutta il metodo di insegnamento del linguaggio basato sul Verbal Behavior. In questo modo è possibile personalizzare ogni fase e superare velocemente anche difficoltà specifiche.

L'interfaccia di utilizzo del dispositivo è completamente personalizzabile in modo da organizzare i pittogrammi nel modo che risulta più intuitivo per l'utente. L'operatore può, infatti, scegliere le dimensioni dei pittogrammi e la loro organizzazione all'interno di fogli di lavoro.

Tutte le interazioni con l'applicazione sono automaticamente registrate in maniera sicura e rispettando la privacy dell'utente. Il sistema di raccolta dati prevede che vengano registrare le interazioni con ogni singolo pittogramma di modo da poter tener traccia della storia di apprendimenti dell'utente, favorendo il completo monitoraggio delle sue attività da parte di insegnanti, terapeuti e caregivers. I dati vengono poi organizzati automaticamente in grafici che permettono di verificare visivamente l'andamento del

training (Figura 2).

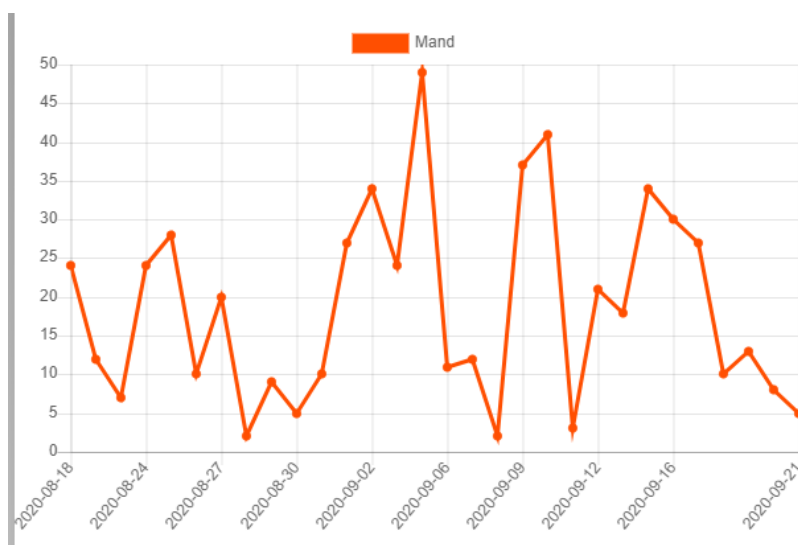


Figura 2 Esempio di grafico automaticamente generato dal software, il grafico riportato mostra la frequenza di emissione del mand giornaliera.

L'insegnamento della comunicazione col sistema LI-AR comincia da atti funzionali (Mand) che assicurano allo studente l'accesso a degli item motivanti, ovvero dei rinforzi efficaci e quindi, in grado di motivare l'utente ad iniziare una comunicazione; l'insegnante è tenuto, perciò, innanzitutto ad individuare quali sono questi item per ciascuno studente attraverso una valutazione dei rinforzi che può essere condotta in diversi modi (es. intervista ai genitori; osservazione diretta; valutazione formale dei rinforzi attraverso procedure specifiche).

Il training con LI-AR è organizzato in 5 fasi (Figura 3): Fase I. Pre-Training; Fase II. Primi Passi; Fase III. Io voglio; Fase IV. Io vorrei; Fase V. Fase Mand.



Figura 3 L'immagine mostra l'interfaccia Main Menù del dispositivo. In questa sezione l'operatore può scegliere la fase del programma ed eventualmente modificare alcune impostazioni di sistema.

Fase I – Pre-Training: Questa è una fase di addestramento in cui il bambino viene istruito al movimento di trascinamento. A differenza delle altre fasi, in questa fase, sullo schermo del tablet non sono presenti le immagini dei rinforzatori ma un semplice riquadro colorato ed un box dal contorno colorato dello stesso colore del riquadro (Figura 4). Il bambino viene promptato, generalmente secondo una procedura di *most to least* (guidato fisicamente se necessario, oppure attraverso indicazioni indicative o verbali) ad inserire il riquadro nel box, fin quando non diventa autonomo.

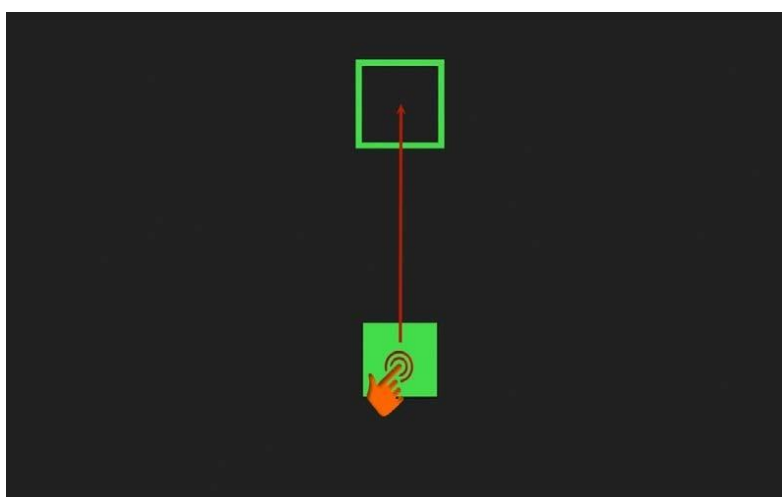


Figura 4 Aspetto dell'interfaccia durante la fase di pre-training. In questa fase l'utente è chiamato ad apprendere e compiere correttamente il compito di trascinamento.

Fase II – Primi Passi: Il bambino è in presenza dei suoi maggiori rinforzatori. Quando la sua operazione motivazionale (MO) (Laraway, S. et. al., 2003) si sarà palesata, il terapeuta potrà promptare lo studente a trascinare l'immagine corrispondente all'item desiderato nel riquadro in alto, come mostrato in Figura 5. Una volta che l'immagine sarà stata trascinata correttamente, in questa fase, verrà automaticamente riprodotto l'output vocale.



Figura 5 Aspetto dell'interfaccia durante la fase II in cui il bambino inizia a familiarizzare con l'aspetto che avrà la sua pagina di interazione. L'output vocale, in questa fase, viene emesso automaticamente una volta che il pittogramma digitale sarà inserito nell'apposito riquadro in alto. L'aspetto dell'interfaccia sarà lo stesso per la fase III con l'unica differenza che, in questa fase, l'output vocale verrà gestito esternamente dall'operatore.

Fase III – Io voglio: Le condizioni sono le stesse della fase precedente, ma in questa fase, lo studente impara lo “scambio”. L'output vocale viene infatti riprodotto solo a seguito di un'azione esterna del terapeuta. Il terapeuta dovrà aspettare che lo studente gli consegna il tablet per attivare l'output vocale tramite un dispositivo Bluetooth collegato. Un prompter posizionato alle spalle dello studente dovrà promptarlo a muoversi in direzione del partner comunicativo. Dopo lo scambio lo studente potrà essere rinforzato con l'item desiderato. Durante questa fase lo studente apprende che lo scambio, e dunque l'interazione, sono necessarie alla comunicazione e quindi all'ottenimento del rinforzo. La schermata in questa fase avrà lo stesso aspetto della precedente (Figura 5).

La fase III, inoltre, è divisa in due sottofasi, come per la fase II dei PECS. Il terapeuta lavorerà su distanza e persistenza, spostandosi dal bambino e allontanando gradualmente il tablet.

Fase IV – Io vorrei: La procedura di insegnamento e le condizioni sono le stesse delle fasi precedenti. In questa fase l'obiettivo è l'apprendimento della discriminazione, attraverso il controllo di corrispondenza, come per il sistema PECS. Perciò, oltre all'immagine del rinforzo sullo schermo compariranno altre immagini che in maniera randomica saranno selezionate tra le cartelle di distrattori neutri o distrattori rappresentanti altri oggetti preferiti (Figura 6). A questo punto sarà l'operatore a gestire la comparsa delle suddette immagini distrattori.



Figura 6 Aspetto dell'interfaccia durante la fase IV. Tra le immagini mostrare sono presenti anche dei distrattori. L'utente è tenuto a selezionare il pittogramma corrispondente all'oggetto realmente desiderato in quel momento

Fase V – Fase Mand: La condizione è la stessa della precedente. In questa fase lo schermo riprodurrà tutte le immagini caricate sul dispositivo, divise per categoria semantica (Figura 7). Lo studente è a questo punto completamente libero di scegliere tra i rinforzatori che ha a disposizione seguendo la sua MO. Ogni scambio completo sarà considerato un comportamento comunicativo funzionale.



Figura 7 Aspetto dell'interfaccia utente durante la fase mand. Questo è l'aspetto definitivo che avrà il comunicatore anche dopo il training e quindi per l'utilizzo quotidiano. L'utente potrà selezionare l'immagine desiderata spostandosi da un foglio all'altro mediante dei movimenti di scrolling.

3.2.2 Disegno sperimentale

Con l'obiettivo di verificare l'efficacia dell'utilizzo di questo strumento nell'ambito dei disturbi dello spettro autistico sono stati condotti degli studi single-subject design. Gli studi hanno mirato a verificare se uno strumento di CAA hi-tech dotato di metodologia specifica, potesse effettivamente mostrare degli effetti su più variabili comportamentali oltre alla semplice acquisizione dell'abilità di comunicazione o di linguaggio.

Gli studi hanno coinvolto 6 bambini con diagnosi di ASD. Una metà di questi bambini sono stati inseriti all'interno di un disegno Multiple Baseline Design (MBD) across participants (Baer, Wolf, & Risley, 1968), con l'obiettivo di verificare l'efficacia dell'acquisizione di LI-AR su variabili di comunicazione, interazione sociale e comportamenti problema. I restati 3 partecipanti sono stati coinvolti in un Adapted Alternating Treatment Design (AATD) (Barlow & Hayes, 1979), che ha messo a confronto l'efficacia di LI-AR e quella del classico strumento PECS.

I due studi si differenziano pertanto da un punto di vista metodologico per aver coinvolto una metà dei bambini nell'insegnamento di entrambi i metodi di CAA (PECS e LI-AR), l'altra metà ha svolto unicamente il training con LI-AR allo scopo di verificarne gli effetti

su alcune variabilit individuali senza influenza di altri insegnamenti concomitanti.

Faremo quindi riferimento allo “studio 1” per descrivere lo studio che ha coinvolto unicamente l'utilizzo di LI-AR. Lo “studio 2” farà, invece, riferimento allo studio di confronto che ha previsto l'utilizzo di LI-AR e PECS in maniera alternata per i 3 partecipanti allo scopo di confrontarne l'efficacia, la velocità di acquisizione e la preferenza da parte dei bambini per uno dei due strumenti.

Il MBD ha permesso l'introduzione del trattamento in tempi diversi, per tutti i partecipanti, allo scopo di verificare se l'insorgenza del comportamento coincidesse con l'introduzione del trattamento. Mentre, l'AATD, utilizzato nel secondo studio ha permesso di inserire simultaneamente ed in maniera alternata entrambi i trattamenti in maniera controllata e senza interruzioni.

Studio 1. Lo studio 1 ha avuto l'obiettivo di verificare l'aumento dei comportamenti comunicativi di richiesta durante e dopo il training con LI-AR, contemporaneamente altre variabili sono state indagate relativamente a comportamenti comunicativi sociali e comportamenti problema. In particolare, sono stati osservati come comportamenti comunicativi sociali il gioco cooperativo, l'attenzione congiunta e il contatto oculare. Come comportamenti problema sono stati osservati il pianto o lamento, la fuga e i comportamenti distruttivi.

Studio 2. Lo Studio 2 ha avuto invece l'obiettivo di confrontare l'efficacia del trattamento attraverso i due strumenti (PECS e LI-AR) in termini di velocità di acquisizione e preferenza. Anche in questo caso sono stati indagati effetti aggiuntivi su variabili supplementari quali: aumento della produzione vocale e riduzione dei comportamenti problema.

3.2.3 Partecipanti

Agli studi hanno partecipato 6 bambini in totale, divisi in gruppi da 3 per i due studi.

Criteri di inclusione: Età compresa tra i 3 e i 10 anni; diagnosi di ASD; nessuna competenza di utilizzo per gli strumenti di CAA (SGD o PECS); abilità comunicative pari a ≤ 2.0 anni e abilità fine e grosso motorie ≥ 1 anno d'età, secondo scala Vineland.

3.2.4 *Setting*

Gli studi sono stati condotti in stanze di 5 m per 3 m, in presenza di un terapeuta e un assistente o prompter. Nella stanza era presente un tavolo e due sedie prosizionate una di fronte all'altra, erano presenti gli strumenti SGD adattati ad hoc per ciascuno studente, forniti delle immagini adatte e dei distrattori adatti a ciascun bambino, e il quaderno PECS anch'esso personalizzato ad hoc per ogni studente (presente esclusivamente durante lo studio 2). Contenitori trasparenti contenenti i rinforzatori principali di ciascun bambino erano posti in alto, in maniera che fossero visibili ma non raggiungibili per i partecipanti.

3.2.5 *Definizione della risposta e misurazioni*

In accordo con l'obiettivo principale dello studio abbiamo registrato la percentuale di occorrenza dei comportamenti richiestivi. La richiesta è stata definita come una risposta verbale ad uno stimolo discriminativo non verbale, in assenza di uno stimolo discriminativo verbale (Charlop M.H., Schreibman L., and Thibodeau M. G., 1985).

Abbiamo considerato, inoltre, come comportamenti comunicativi ogni vocalizzazione comprensibile, produzione di parola, pointing e l'uso corretto dello strumento di CAA. I comportamenti comunicativi di ogni partecipante sono stati monitorati prima, durante e dopo il training.

Definendo topograficamente ogni comportamento è stato possibile etichettarli come comportamenti comunicativi sociali o semplici atti motori. Tra gli atti motori rientra, ad esempio, l'utilizzo strumentale del corpo dell'altro.

Oltre ai comportamenti comunicativi, altri comportamenti sono stati osservati: (a) La

percentuale di risposte corrette al training; (b) cambiamenti nella frequenza di emissione di eventuali comportamenti problema; (c) cambiamento nella frequenza di emissione di comportamenti di interazione sociale; (d) cambiamenti nella produzione vocale; (e) la preferenza di utilizzo tra i due strumenti di CAA (nel caso dello studio 2).

I comportamenti sono stati registrati durante sessioni di 10 minuti divisi in 20 intervalli di 30 sec.

I comportamenti problema si rappresentavano topograficamente come pianto, lamento e fuga, nessuno dei bambini ha mai manifestato comportamenti problema severi, auto o etero aggressivi.

I comportamenti di interazione sociale (variabili supplementari dello studio 2) sono stati topograficamente riconosciuti come durata del tempo trascorso nelle attività di gioco con l'operatore, contatto oculare e attenzione congiunta.

Per analizzare i cambiamenti nella produzione vocale, un indice di "quality of speech" è stato calcolato: 0 punti sono stati attribuiti se nessuna vocalizzazione veniva emessa; 0,5 punti sono stati attribuiti per le vocalizzazioni non comprensibili; 1 punto per ogni vocalizzazione funzionare e comprensibile ma pronunciata in parte (ad esempio solola metà delle sillabe che compongono la parola); 2 punti per vocalizzazioni funzionali e comprensibili. Ad ogni occasione di richiesta è stato attribuito un punteggio.

Un partial interval recording è stato usato per misurare le restanti variabili dipendenti.

Le osservazioni sono state gestite con cadenza bisettimanale.

3.2.6 Procedura

All'inizio degli studi è stato condotto un assessment delle preferenze in linea con la procedura di multiple stimulus-without-replacement assessment (DeLeon & Iwata, 1996; DeLeon, Iwata, & Roscoe, 1997).

Baseline: Durante le sessioni di baseline, gli studenti avevano l'opportunità di richiedere

qualsiasi cosa volessero e 5 opportunità di richiesta venivano manipolate dallo sperimentatore, il quale mostrava gli item preferiti per accrescere la MO degli studenti, forniva un breve periodo di accesso libero al rinforzo e conseguentemente ne bloccava l'accesso (Endicott & Higbee, 2007; Jennett, Harris, & Delmolino, 2008). La baseline durava 10 minuti durante i quali il terapeuta teneva occupato lo studente in attività di gioco o didattiche. Le 5 occasioni di richiesta erano organizzate in modo tale che l'esaminatore potesse mostrare su un ripiano i 5 rinforzi, 10 sec venivano lasciati al bambino per emettere un comportamento di richiesta, dopo i 10 sec il rinforzo veniva fornito al bambino indipendentemente dal comportamento emesso.

Training: Il training SGD è stato condotto utilizzando il software LI-AR installato su un Tablet Android 6.0.

Il training PECS, utilizzato per lo Studio 2 di comparazione, è stato condotto utilizzando un quaderno PECS dotato di immagini plastificate e colorate che ritraevano i rinforzatori per ogni bambino. Per ogni partecipante sono stati individuati 5 rinforzatori principali tra le categorie di rinforzi visivi, uditivi, tattali, cinestetici ed edibili.

La fase di training SGD ha seguito la procedura della metodologia LI-AR, per l'utilizzo dell'SGD. Per quanto riguarda lo Studio 2 il training con LI-AR è stato alternato con il training PECS secondo le procedure predisposte da Frost e Bondy nel manuale PECS (1998).

AAC Preference Assessments/Probe Session: Questa fase viene proposta soltanto all'interno dello Studio 2, dopo 4 giorni di training, 2 con PECS e 2 con LI-AR, somministrate in maniera alternata e casuale tra gli studenti. Questa fase ha la stessa struttura della baseline. I partecipanti hanno l'opportunità di scegliere con quale comunicatore fare la prima richiesta. Durante questa sessione entrambi i comunicatori sono presenti e a disposizione del bambino, posizionati sul tavolo, l'esaminatore mostra

i rinforzatori e il bambino è libero di scegliere con quale comunicatore procedere alla richiesta. Al termine della sessione l'esaminatore/terapista può continuare con la successiva sessione di training utilizzando lo strumento che è stato scelto il maggior numero di volte.

Follow-up: Due mesi dopo l'ultima sessione di training sono state condotte 2 addizionali sessioni di follow-up aventi la stessa struttura della baseline.

3.3 Risultati

I risultati hanno mostrato che tutti i bambini hanno acquisito correttamente l'utilizzo dei comunicatori. Per ciascun partecipante si è potuta osservare la presenza di comportamenti comunicativi di richiesta per ogni occasione di richiesta durante il follow-up.

I risultati dello Studio 1 hanno indicato un aumento dei comportamenti comunicativi e di interazione sociale, come mostrato in Figura 8. Inoltre, è emersa una riduzione dei comportamenti problema, come illustrato in Figura 9.

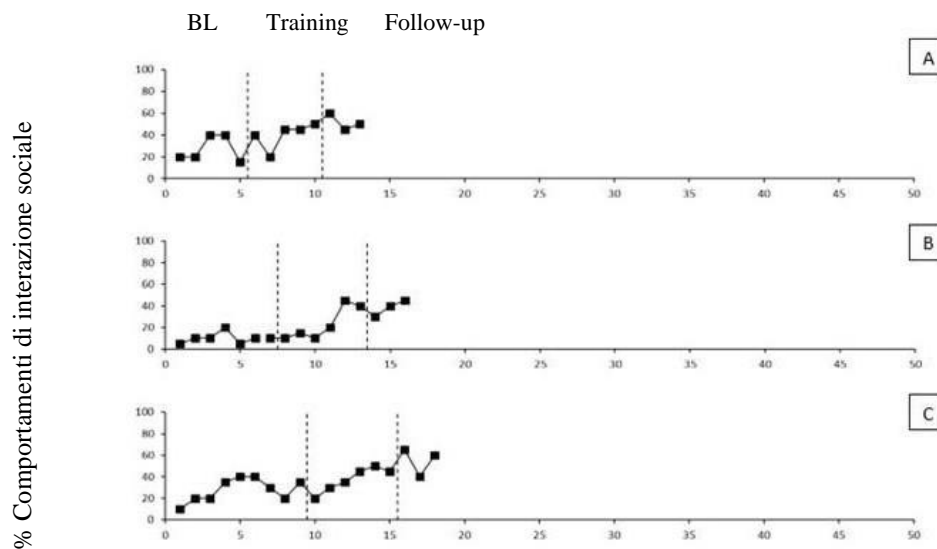


Figura 8 Il grafico organizzato secondo uno schema multiple baseline design mostra la percentuale di comportamenti di interazione sociali manifestati durante le sessioni lungo il percorso del trattamento. I comportamenti sono stati misurati dividendo la sessione di osservazione in intervalli e la percentuale è stata ottenuta tramite un partial interval recording. Le change line dividono le fasi dello studio in baseline (BL), trattamento (Training) e Follow-up.

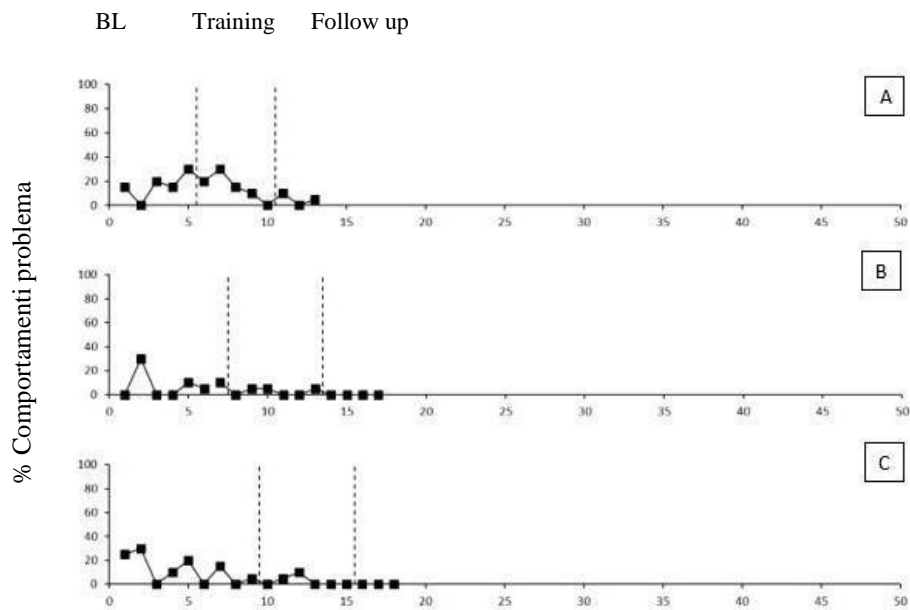


Figura 9 Il grafico organizzato secondo uno schema multiple baseline design mostra la percentuale di comportamenti problema emessi durante le sessioni lungo il percorso del trattamento. I comportamenti sono stati misurati dividendo la sessione di osservazione in intervalli e la percentuale è stata ottenuta tramite un partial interval recording. Le change line dividono le fasi dello studio in baseline (BL), trattamento (Training) e Follow-up.

I risultati dello Studio 2 hanno invece dimostrato che i bambini hanno acquisito l'utilizzo di entrambi gli strumenti LI-AR e PECS con tempi di acquisizione leggermente più veloci con LI-AR (Figura 10) mostrando, inoltre, una preferenza per lo strumento digitale (Tabella 1).

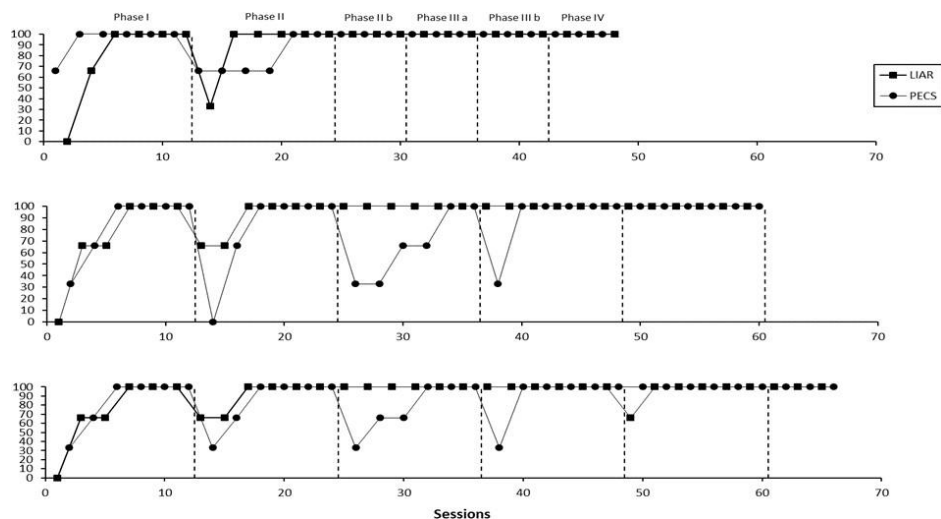


Figura 10 Il grafico mostra la percentuale di risposte corrette sulla totalità delle prove effettuate durante la sessione. Il grafico è strutturato secondo uno schema multiple baseline design across participants e i due trattamenti sono stati presentati ai partecipanti secondo un alternating Treatment design.

	Baseline		Phase I		Phase II		Phase III		Phase IV		Follow up	
	PECS	LIAR	PECS	LIAR	PECS	LIAR	PECS	LIAR	PECS	LIAR	PECS	LIAR
Laura	-	-	-	100%	5%	95%	-	100%	20%	80%	-	100%
Dario	-	-	40%	60%	20%	80%	-	100%	-	100%	-	100%
Marco	-	-	-	-	18%	82%	83%	17%	60%	40%	50%	50%

Tabella 1 La tabella mostra la preferenza per gli strumenti per ciascun partecipante calcolata in percentuale sulla totalità delle occasioni di scelta (5 opportunità) fornite ai partecipanti durante il preference assessment probe.

Anche in questo caso si è assistito ad una riduzione dei comportamenti problema per uno dei 3 bambini osservati, il quale era stato l'unico a manifestare comportamenti di fuga e lamento durante la baseline. Lo stesso bambino ha mostrato, inoltre, un aumento nella produzione verbale come illustrati in Figura 11.

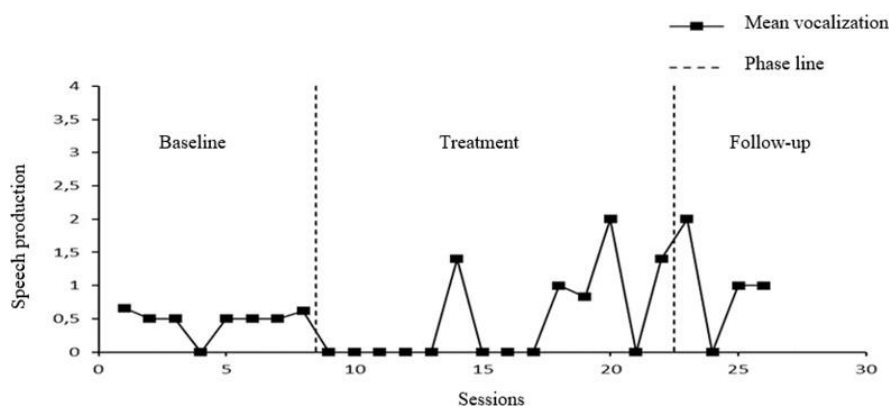


Figura 11 Il grafico mostra i punteggi attribuiti alla qualità della produzione vocale ("quality of speech") all'interno delle 3 fasi dello studio (baseline;trattamento; follow-up).

3.4 Discussioni

I risultati ottenuti hanno indicato che i bambini sono riusciti ad acquisire il comportamento di richiesta con entrambi gli strumenti di CAA proposti, questo risultato è in linea con gli studi precedenti (e.g., Flores et al., 2012). Per quanto riguarda, invece, i risultati relativi alla velocità di acquisizione sarebbe emerso che i tempi di acquisizione del comportamento richiestivo sono comparabili per i due strumenti, ma i tre bambini hanno raggiunto più velocemente i criteri di acquisizione con LI-AR, mostrando meno errori all'inizio di ogni nuova fase (Figura 10). Questo dato disconferma la maggior parte

della letteratura precedente secondo cui i bambini con autismo tenderebbero ad apprendere più rapidamente attraverso il training con PECS (Sigafoos et al. 2009; Agius, & Vance, 2016). Questo risultato potrebbe essere dovuto alla metodologia LI-AR applicata all'SGD in questo studio, che andrebbe a stimolare correttamente gli aspetti del comportamento comunicativo, quali interazione, reciprocità e scambio, maggiormente deficitari in ASD.

Per quanto riguarda l'aspetto delle preferenze, così come van der Meer et al. (2012) indicarono nel loro studio, si può definire preferito lo strumento che viene scelto più volte per comunicare, in una situazione in cui più strumenti sono a disposizione. Nello studio 2, il preference assessment probe ha indicato una netta preferenza per l'utilizzo di LI-AR in due partecipanti su 3 (Tabella 1). I due partecipanti che hanno preferito LI-AR già durante il training hanno, inoltre, continuato ad usarlo anche dopo il training e l'hanno scelto il 100% delle volte durante il follow-up, mentre il bambino che ha mostrato la preferenza per PECS durante il training, sebbene abbia continuato ad usare PECS alla fine del trattamento, durante il follow-up ha mostrato una preferenza divisa al 50% per i due strumenti. A posteriori possiamo dire che, in realtà, questo dato potrebbe spiegarsi col fatto che il bambino, durante il trattamento tendeva a scegliere il metodo PECS probabilmente per ragioni autostimolatorie. Il piccolo, infatti, come indicato dai terapisti che hanno continuato a seguirlo anche dopo lo studio, tendeva ad autostimolarsi col velcro posto dietro le immagini del quaderno, restando qualche secondo a toccarle prima di consegnare l'immagine e quindi procedere alla comunicazione. Quindi la preferenza che è stata registrata durante lo studio potrebbe essere stata dovuta ad una motivazione diversa dall'effettiva preferenza dei PECS per comunicare, ma piuttosto avremmo assistito all'esacerbazione di una delle anomalie più frequenti in ASD e che fa capo agli aspetti ripetitivi e stereotipati che caratterizzano il disturbo.

Dunque, lo Studio 2 ci permetterebbe di asserire che lo strumento digitale SGD per la comunicazione può essere, non solo preferito da questo tipo di studenti, ma addirittura più facile da acquisire come mostrano in dati in Figura 10. Probabilmente l'ausilio della tecnologia rende più facile sia per il bambino che per l'operatore la fruizione del trattamento, oltre che essere più stimolante e meno stigmatizzante per l'utenza.

Un'altra informazione rilevante che traiamo da questi studi è l'effetto positivo che può avere la produzione dell'output vocale, tipica degli strumenti SGD, per l'incremento della produzione vocale stessa in questi bambini. Ovviamente tale risultato è possibile laddove gli studenti mostrano determinati prerequisiti all'inizio del trattamento. Dario, infatti (il bambino che ha mostrato l'incremento della produzione vocale mostrato in Figura 11) era l'unico dei tre bambini ad aver mostrato, durante la baseline, la presenza di alcune vocalizzazioni, che inizialmente erano presenti solo in ecoico e avevano una struttura incompleta. La maggior parte delle sue vocalizzazioni, infatti, durante la baseline erano classificate come incomplete e spesso incomprensibili, il bambino tendeva ad emettere porzioni di parola composte più o meno dalla metà delle sillabe della parola completa. Abbiamo definito tali vocalizzazioni congruenti alla richiesta in quanto nel contesto, in presenza dei suoi rinforzatori, era possibile riconoscere la vocalizzazione a quale parola fosse associata, ma in una situazione di assenza del rinforza non potevano ritenersi vocalizzazioni comprensibili. Alla fine del trattamento, abbiamo assistito, invece, ad un netto miglioramento nella produzione vocale e buona parte delle sue produzioni sono state registrate come complete e comprensibili. Come hanno indicato gli operatori che hanno avuto in cura il bambino, durante il trattamento il piccolo tendeva a ripetere l'output vocale del dispositivo quasi ogni volta durante il compito, questo potrebbe aver stimolato positivamente la sua produzione vocale.

Un ultimo aspetto importante è stato quello legato alla frequenza di emissione dei comportamenti problema. Entrambi gli studi avrebbero infatti indicato una chiara diminuzione dei comportamenti problema a seguito dell'acquisizione del comportamento comunicativo tramite gli interventi di CAA. Questo è chiaramente in linea con la letteratura (Durand, 1993) che attribuisce al comportamento problema, nella maggior parte dei casi, una funzione di comunicazione. Questi pazienti, infatti, sfrutterebbero i comportamenti problema e l'attenzione che richiamano negli adulti attraverso questi comportamenti, per comunicare i loro bisogni. Questo lascia dedurre quanto possa essere importante in questi casi agire precocemente e sostituire ogni comportamento disfunzionale con quello più funzionale all'obiettivo, in questo caso una comunicazione mediata da uno strumento alternativo che possa mediare tra le difficoltà di questi utenti e il mondo esterno.

Capitolo 4

Sezione sperimentale II: la diagnosi e l'assessment nell'autismo

4.1 I limiti e le innovazioni, dal metodo osservativo ad una misura oggettiva del disturbo

Clinicamente, l'autismo include una grande variabilità di manifestazioni e sintomi. I comportamenti tipici del disturbo si manifestano per ogni paziente con diversi gradi di severità. L'eziologia del disturbo è ancora sconosciuta, ma si suppone possa coinvolgere sia fattori genetici che ambientali. A causa di questa estrema variabilità molti specialisti assumono che l'autismo possa essere suddivisibile in diverse tipologie, ciascuna delle quali può avere una diversa eziologia e di conseguenza anche una diversa risposta al trattamento (Hallmayer, J., et al. 2011; Sandin, S. et al., 2014). Quanto più precoce è la diagnosi tanto più efficaci possono essere i trattamenti, permettendo agli specialisti di andare ad intervenire anche sulle suddette componenti ambientali in modo da sollecitare dall'esterno il giusto orientamento dello sviluppo. Una diagnosi precoce, per questi motivi, diventa un elemento fondamentale per costruire piani terapeutici più efficaci (Bradshaw, J. et al., 2015; Howlin, P. et al., 2009).

Studi recenti hanno definito l'autismo come il disordine del neurosviluppo più frequentemente osservato con un'incidenza stimata del 60-70/10.000 (Fombonne 2009). Questo dato ha smosso la comunità scientifica in direzione di un maggiore approfondimento dell'eziopatogenesi del disturbo e di una ridefinizione crescente delle tecniche di diagnosi e assessment (Bertoglio and Hendren 2009; Fombonne 2009).

La diagnosi dell'ASD, fino ad ora è possibile a partire dai 3 anni d'età (American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.)), questo è dovuto al fatto che i principali strumenti diagnostici si basano su analisi osservative dei comportamenti specifici ad oggi ritenuti i sintomi principali del

disturbo. Gli strumenti diagnostici ad oggi più utilizzati fanno affidamento sulle competenze interpretative dei clinici, sul supporto dei genitori e dei caregivers attraverso interviste strutturate e principalmente si rifanno all'utilizzo di test manuali carta e matita, tutti fondamentalmente basati sull'osservazione diretta. Tutti questi metodi richiedono molto tempo per essere utilizzati e non permettono di restituire un risultato oggettivamente condivisibile. Una delle lacune principali della diagnosi nell'autismo è relativa al fatto che, ad oggi, è possibile ottenere una valutazione qualitativa del disturbo, benché sia nota la variabilità interna al disturbo, non esiste ancora un metodo valido per riconoscere e categorizzare tale diversità. Tali limiti aumentano i tempi per la diagnosi e influiscono negativamente sulla sua precisione, a causa proprio di una "incertezza" diagnostica.

La letteratura sull'ASD negli ultimi anni si sta concentrando sull'identificazione dei link tra i sintomi principali ad alto livello e le corrispondenti implicazioni a basso livello che determinerebbero il disturbo e le sue manifestazioni. Nella prospettiva dell'embodied cognition queste anomalie comportamentali o, più genericamente, queste disfunzioni ad alto livello smettono di essere considerate il focus centrale del disturbo ed iniziano ad essere considerate come mere manifestazioni di disfunzioni e anomalie neurofisiologiche sottostanti. Questo, rimodula il significato attribuito finora al termine autismo andando a reconsiderarlo piuttosto come un disturbo associato a disfunzioni a livelli più profondi, non solo a livello del sistema nervoso centrale ma anche a livello del sistema nervoso periferico e autonomo (Torres, E. B. et al., 2013a).

A questo proposito, come è già stato accennato, alcuni autori hanno provato a reinterpretare la sintomatologia autistica in questa nuova chiave. Già Kanner nel 1943 indicò la presenza di un'anomalia a livello motorio e fu il primo ad indicarla come

sintomo cardine del disturbo. Solo successivamente, nel 1996, Leary and Hill hanno individuato un link tra disfunzione motoria e sintomi autistici.

Questo approccio è stato seguito da altre teorizzazioni e studi come quello di Klin et al., del 2003 che ha introdotto il costrutto dell'“enactive mind” secondo cui i processi cognitivi legati alla socialità, come appunto la comunicazione, emergerebbero a partire dai pattern sensomotori che permettono all'azione di essere guidata dalla percezione. Più recentemente, nel 2014 Lawson et al., riconoscono la presenza di anomalie nei sistemi di predictive coding (Friston & Kiebel., 2009) negli individui con ASD. Tale anomalia origina dai sistemi percettivi e di integrazione dell'informazione e si traduce in atti motori disadattivi.

Sebbene, negli anni, gli aspetti motori legati all'autismo abbiano assunto sempre più rilevanza scientifica, allo stato attuale risulta ancora difficile individuare e definire topograficamente l'anomalia motoria che ne deriva. Alcuni approcci dell'ultimo ventennio hanno provato a definire queste caratteristiche cercando innanzitutto un modo per evidenziarle che non fosse semplicemente osservativo ma che permettesse di attribuire al danno delle misure quantificabili e oggettivamente riconoscibili nel confronto con individui normotipici. Ma prima di delineare gli sviluppi di questi nuovi approcci è importante rianalizzare da un punto di vista teorico cosa ci aspettiamo dai movimenti di un ASD e perché.

Come è ben noto, all'autismo sono sempre state associate delle anomalie specifiche del movimento che sono state descritte, però, semplicemente in termini di goffaggine, assenza di coordinazione motoria e oculo-manuale, instabilità posturale e anomalie nellacinetica dei movimenti goal-directed, come i movimenti per afferrare, raggiungere o scrivere (Bauman M. L. 1992; Ghaziuddin M. et al., 1994; Molloy et al. 2003; Sacey, L.A. et al., 2014; Stoit, A. M., et al., 2013; Dowd, A. M., 2012; Kushki, A., et al., 2011).

Tutti questi studi identificano un disturbo del movimento durante il controllo motorio prospettico diretto all'obiettivo (Trevvarthen, C. & Delafield-Butt, J. T. 2013) e un'alterata organizzazione di serie e catene di movimenti (Fabbri-Destro, M., et al., 2009).

Una interessante proposta interpretativa è stata data da Sinha P. et al., nel 2014, gli studiosi hanno posto l'accento sulle abilità predittive degli individui con autismo, per cercare di spiegare i loro comportamenti anomali, “...*if our predictive abilities were somehow to be compromised, then even mundane occurrences in the environment might appear magical... A magical world suggests lack of control and impairs one's ability to take preparatory actions. It can result in outcomes such as those that constitute the autism phenotypes.*”². Il mondo, dal punto di vista di un individuo con autismo, appare, quindi, pieno di eventi inaspettati, al punto da esser definito magico dagli autori. Tutto ciò inevitabilmente compromette le capacità preparatorie all'azione traducendosi in movimenti goffi e maldestri ad una prima occhiata, ma che presumibilmente assumono caratteristiche tipiche se analizzate nello specifico.

L'abilità predittiva, infatti, risulta essere la principale componente compromessa nell'autismo, come suggerito da Lawson et al., (2014). Una predizione compromessa comporta un'alterata capacità di stimare la posizione degli oggetti nello spazio e delle azioni di chi ci circonda. Infatti, anche la consapevolezza percettiva delle intenzioni motorie altrui è notoriamente disturbata nell'autismo. (Cattaneo, L. et al. 2007; Pierno, A. C., et al., 2006). Secondo questo approccio gli stessi movimenti stereotipici si configurerebbero come espressione di un problema di predizione, in cui l'individuo si rifugia nella ripetitività della stereotopia per avere una parvenza di controllo della realtà (Sinha et al. 2014).

² ...*se le nostre capacità predittive dovessero essere in qualche modo compromesse, anche gli eventi banali nell'ambiente potrebbero sembrare magici ... Un mondo magico suggerisce mancanza di controllo e compromette la capacità di intraprendere azioni preparatorie. Può portare a risultati come quelli che costituiscono i fenotipi dell'autismo.*

Se le anomalie motorie nell'autismo derivano da un problema predittivo e quindi anche percettivo è plausibile immaginare che i suoi effetti siano osservabili fin dai primi mesi di vita.

Diversi studi in cui sono state utilizzate delle home videos di bambini prima dei due anni di età poi diagnosticati come autistici hanno rilevato differenze motorie a confronto con bambini a sviluppo tipico (Adrien et al. 1993; Baranek 1999; Teitelbaum et al. 2004). Questo indicherebbe che i deficit motori potrebbero essere presenti già prima di quelli di comunicazione o sociali in generale suggerendo che la compromissione motoria potrebbero effettivamente essere alla base delle caratteristiche principali del disturbo (Leary and Hill 1996; Nayate et al. 2005). In una fase critica dello sviluppo, una inadeguata percezione dell'ambiente esterno ed una conseguente inadeguata interazione spaziale possono sicuramente inficiare l'interazione con il mondo fisico e sociale e gli apprendimenti adattivi, generando le manifestazioni tipiche dell'autismo.

Nell'ultimo ventennio, numerosi autori si sono occupati del problema della categorizzazione e del riconoscimento delle anomalie motorie nell'autismo, sfruttando le potenzialità delle nuove tecnologie di intelligenza artificiale. In particolare, molti si sono concentrati sul riconoscimento e l'anticipazione dei cosiddetti movimenti stereotipati (Albinali, F., Goodwin, M.S., Intille, S., 2009/2012 Goncalves, N., et al., 2012; Goodwin, M.S., 2011/2014; Min, C.H., Tewfik, A.H., et al., 2010; Rodrigues, J.L., et al., 2013; Westeyn, T., et al., 2005). Usando una grande varietà di features e un approccio di classificazione semi-supervised machine learning (Orthogonal Matching Pursuit, Linear Predictive Coding, all-pole Autoregressive model, Higher Order Statistics, Ordinary Least Squares, K-VSD algorithm), hanno ottenuto un indice di riconoscimento dell'86% /95% tra movimenti stereotipati e non. Questi studi hanno avuto, chiaramente, un grosso impatto in ambito terapeutico e riabilitativo.

Un importante obiettivo da raggiungere resta quello di riuscire a dotare i processi diagnostici e di assessment già esistenti della potenzialità di restituire una misura oggettiva del disturbo. Questo potrebbe essere possibile proprio tramite l'analisi del movimento.

I recenti ritrovamenti relativi all'ambito dei disordini motori tipici dell'ASD hanno posto le basi per un nuovo obiettivo per lo sviluppo di strumenti di assessment precoce (Trevvarthen, C. & Delafield-Butt, J. T., 2013; Licari, M. K., et al., 2020).

Crippa et al., 2015 hanno utilizzato un metodo di machine learning per determinare se un semplice movimento degli arti superiori potesse essere sufficiente a riconoscere l'autismo. Hanno confrontato bambini a sviluppo tipico e bambini con autismo facendo delle analisi del movimento raggiungendo un livello di accuracy del 96% per la classificazione dei pattern motori dei due gruppi.

Torres et al., nel 2012 hanno proposto di usare uno strumento di misurazione e analisi statistica del movimento per classificare e diagnosticare l'autismo (Torres, E., & Jose, J., 2012). Gli stessi autori hanno effettivamente riscontrato che i micro-movimenti possono servire da biomarker per lo sviluppo propriocettivo-motorio e come elemento per evidenziare una deviazione dai pattern di sviluppo tipico (Torres, et al., 2013a).

Altri studiosi hanno provato, invece, ad analizzare le coordinate del movimento di trascinamento di un dito sullo schermo di un tablet durante attività di gioco libero o cognitive. Anzulewicz et al., 2016, ad esempio, hanno usato un iPad e hanno analizzato 262 features del movimento di bambini mentre svolgevano un gioco strutturato ad hoc, utilizzando un tablet e quindi rilevando movimenti di trascinamento e pressione. Gli autori hanno riportato un livello di accuracy del 93% per la classificazione tra i due gruppi di bambini con ASD e a sviluppo tipico.

Questi ritrovamenti sottolineano il bisogno di studi aggiuntivi relativi ad una possibile identificazione di pattern motori tipici nell'ASD. È, chiaramente, crescente il bisogno di sistemi oggettivi di misurazione e riconoscimento del movimento, utilizzabili anche in età prescolare.

Il presente lavoro, perciò si è mosso nella direzione di studiare e riconoscere tali movimenti attraverso l'utilizzo di uno strumento di movement-detection, costruito ad-hoc. Abbiamo provato a determinare se un semplice movimento di trascinamento sullo schermo di un tablet potesse essere sufficiente a classificare in maniera accurata la presenza o meno del disturbo (Simeoli et al., 2021).

Abbiamo, perciò, sviluppato un software e utilizzato un sistema di machine learning per discriminare bambini con autismo e bambini a sviluppo tipico. Abbiamo sfruttato una tecnologia ampiamente utilizzata nella vita di tutti i giorni e l'abbiamo integrata ai classici strumenti di diagnosi e assessment, con l'obiettivo di migliorare i processi di valutazione dell'autismo.

Il nostro obiettivo è stato quello di aggiungere un tassello al grande lavoro di avanzamento diagnostico nell'ambito dell'ASD, attraverso la restituzione di un modello di misurazione automatico e oggettivo del disturbo. Rendendo, allo stesso tempo, il processo stesso più dinamico e motivante e di facile somministrazione (Simeoli et al., 2019/2020).

4.2 Metodologia

4.2.1 Partecipanti

Allo studio hanno partecipato 60 bambini di età compresa tra 5 e 10 anni, divisi in due gruppi: 30 bambini con età media 7 anni, deviazione standard 1,4 e diagnosi clinica di autismo (ASD) secondo il Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (5 ° ed.); 30 bambini, con un'età media di 6 anni e 8 mesi, deviazione standard 1 e sviluppo tipico

(TD).

Attraverso la versione originale della Leiter-3 International Performance Scale è stato valutato il QI dei bambini per entrambi i gruppi. Il punteggio QI per il gruppo TD variava tra 74 e 110, il gruppo ASD copriva un range da 59 a 109. Sei bambini nel gruppo ASD avevano un ritardo mentale lieve con un punteggio QI compreso tra 59 e 70 (Organizzazione Mondiale della Sanità, 2004). Non è stato rilevato alcun ritardo mentale moderato, grave o profondo.

Per nessun partecipante è stata segnalata presenza di deficit sensoriali o motori di rilievo. Qualsiasi bambino, appartenente al gruppo TD, il cui medico o insegnante fosse incerto sulla diagnosi o sulla salute del bambino è stato escluso.

I partecipanti ASD sono stati reclutati presso il Centro di riabilitazione Neapolisanit S.R.L.. I criteri di inclusione erano: una diagnosi di autismo secondo i criteri clinici del DSM-V e l'Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS-2) (Lord, C., et al., 2012); età compresa tra 5 e 10 anni; nessuna comorbidità esistente con patologia accessoria.

I partecipanti TD sono stati reclutati da una scuola primaria. I criteri di esclusione erano: sospetti segni di disturbo dello spettro autistico; anomalie dello sviluppo; storia attuale o passata di disturbi psichiatrici o neurologici.

A tutti i partecipanti appartenenti al gruppo ASD è stato diagnosticato un disturbo dello spettro autistico da medici qualificati e professionisti del settore senza alcuna affiliazione con il nostro laboratorio o la nostra ricerca. I bambini con ASD seguono un trattamento di logopedia e psicomotricità presso il Centro di Riabilitazione Neapolisanit S.R.L.. Non è stata riportata alcuna comorbidità specifica con altre patologie ad eccezione del ritardo mentale lieve rilevato, per sei bambini del gruppo ASD, durante la sperimentazione.

Prima dello studio, i genitori dei bambini hanno dato il consenso informato scritto per la partecipazione dei loro figli allo studio. I protocolli sperimentali utilizzati sono stati

approvati dal Comitato Etico di Ricerca in Psicologia dell'Università Federico II di Napoli.

4.2.2 Strumenti

Il nostro movement-detection software è stato sviluppato sfruttando la piattaforma Unity e in linguaggio C#. Gli studi sono stati effettuati su un Tablet Android 6.0, dimensioni (HxWxD) 241.9 x 149.5 x 8.5 mm, dimensioni dello schermo di 9.6”, con una risoluzione di 1280 x 800 (WXGA), refresh rate di 60Hz. Il compito è stato presentato ai partecipanti allo studio attraverso una app sviluppata appositamente per riprodurre un test cognitivo specifico per l’autismo, ampiamente utilizzato nei casi di assenza o compromissione del comportamento verbale, il test Leiter-3 (Roid, G. H., Miller, L. I., & Pomplun, M. 2013). Il software riproduce esattamente i compiti previsti dal test, presentati nello stesso ordine e secondo i criteri di somministrazione della versione originale. Le scene presentate sono composte da un massimo di 5 immagini mobili, da collocare nella giusta posizione all’interno di immagini fisse posizionate nella parte alta dello schermo e che chiameremo placeholder (Figura 12). I placeholder sono programmati per catturare le immagini mobili se queste vengono trascinate e lasciate in loro prossimità.

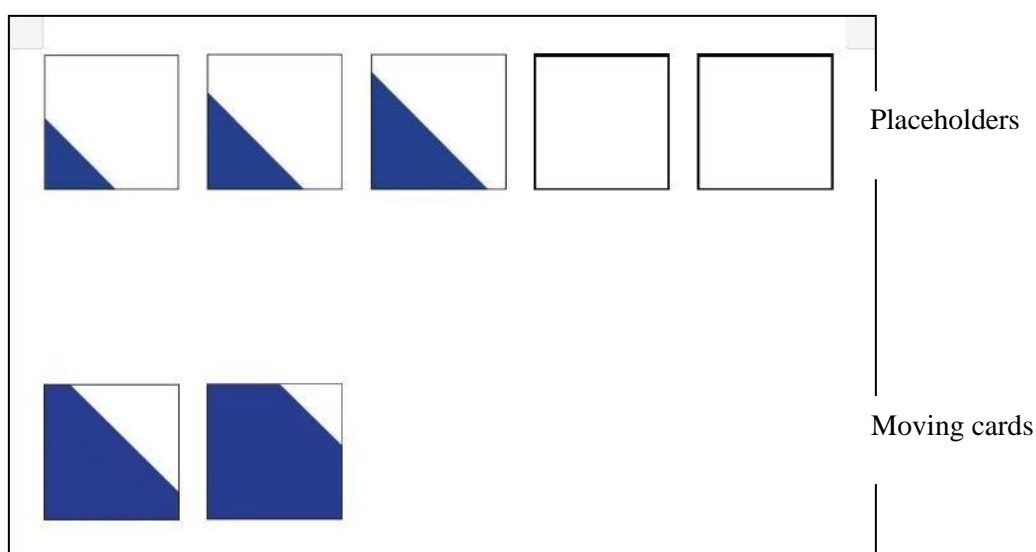


Figura 12 Esempio di scena raffigurante un compito del subtest di Sequential Order (SO)

Il software è programmato per presentare i compiti adeguati all'età dello studente e per passare da un subtest all'altro quando il massimo degli errori concessi è stato raggiunto. La somministrazione automatica riproduce fedelmente le indicazioni di somministrazione del test originale.

A partire dal test completo è stata presentata e riprodotta esclusivamente la batteria cognitiva. Questa è composta da 5 differenti subtest, ciascuno composto da 10 o più item.

I 5 diversi subtest richiamano 5 diversi domini cognitive come segue:

(a) Figure-Ground (FG) il compito richiede di identificare parti di figure all'interno di uno stimolo complesso. L'utente deve identificare l'area corretta all'interno dell'immagine complessa dove posizionare l'immagine mobile, l'immagine mobile raffigura una parte già presente all'interno dell'immagine complessa. I Placeholder sono posizionati all'interno dell'immagine complessa e sono invisibili all'utente; (b) Figure Completion (FC) richiede l'abilità di riconoscere un oggetto intero a partire dalle sue parti randomicamente organizzate all'interno della scena; (c) Classification Analogies (CA) richiede di classificare oggetti o figure geometriche, l'utente è chiamato a completare sequenze di figure geometriche o matrici seguendo un ordine logico e livelli crescenti di difficoltà; (d) Sequential Order (SO) richiede di posizionare figure in ordine logico, riempiendo spazi o terminando serie; (e) Visual Patterns (VP) richiede la discriminazione e il matching di figure identiche. Per tutti i subtest, eccetto FG le scene sono organizzate allo stesso modo, i Placeholder sono visibili come riquadri vuoti e vanno riempiti dalle immagine mobili sottostanti. Tutti gli item per ciascun subtest sono presentati con un crescente livello di complessità e sono caratterizzati da un progressivo aumento di stimoli distrattori o maggiori dettagli dell'immagine. Il livello ascendente di difficoltà richiede un altrettanto crescente livello di attenzione e decision-making.

4.2.3 Protocollo Sperimentale

Durante lo studio i partecipanti erano seduti ad un tavolo alto 65-70 cm a seconda dell'età e della statura del bambino. Lo sperimentatore era seduto dal lato opposto del tavolo. I bambini hanno eseguito il compito utilizzando il tablet posizionato sul tavolo, in modo da essere di fronte al bambino ad una distanza massima di 20 cm dal bordo del tavolo.

I bambini hanno svolto il test sia nella versione digitale che cartacea originale a distanza di due settimane di tempo, facendo attenzione ad alternare in maniera controllata l'ordine di somministrazione di digitale e cartacea in modo di evitare l'effetto apprendimento.

All'inizio di ciascun subtest lo sperimentatore forniva istruzioni non verbali, ma indicative e gestuali, riguardo a come svolgere il compito, seguendo le istruzioni originali del test. Il compito sperimentale consisteva nel trascinare le immagini mobili presentate sullo schermo in basso del tablet dal loro punto di partenza fino al placeholder in alto tenendo conto della richiesta cognitiva del compito. (Figura13). Dopo le istruzioni, lo sperimentatore lasciava il bambino libero di svolgere il compito senza aiuti aggiuntivi fino a quando il bambino non avrebbe commesso il massimo di errori previsti dalla procedura del test. La fase di istruzione includeva una serie di guide che incoraggiavano all'attenzione verso il target principale del compito, venivano usati gesti e pointing, senza alcuna indicazione vocale. Nei casi in cui era necessario, l'esaminatore poteva mostrare attraverso un esempio come svolgere il compito, quindi trascinando l'immagine in prima persona. Questo, però, è stato concesso soltanto nel caso del primo item del primo subtest, ovvero FG1, per tale motivo, le registrazioni di questo item sono state eliminate dal dataset di analisi.

Il passaggio da un compito all'altro era automatico nel caso in cui il bambino avesse posizionato tutte le immagini mobili a disposizione sui placeholder, indipendentemente dalla correttezza dell'associazione. Nei casi in cui i bambini non completavano il

compito, la scena veniva cambiata attraverso un'azione esterna dello sperimentatore.

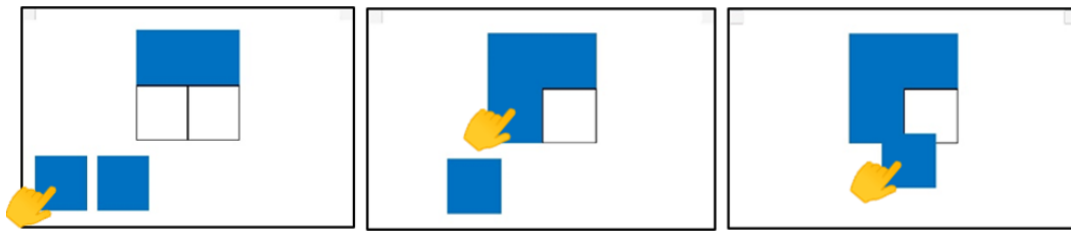


Figura 13 Un esempio di movimento di trascinamento durante il compito di Classification Analogies (CA).

4.2.4 *Acquisizione dati e analisi*

Il nostro movement-detection software è stato sviluppato per registrare le coordinate di movimento del dito durante le azioni di trascinamento di immagini sullo schermo del tablet. Oltre alle coordinate di movimento, venivano registrate anche le posizioni di tutti gli oggetti sulla scena, in modo da tenere traccia della posizione di tutti gli stimoli presenti sullo schermo durante il compito e contemporaneamente dei movimenti dell'utente. I dati sono stati collezionati in funzione del tempo, per la precisione, 40 registrazioni al secondo venivano rilevate. A queste serie di dati venivano associate informazioni riguardo al compito. Questi dati ci hanno permesso di estrarre tempi di reazione e tempi di latenza dell'interazione col test.

Le coordinate di movimento collezionate sono state analizzate come traiettorie di movimento. Abbiamo considerato come traiettorie “finite” l'insieme di coordinate di trascinamento registrate dall'inizio di un movimento di trascinamento, ovvero dal tocco dello schermo, fino alla fine del movimento, ovvero quando il dito veniva sollevato dallo schermo. Queste traiettorie sono state dunque analizzate attraverso l'utilizzo del software di analisi R e il pacchetto traj (Sylvestre, M. P., et al., 2006; Leffondree, K., et al., 2004). Dodici features sono state estratte attraverso queste analisi e ci hanno permesso di ottenere una descrizione computazionale comprensiva dei pattern di movimento durante l'interazione con il device (Tabella 2).

Le features sono state ottenute a partire da set di dati costituiti da righe consecutive di coordinate x,y. I dati di movimento per ciascun compito sono stati aggregati e divisi in traiettorie “finite” circoscritte dall’inizio alla fine di ciascun movimento. Le analisi sono state condotte su tutte le traiettorie disegnate, ottenendo un valore per ogni features associabile a ciascuna traiettoria. I risultati sono stati poi aggregati e suddivisi per item in modo da ottenere una media dei valori delle features per ciascun item. Il set di dati finale è composto dai valori medi relativi a ciascuna features aggregati per item.

Due tipi di informazioni sono state ricavate: (i) informazioni cinematiche come velocità, accelerazione, ecc. e (ii) informazioni basate sul tocco come il numero di traiettorie finite disegnate durante il compito e la loro lunghezza. Il dataset così compilato è stato usato per procedere alle analisi statistiche ed è, inoltre stato usato come input di una rete neurale artificiale.

Per quanto riguarda il dataset fornito alla rete neurale questo comprendeva le informazioni relative al compito e ai livelli di difficoltà del compito. Cinque livelli di difficoltà sono state individuati e i dati sono stati raggruppati in funzione di questi livelli. La rete, dunque, ha confrontato le traiettorie ricavate durante compiti che avevano lo stesso livello di complessità.

Feature name	Description
MeanSpeed	Velocità media raggiunta durante il task
MaxSpeed	Velocità massima media raggiunta durante il task
MinSpeed	Velocità minima media raggiunta durante il task
sdSpeed	Deviazione standard della velocità
MeanAcceleration	Accelerazione media raggiunta durante il task
MaxAcceleration	Accelerazione massima media raggiunta durante il task
MinAcceleration	Accelerazione minima media raggiunta durante il task
sdAcceleration	Deviazione standard dell'accelerazione
STH	Indice di linearità ottenuto dal rapporto tra la distanza del punto di inizio e fine di una traiettoria e la sua lunghezza.
DC	Directional change è un indice di cambio di direzione all'interno della traiettoria
sdDC	Deviazione standard della directional change
MeanLenght	Valore medio del numero di traiettorie disegnate durante il task

Tabella 2 Elenco delle features ottenute tramite l'analisi delle traiettorie e utilizzate per la classificazione

4.2.5 Analisi supplementari

Al fine di verificare l'usabilità del nostro strumento in ambito clinico, sono state effettuate alcune analisi che hanno messo a confronto i risultati di performance ed engagement raggiunti dal nostro gruppo di partecipanti ASD durante lo svolgimento del test nella sua versione originale e digitale. Tutti i partecipanti hanno, infatti, svolto il test in entrambe le versioni. Al fine di evitare un possibile effetto apprendimento, i test sono stati bilanciati, quindi metà campione ha eseguito il compito nella sua versione digitale come prima somministrazione, viceversa la seconda metà del campione. Misure di performance, tempi di latenza e tempi di interazione sono state messe a confronto.

Durante la somministrazione del test in versione digitale, il software ha registrato automaticamente la presenza degli stimoli e, contemporaneamente, le coordinate di movimento risultanti dal movimento di trascinarsi delle immagini da un punto all'altro

dello schermo. Tutti i dati sono stati registrati in tempo reale, ogni dato è stato associato al suo tempo di esecuzione in millisecondi. Durante la somministrazione del test nella sua versione tradizionale, i soggetti erano tenuti ad eseguire il test secondo la procedura standardizzata di Leiter-3 e utilizzando i materiali originali. Per misurare i tempi di interazione e latenza, è stato necessario istruire un secondo sperimentatore per cronometrare ogni azione dell'utente, utilizzando un software costruito ad hoc che riproponeva gli scenari del test. Sullo schermo del secondo tablet venivano mostrate le stesse scene di interazione del test, in tempo reale, ed un timer era programmato per attivarsi come conseguenza al tocco del secondo sperimentatore che era tenuto a registrare in questo modo esattamente le scelte compiute dall'esaminato in quel momento. Per ogni elemento il timer veniva fatto partire quando tutti i materiali di prova erano stati posizionati correttamente dal primo sperimentatore e il bambino era effettivamente pronto ad iniziare.

I tempi di “interazione” sono stati definiti come il tempo a partire dall'inizio della manipolazione del materiale di prova fino al momento in cui l'utente lasciava il suddetto materiale all'interno del box specifico.

I tempi di “latenza”, invece, sono stati definiti a partire dalla fine di ogni manipolazione fino all'inizio della successiva.

4.2.6 Metodi di classificazione

Una rete neurale artificiale (ANN) è stata utilizzata per identificare i pattern motori tra i due gruppi, poiché è ben nota la capacità delle ANN di elaborare relazioni complesse e non lineari tra variabili (Chen et al, 1990; Hornik et al., 1989). Sono state ottenute 17 features, come spiegato sopra. Il set di dati era composto dai valori medi di ciascuna feature, suddivisi per task (Tabella 2). I dati sono stati etichettati in base al gruppo

diagnostico del bambino (ASD o TD) e sono stati standardizzati, prima di essere assegnati all'ANN.

La ANN utilizzata per la classificazione ASD / TD era una feed-forward multi-layer perceptron, composta da uno strato di input di 17 neuroni, uno strato di output di 2 neuroni e uno strato di 5 neuroni hidden il cui numero è stato selezionato attraverso un processo di ottimizzazione con cross-validation, in una ricerca decrescente a partire da 10 hidden layer, con l'obiettivo di utilizzare un modello quanto più semplice possibile per ridurre l'overfitting (Figura 14). È, infatti, noto che le ANN con modelli semplici, cioè con poche unità hidden, sono meno soggette ad overfitting (Musavi et al.1998).

La funzione di attivazione della funzione tangente iperbolica (Tanh) è stata utilizzata per i 5 neuroni nell'hidden layer. La funzione Tanh è ampiamente usata per gli hidden layer di una ANN. I suoi valori sono compresi tra -1 e 1, la media risulta essere 0 o molto vicina ad esso, in questo modo aiuta a centrare i dati portando la media vicino a 0.

Per il layer di output, è stata usata una funzione Esponenziale Normalizzata (Softmax). La funzione Softmax restituisce una probabilità di appartenenza a una classe per ciascuna etichetta di classe e tenta di approssimare al meglio l'obiettivo previsto per un dato input. L'Adaptive moment estimation learning algorithm (Adam) è stato utilizzato per aggiornare i pesi di rete iterativi sulla base dei dati di addestramento (Kingma, DP, & Ba, JL, 2015) e per l'addestramento abbiamo utilizzato una funzione di sparse categorical cross entropy per calcolare l'errore del modello.

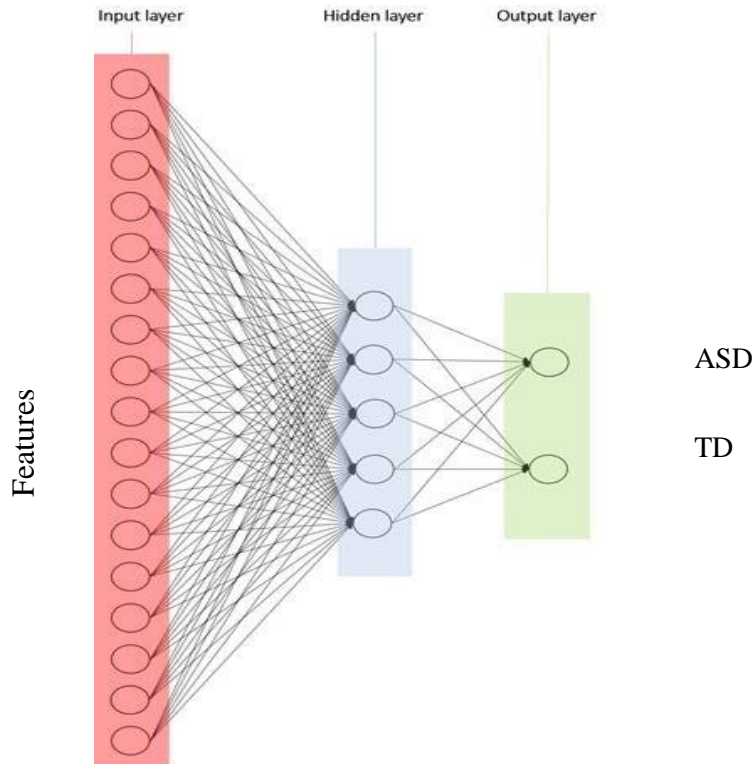


Figura 14 Struttura della rete neurale artificiale utilizzata per il processo di classificazione. La rete è formata da 17 neuroni di input di cui 12 relativi alle features di movimento e 5 neuroni relativi a caratteristiche del task. L'hidden layer è composto da 5 neuroni e due neuroni di output indicano la classificazione tra i gruppi.

Per valutare il nostro approccio e selezionarne la migliore architettura, abbiamo utilizzato un sistema di 10-fold cross validation con 5 ripetizioni: utilizzando lo schema di 10-fold cross validation, il set di dati è stato diviso casualmente in dieci sottoinsiemi uguali. Ad ogni esecuzione, sono stati utilizzati nove sottoinsiemi per costruire il modello, mentre il sottoinsieme rimanente è stato utilizzato per la previsione. L'accuracy media per i 10-folds è stata registrata come valore di accuracy finale. Per eliminare le variazioni statistiche dovute all'inizializzazione del peso casuale, abbiamo ripetuto la procedura di ricampionamento 5 volte e registrato gli errori di classificazione medi. Il set di dati era composto da un totale di 1500 campioni, provenienti da 60 soggetti che eseguivano 25 compiti divisi in 5 sotto-compiti, il set di dati è randomizzato tra soggetti e compiti. Ogni campione era composto da 12 features basate sulle variabili di movimento e 5 features

relative al compito, più nello specifico ai livelli di complessità del compito, per cui l'attività corrente era uguale ad 1 e le altre a zero. Il target era un semplice dataset codificato di 2 classi in cui i soggetti con ASD erano assegnati a [1,0] e TD a [0,1]. I dati relativi alle features di movimento sono stati standardizzati prima di essere inseriti nell'ANN. Il metodo di calcolo generale consiste nel determinare la distribuzione media e le deviazioni standard per ciascuna caratteristica. Successivamente, sottraiamo la media da ogni feature, quindi dividiamo i valori ottenuti di ciascuna caratteristica per la sua deviazione standard. Quindi, la 10-fold cross validation con 5 ripetizioni viene applicata a un processo di allenamento della durata di 500 epoche, per ogni prova prendiamo il 10% dei campioni per il test e il restante 90% per l'allenamento, indipendentemente dal numero di membri ASD o TD nel test o nel set di formazione.

Lo scopo era quello di generare un modello in grado di apprendere dalle caratteristiche selezionate come discriminare individui appartenenti ai due diversi gruppi e classificare correttamente, attraverso queste caratteristiche, nuovi individui non etichettati.

Inoltre, al fine di comprendere come le caratteristiche cinematiche e tattili fornite come input per la ANN abbiano contribuito alla classificazione, viene applicata al modello una forma di analisi di sensitività, dove l'accuratezza, la sensibilità e la specificità del modello sono calcolate sull'intero numero di features che vanno da 1 a 12 (le features relative al task erano sempre fornite alla ANN) in modo iterativo. In particolare, abbiamo applicato il metodo di Improved Stepwise Selection 1 (Olden et al., 2004). Questo metodo valuta il cambiamento nell'accuracy, specificity e sensitivity di una ANN addestrata rimuovendo in sequenza i neuroni di input dalla rete. I cambiamenti risultanti per ogni rimozione di variabile illustrano l'importanza relativa delle variabili predittive (Gevrey et al., 2003). Nella nostra modifica, a partire dall'intero set di 12 variabili di input, rimuoviamo selettivamente un singolo neurone di input e registriamo il cambiamento di accuracy, sensitivity, specificity, a seguire procediamo con gli altri neuroni. Testiamo, quindi, tutte

le 12 variabili possibili. Una volta identificata la variabile con il minore impatto sulla performance complessiva della ANN, essa viene definitivamente rimossa. Lo stesso processo viene applicato a tutte le variabili di input rimanenti, finché il processo non esaurisce il numero di variabili di input del modello. In questo modo, è possibile misurare l'importanza relativa delle variabili indipendenti per il processo di categorizzazione finale per la rete neurale risultata come miglior modello predittivo.

4.3 Risultati

La 10-fold cross validation, applicata per determinare il numero di neuroni hidden necessario per l'ANN, ha indicato un accuracy comparabile per i modelli da 10 a 5 neuroni hidden. Il learning rate è stato settato a 0.01 e il peso sinaptico è stato inizializzato seguendo la *Xavier initialisation* (Glorot and Bengio, 2010). Con meno di 5 neuroni hidden, l'accuracy cominciava a diminuire. Per mantenere il modello semplice, abbiamo scelto la rete più piccola e dunque quella con 5 neuroni hidden.

La ANN selezionata è stata in grado di classificare con successo i partecipanti in base alla diagnosi. Attraverso il processo di 10-fold cross validation abbiamo ottenuto un'accuracy del $88\% \pm 3\%$. I dati che mostrano l'accuracy in relazione alle epoche per la 10-fold cross validation sono riportata in figura 15.

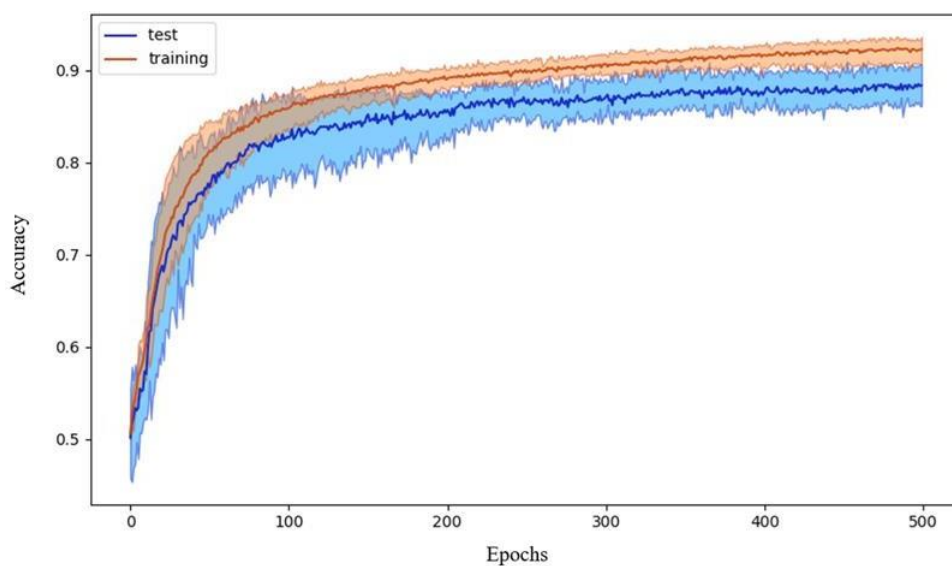


Figura 15 Il grafico mostra l'accuracy raggiunta durante il processo di test e training della rete. I dati fanno riferimento all'accuracy media dei modelli utilizzati per la 10-fold cross validation con 5 ripetizioni.

Una volta verificato che non si manifestava overfitting nelle prove, per le analisi successive è stato usato il modello meglio addestrato dei 10, come riportato in Riccio et al. 2019. La rete meglio addestrata è riuscita a differenziare i due gruppi (ASD e TD) con un'accuracy del 93% (sensitivity 0.87, specificity 0.98). La curva ROC è mostrata in Figura 16.

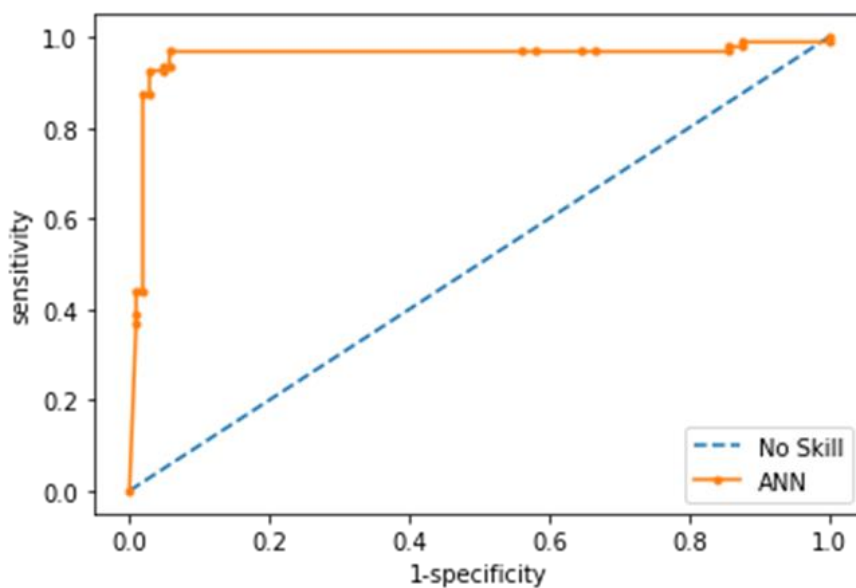


Figura 16 L'immagine mostra la Receiver Operating Characteristics curves (ROC) del nostro modello ANN. La curva deriva dagli indici di sensitivity e specificity e quindi rispettivamente l'abilità del test riconoscere gli individui appartenenti al gruppo ASD e la capacità del test di riconoscere gli individui non appartenenti al gruppo ASD.

Allo scopo di comprendere come le variabili di input contribuissero alla classificazione, accuracy, specificity e sensitivity sono state calcolate sulle 12 variabili di input, come specificato sopra. La Figure 17 mostra come le varie features influiscono sui risultati. Dal grafico è possibile osservare i valori raggiungere il loro massimo quando tutte le features sono considerate. Ma, considerando il processo di assessment iterativo descritto sopra, i valori iniziano a degradare lentamente quando solo 7 variabili vengono considerate (78% accuracy). Eliminata anche la settima feature i valori hanno un netto calo fino a raggiungere un'accuracy del 52%. A seconda del loro impatto sul processo di classificazione, gli input sono stati sottratti in quest'ordine: 1. sdAcc; 2. STH; 3. sdSpeed; 4. sdDC; 5. MaxSpeed; 6. DC; 7. MeanRow; 8. MinSpeed; 9. MeanSpeed; 10. MinAcc; 11. MaxAcc; 12. MeanAcc. Questo significa che le variabili 1,2 o 3 hanno meno impatto sulla classificazione rispetto alle variabili 10, 11, 12, indicando che le variabili relative alla velocità e all'accelerazione sembrano avere un maggior impatto nel determinare le differenze tra i gruppi rispetto alle variabili di linearità (STH) e coerenza (DC) della traiettoria.

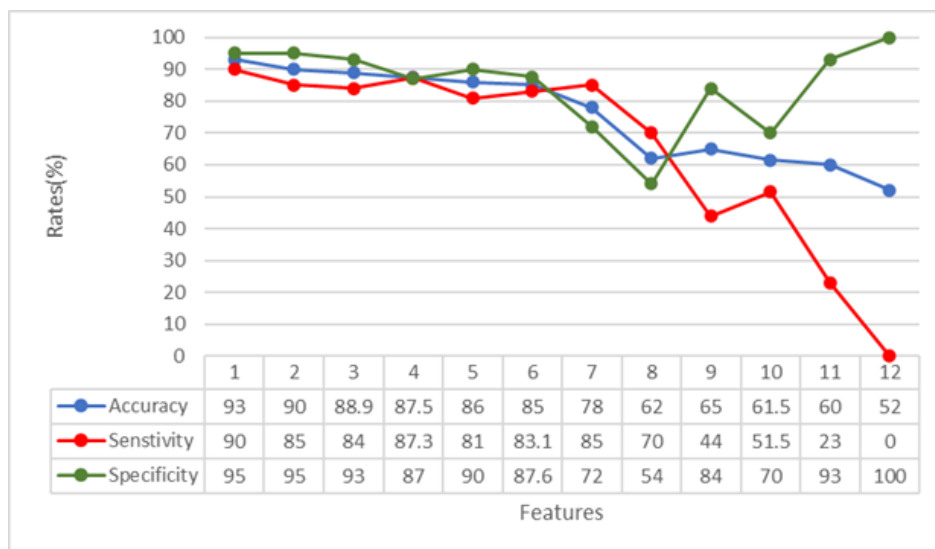


Figure 17 Il grafico mostra l'andamento degli indici di accuracy, specificity e sensitivity in relazione al numero di features inserite all'interno della rete. Le feature sono state sottratte dalla rete nell'ordine a seguire: 1. sdAcc; 2. STH; 3. sdSpeed; 4. sdDC; 5. MaxSpeed; 6. DC; 7. MeanRow; 8. MinSpeed; 9. MeanSpeed; 10. MinAcc; 11. MaxAcc; 12. MeanAcc.

Con l'obiettivo di verificare se questi dati si riconfermassero anche attraverso delle analisi statistiche abbiamo condotto una regressione logistica che non ha fornito risultati significativi. Abbiamo, inoltre, condotto delle ANOVA per verificare se si evidenziassero differenze statisticamente significative tra le features. I risultati hanno mostrato una differenza statisticamente significativa, con un p-value di 0.009 esclusivamente per la misura di STH (per le altre misure, che non sono state riportate in tabella, non sono emerse differenze significative). La misura di STH è risultata significativamente più alta per il gruppo TD (Tabella 3). La d di Cohen indica un effect size 1.647, 95% CI [-0.024, -0.055]. La stessa analisi è stata condotta per analizzare il primo e l'ultimo item di ogni subtest e valutare l'eventuale effetto sul movimento della richiesta cognitiva crescente. Tale analisi è stata condotta sia in merito alle features che in merito ai punteggi ottenuti al test (SCORE).

STH	ASD	TD	p-value
Mean	0.903	0.942	0.009
Std. Dev.	0.028	0.02	
Minimum	0.856	0.888	
Maximum	0.948	0.969	

Tabella 3 A confronto tra i gruppi i valori di STH calcolati sull'intero test

Il confronto tra i primi e gli ultimi item ha rivelato punteggi più alti di STH per il gruppo TD in entrambi i casi (First and Last Items). La differenza risulta, però, statisticamente significativa solo nel caso degli ultimi item, quindi i più complessi (Tabella 4).

	ASD	TD	p-value
STH First	0.884	0.922	0.074
STH Last	0.906	0.954	<.001
SCORE First	11.9	11.9	1
SCORE Last	9.6	9.7	0.719

Tabella 4 A confronto i valori medi di STH per il primo e l'ultimo item

I risultati di usabilità sono stati condotti attraverso un'ANOVA a misure ripetute che è stata utilizzata per confrontare i punteggi di performance, i tempi di latenza e i tempi di interazione.

I punteggi di performance per i due test sono risultati leggermente più alti durante la seconda somministrazione, a prescindere dallo strumento. Non è emersa differenza nelle performance ai due test con un p-value di 0,64. Il parametro di non centralità entro i soggetti è risultato di 3.710.

Per quanto riguarda le differenze nei tempi di latenza, queste sono risultate significativamente più alte durante il test tradizionale (valore $p \leq 0,001$), con una media di 2,65 sec e SD 0,56 per il test in versione digitale e 3,63 sec. SD 1,25 per il test tradizionale. I tempi di interazione sono risultati, invece, leggermente più alti, ma non significativamente (valore $p 0,57$), durante la somministrazione del test digitale con una media di 2,9 sec, SD 1,37, contro 2,6 sec SD 2,15. Un' analisi di correlazione è stata inoltre condotta tra i punteggi del QI e le differenze nei punteggi ottenuti per i due test per ciascun soggetto. La differenza tra i punteggi ottenuti al test digitale meno i punteggi ottenuti al test tradizionale ci ha dato un indice di "best performance" tra i test. I valori positivi indicano prestazioni migliori per il test digitale, viceversa valori negativi. Questa analisi ha mostrato la presenza di una significativa correlazione negativa tra i valori del QI e l'indice di "best performance". È stata effettuata una seconda analisi di correlazione tra i punteggi del QI e le differenze interindividuali dei tempi di latenza ai due test.

I valori positivi indicano una maggiore latenza durante il test digitale, viceversa valori negativi. I risultati hanno indicato la presenza di una correlazione negativa e non significativa (p value 0,58) tra le variabili del QI ed i tempi di latenza.

4.4 Discussioni

Considerata la letteratura a cui abbiamo fatto riferimento e la pratica clinica osservata, possiamo dire che fino ad oggi la valutazione dell'autismo è avvenuta principalmente in maniera osservativa, si è basata su giudizi qualitativi di clinici esperti e su interviste semi-strutturate condotte da esperti a genitori e caregiver. Riconosciuti i limiti di questo tipo di valutazioni, negli ultimi anni, è cresciuta fortemente la consapevolezza della necessità di nuovi strumenti di assessment che possano restituire delle misure oggettive del disturbo. Il nostro lavoro e molti altri nell'ultimo ventennio hanno approfondito gli studi sulle pratiche di assessment tramite l'uso di strumenti per il riconoscimento di pattern motori di movimento. Questi, ad oggi, hanno ottenuto grande attenzione come strumenti idonei per definire misure oggettive e quantitative del disturbo dello spettro autistico.

Lo scopo del nostro lavoro è stato quello di utilizzare le caratteristiche cinematiche di semplici movimenti di trascinamento come predittori per discriminare i bambini con ASD dai bambini con sviluppo tipico. I nostri risultati hanno suggerito che possono essere identificati due stili di pattern motorio in grado di discriminare l'appartenenza ad uno dei due gruppi. La nostra analisi ha mostrato che con sole 17 features, estratte dall'analisi delle coordinate di movimento, erano sufficienti per classificare l'autismo con un tasso di accuratezza del 93%, 87% di sensibilità e 98% di specificità.

Le analisi che abbiamo condotto mostrano che l'autismo può essere identificato dalla combinazione di alcune caratteristiche specifiche del movimento. Questo non ci permette però di assumere con certezza se le caratteristiche del movimento siano tra i gruppi differenti in maniera statisticamente significativa. Le analisi statistiche che abbiamo condotto, infatti, indicano che esiste una misura significativamente differente tra i gruppi, ma nessuna delle altre features mostra gli stessi risultati. Inoltre, la variabile che risulta significativamente differente è la STH, una delle variabili che tramite l'improved stepwise selection era risultata tra quelle con minore impatto sulla rete ai fini della

classificazione.

Quindi i nostri risultati non ci permettono di presumere che le variabili che caratterizzano il movimento degli ASD siano statisticamente differenti tra i gruppi, ma possiamo supporre che l'interazione dinamica di queste variabili possa permetterci di riconoscere e classificare gli stili di movimento di un individuo.

Con l'obiettivo di osservare come le variabili di movimento prendessero forma nei due gruppi, abbiamo confrontato, attraverso semplici statistiche descrittive le features tra i gruppi (Figura 18). I risultati hanno indicato che i pattern motori dei bambini con autismo assumevano più spesso alcune specifiche caratteristiche, di seguito riportate: Come mostrato in Figura 18, gli ASD mostravano, in media, più bassi valori di linearità (STH) e directional change (DC). Questo starebbe ad indicare che le loro traiettorie erano meno dritte e caratterizzate da un maggior numero di cambi di direzione. Inoltre, la lunghezza media delle loro traiettorie (MeanLength) era in media più breve, rimarcando l'idea di un movimento frammentato. Gli indici di velocità hanno invece rivelato che la velocità e l'accelerazione nel gruppo ASD oscillava all'interno di un ampio range. Infatti, il gruppo ASD, ha mostrato alti valori di velocità media (MeanSpeed) e massima (MaximumSpeed), e bassi valori di velocità minima (MinimumSpeed). Allo stesso modo l'accelerazione legata ai loro movimenti copriva un ampio range. Con alti livelli di accelerazione massima (MaximumAcceleration) ma bassi valori di accelerazione minima (MinimumAcceleration).

Questi risultati spiegherebbero anche i più alti valori di deviazione standard per velocità e accelerazione nel gruppo ASD (sdSpeed; sdAcceleration) nel gruppo ASD (Figura 18).

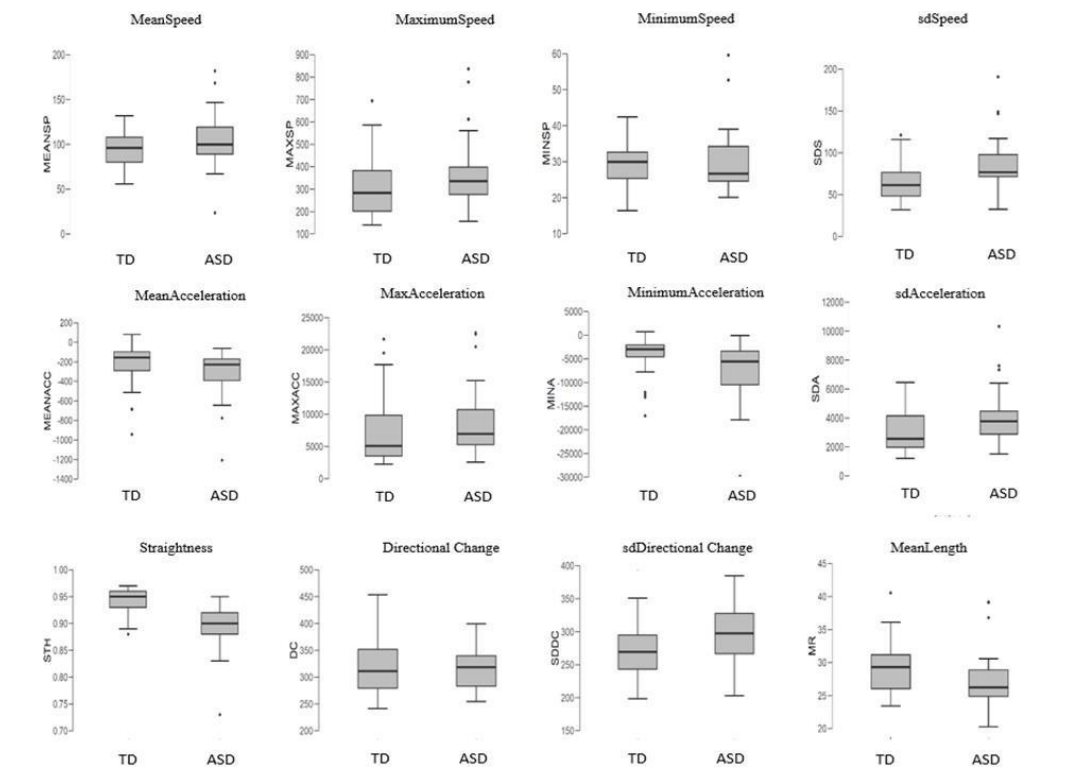


Figura 18 I Boxplots mostrano i valori medi assunti raggiunti e confrontati tra i due gruppi relativi alle 12 features di movimento analizzate e descritte in Tabella 2.

Questi risultati sembrano consistenti con la letteratura di riferimento. Infatti, Azulewicz et al., nel 2016, avrebbero riscontrato una maggiore forza di impatto e pattern di pressione diversi nei bambini con ASD, rispetto ai TD. Gli autori si sono spiegati questi risultati come probabilmente dovuti ad una maggiore velocità ed un conseguente aumento della forza di impatto. Questi risultati sono in linea con la letteratura secondo cui la pianificazione prospettica dei movimenti goal-directed sarebbe disturbata in ASD, questo potrebbe determinare dei processi di compensazione durante il movimento, ad esempio durante il movimento per raggiungere il tablet come indicato da Azulewicz et al., (2016) o durante i movimenti di trascinarsi sullo schermo come mostrato in questo lavoro. Anche i risultati relativi alle features di DC, STH e MeanLength aiutano a definire questo fenomeno, descrivendo le traiettorie dei nostri bambini con ASD come brevi, frammentate e irregolari. Questo potrebbe essere un effetto dei suddetti meccanismi di compensazione.

I nostri risultati sembrerebbero, inoltre, in linea con i ritrovamenti relativi agli esperimenti di tracciamento dei movimenti in compiti goal-directed (Whyatt, C. & Craig, C. M., 2013; Cook, J. L., Blakemore, S. J. & Press, C., 2013; Torres, E. B., et al., 2013). Considerando, infatti, la costituzione delle nostre traiettorie come descritte sopra, sembrerebbe che i bambini con autismo facciano maggiori aggiustamenti del tratto durante l'azione, rispetto al gruppo TD. Whyatt, C. e colleghi nel 2013, hanno infatti dimostrato che i bambini con ASD, durante il movimento, fanno molteplici movimenti correttivi, raggiungendo la velocità maggiore alla fine della traiettoria. Nel nostro studio la velocità e l'accelerazione sono molto variabili, le traiettorie sono tendenzialmente meno lineari e insieme alla caratteristica di frammentarietà della traiettoria si aggiungerebbe anche quella che le descrive come più caratterizzate da cambi di direzione. Tutto questo potrebbe essere il risultato del meccanismo di ipercorrezione descritto sopra.

Tutti questi risultati supportano l'idea fondamentale di un deficit nel controllo prospettico del movimento (Trevarthen, C. et al., 2013; Klin A. et al., 2003; Fabbri-Destro, M., 2009; Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J., 2014). Questo deficit si manifesterebbe attraverso l'interruzione dei meccanismi anticipatori o di feed-forward del movimento. (Mari, M., et al., 2003; Papadopoulos, N. et al., 2012) o feedback re-afferente (Torres, E. B., et al., 2013), durante le azioni goal-directed. La percezione delle intenzioni altrui e la capacità di prestare attenzione agli stimoli adeguati per programmare il movimento in maniera consistente con l'ambiente sono notoriamente danneggiati nell'autismo (Cattaneo, L. et al., 2007; Pierno, A. C., et al., 2006). I deficit nel timing di integrazione sensomotoria influenzano i processi di percezione-azione e l'abilità di comprendere l'ambiente sociale, traducendosi nei sintomi tipici dell'autismo.

Se i feedback propriocettivi, che permettono la correzione del movimento online, sono interrotti, possiamo aspettarci delle anomalie del movimento, che anche quando non sono

visibili come goffaggine e inadeguata postura, possono comunque manifestarsi in pattern motori atipici, ed è per questo che proponiamo di utilizzare questi dati come marker per il disturbo.

Riguardo alla ricerca di indici e marcatori per l'identificazione dell'autismo, molti studi si sono concentrati sulla ricerca di biomarcatori del disturbo, ma l'eterogeneità e la complessa eziologia dell'autismo hanno sempre reso questo processo molto difficile.

Per questo motivo, gli studi degli ultimi anni e il nostro studio, si stanno concentrando sull'identificazione di marcatori bio-comportamentali computazionali del disturbo. Tuttavia, l'analisi di questi marcatori richiede ulteriori studi per evitare potenziali errori di attribuzione. Infatti, il pattern motorio che abbiamo identificato potrebbe, in effetti, sovrapporsi ad altri disturbi, come disturbo da deficit di attenzione, disturbo della coordinazione motoria o disabilità intellettiva generale. Sono necessari, perciò, ulteriori studi per chiarire questo aspetto.

Il presente studio è una dimostrazione teorica dello sviluppo di strumenti di valutazione accessibili e attraenti che possono integrare nuove informazioni importanti nel processo ordinario di valutazione per l'autismo.

Nonostante i nostri risultati promettenti, alcuni limiti metodologici sono evidenti. Uno dei limiti è sicuramente legato alla dimensione del campione. Si palesa la necessità di una replica su un campione più ampio per convalidare questo metodo su un nuovo set di dati non addestrato. Sono necessari ulteriori studi per verificare se l'algoritmo utilizzato potrebbe rimanere predittivo anche per un campione maggiore o se necessita di essere riaddestrato.

Inoltre, non siamo stati in grado di escludere l'intelligenza come eventuale variabile incidente. Anche se abbiamo testato il QI dei bambini attraverso le stesse attività del test, non abbiamo utilizzato il QI come caratteristica indipendente per l'analisi. Tuttavia, la

maggior parte dei bambini con ASD che hanno partecipato sono stati classificati come ad alto funzionamento e solo 6 dei partecipanti con ASD avevano un ritardo mentale lieve (QI compreso tra 59 e 70). Al fine di ridurre l'interferenza cognitiva abbiamo selezionato per l'analisi le caratteristiche estratte da compiti eseguiti correttamente da tutti i partecipanti, come è possibile osservare in Tabella 4, nonostante i punteggi di performance tra i gruppi siano gli stessi le differenze statistiche in termini di linearità rimangono presenti, mostrando di aumentare con l'aumentare della difficoltà del compito. Questo dato però non dovrebbe scoraggiarci in termini di attribuzione del fenomeno ad una componente cognitiva, in quanto, anche questo dato potrebbe esser fatto risalire ad un problema di pianificazione dell'azione, che in quanto più complessa richiede un processamento più profondo, con il risultato di tradursi in un pattern motorio "atipico".

Il nostro studio ha coinvolto bambini con diversi tipi di autismo (da alto a basso funzionamento) poiché l'ipotesi era che l'autismo, indipendentemente dal tipo, potesse influenzare la classificazione. Certamente sapevamo che l'aspetto del funzionamento cognitivo avrebbe potuto alterare il pattern di movimento, al fine di ridimensionare il rischio abbiamo però scelto di analizzare solo gli item che erano stati correttamente svolti da tutti i bambini e selezionato bambini per la maggior parte con QI nella norma, infatti, solo 6 partecipanti ASD avevano un ritardo mentale lieve e considerati i metodi di analisi utilizzati e l'applicazione della 10 fold cross validation, questo dato non dovrebbe aver avuto effetti sui risultati finali.

Studi precedenti presumevano la presenza di una disfunzione di integrazione sensoriale (SID) per spiegare le anomalie motorie nell'autismo (Trevvarthen, C. et al., 2013; Klin A. et al., 2003; Fabbri-Destro, M., 2009; Lawson, RP, Rees, G., & Friston, KJ, 2014; Mari, M., et al., 2003; Papadopoulos, N. et al., 2012; Torres, EB, et al., 2013). La SID non è attualmente riconosciuta come una diagnosi medica distinta, ma di solito si trova in disordini dello sviluppo, in particolare nell'autismo. Altre condizioni potrebbero essere

influenzate da SID come ad esempio l'ADHD. Pertanto, oltre a un controllo del QI, le future estensioni di questo lavoro dovrebbero includere altre disabilità dello sviluppo neurologico al fine di verificare la specificità di questi pattern motori per l'ASD.

La variabile cognitiva, inoltre, può esser ritenuta una interessante dimensione fattoriale ulteriore ai fini di un più dettagliato processo di classificazione. L'insieme di queste variabili arricchite anche da popolazioni diverse di pazienti potranno sicuramente arricchire il database in modo da restituire una maggiore accuratezza nel riconoscimento e nella classificazione ed evitare il più possibile il rischio di overlapping tra eventuali patologie in comorbidità.

Questo lavoro ci ha, inoltre, permesso di rivalutare l'integrazione della tecnologia nella pratica clinica. I risultati di usabilità, infatti, ci hanno indicato che l'utilizzo di strumenti hi-tech per la valutazione clinica possono avere dei vantaggi, sia in termini di engagement del paziente sia in termini di semplificazione della somministrazione e velocità di somministrazione, oltre ovviamente a fornirci dei dati aggiuntivi come nel caso del nostro movement-detection software che integra una classica valutazione cognitiva con uno strumento di analisi del movimento. Anche se non sono emerse grosse differenze in termini di prestazioni, la correlazione negativa tra QI e indice di "best performance" al test digitale suggerisce chiaramente che potrebbe esserci una tendenza a prediligere l'interazione con gli strumenti digitali rispetto a quelli tradizionali, soprattutto per i soggetti con ritardo mentale più grave, supportati da un maggior livello di coinvolgimento. Inoltre, definito l'engagement come quantità e qualità del tempo che viene trascorso ad interagire fisicamente con un oggetto, i risultati di latenza ed interazione hanno mostrato tempi di latenza più lunghi durante il test tradizionale e una tendenza a trascorrere più tempo a interagire con l'oggetto durante il test digitale. Infatti, durante la tradizionale somministrazione del test, i bambini perdevano più facilmente la concentrazione tra una risposta e l'altra, mentre durante la somministrazione digitale

hanno preferito iniziare ad interagire con il tablet ancor prima di aver individuato la risposta corretta.

In conclusione, questo studio rappresenta una prova del concetto che l'analisi cinematica di un semplice movimento di trascinamento può essere utile per discriminare gli individui con autismo e differenziarli dai loro coetanei in via di sviluppo tipico. Il potere predittivo del nostro algoritmo potrebbe supportare i processi di valutazione clinica e incoraggiare una prospettiva di diagnosi assistita dalla tecnologia. Un ambizioso obiettivo futuro è quello di riuscire a riconoscere questi pattern nei bambini più piccoli per poter raffinare i processi diagnostici dell'autismo.

Tuttavia, possiamo affermare che l'apprendimento automatico dei pattern motori autistici, attraverso l'analisi cinematica, durante la valutazione cognitiva stessa, può essere considerato un nuovo metodo promettente per il rilevamento dell'autismo e che potrebbe consentire l'uso di marker bio-comportamentali per la valutazione del disturbo.

Infine, attraverso questo studio suggeriamo anche come le tecnologie, integrate con i classici strumenti diagnostici e clinici, possano essere sapientemente utilizzate per supportare la clinica e l'intervento nel campo dell'ASD, facilitando e affinando i processi di ricerca, diagnosi e valutazione.

Capitolo 5

Sezione sperimentale III: La riabilitazione sensomotoria a partire dalla sincronizzazione dell'informazione re-afferente

5.1 Studio pilota: l'utilizzo del software easy draw per la riabilitazione del movimento

A partire dall'esame della letteratura illustrato nei precedenti capitoli e, in particolare, facendo riferimento alle teorie dell'*Embodied Cognition*, possiamo iniziare a concepire la cognizione come frutto dell'esperienza e l'esperienza stessa come il risultato dell'interazione tra corpo fisico e ambiente. Ambiente dal quale, il corpo, trae, attraverso le sue capacità sensomotorie informazione sul piano biologico, psicologico e culturale” (Valera, et al., 1991).

Il comportamento umano, in quest'ottica, si definirebbe come un insieme di sequenze d'azione del corpo che muovendosi nello spazio e influenzando l'ambiente ne è contemporaneamente influenzato, in uno scambio molto più che meramente adattivo.

Questo approccio riconosce il corpo come primo e principale tramite con cui ogni essere vivente sta al mondo e si interfaccia col mondo, perché è mediante il corpo che gli individui forniscono e ricevono informazioni, in una sorta di continua negoziazione sul proprio stare al mondo, senza cui nessun organismo potrebbe sopravvivere. Per questo motivo sono anche le caratteristiche del corpo stesso e le sue peculiarità sensomotorie ad interferire e modificare questa interazione.

Indagini più approfondite su come il corpo percepisca e agisca in caso di ASD sono state condotte da diversi studiosi. Tra i primi possiamo citare Masterton e Biederman che già nel 1983 hanno provato a comprendere come funzionassero i meccanismi di controllo motorio negli individui con ASD, interrogandosi, nello specifico sui movimenti *goal-directed*. Gli autori avrebbero formato i partecipanti a posizionare dei blocchi di legno in punti target con una sola delle due mani, mentre indossavano lenti costituite da prismi e

che distorcevano la visione dell'ambiente, allo scopo di verificare se le informazioni riguardo l'azione potessero essere generalizzate all'altra mano potendo far affidamento esclusivamente sulle informazioni propriocettive, senza, quindi, poter fare affidamento sulle informazioni visive (Elliott, Roy, 1981). I risultati di questo studio avrebbero dimostrato che gli individui con ASD riuscivano a trasferire con successo l'abilità all'altra mano, suggerendo che il loro stile motorio sia focalizzato sulle informazioni propriocettive. Questo risultato è stato poi riconfermato da studi successivi (Mottron, L., & Burack, J. A. 2001; Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S., 1998). Quello che è emerso indicherebbe che individui con ASD, falliscono maggiormente se chiamati a programmare un movimento verso un target lontano dove le informazioni propriocettive devono essere integrate ad informazioni sensoriali (ad es. stimoli visivi) (Barakova, E. I. 2009).

Alcuni autori ci inducono poi a riconsiderare il movimento come il risultato di feedback re-afferenti provenienti dall'ambiente, la cui informazione è modulata dalla periferia al sistema nervoso centrale (SNC). A questo livello, il movimento gioca un ruolo fondamentale nel controllo intenzionale dell'azione. Torres E. B. nel 2011 fa riferimento ai micro-movimenti come il risultato motorio di questi feedback re-afferenti che condurrebbero a precisi pattern di fluttuazioni di movimento nel tempo, che contribuiscono alla regolazione, coordinazione e al controllo vero e proprio dell'azione, all'interno di uno schema costituito da gradienti di volontarietà, dai movimenti puramente involontari a quelli goal-directed. I movimenti spontanei o riflessi possono essere considerati come innati ed embedded in sequenze naturali e ritmicamente cadenzate e socialmente influenzate fin dai primissimi mesi di vita (Condon & Sander, 1974). Nell'autismo, come è stato ampiamente descritto, l'evoluzione di questo tipo di movimenti è danneggiata. Quindi ci aspettiamo, giustamente, delle anomalie durante l'esecuzione di movimenti volontari.

L'attenzione si sposta, a questo punto, su quelli che possono essere gli approcci terapeutico riabilitativi validi e riparare questo danno.

Negli ultimi anni si fa sempre più spesso riferimento ai comportamenti peculiari dei soggetti affetti da ASD come a nient'altro che strategie di adattamento e compensazione, ed è proprio a partire da quest'idea che alcuni autori si sono chiesti se fosse possibile sfruttare queste capacità di adattamento degli individui autistici per lavorare sull'autoregolazione dei loro movimenti goal-directed, ricostruendo in maniera alternativa la connessione fra intenzione e azione, rinforzandone il rapporto di causalità attraverso l'utilizzo di feedback visivi e/o uditivi e sfruttando il rilevamento di indici motori tradotti in analisi statistiche per misurare e testare la qualità dei loro movimenti (Torres, Yanovich, Metaxas, 2013). Gli autori avrebbero messo a punto una piattaforma per lavorare sul riadattamento del flusso di movimento dell'individuo nell'ambiente, stimolando la riorganizzazione dei feedback sensoriali, inserendoli in una relazione causa-effetto "forzata".

I promettenti risultati di questi studi ci hanno spinto a muovere dei passi anche in questa direzione, quella di un nuovo approccio riabilitativo per l'autismo, verso una "rieducazione sensomotora".

I prossimi paragrafi illustreranno la struttura del software "EasyDraw" progettato per la riabilitazione del movimento e i primi risultati di uno studio pilota condotto in ambito clinico.

5.2 Metodologia

5.2.1 Partecipanti

I primi test sul funzionamento dell'app *EasyDraw* sono stati effettuati presso il centro riabilitativo Napolisanit s.r.l, su 5 pazienti (tutti maschi) di età compresa tra i 6 e i 9 anni, con comprovata diagnosi di Disturbo dello Spettro Autistico, e tutti con una certa

familiarità con l'uso del tablet, in particolare in abito terapeutico. Tre dei nostri partecipanti, infatti, erano in trattamento con LI-AR.

5.2.2 *Strumenti*

L'applicazione *EasyDraw* è stata sviluppata in Unity, utilizzando il linguaggio C#.

L'obiettivo dell'attività è di stimolare movimenti volontari ma non goal-directed sullo schermo di un tablet. Le traiettorie che vengono prodotte da questo movimento vengono poi registrate runtime sotto forma di coordinate spaziali (x; y) registrate nel tempo.

La strutturazione del software prevede l'alternarsi di due scene. La prima, appare completamente bianca, e su di essa l'utente può muovere il dito a suo piacimento, a questo movimento conseguirà la comparsa di una traiettoria multicolore, programmata per scomparire dopo pochi secondi dal tocco, con la stessa velocità e caratteristiche di movimento con cui è stata tracciata (Figura 19). La seconda scena invece riproduce un breve video. L'alternarsi delle due scene segue delle precise condizioni che dipendono dall'interazione dell'utente con lo strumento. Il software è programmato, infatti, per selezionare, in maniera randomica, un'*area target* sullo schermo, ovvero un'area, invisibile all'utente, che se intercettata dal tocco del dito restituisce la produzione di un video di 13 sec circa, che ritrae parti consecutive di video e/o puntate di cartoni animati selezionati tra preferiti dai bambini, tramite un'intervista preliminare.

L'*area target* è stata programmata per variare di posizione a seconda delle risposte dell'utente. In particolare, l'operatore o lo sperimentatore possono scegliere di impostare, all'inizio dell'attività, quanti raggiungimenti dell'*area target* sono necessari per far sì che il software ne riprogrammi la posizione, col solo vincolo dell'"avoid overlapping". Nel nostro studio questo numero è stato tenuto fisso a 3, dunque se il bambino avesse

raggiunto l'area target per 3 volte consecutive nell'arco di 1 min per volta, l'area target sarebbe stata automaticamente spostata in una nuova posizione.

All'inizio del gioco l'area target si trova sempre in una posizione centrale per evitare l'interferenza della variabile di dominanza manuale.

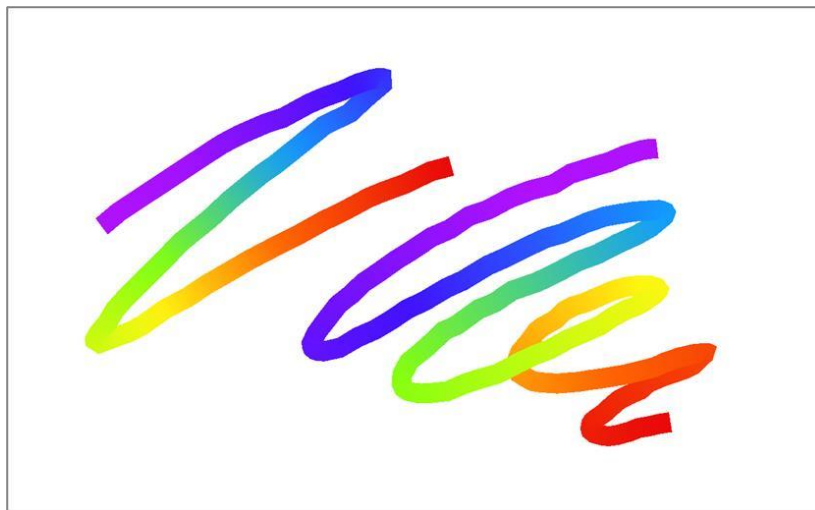


Figura 19 Esempio delle traiettorie mostrate a seguito dell'azione dell'utente nella schermata di attività

Il software è stato programmato per essere quanto più personalizzabile possibile, per tanto una schermata introduttiva è predisposta sia per l'acquisizione dei dati anagrafici dello studente sia per settare alcune impostazioni di base, come ad esempio il numero di tentativi per il cambio di posizione dell'area, come enunciato sopra (*numero di tentativi*); il tempo limite di risposta (*secondi per tentativo*); la dimensione dell'area, ecc. (Figura 20).

Il software registra tutti i dati di attività dell'utente tenendo conto di: numero di tratti (Trt), ovvero l'insieme delle coordinate risultanti dal momento in cui l'utente poggia il dito per trascinare fin quando non lo alza dallo schermo; Il numero di tentativi (GenTent) ovvero l'insieme dei tratti necessari a raggiungere l'area; le prove (Probe) ovvero un contatore di tentativi circoscritto per ciascuna area; la posizione dell'area in quel dato momento (PosA); le coordinate x, y e il tempo (Figura 21).

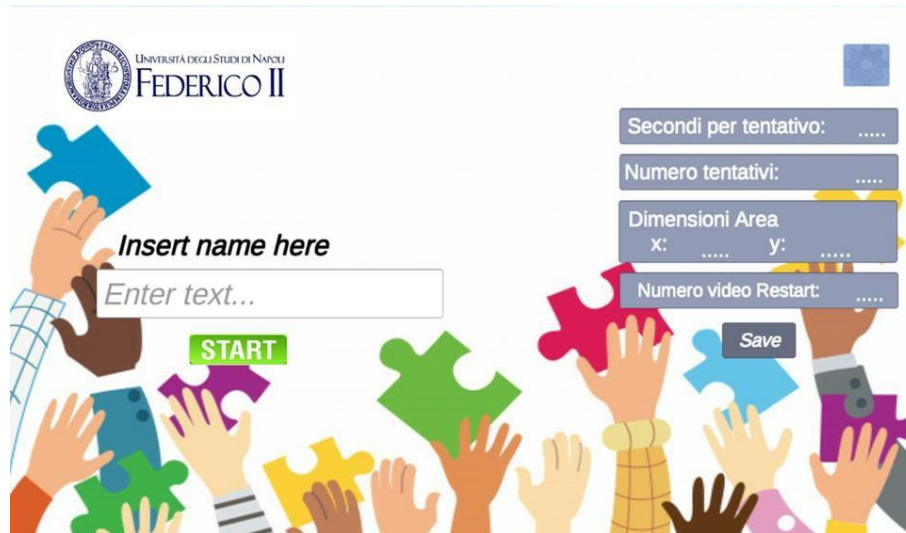


Figura 20 Main Menù dell'app EasyDraw

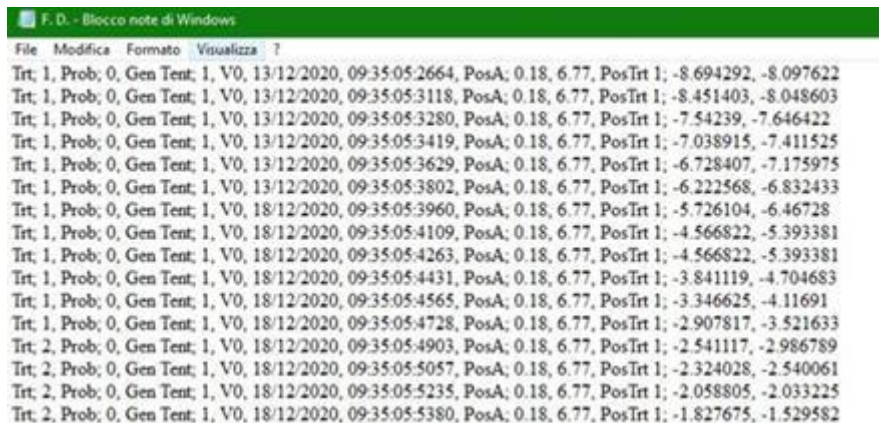


Figura 21 Esempio di scheda di registrazione dati

5.2.3 Protocollo sperimentale

Durante la sperimentazione i partecipanti erano seduti su piccoli tavoli per bambini di fronte al terapeuta.

Il protocollo pilota ha previsto l'utilizzo di impostazioni di default, uguali per tutti i bambini. L'Area Target aveva dimensioni 1.1, 0.8, il numero di Tentativi era pari 3 e il Numero di Secondi per tentativi pari a 40 sec.

Ai partecipanti veniva mostrato il tablet impostato sulla schermata bianca di attività e non veniva fornita alcuna consegna. Qualora i bambini non avessero accennato per 10 sec ad

utilizzare il tablet gli si suggeriva verbalmente, nel caso nei bambini vocali, o con prompt fisico, di iniziare ad esplorare lo schermo del tablet col dito. L'obiettivo restava sempre quello di veicolare un'interazione quanto più autonoma possibile del bambino con l'app, e far sì che ogni partecipante potesse arrivare da solo alla comprensione e alla soluzione del compito, senza che questa gli fosse data o suggerita in alcun modo dall'esterno, facendo in modo che fosse l'esperienza stessa delle loro azioni a veicolare l'obiettivo dei loro movimenti.

L'attività era considerata terminata al termine dell'ultimo video in riproduzione della sequenza scelta per il bambino, a prescindere dalla performance condotta.

5.2.4 Misurazioni

Le coordinate sono state analizzate in termini di; Straightness (STH) ovvero linearità del tratto, data dal rapporto tra la distanza tra il punto di inizio e fine della traiettorie e la lunghezza della traiettoria stessa; Velocità, ottenuta rapportando la distanza euclidea tra i punti che compongono il tratto e l'intervallo di tempo; Accelerazione, ovvero la variazione della velocità nell'unità di tempo, in questo caso misurata in px/ms^2 ; Esplorazione, ottenuta dividendo lo spazio esplorabile, ovvero lo schermo del tablet, in 24 aree di uguali dimensioni, ottenendo una griglia 4x6. L'esplorazione risultava dalla percentuale di aree coperte dal tratto durante il movimento.

5.3 Risultati

I partecipanti allo studio hanno interagito col tablet in media per 7 minuti e 30 sec, con un minimo di 4 minuti fino ad un massimo di 11. Tutti sono riusciti a raggiungere l'area target almeno in 3 posizione diverse. La velocità dei loro movimenti si è mantenuta in media intorno a $32.55 px/ms^2$, l'accelerazione media, invece, è stata di $114 px/ms^2$. I valori di STH si sono mantenuti per tutti i partecipanti molto bassi con un valore massimo di 0,40. Infine, le percentuali di esplorazione dello spazio hanno solo di poco superato il

50 %. Di seguito sono riportati i risultati per ciascun soggetto (Tabella 5).

	01 G. F	02 G.	03 A.	04 E.	05 P.
Tempo Interazione (mm:ss, ms)	10:53,613	04:11,041	06:13,037	06:42,723	09:53,842
Num Trial	5	3	5	4	6
Velocità media (px/ms)	21,808	32,132	25,347	48,481	34,896
Accelerazione media (px/ms ²)	-52,867	-89,945	-169,173	-107,956	-149,34
STH per Probe	0,1019	0,2149	0,3896	0,1979	0,3542
% Esplorazione Probe	40,51	28,47	24,31	37,24	33,71
% Esplorazione Trial	62,50	48,61	48,33	59,38	55,56

Tabella 5. Le misure di movimento ottenute durante l'attività con l'app EasyDraw

Aspetti interessanti sono gli andamenti di questi parametri durante l'attività e nel tempo. Alcuni dei pattern sono stati analizzati più nel dettaglio. In particolare, sono stati analizzati i risultati di esplorazione e linearità per due partecipanti (P. ed A.), rispettivamente di 8 e 9 anni, P. caratterizzato da frequenti stereotipie e tendenza all'autostimolazione visiva, A. scarsamente verbale.

I profili di interazione e movimento dei due bambini (Figura 22) rappresentano due andamenti opposti. Da un lato il paziente A. mostra un andamento discendente dei livelli di esplorazione e un livello ascendente di linearità, viceversa P. il quale mostra, un'esplorazione crescente ed una linearità leggermente decrescente. Entrambi i bambini hanno svolto correttamente il compito incontrando l'area rispettivamente 5 e 6 volte.

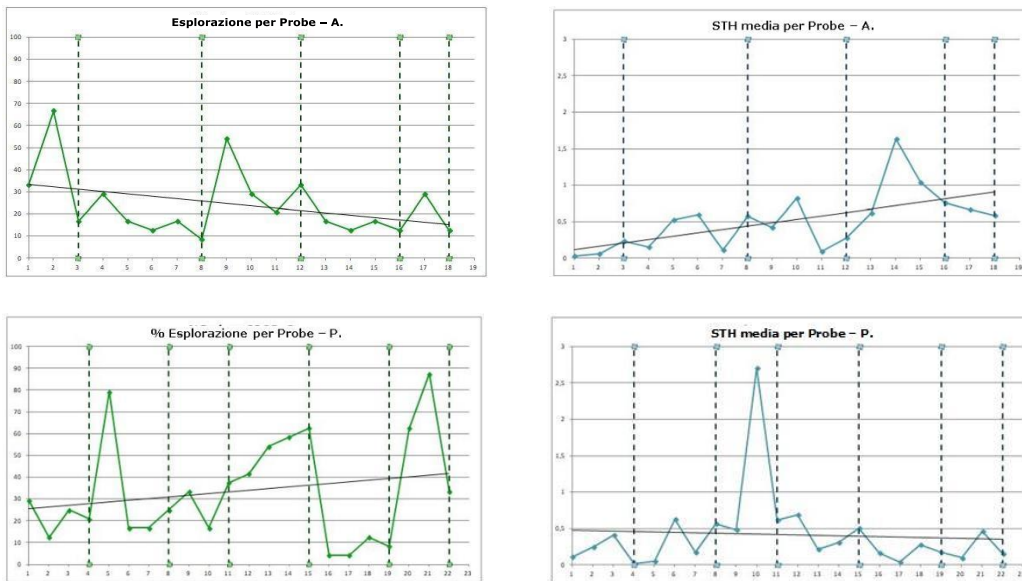


Figura 22 Grafici che mostrano l'andamento di % di esplorazione e valori di STH durante il compito per i partecipanti A. (in alto) e P. (in basso)

5.4 Discussioni

Assunto che l'ASD sia caratterizzato da un disturbo nell'integrazione tra le informazioni propriocettive e sensoriali e quindi da una difficoltà a pianificare le azioni nello spazio in funzione delle conseguenze che questi creano nell'ambiente, un sistema che stimola la produzione di movimenti goal-directed sulla base dell'esperienza potrebbe configurarsi come un buon alleato per la riabilitazione.

Lo strumento proposto va, infatti, a rimarcare il rapporto causa-effetto tra le azioni dell'individuo e le conseguenze nell'ambiente, attraverso l'utilizzo di rinforzi "autogestiti". Il principio riabilitativo si ispira ai principi base Applied Behavior Analysis e più in generale del comportamentismo.

I primi risultati ottenuti, seppur assolutamente preliminari, hanno iniziato a mostrare l'andamento che potrebbe avere il percorso di apprendimento durante questo tipo di

attività, iniziando a delineare la possibile risposta ad un ipotetico percorso di riabilitazione così strutturato.

In generale, abbiamo osservato che, nonostante le differenze negli stili di esplorazione e nelle velocità, i partecipanti sono riusciti tutti a far cambiare la posizione dell'Area Target da un minimo di 2 ad un massimo di 5 volte, in un tempo medio di interazione con l'app di 7 minuti circa. La maggior parte dei partecipanti, inoltre, ha mostrato una tendenza a diminuire i tempi di esplorazione e a disegnare traiettorie sempre più lineari. Inoltre, nessuno di loro ha avuto bisogno di più di 3 "prompt" per entrare autonomamente in interazione con l'app, tutti sono riusciti a completare la visione dell'episodio frammentato, e quindi a terminare il compito designato per quella sessione.

Le analisi delle misure di STH, velocità, accelerazione ed esplorazione analizzate lungo il percorso dell'attività come misura interindividuali, ci hanno permesso di osservare gli stili di apprendimento dei partecipanti, ed è, inoltre, stato possibile attribuire delle misure al comportamento. Nel caso di P., infatti, abbiamo potuto misurare la manifestazione di un comportamento stereotipato. Più nello specifico, quello che è stato osservato si è presentato innanzitutto come un'anomalia nel processo di apprendimento dell'attività.

Nello specifico si è assistito ad un aumento dei tempi di esplorazione ed una diminuzione della linearità delle traiettorie disegnate. Un profilo di questo tipo risulta anomalo, perché, benché il compito possa non essere appreso, dei pattern di questo tipo sembrano associati addirittura ad un peggioramento della performance. In realtà, questi dati, affiancati all'esame osservativo, hanno permesso di evidenziare e misurare quantitativamente la presenza di un comportamento stereotipato. Il motivo di questi risultati, infatti, è dovuto alla tendenza di P. ad autostimolarsi visivamente con il tratto prodotto durante il movimento. Il dato, quindi, oltre ad essere un'evidenza del fatto che le misurazioni risultanti da questo tipo di attività possono essere utili per misurare il comportamento e

riconoscere, come in questo caso, la presenza di stereotipie o anomalie del comportamento motorio, ci indica anche l'esigenza di un maggiore livello di personalizzazione dello strumento. Infatti, in casi come questo, lo strumento potrebbe essere programmato per non produrre alcun effetto visivo durante il movimento, ma soltanto la conseguenza finale.

Questo lavoro, come è stato accennato, si ispira ai lavori di Torres, Yanovich, Metaxas del 2013. In questo studio, gli autori, avevano programmato il software per riprodurre il video per tutto il tempo che il partecipante fosse rimasto in una data posizione, ampliamenti del presente lavoro potrebbero tendere verso questo tipo di estensione, in modo da rafforzare la dinamica causa-effetto. Ulteriori studi, longitudinali e su campioni più ampi sono sicuramente necessari per osservare le eventuali evoluzioni nel tempo di questi profili di movimento e le eventuali differenze tra individui con ASD e campioni normotipici.

Il presente lavoro introduce un nuovo concetto che combina la nozione di co-adattando in un sistema di feedback determinati in cui le statistiche del movimento in tempo reale e la statistica degli stimoli esterni si intrecciano.

In queste condizioni, con istruzioni minime o nulle i bambini hanno scoperto autonomamente gli obiettivi impliciti di un compito e naturalmente hanno imparato a dare loro la priorità per massimizzare la ricompensa del compito.

Analizzando dati di questo tipo potremmo essere in grado di quantificare in tempo reale, con precisi indici statistici, i livelli di prevedibilità e affidabilità dei loro movimenti mentre passano da casuali, esplorativi, a movimenti di ricerca dell'obiettivo e di contatto

con l'obiettivo fino a quando non si trasformano in comportamenti anticipatori, in una progressione dall'azione all'intenzione.

Attraverso queste attività, quindi, è possibile coinvolgere persone con autismo nell'esplorazione spontanea, modulare i loro output motori in funzione degli stimoli esterni e rendere i rinforzi esterni autodeterminati, rendendo l'apprendimento quanto più ecologico possibile.

Tutto questo può offrire grandi spunti alla ricerca futura, installandosi all'interno di un panorama in cui i modelli di variabilità motoria spontanea non sono ancora stati tracciati ma si sono, chiaramente, rivelati critici per evocare e sostenere l'intenzionalità e il controllo autonomo nelle azioni.

L'idea è che, quindi in ASD i livelli di ritenzione dell'apprendimento potrebbero essere migliori e più efficace se gli interventi fossero basati sulla scoperta spontanea piuttosto che esclusivamente su comandi espliciti.

Quest'ultimo contributo chiude, quindi, la triade di lavori riportati e atti a ridefinire i piani di intervento ed assessment nell'ambito dei disturbi dello spettro autistico in un'ottica di embodiment, più ecologica e "*body mediated*".

Conclusioni

Il presente lavoro si è sviluppato all'interno di quadri teorici preesistenti e consolidati prendendo spunto dalle diverse prospettive che, nella storia, hanno provato ad inquadrare e descrivere il disturbo dello spettro autistico che, data la sua estrema complessità e variabilità sintomatologica resta ancora, tuttavia, una sindrome relativamente inesplorata da un punto di vista puramente eziologico (Hallmayer, J., et al. 2011; Sandin, S. et al., 2014).

Passando dagli approcci che si sono soffermati sulle manifestazioni più puramente comportamentali del disturbo, come appunto l'analisi del comportamento applicata ed il comportamentismo di Skinner, ci siamo spinti anche verso quegli approcci che non hanno mai smesso di tentare di risalire alle cause di queste manifestazioni, inserendoci all'interno del filone dell'"*embodied cognition*" e dell'"*enactive approach*".

Il presupposto di base del nostro lavoro racchiude in sé l'idea che è possibile un'intreccio tra questi due diversi costrutti. Da un lato l'*embodied cognition* può aiutarci a rintracciare quelle dinamiche cognitive trasparenti che filtrano l'informazione e determinano le mappe cognitive sulle quali si baserà il sistema sensomotorio per definire l'azione e quindi il comportamento, l'analisi del comportamento applicata, dall'altro lato, può fornirci i metodi e le pratiche cliniche più adatte a riabilitare quei processi.

Gli strumenti che abbiamo proposto sono fondati su questo principio, attraverso il rilevamento di nuovi comportamenti latenti e se vogliamo trasparenti, come nel caso dei pattern di movimento, possiamo immaginare nuovi approcci di trattamento e riabilitare ispirandoci ai precetti dell' Applied Behavior Analysis, come l'app EasyDraw suggerisce.

Affrontando il disturbo in quest'ottica è possibile fornire nuovi concetti per superare i problemi relativi ai sistemi di valutazione, tradizionalmente funzionalisti, dell'autismo, che sono riusciti, finora, a dare una visione frammentaria e disintegrata del disturbo, in

quanto tendono naturalmente a considerare la cognizione, la comunicazione e la percezione come blocchi separati, non tenendo conto dell'*embodiment* e basandosi su una metodologia "individualista".

Riuscendo, invece, ad applicare i concetti dell'*enactive mind* all'autismo e intrecciandoli in maniera sinergica agli approcci più classici è possibile sviscerare il disturbo. È possibile comprendere le sottili dinamiche tra l'*embodiment* stesso e il sense-making.

Domandarsi come le peculiarità dell'autismo nel muoversi, percepire ed esperire si relazionino al modo in cui attribuiscono un senso al loro mondo. Scoprire e sviscerare i correlati sensomotori di alcuni comportamenti tipici, come gli interessi ristretti o la preferenza per i dettagli.

Senza, quindi, mai perdere di vista gli effetti sul mondo, le manifestazioni più esplicite e quegli effetti di "maladattività" che sono ampiamente riconosciuti e associati al disturbo, abbiamo tentato di restituirgli una connotazione neurofisiologica e se vogliamo metacognitiva, per poter porre le basi per un più ampio approccio al neuro-sviluppo. Tenendo ben a mente quella che è la pratica clinica e la teoria alla base dei piani di riabilitazione più diffusamente utilizzati per l'autismo, il nostro presupposto è stato quello di poterne ampliare la conoscenza e spiegarne, attraverso analisi più sofisticate, i processi di evoluzione, sfociando in un vero e proprio approccio ai sistemi complessi.

È, infatti, in questo modo che il nostro lavoro cerca di inquadrare l'autismo, ma in generale, l'essere umano, come sistema complesso, in interazione costante con l'ambiente, in cui tutto ciò che si produce dipende strettamente da ciò che si riceve. Ed è proprio in questa dinamica complessa di integrazione tra informazioni sensoriali, e quindi esogene, e predizioni interne, endogene, che possono dipanarsi le differenze tra gli individui, lungo un continuum ai cui estremi possiamo collocare il concetto di adattamento.

Ogni psicopatologia, infatti, si definisce nella misura in cui allontana l'individuo dal

classico percorso di adattamento all'ambiente. Sono esattamente questi gli aspetti su cui, nella riabilitazione classica comportamentale, applicata all'autismo, si cerca di lavorare, con l'obiettivo di ripristinare le corrette dinamiche di azione-reazione, feedback-risposta tra individuo e ambiente.

Secondo il complex system approach, un sistema funzionalmente dinamico si trova al centro di un insieme di elementi interconnessi che si evolvono nel tempo e si auto-organizzano in unità funzionali di ordine superiore (Vallacher, et. al., 2015) elette a governare il comportamento del sistema. L'auto-organizzazione è il processo mediante il quale i processi di ordine inferiore interagiscono e vengono gestiti dai processi di ordine superiore, come in un modello gerarchico. Un sistema adattivo è flessibile al variare delle condizioni, ma è anche in grado di mantenere l'integrità funzionale di fronte alla perturbazione (Hollenstein, 2013). Un sistema che ha più modelli funzionali può passare in modo flessibile da un modello all'altro per soddisfare le esigenze delle sfide interne ed esterne (Scott Kelso, 2012).

Quando questa dinamica flessibilità viene persa e si assiste ad una sorta di fissazione o rigidità per una delle modalità disponibili all'integrazione delle informazioni, si determina un'anomalia nel processo di adattamento.

Secondo quanto riportato dalla letteratura di riferimento del presente lavoro, la sintomatologia autistica dipenderebbe proprio da anomalie a questi livelli.

Dunque, quello che abbiamo proposto è stato di ampliare gli orizzonti dell'approccio classico comportamentista, intendendo l'organismo umano come organismo complesso e frutto delle sue interazioni, inquadrando i suoi sintomi in un'ottica del neurosviluppo che guarda ai processi neurofisiologici che sottendono agli apprendimenti mediati dall'ambiente.

Abbiamo più volte sottolineato come la precocità del l'intervento e quindi della diagnosi

fosse importante ai fini dei risultati del trattamento. Questo è vero proprio nell'ottica in cui rieducare e reindirizzare l'interazione col mondo risulta fondamentale laddove, cioè, è esattamente il modo in cui il mondo si esperisce ad essere la causa della maggior parte delle anomalie del comportamento. In individui dove la fissazione e la ripetitività governa gli schemi cognitivi è necessario lavorare sullo scioglimento degli schemi disadattivi in maniera precoce e serrata (Bradshaw, J. et al., 2015; Howlin, P. et al., 2009). Sono tutti questi aspetti che rendono necessaria una valutazione più accurata del disturbo insieme a percorsi riabilitativi estremamente individualizzati e mirati fortemente alla rieducazione della gestione dei feedback re-afferenti dall'ambiente (Torres, E. B. et al., 2013a).

Il nostro lavoro ha in parte dimostrato che tramite nuovi metodi di analisi delle manifestazioni sintomatologiche del disturbo, si può raggiungere una definizione più chiara del disordine ed organizzare un percorso riabilitativo più adeguato.

Le innovazioni apportate dal presente lavoro, dunque, convergono nella direzione di una integrazione dinamica tra strumenti di assessment classici e innovativi, che sfruttano le potenzialità della tecnologia oggi a nostra disposizione. Sono stati adoperati sistemi hardware e software di ultima generazione, proponendo un nuovo modo di fare analisi computazionale. Una siffatta sinergia tra modelli teorici e strategie innovative di valutazione pare possa, dunque, garantire nuovi modi di definire il disturbo, in una maniera, finalmente, oggettiva e quantificabile.

In armonia con lo sfondo teorico a cui abbiamo fatto riferimento, il percorso proposto può aprire le porte a nuovi approfondimenti e nuovi modi di fare riabilitazione nell'autismo, con lo sguardo sempre puntato ad un lavoro di rimodellamento dei processi e delle dinamiche di interazione individuo-ambiente.

Bibliografia

Ackermann, H., Mathiak, K., & Ivry, R. B. (2004). Temporal organization of "internal speech" as a basis for cerebellar modulation of cognitive functions. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, 3(1), 14–22.

<https://doi.org/10.1177/1534582304263251>.

Adrien, J. L., Lenoir, P., Martineau, J., Perrot, A., Hameury, L., Larmande, C., & Sauvage, D. (1993). Blind ratings of early symptoms of autism based upon family home movies. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 32(3), 617–626. <https://doi.org/10.1097/00004583-199305000-00019>.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>.

Anzulewicz, A., Sobota, K., & Delafield-Butt, J. T. (2016). Toward the Autism Motor Signature: Gesture patterns during smart tablet gameplay identify children with autism. *Scientific Reports*, 6(8), 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep31107>.

Agius, M. M., Vance, M., (2016) A Comparison of PECS and iPad to Teach Requesting to Pre-schoolers with Autistic Spectrum Disorders, *Augmentative and Alternative Communication*, 32:1, 58-68, DOI: [10.3109/07434618.2015.1108363](https://doi.org/10.3109/07434618.2015.1108363).

Albinali, F., Goodwin, M. S., & Intille, S. (2012). Detecting stereotypical motor movements in the classroom using accelerometry and pattern recognition algorithms. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1), 103–114.
<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.04.006>.

Baer, D. M., Wolf, M. M., & Risley, T. R. (1968). Some current dimensions of applied behavior analysis. *Journal of applied behavior analysis*, 1(1), 91–97.
<https://doi.org/10.1901/jaba.1968.1-91>

Baldwin, D. A. (1995). Understanding the link between joint attention and language. In *Joint Attention: Its origins and role in development* (pp. 131e158).
<https://doi.org/10.2307/302397>.

Barakova, E. I., & Chonnaramutt, W. (2009). Timing sensory integration: Robot simulation of autistic behavior. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, *16*(3), 51–58. <https://doi.org/10.1109/MRA.2009.933626>

Baranek, G.T. Autism During Infancy: A Retrospective Video Analysis of Sensory-Motor and Social Behaviors at 9–12 Months of Age. *Journal of Autism and Developmental Disorder* *29*, 213–224 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1023080005650>.

Barlow, D. H., & Hayes, S. C. (1979). Alternating treatments design: one strategy for comparing the effects of two treatments in a single subject. *Journal of applied behavior analysis*, *12*(2), 199–210. <https://doi.org/10.1901/jaba.1979.12-199>

Baron-Cohen S., Leslie A. M., Frith U., (1985) “Does autistic child have a ‘theory of mind’?”, *Cognition*, vol 21, issue 1, pp 37-46.

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of autism and developmental disorders*, *31*(1), 5–17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behav. Brain Sci.* *22*, 577–609; discussion 610–660.

Bates, E., & Dick, F. (2002). Language, gesture, and the developing brain. *Developmental Psychobiology*, *40*(3), 293e310. <https://doi.org/10.1002/dev.10034>.

Bauman, M. L. (1992). Motor dysfunction in autism. In A. B. Joseph & R. R. Young (Eds.), *Movement disorders in neurology and psychiatry* (pp. 660–663). Boston: Blackwell

Belmonte, M. K., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L. M., Carper, R. A., & Webb, S. J. (2004). Autism and abnormal development of brain connectivity. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *24*(42), 9228–9231. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3340-04.2004>.

- Bertoglio, K., & Hendren, R. L. (2009). New developments in autism. *Psychiatric Clinics of North America*, 32(1), 1–14. <https://doi: 10.1016/j.psc.2008.10.004>. PMID: 19248913.
- Bhat, A. N., Galloway, J. C., & Landa, R. J. (2012). Relation between early motor delay and later communication delay in infants at risk for autism. *Infant Behavior & Development*, 35(4), 838e846. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2012.07.019>.
- Bondy, A. (2001). PECS: Potential benefits and risks. *The Behavior Analyst Today*, 2(2), 127–132. <https://doi.org/10.1037/h0099924>
- Bondy, A. S., & Frost, L. A. (1998). The picture exchange communication system. *Seminars in speech and language*, 19(4), 373–424. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1064055>
- Bradshaw, J., Steiner, A. M., Gengoux, G. & Koegel, L. K. (2015). Feasibility and effectiveness of very early intervention for infants at-risk for autism spectrum disorder: a systematic review. *Journal of Autism and Developmental Disorder* 45, 778–794, <https://doi: 10.1007/s10803-014-2235-2>
- Brian, J., Bryson, S. E., Garon, N., Roberts, W., Smith, I. M., Szatmari, P., & Zwaigenbaum, L. (2008). Clinical assessment of autism in high-risk 18-month-olds. *Autism : the international journal of research and practice*, 12(5), 433–456. <https://doi.org/10.1177/1362361308094500>.
- Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., & Witherington, D. (2000). Travel broadens the mind. *Infancy*, 1(2), 149e219. <https://doi.org/10.1207/S15327078IN0102>.
- Casasanto, D. (2011). Different bodies, different minds: the body specificity of language and thought. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 20, 378–383.
- Catani, M., Dell'Acqua, F., Budisavljevic, S., Howells, H., De Schotten, M., Froudish-Walsh, S., et al. (2016). Frontal networks in adults with autism spectrum disorder. *Brain*, 139(2), 616e630.
- Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., Boria, S., Pieraccini, C., Monti, A., Cossu, G., & Rizzolatti, G. (2007). Impairment of Actions Chains in Autism and Its Possible Role in

Intention Understanding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(45), 17825-17830. Retrieved May 3, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/2545032>.

Charlop-Christy, M. H., Carpenter, M., Le, L., LeBlanc, L. A., & Kellet, K. (2002). Using the picture exchange communication system (PECS) with children with autism: assessment of PECS acquisition, speech, social-communicative behavior, and problem behavior. *Journal of applied behavior analysis*, 35(3), 213–231. <https://doi.org/10.1901/jaba.2002.35-213>

Charlop, M. H., Schreibman, L., & Thibodeau, M. G. (1985). Increasing spontaneous verbal responding in autistic children using a time delay procedure. *Journal of applied behavior analysis*, 18(2), 155–166. <https://doi.org/10.1901/jaba.1985.18-155>.

Chen, S., Billings, S.A. and Grant, P.M. (1990). Non-linear system identification using neural networks. *Int. J. Control*, 51:1191- 1214.

Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>.

Clifford, S. M., Hudry, K., Elsabbagh, M., Charman, T., & Johnson, M. H. (2013). Temperament in the first 2 years of life in infants at high-risk for autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(3), 673e686. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1612-y>.

Condon, W., & Sander, L. (1974). Synchrony Demonstrated between Movements of the Neonate and Adult Speech. *Child Development*, 45(2), 456-462. doi:10.2307/1127968

Conti, D., Di Nuovo, S., Buono, S., & Di Nuovo, A. (2017). Robots in Education and Care of Children with Developmental Disabilities: A Study on Acceptance by Experienced and Future Professionals. *International Journal of Social Robotics*, 9(1), 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0359-6>

Courchesne, E., Yeung-Courchesne, R., Press, G. A., Hesselink, J. R., & Jernigan, T. L. (1988). Hypoplasia of cerebellar vermal lobules VI and VII in autism. *The New England*

journal of medicine, 318(21), 1349–1354.

<https://doi.org/10.1056/NEJM198805263182102>.

Cochet, H., & Byrne, R. W. (2016). Communication in the second and third year of life: Relationships between nonverbal social skills and language. *Infant Behavior and Development*, 44, 189e198.

Cook, J. L., Blakemore, S. J. & Press, C. (2013). Atypical basic movement kinematics in autism spectrum conditions. *Brain* 136, 2816–2824, [https://doi: 10.1093/brain/awt208](https://doi.org/10.1093/brain/awt208)

Crippa, A., Salvatore, C., Perego, P., Forti, S., Nobile, M., Molteni, M., & Castiglioni, I. (2015). Use of Machine Learning to Identify Children with Autism and Their Motor Abnormalities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(7), 2146–2156. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2379-8>.

Dawson, G., Meltzoff, A. N., Osterling, J., and Rinaldi, J. (1998). Neuropsychological correlates of early symptoms of autism. *Child Dev.* 69, 1276–1285.

De Jaegher, H. (2013). Embodiment and sense-making in autism. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7(MAR), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00015>

DeLeon, I. G., & Iwata, B. A. (1996). Evaluation of a multiple-stimulus presentation format for assessing reinforcer preferences. *Journal of applied behavior analysis*, 29(4), 519–533. <https://doi.org/10.1901/jaba.1996.29-519>

DeLeon, I. G., Iwata, B. A., & Roscoe, E. M. (1997). Displacement of leisure reinforcers by food during preference assessments. *Journal of applied behavior analysis*, 30(3), 475–484. <https://doi.org/10.1901/jaba.1997.30-475>

DeMeyer, M. K., Alpern, G. D., Barton, S., DeMyer, W. E., Churchill, D. W., Hingtgen, J. N., Bryson, C. Q., Pontius, W., & Kimberlin, C. (1972). Imitation in autistic, early schizophrenic, and non-psychotic subnormal children. *Journal of autism and childhood schizophrenia*, 2(3), 264–287. <https://doi.org/10.1007/BF01537618>.

Donnellan, A. M., Hill, D. A., & Leary, M. R. (2013). Rethinking autism: Implications of sensory and movement differences for understanding and support. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 124. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00124>.

Dowd, A. M., McGinley, J. L., Taffe, J. R. & Rinehart, N. J. (2012). Do planning and visual integration difficulties underpin motor dysfunction in autism? A kinematic study of young children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders* 42, 1539–1548, [https://doi: 10.1007/s10803-011-1385-8](https://doi.org/10.1007/s10803-011-1385-8).

Dowell L.R, Mahone E.M, Mostofsky S.H. (2009) Associations of postural knowledge and basic motor skill with dyspraxia in autism: implication for abnormalities in distributed connectivity and motor learning. *Neuropsychology*. Sep;23(5):563-70. doi: 10.1037/a0015640. PMID: 19702410; PMCID: PMC2740626.

Durand, V. (1993). Problem Behaviour as Communication. *Behaviour Change*, 10(4), 197-207. doi:10.1017/S0813483900005301

Eigsti, I.M. (2013). A Review of Embodiment in Autism Spectrum Disorders. *Frontiers in Psychology*, 4(April), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00224>.

Eigsti, I. M., De Marchena, A. B., Schuh, J. M., & Kelley, E. (2011). Language acquisition in autism spectrum disorders: A developmental review. *Research in Autism Spectrum Disorders*. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.09.001>.

Endicott, K., & Higbee, T. S. (2007). Contriving motivating operations to evoke mands for information in preschoolers with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 1(3), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2006.10.003>

Esteban, P. G., Baxter, P., Belpaeme, T., Billing, E., Cai, H., Cao, H. L., Coeckelbergh, M., Costescu, C., David, D., De Beir, A., Fang, Y., Ju, Z., Kennedy, J., Liu, H., Mazel, A., Pandey, A., Richardson, K., Senft, E., Thill, S., ... Ziemke, T. (2017). How to build a supervised autonomous system for robot-enhanced therapy for children with autism spectrum disorder. *Paladyn*, 8(1), 18–38. <https://doi.org/10.1515/pjbr-2017-0002>.

Fabbri-Destro, M., Cattaneo, L., Boria, S., & Rizzolatti, G. (2009). Planning actions in autism. *Experimental brain research*, 192(3), 521–525. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1578-3>.

Flippin, M., Reszka, S., & Watson, L. R. (2010). Effectiveness of the picture exchange communication system (PECS) on communication and speech for children with autism

spectrum disorders: A meta-analysis. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 19(2), 178–195. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2010/09-0022\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2010/09-0022))

Flores, M., Musgrove, K., Renner, S., Hinton, V., Strozier, S., Franklin, S., Hil, D. (2012). A Comparison of Communication Using the Apple iPad and a Picture-based System, *Augmentative and Alternative Communication*, 28:2, 74-84, DOI: 10.3109/07434618.2011.644579.

Fombonne E. (2009). Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatric research*, 65(6), 591–598. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e31819e7203>.

Fournier, K. A., Kimberg, C. I., Radonovich, K. J., Tillman, M. D., Chow, J. W., Lewis, M. H., et al. (2010). Decreased static and dynamic postural control in children with autism spectrum disorders. *Gait Posture* 32, 6–9.

Friston, K. J., Lawson, R., and Frith, C. D. (2013). On hyperpriors and hypopriors: comment on Pellicano and Burr. *Trends Cogn. Sci.* 17, 1. doi: 10.1016/j.tics.2012.11.003

Friston, K., & Kiebel, S. (2009). Predictive coding under the free-energy principle. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1211–1221. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0300>.

Frith U., Happe' F., (1994) “Autism: beyond ‘theory of mind’”, *Cognition*, vol 50, issues 1-3, pp 115-132.

Ganz J. B. (2015). AAC Interventions for Individuals with Autism Spectrum Disorders: State of the Science and Future Research Directions. *Augmentative and alternative communication* (Baltimore, Md.: 1985), 31(3), 203–214. <https://doi.org/10.3109/07434618.2015.1047532>.

Garagnani, M., Wennekers, T., & Pulvermuller, F. (2008). A neuroanatomically grounded Hebbian-learning model of attention-language interactions in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 27(2), 492e513. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06015.x>.

Garagnani, M., Wennekers, T., & Pulvermuller, F. (2009). Recruitment and consolidation of cell assemblies for words by way of hebbian learning and competition

in a multi-layer neural network. *Cognitive Computation*, 1, 160e176. <https://doi.org/10.1007/s12559-009-9011-1>.

Gernsbacher, M. A., Sauer, E. A., Geye, H. M., Schweigert, E. K., & Hill Goldsmith, H. (2008). Infant and toddler oral- and manualmotor skills predict later speech fluency in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 49, 43e50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01820.x>.

Gevrey, M., Dimopoulos, I., Lek, S. (2003). Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecol. Model.* 160, 249–264.

Ghaziuddin, M., Butler, E., Tsai, L., & Ghaziuddin, N. (1994), Is clumsiness a marker for Asperger syndrome?. *Journal of Intellectual Disability Research*, 38: 519527. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.1994.tb00440.x>

Ghazziudin, M., Tsai, L. Y., and Ghaziuddin, N. (1992). Brief report: a reappraisal of clumsiness as a diagnostic feature of Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorder* 22, 651–656.

Glazebrook, C., Gonzalez, D., Hansen, S., & Elliott, D. (2009). The role of vision for online control of manual aiming movements in persons with autism spectrum disorders. *Autism: the international journal of research and practice*, 13(4), 411–433. <https://doi.org/10.1177/1362361309105659>.

Glickstein M. (2006). Thinking about the cerebellum. *Brain : a journal of neurology*, 129(Pt 2), 288–290. <https://doi.org/10.1093/brain/awh728>.

Glorot, X., & Bengio, Y. (2010). Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks. *Journal of Machine Learning Research*, 9(May), 249–256.

Goncalves, N., Rodrigues, J.L., Costa, S., Soares, F. (2012b). Automatic detection of stereotypical motor movements. *Procedia Engineering* 47, 590–593.

Goodwin, M. S., Haghghi, M., Tang, Q., Akcakaya, M., Erdogmus, D., & Intille, S. (2014). Moving towards a real-time system for automatically recognizing stereotypical motor movements in individuals on the autism spectrum using wireless accelerometry. *UbiComp 2014 - Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on*

Pervasive and Ubiquitous Computing, 861–872.

<https://doi.org/10.1145/2632048.2632096>.

Goodwin, M. S., Intille, S. S., Albinali, F., & Velicer, W. F. (2011). Automated detection of stereotypical motor movements. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(6), 770–782. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1102-z>.

Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism: a review using a computational context. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(2), 323–344. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1574-0>

Green, D., Baird, G., Barnett, A. L., Henderson, L., Huber, J., & Henderson, S. E. (2002). The severity and nature of motor impairment in Asperger's syndrome: A comparison with specific developmental disorder of motor function. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43(5), 655e668. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00054>.

Green, J. R., Moore, C. A., & Reilly, K. J. (2002). The sequential development of jaw and lip control for speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 45(1), 66e79. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/005\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/005)).

Gresham, F. M., & Elliott, S. N. (1984). Assessment and classification of children's social skills: A review of methods and issues. *School Psychology Review*, 13(3), 292–301.

Hallmayer, J., Cleveland, S., Torres, A., Phillips, J., Cohen, B., Torigoe, T., Miller, J., Fedele, A., Collins, J., Smith, K., Lotspeich, L., Croen, L. A., Ozonoff, S., Lajonchere, C., Grether, J. K., & Risch, N. (2011). Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism. *Archives of General Psychiatry*, 68(11), 1095–1102. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.76>

Hart, S. L., & Banda, D. R. (2010). Picture exchange communication system with individuals with developmental disabilities: A meta-analysis of single subject studies. *Remedial and Special Education*, 31(6), 476–488. <https://doi.org/10.1177/0741932509338354>

Hellendoorn, A., Wijnroks, L., van Daalen, E., Dietz, C., Buitelaar, J., & Leseman, P. (2015). Motor functioning, exploration, visuospatial cognition and language

development in preschool children with autism. *Research in Developmental Disabilities*, 39, 32e42. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.12.033>.

Hollenstein, T., Lichtwarck-Aschoff, A., & Potworowski, G. (2013). A model of socioemotional flexibility at three time scales. *Emotion Review*, 5(4), 397–405. <https://doi.org/10.1177/1754073913484181>

Hornik, K., Stinchcombe, M. and White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2: 359-366.

Howlin, P., Magiati, I., & Charman, T. (2009). Systematic review of early intensive behavioral interventions for children with autism. *American journal on intellectual and developmental disabilities*, 114(1), 23–41. <https://doi.org/10.1352/2009.114:23;nd41>

Howlin, P., Mawhood, L., & Rutter, M. (2000). Autism and developmental receptive language disorder--a follow-up comparison in early adult life. II: Social, behavioural, and psychiatric outcomes. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 41(5), 561–578. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00643>

Hughes, C. (1996). Brief report: planning problems in autism at the level of motor control. *Journal of Autism and Developmental Disorder* 26, 99–107.

Hsu, H. C., & Iyer, S. N. (2016). Early gesture, early vocabulary, and risk of language impairment in preschoolers. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 201e210.

Iverson, J. M. (2010). Developing language in a developing body: The relationship between motor development and language development. *Journal of Child Language*, 37(2), 229e261. <https://doi.org/10.1017/S>.

Iverson, J. M., & Goldin-Meadow, S. (2005). Gesture paves the way for language development. *Psychological Science*, 16(5), 367e371. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01542.x>.

Iverson, J. M., & Wozniak, R. H. (2007). Variation in vocal-motor development in infant siblings of children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(1), 158e170. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0339-z>.

- Jennett, H. K., Harris, S. L., & Delmolino, L. (2008). Discrete Trial Instruction vs. Mand Training for Teaching Children With Autism to Make Requests. *The Analysis of verbal behavior*, 24(1), 69–85. <https://doi.org/10.1007/BF03393058>
- Johnson, D. C., & Wade, M. G. (2009). Children at risk for developmental coordination disorder: judgement of changes in action capabilities. *Developmental medicine and child neurology*, 51(5), 397–403. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03174.x>
- Jones, W., & Klin, A. (2013). Attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, 504(7480), 427–431. <https://doi.org/10.1038/nature12715>.
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Minshew, N. J. (2004). Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of underconnectivity. *Brain: a journal of neurology*, 127(Pt 8), 1811–1821. <https://doi.org/10.1093/brain/awh199>.
- Just, M. A., Keller, T. A., Malave, V. L., Kana, R. K., & Varma, S. (2012). Autism as a neural systems disorder: a theory of frontal-posterior underconnectivity. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 36(4), 1292–1313. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.02.007>
- Kana, R. K., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2006). Sentence comprehension in autism: thinking in pictures with decreased functional connectivity. *Brain: a journal of neurology*, 129(Pt 9), 2484–2493. <https://doi.org/10.1093/brain/awl164>.
- Kanner, L. (1943). Library_Kanner_1943.Pdf. In *Nervous Child* (Vol. 2, pp. 217–250).
- Katz, D. B., & Steinmetz, J. E. (2002). Psychological Functions of the Cerebellum. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(3), 229–241. <https://doi.org/10.1177/1534582302001003004>.
- Karasik, L. B., Tamis-Lemonda, C. S., & Adolph, K. E. (2011). Transition from crawling to walking and infants' actions with objects and people. *Child Development*, 82(4), 1199e1209. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01595.x>.

Scott Kelso, J. A. (2012). Multistability and metastability: Understanding dynamic coordination in the brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1591), 906–918. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0351>

Kingma, D. P., & Ba, J. L. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings, 1–15.

Kozima, H., Nakagawa, C., & Yasuda, Y. (2005). Interactive robots for communication-care: A case-study in autism therapy. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2005*, 341–346. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2005.1513802>

Klin, A., Jones, W., Schultz, R., & Volkmar, F. (2003). The enactive mind, or from actions to cognition: lessons from autism. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 358(1430), 345–360. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1202>.

Klin A., (2012) “A new way to diagnose autism.”, Ted Talk (https://www.ted.com/talks/ami_klin_a_new_way_to_diagnose_autism).

Kushki, A., Chau, T., & Anagnostou, E. (2011). Handwriting difficulties in children with autism spectrum disorders: a scoping review. *Journal of autism and developmental disorders*, 41(12), 1706–1716. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1206-0>.

Le Couteur, A., Lord, C., & Rutter, M. (2003). The autism diagnostic interview-revised (ADI-R). Los Angeles, CA: Western Psychological Services.

Lebarton, E. S., & Iverson, J. M. (2013). Fine motor skill predicts expressive language in infant siblings of children with autism. *Developmental Science*, 16(6), 815e827. <https://doi.org/10.1111/desc.12069>.

Leffondree, K., Abrahamowicz, M., Regeasse, A., Hawker, G. A., Badley, E. M., McCusker, J., & Belzile, E. (2004). Statistical measures were proposed for identifying longitudinal patterns of change in quantitative health indicators. *Journal of Clinical Epidemiology*, 57(10), 1049-1062. doi: 10.1016/j.jclinepi.2004.02.012.

- Leonard, H. C., & Hill, E. L. (2014). Review: The impact of motor development on typical and atypical social cognition and language: a systematic review. *Child and adolescent mental health, 19*(3), 163–170. <https://doi.org/10.1111/camh.12055>.
- Licari, M. K., Alvares, G. A., Varcin, K., Evans, K. L., Cleary, D., Reid, S. L., Glasson, E. J., Bebbington, K., Reynolds, J. E., Wray, J., & Whitehouse, A. (2020). Prevalence of Motor Difficulties in Autism Spectrum Disorder: Analysis of a Population-Based Cohort. *Autism research: official journal of the International Society for Autism Research, 13*(2), 298–306. <https://doi.org/10.1002/aur.2230>
- Liszkowski, U. (2008). Before L1: A differentiated perspective on infant gestures. *Gesture, 8*(2), 180e196. <https://doi.org/10.1075/gest.8.2.04lis>.
- Locke, J. (1993). *The child's path to spoken language*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Laraway, S., Snyckerski, S., Michael, J., & Poling, A. (2003). Motivating Operations and Terms To Describe Them: Some Further Refinements. *Journal of Applied Behavior Analysis, 36*(3), 407–414. <https://doi.org/10.1901/jaba.2003.36-407>
- Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J. (2014). An aberrant precision account of autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*(5), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00302>.
- Leary, M. R., & Hill, D. A. (1996). Moving on: Autism and movement disturbance. *34*(1), 39e53.
- Lee, K., Lambert, H., Wittich, W., & Park, M. (2016). The use of movement-based interventions with children diagnosed with autism for psychosocial outcomes: a scoping review. *Research in Autism Spectrum Disorders, 24*, 52e67.
- Libertus, K., & Needham, A. (2011). Reaching experience increases face preference in 3-month-old infants. *Developmental Science, 14*(6), 1355e1364. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01084.x>.
- Lorah, E. R., Tincani, M., Dodge, J., Gilroy, S., Hickey, A., & Hantula, D. (2013). Evaluating Picture Exchange and the iPad™ as a Speech Generating Device to Teach

Communication to Young Children with Autism. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 25(6), 637–649. <https://doi.org/10.1007/s10882-013-9337-1>.

Lord, C., Risi, S., & Pickles, A. (2004). Trajectory of language development in autistic spectrum disorders. In M. Rice, & S. Warren (Eds.), *Developmental language disorders: From phenotypes to etiologies* (pp. 7e29). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., Risi, S., Gotham, K., & Bishop, S. L. (2012). *Autism Diagnostic Observation Schedule* (2nd ed.). Torrance, CA: Western Psychological Services.

Luyster, R. J., Kadlec, M. B., Carter, A., & Tager-Flusberg, H. (2008). Language assessment and development in toddlers with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(8), 1426e1438. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0510-1>.

MacDonald, M., Lord, C., & Ulrich, D. A. (2013). The relationship of motor skills and social communicative skills in school-aged children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 30(3), 271e282. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.07.020>.

MacDonald, M., Lord, C., & Ulrich, D. A. (2014). Motor skills and calibrated autism severity in young children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly: APAQ*, 31, 95e105. <https://doi.org/10.1123/apaq.2013-0068>.

Maestro, S., Muratori, F., Cavallaro, M. C., Pei, F., Stern, D., Golse, B., et al. (2002). Attentional skills during the first 6 months of age in autism spectrum disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 41(10), 1239e1245.

Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 358(1430), 393–403. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1205>

Masterton B. A., Biederman G. B., (1983), “Proprioceptive versus visual control in autistic children”, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol 13, pp 141–152.

- Matson, J. L., Matson, M. L., & Rivet, T. T. (2007). Social-skills treatments for children with autism spectrum disorders: an overview. *Behavior modification, 31*(5), 682–707. <https://doi.org/10.1177/0145445507301650>
- Milne, E. (2011). Increased intraparticipant variability in children with autistic spectrum disorders: evidence from single-trial analysis of evoked EEG. *Front. Psychol. 2*:51. doi:10.3389/fpsyg.2011.00051.
- Min, C. H., & Tewfik, A. H. (2010). Automatic characterization and detection of behavioral patterns using linear predictive coding of accelerometer sensor data. *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'10*, 220–223. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627850>.
- Mody, M., Shui, A. M., Nowinski, L. A., Golas, S. B., Ferrone, C., O'Rourke, J. A., et al. (2017). Communication deficits and the motor system: exploring patterns of associations in autism spectrum disorder (ASD). *Journal of Autism and Developmental Disorders, 47*(1), 155e162. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2934-y>.
- Molloy, C. A., Dietrich, K. N., & Bhattacharya, A. (2003). Postural stability in children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 33*(6), 643–652. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.00000006001.00667.4c>
- Mostofsky, S. H., Dubey, P., Jerath, V. K., Jansiewicz, E. M., Goldberg, M. C., and Denckla, M. B. (2006). Developmental dyspraxia is not limited to imitation in children with autism spectrum disorders. *J. Int. Neuropsychol. Soc. 12*, 314–326.
- Moseley, R. L., Mohr, B., Lombardo, M. V., Baron-Cohen, S., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2013). Brain and behavioral correlates of action semantic deficits in autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 725. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00725>.
- Moseley, R. L., Shtyrov, Y., Mohr, B., Lombardo, M. V., Baron-Cohen, S., & Pulvermüller, F. (2015). Lost for emotion words: What motor and limbic brain activity reveals about autism and semantic theory. *NeuroImage, 104*, 413e422. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.09.046>.

Moseley, R. L., Ypma, R. J. F., Holt, R. J., Floris, D., Chura, L. R., Spencer, M. D., et al. (2015). Whole-brain functional hypoconnectivity as an endophenotype of autism in adolescents. *NeuroImage: Clinical*, 9, 140e152.

Musavi, M. T., Chan, K. H., Hummels, D. M., & Kalantri, K. (1994). On the generalization ability of neural network classifiers. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(6), 659-663.

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* (p. 131–148). Lawrence Erlbaum Associates Publishers

Nayate, A., Bradshaw, J. L., & Rinehart, N. J. (2005). Autism and Asperger's disorder: Are they movement disorders involving the cerebellum and/or basal ganglia? *Brain Research Bulletin*, 67(4), 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2005.07.011>.

Nip, I. S. B., Green, J. R., & Marx, D. B. (2009). Early speech motor development: Cognitive and linguistic considerations. *Journal of Communication Disorders*, 42(4), 286e298. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.03.008>.

Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Ric, F., and Krauth-Gruber, S. (2005). "Embodiment in the acquisition and use of emotion knowledge," in *Emotion: Conscious and Unconscious*, eds L. F. Barrett, P. M. Niedenthal, and P. Winkielman (New York: Guilford), 21–50.

Olden, J.D. , Joy, M.K. , Death, R.G. (2004). An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in artificial neural networks using simulated data. *Ecol. Model.*, 178, pp. 389-397.

Olive, M. L., de la Cruz, B., Davis, T. N., Chan, J. M., Lang, R. B., O'Reilly, M. F., & Dickson, S. M. (2007). The effects of enhanced milieu teaching and a voice output communication aid on the requesting of three children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 37(8), 1505–1513. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0243-6>

Özçalışkan, Ş., Adamson, L. B., & Dimitrova, N. (2016). Early deictic but not other gestures predict later vocabulary in both typical development and autism. *Autism: the international journal of research and practice*, 20(6), 754–763.

<https://doi.org/10.1177/1362361315605921>.

Ozonoff, S., Iosif, A.-M., Baguio, F., Cook, I. C., Hill, M. M., Hutman, T., et al. (2010). A Prospective study of the emergence of early behavioral signs of autism. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(3), 256e266.e2.

<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2009.11.009>.

Papadopoulos, N., McGinley, J., Tonge, B., Bradshaw, J., Saunders, K., Murphy, A., et al. (2012). Motor proficiency and emotional/behavioural disturbance in autism and Asperger's disorder: another piece of the neurological puzzle? *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 16(6), 627e640.

<https://doi.org/10.1177/1362361311418692>.

Pellicano, E., and Burr, D. (2012). When the world becomes “too real”: a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends. Cogn. Sci.* 16, 504–510. doi: 10.1016/j.tics.2012.08.009

Pierno, A. C., Mari, M., Glover, S., Georgiou, I. & Castiello, U. (2006). Failure to read motor intentions from gaze in children with autism. *Neuropsychologia* 44, 1483–1488. <https://doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.11.013>.

Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced discrimination of novel, highly similar stimuli by adults with autism during a perceptual learning task. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 39(5), 765–775.

Pulvermuller, F., Moseley, R. L., Egorova, N., Shebani, Z., & Boulenger, V. (2014). Motor cognition-motor semantics: Action perception theory of cognition and communication. *Neuropsychologia*, 55(1), 71e84. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.002>.

Riccio, V., Jahangirova, G., Stocco, A., Humbaťova, N., Weiss, M., & Tonella, P. (2020). Testing machine learning based systems: a systematic mapping. *Empirical Software Engineering*, 25(6), 5193-5254.

- Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Brereton, A. V., and Tonge, B. J. (2001). Movement preparation in highfunctioning autism and Asperger disorder: a serial choice reaction time task involving motor reprogramming. *J. Autism Dev. Disord.* 31, 79–88.
- Rodrigues, J. L., Gonçalves, N., Costa, S., & Soares, F. (2013). Stereotyped movement recognition in children with ASD. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 202, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.04.019>.
- Rogers, S. J., and Pennington, B. F. (1991). A theoretical approach to the deficits in infantile autism. *Dev. Psychopathol.* 3, 13–16.
- Roid, G. H., Miller, L. I., & Pomplun, M. (2013). *Leiter International Performance Scale-Third Edition (Leiter-3)*. Wood Dale: Stoelting Co.
- Sacrey, L. A. R., Germani, T., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2014). Reaching and grasping in autism spectrum disorder: A review of recent literature. *Frontiers in Neurology*, 5 JAN(January), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00006>.
- Sandin S, Lichtenstein P, Kuja-Halkola R, Larsson H, Hultman CM, Reichenberg A. (2014). The Familial Risk of Autism. *JAMA*. 2014;311(17):1770–1777. <https://doi:10.1001/jama.2014.4144>.
- Schlosser, R. W., & Blischak, D. M. (2001). Is There a Role for Speech Output in Interventions for Persons with Autism?: A Review. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 16(3), 170–178. <https://doi.org/10.1177/108835760101600305>
- Schlosser, R. W., & Wendt, O. (2008). Effects of augmentative and alternative communication intervention on speech production in children with autism: A systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 17(3), 212–230. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/021\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/021))
- Sears, L. L., Finn, P. R., and Steinmetz, J. E. (1994). Abnormal classical eye-blink conditioning in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders* 24, 737–751.
- Sigafoos j., Didden R., & O'Reilly M. (2003) Effects of Speech Output on Maintenance of Requesting and Frequency of Vocalizations in Three Children with Developmental

Disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, 19:1, 37-47, DOI: 10.1080/0743461032000056487.

Sigafoos, J., Drasgow, E., Halle, J.W. et al. (2004) Teaching VOCA Use as a Communicative Repair Strategy. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34, 411–422, <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000037417.04356.9c>

Sigafoos, J., Green, V. A., Payne, D., Son, S. H., O'Reilly, M., & Lancioni, G. E. (2009). A comparison of picture exchange and speech-generating devices: acquisition, preference, and effects on social interaction. *Augmentative and alternative communication (Baltimore, Md. : 1985)*, 25(2), 99–109.

<https://doi.org/10.1080/07434610902739959>.

Simeoli, R., Rega, A., & Marocco, D. (2019). Micro-movement as an objective measure to assess autism spectrum disorder. *Qwerty*, 14(2), 49–65.

<https://doi.org/10.30557/QW000017>.

Simeoli, R., Arnucci, M., Rega, A., Marocco, D. (2020). Movement detection software to enhance autism assessment processes. Proceedings of the 7th International Conference on Movement and Computing (MOCO '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 27, 1–4.

<https://doi.org/10.1145/3401956.3404246>.

Simeoli, R., Milano, N., Rega, A., & Marocco, D. (2021). *Using Technology to Identify Children With Autism Through Motor Abnormalities*. 12(May), 1–11.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.635696>

Sinha, P., Kjølgaard, M. M., Gandhi, T. K., Tsourides, K., Cardinaux, A. L., Pantazis, D., Diamond, S. P., & Held, R. M. (2014). Autism as a disorder of prediction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(42), 15220–15225. <https://doi.org/10.1073/pnas.1416797111>.

Skinner, B. F. (1957). *Verbal behavior*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Smith, I. M., and Bryson, S. E. (1994). Imitation and action in autism: a critical review. *Psychol. Bull.* 116, 259–273.

Son, S. H., Sigafoos, J., O'Reilly, M., & Lancioni, G. E. (2006). Comparing two types of augmentative and alternative communication systems for children with autism. *Pediatric rehabilitation*, 9(4), 389–395.

<https://doi.org/10.1080/13638490500519984>

Stevenson, J. L., Lindley, C. E., & Murlo, N. (2017). Retrospectively assessed early motor and current pragmatic language skills in autistic and neurotypical children.

Perceptual and Motor Skills. <https://doi.org/10.1177/0031512517710379>, 3151251771037.

Stoit, A. M., van Schie, H. T., Slaats-Willemse, D. I. & Buitelaar, J. K. (2013).

Grasping motor impairments in autism: not action planning but movement execution is deficient. *Journal of Autism and Developmental Disorder*. 43, 2793–2806, [https://doi: 10.1007/s10803-013-1825-8](https://doi.org/10.1007/s10803-013-1825-8).

Stone, W. L., Ousley, O. Y., & Littleford, C. D. (1997). Motor imitation in young children with autism: what's the object?. *Journal of abnormal child psychology*, 25(6), 475–485. <https://doi.org/10.1023/a:1022685731726>.

Stone, W. L., & Yoder, P. J. (2001). Predicting spoken language level in children with autism spectrum disorders. *Autism*, 5(4), 341e361.

<https://doi.org/10.1177/1362361301005004002>.

Strack, F., Martin, L. L., and Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: a nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *J. Pers. Soc. Psychol.* 54, 768–777.

Sutera, S., Pandey, J., Esser, E. L., Rosenthal, M. A., Wilson, L. B., Barton, M., Green, J., Hodgson, S., Robins, D. L., Dumont-Mathieu, T., & Fein, D. (2007). Predictors of optimal outcome in toddlers diagnosed with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 37(1), 98–107. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0340-6>.

Sylvestre, M. P., McCusker, J., Cole, M., Regeasse, A., Belzile, E., & Abrahamowicz, M. (2006). Classification of patterns of delirium severity scores over time in an elderly population. *International Psychogeriatrics*, 18(4), 667-680.

[https://doi:10.1017/S1041610206003334](https://doi.org/10.1017/S1041610206003334).

Szatmari, P., Tuff, L., Finlayson, A., and Bartolucci, G. (1990). Asperger's syndrome and autism: neurocognitive aspects. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 29, 130–136.

Teitelbaum, P., Teitelbaum, O., Nye, J., Fryman, J., & Maurer, R. G. (1998). Movement analysis in infancy may be useful for early diagnosis of autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(23), 13982–13987. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.23.13982>.

Teitelbaum, O., Benton, T., Shah, P. K., Prince, A., Kelly, J. L., & Teitelbaum, P. (2004). Eshkol-Wachman movement notation in diagnosis: Early detection of Asperger's syndrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(32), 11909–11914. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403919101>

Thomson, J. (2003). Clinical forum reply. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 5(1), 69–72. <https://doi.org/10.1080/14417040510001669091>

Thurm, A., Lord, C., Lee, L.-C., & Newschaffer, C. (2007). Predictors of language acquisition in preschool children with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(9), 1721e1734. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0300-1>.

Tincani, M., Crozier, S., & Alazetta, L. (2006). The Picture Exchange Communication System: Effects on Manding and Speech Development for School-Aged Children with Autism. *Education and Training in Developmental Disabilities*, 41(2), 177-184. Retrieved September 16, 2020, from <http://www.jstor.org/stable/23880179>

Torres, E. B. (2011). Two classes of movements in motor control. *Experimental Brain Research*, 215(3-4), 269-283.

Torres, E. B., Brincker, M., Isenhower, R. W., Yanovich, P., Stigler, K. A., Nurnberger, J. I., Metaxas, D. N., & José, J. V. (2013a). Autism: The micro-movement perspective. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, Article 32. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00032>.

Torres, E. B., & Jose, J. V. (2012). *Novel Diagnostic Tool to Quantify Signatures of Movement in Subjects with Neurological Disorders, Autism and Autism Spectrum*

Disorders. Rutgers University PCT Application (PCT/US2012/064805, dockets 2012–051, 2012–085).

Torres, E. B., Yanovich, P., & Metaxas, D. N. (2013). Give spontaneity and self-discovery a chance in ASD: spontaneous peripheral limb variability as a proxy to evoke centrally driven intentional acts. *Frontiers in integrative neuroscience*, 7, 46.

<https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00046>

Torres, E. B., Rai, R., Mistry, S., & Gupta, B. (2020). Hidden Aspects of the Research ADOS Are Bound to Affect Autism Science. *Neural computation*, 32(3), 515–561.

https://doi.org/10.1162/neco_a_01263.

Travers, B. G., Bigler, E. D., Tromp, D. P. M., Adluru, N., Destiche, D., Samsin, D., et al. (2015). Brainstem white matter predicts individual differences in manual motor difficulties and symptom severity in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(9), 3030e3040. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2467-9>.

Travers, B. G., Powell, P. S., Klinger, L. G., & Klinger, M. R. (2013). Motor difficulties in autism spectrum disorder: Linking symptom severity and postural stability. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(7), 1568e1583. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1702-x>.

Trevarthen, C. & Delafield-Butt, J. T. (2013). Autism as a developmental disorder in intentional movement and affective engagement. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 49, <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00049>.

Uljarevic, M., Hedley, D., Alvares, G. A., Varcin, K. J., & Whitehouse, A. J. (2017). Relationship between early motor milestones and severity of restricted and repetitive behaviors in children and adolescents with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 10(6), 1163e1168.

van der Meer, L., Didden, R., Sutherland, D., O'Reilly, M. F., Lancioni, G. E., & Sigafos, J. (2012). Comparing Three Augmentative and Alternative Communication Modes for Children with Developmental Disabilities. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 24(5), 451–468. <https://doi.org/10.1007/s10882-012-9283-3>.

Valera F. J., Thompson E., Rosch E., (1991) “The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience”, *MIT Press*, pp 172-173.

Vallacher, R. R., Van Geert, P., & Nowak, A. (2015). The Intrinsic Dynamics of Psychological Process. *Current Directions in Psychological Science*, 24(1), 58–64. <https://doi.org/10.1177/0963721414551571>

Von Holst E., Mittelstaedt H., (1950), “The Principle of Reafference: Interactions between the central nervous system and the peripheral organs.”, *Die Naturwissenschaften* 37, pp 464-476; reprinted from Dodwell, P. C. (1971), “Perceptual Processing: stimulus equivalence and pattern recognition”, Dodwell P. C. editor, *Appleton-Century-Crofts*, pp 41-72, Meredith Corporation, New York.

Wainer, J., Dautenhahn, K., Robins, B., & Amirabdollahian, F. (2014). 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. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0195-x>.

Westeyn, T., Vadas, K., Bian, X., Starner, T., Abowd, G.D. (2005). Recognizing mimicked autistic self-stimulatory behaviors using HMMs," *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*, Osaka, 2005, pp. 164-167, [https://doi: 10.1109/ISWC.2005.45](https://doi:10.1109/ISWC.2005.45).

Whyatt, C. & Craig, C. M. (2013). Interceptive skills in children aged 9–11 years, diagnosed with Autism Spectrum Disorder. Research. *Autism Spectrum Disorders* 7, 613–623, [https://doi: 10.1016/j.rasd.2013.01.003](https://doi:10.1016/j.rasd.2013.01.003).

Wicker, B., Fonlupt, P., Hubert, B., Tardif, C., Gepner, B., & Deruelle, C. (2008). Abnormal cerebral effective connectivity during explicit emotional processing in adults with autism spectrum disorder. *Social cognitive and affective neuroscience*, 3(2), 135–143. <https://doi.org/10.1093/scan/nsn007>.

Yu, C., & Smith, L. B. (2012). Embodied attention and word learning by toddlers. *Cognition*, 125(2), 244–262. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.06.016>