



**UNIVERSITÀ
DI PARMA**

DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOBIOLOGIA E NEUROSCIENZE
COGNITIVE**

***L'ESPRESSIONE DEI VITALITY FORMS IN BAMBINI
AFFETTI DA DISTURBO DELLO SPETTRO AUTISTICO***

Relatore:

Chiar.mo Prof. LEONARDO FOGASSI

Controrelatore:

Chiar.mo Dott. GIUSEPPE DI CESARE

**Laureanda:
*ANNA VITALE***

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INTRODUZIONE

1. **“IT’S NOT ABOUT WHAT, BUT HOW”: VITALITY FORMS**
 - 1.1 **Vitality forms: forme dinamiche dell’azione alla base dell’esperienza intersoggettiva**
 - 1.1.1. Vitality Forms e Intersoggettività
 - 1.2. **Mi specchio in te: i neuroni *mirror* e la codifica dell’azione intenzionale**
 - 1.2.1. Aree dotate di proprietà *mirror* nel macaco
 - 1.2.2. Meccanismo *mirror* nell’uomo: il network parieto-frontale
 - 1.3. **Un meccanismo *mirror* specifico per i *Vitality Forms***
 - 1.3.1 La struttura dell’Insula
 - 1.3.2 Osservazione di azioni
 - 1.3.3 Esecuzione di azioni
 - 1.3.4 Connessioni anatomiche tra l’insula e i circuiti parieto-frontali
 2. **“BROKEN MIRRORS” OR CLOUDED GLASS?: AUTISTIC SPECTRUM DISORDER (ASD)**
 - 2.1 **Autismo: cenni storici e caratteristiche cliniche**
 - 2.2 **Autismo e Circuiti Mirror**
 - 2.3 **I Vitality Forms e l’Autismo**
 - 2.3.1 L’espressione dei *vitality forms* in soggetti ASD
 3. **ESPERIMENTO: Espressione dei *vitality forms* in bambini affetti da Disturbo dello Spettro Autistico.**
 - 3.1 **Obiettivi**
 - 3.2 **Materiali e metodi**
 - 3.2.1 Il campione
 - 3.2.2 Le batterie Neuropsicologiche
 - 3.2.3 Paradigma sperimentale
 - 3.3 **Metodologia e Data Analysis**
 - 3.3.1 Estrazione ed elaborazione dei dati cinematici
 - 3.3.2 Risultati
 - 3.4 **Discussione**

CONCLUSIONE

BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

Osservando l'interazione tra una madre e il proprio bambino durante un momento di gioco condiviso, Daniel Stern colse nell'espressione motoria della diade una comunicazione implicita dei rispettivi stati affettivi, veicolati attraverso il *modo* con cui determinati atti motori venivano espressi. Questa tematica fu al centro della teorizzazione di Stern che attribuì il nome "*vitality forms*" a queste forme dinamiche caratterizzanti lo stile delle azioni. I *vitality forms* "*sono legati più alla forma che al contenuto. Riguardano il come, la maniera e lo stile, più che il cosa e il perché*" (Stern, 2010, pp.9-11). Alla luce di ciò appare evidente l'importanza che questo costrutto riveste nell'ambito dell'interazione sociale; la capacità d'interagire, intesa come capacità di comprendere lo stato dell'altro e reagire adeguatamente, si fonda sulla capacità d'espressione e di comprensione delle forme di vitalità. A causa dell'importanza che rivestono nell'ambito dell'interazione sociale, molti studi hanno indagato la relazione tra i *vitality forms* e la sindrome dello spettro Autistico (ASD), nota per la presenza di numerosi deficit che riguardano, in particolar modo, la sfera della comunicazione e della socialità. Gli individui ASD presentano particolari difficoltà nel riconoscere lo stato emotivo dell'altro, con conseguente difficoltà ad instaurare relazioni socio-emotive. Inoltre, recenti studi funzionali sull'attività insulare mostrano un'ipoattivazione delle aree anteriori in soggetti ASD (Uddin, Menon, 2009), aree che si sono dimostrate implicate nell'espressione e nella produzione dei *vitality forms* (Di Cesare, 2021). Questo ha permesso a molti autori di ipotizzare che la sintomatologia autistica possa rappresentare il campo d'elezione per lo studio dei meccanismi di espressione e riconoscimento dei *vitality forms*. Lo scopo del presente elaborato è quello di studiare l'espressione delle forme vitali attraverso l'analisi di parametri cinematici e, in particolare, dimostrare se e come i bambini ASD siano in grado di esprimere queste forme dinamiche dell'azione all'interno di un contesto sociale e non sociale.

1. “IT’S NOT ABOUT WHAT, BUT HOW”: I VITALITY FORMS

1.1 *Vitality forms*: forme dinamiche dell’azione alla base dell’esperienza intersoggettiva.

È fondamentale nella vita di tutti i giorni essere in grado di comprendere lo scopo delle azioni degli altri, poiché questo ci permette di interagire coerentemente con l’ambiente che ci circonda ed essere a nostra volta agenti attivi nel mondo sociale. Tuttavia, ogni azione è caratterizzata da componenti motorio-affettive che ne fanno intrinsecamente parte e dalle quali non è possibile separarla. Qualunque sia lo scopo di un’azione, questa potrà essere eseguita in modo *energico, caloroso* o, al contrario, *fiacco, distaccato*. La coloritura emotiva che diamo alle nostre azioni dipende certamente dal contesto in cui ci troviamo. Lo stesso gesto di porgere un oggetto verso qualcun altro può essere compiuto con gentilezza o in maniera sgarbata. In questo caso, come si può notare, il *goal*, o scopo, dell’azione rimane lo stesso ma il *come* compiamo l’azione, ovvero la coloritura affettiva che imprimiamo in essa, varia di volta in volta.

In tutti gli esempi sopracitati abbiamo utilizzato “*nella maggior parte dei casi, [...] aggettivi o avverbi che non rappresentano emozioni [...] sono legati più alla forma che al contenuto. Riguardano il come, la maniera e lo stile, più che il cosa e il perché*” (Stern, 2010, pp.9-11).

Va a Daniel Stern, psichiatra statunitense, il merito di aver attribuito il nome “*vitality forms*” a queste forme dinamiche caratterizzanti lo stile delle azioni. Numerose pubblicazioni mettono in luce le caratteristiche peculiari di queste forme vitali, imprescindibili dalle azioni che compiamo tutti i giorni. I *vitality forms* sono aspetti fondamentali dell’interazione sociale poiché, da un lato, ci rendono in grado di comunicare il nostro stato interno e, dall’altro, ci permettono di comprendere lo stato affettivo in cui si trovano gli altri (Stern, 1985, 2004, 2010).

Per assicurarsi una corretta socializzazione non basta, dunque, esprimere o comprendere correttamente lo scopo di un’azione, ma è necessario anche il *come* (G. Rizzolatti, C. Sinigaglia, 2019). È importante sottolineare che anche le emozioni possono essere espresse con differenti forme di vitalità. Ad esempio, durante un’interazione sociale, la rabbia può essere espressa in modo contenuto e distaccato, oppure in modo esplosivo e

prorompente. Del resto, già Darwin nel trattato “*L’espressione delle emozioni nell’uomo e negli animali*” sosteneva che ogni emozione caratterizza una specifica fisionomia e conformazione del volto e che a particolari posture corporee possono essere ricondotti specifici stati emotivi. Queste espressioni del viso e del corpo sono necessarie affinché vi sia un codice comunicativo rapido ed efficiente, condiviso inter-specie, che consenta di recepire lo stato dell’altro e aumentare così le possibilità di sopravvivenza. Il linguaggio non verbale espresso, ad esempio, dai branchi di lupi che mantengono le proprie gerarchie mediante momenti di scontro in cui vi sono delle espressioni stereotipate e ripetute è un esempio dell’importanza che assume l’espressione degli stati emotivi anche in altre specie animali. Tuttavia, una differenza fondamentale che rimarca Stern (2010) è quella tra emozioni e forme vitali. Le emozioni di base, quali gioia, rabbia, tristezza, paura e disgusto sono caratterizzate da brevi episodi intensi in cui reazioni autonome e viscerali permettono all’organismo una rapida preparazione all’agire (James, 1884; Kreibig, 2010). I *vitality forms*, invece, caratterizzano ogni azione che svolgiamo nel corso della nostra esistenza e sono alla base della nostra capacità di comunicare i nostri stati affettivi grazie allo stile caratterizzante le azioni che compiamo.

1.1.1 *Vitality forms* e intersoggettività

Come lo stesso Stern afferma, l’attenzione per le forme vitali nasce dall’osservazione sistematica dell’interazione diadica tra madre e figlio, oggetto di interesse della Psicologia fin dalle sue origini e condiviso dalla più recente branca di “*infant research*”. È in questa zona di sviluppo prossimale (Vygotskij, 2008) che il bambino è agente attivo in grado di rispondere prontamente alle richieste della madre e, a sua volta, imparare a richiedere lui stesso. Questa corrispondenza di intenti nei momenti di scambio diadico tra *caregiver* e bambino si basa sulla capacità emergente di “sintonizzazione affettiva”. Stern sostiene, infatti, che “*la condivisione delle forme vitali*” può essere considerata con molta probabilità la “*più antica, diretta e immediata*” modalità di “*sintonizzazione affettiva*” con gli altri, “*radicata e naturale*”, che caratterizza ogni forma di interazione sociale (Stern, 2010, pp.37). Un’affermazione condivisa da molti autori come, ad esempio, Philippe Rochat (2009) e Colwyn Trevarthen (1998), che concordano nell’attribuire ai *vitality forms* un ruolo primario nelle caratteristiche interattive che permettono la comparsa e lo sviluppo già nella prima infanzia delle diverse forme di intersoggettività,

costrutto che fa riferimento alla capacità degli esseri umani di “giungere a conoscere la mente degli altri” (Bruner, 1996) mediante una fitta e corrisposta rete di interazioni di cui quotidianamente facciamo esperienza. In particolare, Trevarthen (1998) definisce l’intersoggettività come “*capacità soggettiva di modulare il comportamento a seconda della soggettività dell’altro per un fine comunicativo*” (Fogassi, Rollo, 2018). L’autore sostiene che a partire dai primi mesi di vita il bambino modula l’espressione del volto sulla base dell’espressione della madre e che, già nelle primissime fasi dello sviluppo neonatale, nei lattanti “*sono presenti dei meccanismi di rispecchiamento sensibili alle azioni intenzionali o alle espressioni degli altri, operanti al livello subcorticale*” (Fogassi, Rollo, 2018)

Nel libro “*Il momento presente. In psicoterapia e nella vita quotidiana*” Stern mette in luce quella che secondo lui è una delle fondamentali funzioni a cui l’intersoggettività assolve, ovvero quella di agire come un “sistema motivazionale innato” che funge da strumento utile nel permettere al bambino di avanzare richieste date dal bisogno di attaccamento già nella prima infanzia. Stern sottolinea, inoltre, che la sintonizzazione affettiva, fondante la capacità intersoggettiva, ha origine già in utero poiché il bambino, ascoltando la voce materna, memorizza i suoni ascoltati e sarà così in grado di distinguere la voce materna da quella di tutte le altre donne sin dalla nascita. (Stern 1984, 1985, 2004) L’ambito delle teorie sull’intersoggettività è molto ampio e controverso, caratterizzato da diversi approcci che sottendono ognuno il proprio orientamento, sia esso psicanalitico, psicodinamico, neuropsicologico o biologico.

Di seguito una breve rassegna delle principali teorie sull’intersoggettività che, negli anni, si sono evolute grazie anche al contributo della più recente ricerca neuro scientifica.

Il complesso costrutto dell’Intersoggettività è formulato per la prima volta da Stolorow e Atwood ed è un termine onnicomprensivo che fa riferimento a tutto l’immenso sistema relazionale in cui si struttura *il* e si esperisce *nel* contesto della vita intrapsichica. (Stolorow, Atwood, 1992). Ed è proprio riagganciandosi al primissimo contesto esperienziale del bambino, ovvero la madre, che Stern compie numerosi studi osservazionali sul rapporto diadico madre- bambino. A tal proposito, Stern pone particolare enfasi sulle tappe evolutive che il bambino affronta e supera e sostiene che ad ognuna di essa vi è un’emergenza di un *Se*’ specifico che permette al bambino di evolversi grazie al continuo e reciproco scambio di interazioni con la madre. Stern scrive “ *Un*

bambino di nove mesi colpisce un giocattolo morbido con una mano, prima con una certa rabbia, poi progressivamente con piacere ed esuberanza [...]. Mette a punto un ritmo costante. Sua madre si accorda sul suo ritmo e dice “hop bum, hop bum”, emettendo “bum quando il bambino colpisce e “hop” nel moment in cui tiene in alto il braccio prima di lasciarlo cadere.” (Stern, 1989, p.165). È evidente che, secondo l’autore, già a nove mesi il bambino condivide con la madre non soltanto l’interesse per il gioco ma anche, e ben più importante, la condivisione di uno stato affettivo sottostante le sue azioni che permette la progressiva sincronizzazione della voce della madre alle azioni da lui compiute e viceversa. Stern cerca di estrapolare dalle sue osservazioni degli elementi stabili, condivisi, che possano descrivere e costituire questi momenti di sintonizzazione affettiva. Seppur si potrebbe pensare a processi imitativi messi in atto da parte della madre, che con il tono di voce e le sue azioni imita ciò che il bambino compie, in realtà è evidente che “la modalità espressiva che viene messa in gioco non è la stessa che ha usato il bambino. La corrispondenza avviene dunque per mezzo di proprietà amodali che consentono di astrarre le qualità fondamentali della percezione” (Speranza, A.M., Ammaniti A., 1995). Queste proprietà amodali, attributi come l’intensità, la forma, le caratteristiche temporali, sono qualità proprie della percezione stessa e riferibili a qualunque modalità sensoriale. Nella sincronizzazione tra madre e bambino Stern vede quindi la risoluzione pratica e visibile dei processi di sintonizzazione affettiva che sottendono il paradigma dell’intersoggettività. Ed è proprio tra il settimo e il nono mese di vita del bambino che, grazie ai cambiamenti maturazionali come le “conquiste posturali e locomotorie, emergere dell’intenzionalità, permanenza dell’oggetto e senso di anticipazione, attaccamento specifico alla figura che si prende cura di lui” (Speranza, A.M., Ammaniti A., 1995) si osserva l’emergere del “Se’ soggettivo” che permette al bambino di esperire nel terreno, per lui ancora inesplorato, della piena relazione intersoggettiva¹. Vale la pena di accennare anche alla più recente riformulazione della teoria di Stern (1994) del mondo rappresentazionale infantile, in cui l’autore fa riferimento ad un’intricata rete di schemi condivisi tra madre e bambino che egli definisce

¹ A questo proposito un’interessante distinzione viene proposta da Tronik (2008), che distingue una intersoggettività primaria, automatica e inconsapevole, presente già nel bambino molto piccolo che va poi affinandosi in una intersoggettività secondaria, caratterizzata da una maggiore, seppur incompleta, consapevolezza del bambino della sua comprensione dello stato dell’altro.

“modo di essere con”. Ogni schema, caratterizzato da specifiche proprietà amodali, permette di codificare l’esperienza soggettiva dell’interazione vissuta dalla diade grazie alla “*identificazione degli elementi invarianti e la costruzione di prototipi*” (Speranza, A.M., Ammaniti A., 1995). L’insieme degli schemi forma un “involucro protonarrativo” (Stern, 1985) che costituisce la base rappresentazionale dell’esperienza di condivisione con l’Altro. Un discorso parallelo viene compiuto per gli affetti poiché, tra tutti i formati rappresentazionali ve ne è uno specifico per la comprensione e condivisione di questi che Stern definisce “forma del sentimento”. Questo consente al bambino di cogliere, tramite le qualità amodali di tempo, intensità e altre caratterizzazioni simultanee e specifiche del momento diadico vissuto con la madre, la sfumatura affettiva delle azioni materne e accordare le proprie azioni a questa. Colwyn Trevarthen, psicologo e biologo, utilizzò il complesso costruito dell’intersoggettività come teoria fondante dei suoi studi sullo sviluppo culturale dei neonati. Anche lui conviene con Stern nell’affermare che i bambini “accordino e coordinino le loro azioni con gli altri”, aggiungendo che l’apprendimento di questa capacità sia facilitato dalla predisposizione biologica che i neonati hanno e, inoltre, che questo consenta la maturazione cognitiva ed emotiva del bambino (Trevarthen, 1993). Anche la capacità del bambino di coordinarsi con l’altro emerge grazie alla facilitazione ambientale, costituito ancora una volta dalle interazioni con la madre. L’attenzione condivisa che permette ad entrambi di concentrarsi su uno stesso compito (sia questo un gioco, un’attività quotidiana etc.) innesca un processo di natura bidirezionale che evidenzia il transito da un’intersoggettività primaria, caratterizzata da un dialogo acerbo basato su sorrisi, sguardi e vocalizzazione, a un’intersoggettività secondaria basata su interazioni contestualizzate in cui entrano in gioco anche elementi che vanno oltre la coppia madre – bambino e che permettono a entrambi di esplorare e condividere gli stimoli dati dal mondo esterno. Anche Louis Sander, psicanalista e psichiatra ritenuto tra gli autori più rilevanti della psicanalisi del XXI secolo, sostiene che fin dalla nascita il neonato è un individuo dotato di *agency*, la qualità che gli permette di essere esploratore attivo dell’ambiente che lo circonda. Anche per quanto riguarda la relazione genitoriale, entrambi i genitori e il bambino interagiscono reciprocamente sintonizzando e regolando i propri stati affettivi (Sander, 1977, 1995), in un contesto che Tronik definisce “*momenti di incontro*” caratterizzati da “*espansione diadica degli stati di coscienza*”. (Tronik, 1998).

Il costrutto dell'Intersoggettività è stato affrontato anche all'interno di un corpus teorico che va sotto il nome di "Teorie della Mente", di cui esistono tre principali modelli esplicativi. I primi a parlare di "Theory of Mind" furono Premack e Woodruff (1978) che, durante i loro studi sugli Scimpanzé, notarono l'abilità di questi animali di riuscire a prevedere il comportamento di un individuo che metteva in atto delle azioni finalizzate. Da qui l'idea che l'essere umano sviluppi la capacità di comprendere lo stato mentale dell'altro e, tramite l'osservazione di comportamenti altrui, sia in grado di prevedere con una certa dose di accuratezza lo scopo dell'azione osservata. Il primo modello teorico relativo alla Teoria della Mente è la "Teoria della Teoria", basata principalmente sullo studio del bambino che, alla stregua di uno scienziato, osserva gli altri e testa le sue ipotesi su come dai loro stati mentali si possa inferire il comportamento osservato. Questa teoria, formulata da Gopnik e Wellman, è basata dunque sull'idea che l'attività mentale che compie il bambino è quella di discriminare ed associare empiricamente un'azione consequenziale ad ogni stato mentale, permettendogli di crearsi delle rappresentazioni mentali, definite meta-rappresentazioni (Gopnik, Wellman, 1992). In questo modo lo sviluppo del bambino e delle sue capacità può essere considerato un processo di natura deduttiva, cognitiva, che parte dall'osservazione del comportamento per inferire gli stati mentali. Questa teoria è per certi versi paragonabile a ciò che Beebe e Lachmann hanno più volte ribadito, ovvero che *"alla base delle rappresentazioni vi è la capacità di ordinare e riconoscere i patterns, di aspettarsi cosa sia prevedibile e invariante, e di creare categorie di queste invarianti"* (1994, p.131).

Il secondo modello teorico è quello della "Teoria della Mente Modulare" postulato da Fodor, filosofo e allievo di Chomsky. Secondo il modularismo, la mente è costituita da sistemi di input, detti appunto moduli e sistemi centrali. I primi sono specializzati, geneticamente determinati e deputati all'analisi autonoma dei dati sensoriali. I secondi si occupano di assolvere alle funzioni cognitive superiori come la memoria o il *problem solving* (Fodor, 1983). Tra tutti questi moduli il "Theory of Mind - Module" è il sistema che si occupa di trarre le informazioni essenziali dall'ambiente sociale, distinguendo e selezionando le informazioni contestuali salienti da quelle non salienti svolgendo, in altre parole, la funzione di filtro cognitivo e aumentando la possibilità di inferire correttamente

lo stato mentale dell'altro. Maggiore è la maturazione neurologica dell'individuo, maggiore sarà la sua capacità di compiere questa selezione, mentre all'esperienza viene affidato il compito di affinare questo processo di individuazione delle informazioni rilevanti.

Il terzo modello Teorico a cui si fa riferimento nell'ambito delle Teorie della Mente è la "Teoria della Simulazione". Tra i vari sostenitori della teoria vanno sicuramente citati J. Heal (1986), R.M. Gordon (1986) e A.I. Goldman (1989), oltre allo psicologo P.L. Harris (1987). Il fulcro centrale della teoria attribuisce all'individuo, a partire dai cinque anni di età, la capacità di comprendere implicitamente lo stato mentale dell'altro simulando internamente il comportamento osservato. In altre parole, la nostra capacità di predire il comportamento altrui è, in larga misura, basata su una peculiare attività immaginativa in cui ipotizziamo lo stato mentale in cui l'altro si trova nel momento in cui compie le azioni che osserviamo, compiendo un'analisi associativa del rapporto di causa- effetto tra stato dell'altro e azione compiuta. Ovviamente per fare ciò è sotteso il possesso di capacità cognitive che permettano di assumere il punto di vista dell'altro, in una propria attività di finzione (*pretending*) che ha lo scopo di immaginare cosa faremmo noi se fossimo "nei panni" dell'altro, di modo da poter comprendere l'intenzione e lo scopo delle azioni degli altri. Mediante un esperimento di psicologia evolutiva noto come *false belief task*² (Wimmer, Perner 1983) si è arrivati alla conclusione che questa capacità compaia intorno all'età di cinque anni, in accordo con la più generale "Teoria della Mente" che ascrive anch'essa la capacità di attribuire credenze e di predire le azioni degli altri al bambino dai cinque anni di età. L'idea fondante la "Teoria della Simulazione" è dunque quella di una simulazione interna del comportamento dell'altro e sottende, in netta opposizione con la

² Lo scopo del *false belief task* era quello di comprendere a che età il bambino fosse in grado di distinguere i propri stati mentali da quelli degli altri. Il task sperimentale, sottoposto a bambini di età compresa tra i tre e i nove anni, prevedeva la breve dimostrazione di un pupazzo che nasconde un oggetto in un certo posto e, in sua assenza, un altro pupazzo cambiava luogo all'oggetto, spostandolo così da un punto A a un punto B. Al bambino veniva poi chiesto di indicare il luogo in cui il primo pupazzo sarebbe andato a cercare l'oggetto una volta tornato. I risultati mostrano che solo i bambini a partire dai cinque anni di età erano in grado di rispondere correttamente, indicando il luogo dove il primo pupazzo aveva lasciato l'oggetto prima di andarsene. I bambini di età inferiore ai cinque anni, invece, indicavano il luogo in cui il secondo pupazzo aveva spostato l'oggetto, dimostrando di possedere ancora un pensiero egocentrico e di non possedere la teoria della mente.

“Teoria della Teoria”, che questo processo non sia di natura esclusivamente cognitiva ma che, piuttosto, possa essere considerato come una simulazione interna implicita.

Un'altra teoria riconducibile alle teorie sull'intersoggettività è la teoria della “Simulazione Incarnata” che, a differenza delle teorie *standard* della mente, definisce la simulazione come “*un processo necessariamente non introspettivo e non meta rappresentazionale*” (Gallese 2003; Gallese 2006; Gallese, Sinigaglia 2011). Secondo le teorie di filosofia della mente (Goldman, 1989) la simulazione è parte fondante di un processo adottato dal soggetto per comprendere lo stato interno dell'altro con cui entra in relazione.

In contrapposizione a ciò, la Teoria della Simulazione Incarnata mette in discussione il concetto di intersoggettività visto come processo che permette di “*attribuire esplicitamente agli altri atteggiamenti proposizionali, come credenze e desideri, mappati come rappresentazioni simboliche*” (Gallese, Ammaniti, 2014 , pag 31) e introduce invece il termine “*intercorporeità*”, descritto come meccanismo alla base della conoscenza della mente dell'altro. (Gallese, Ammaniti, 2014). In altre parole, la conoscenza dello stato dell'altro è possibile poiché durante le interazioni sociali siamo in grado di entrare con gli altri in uno stato di “consonanza intenzionale” (Gallese 2003). Ciò deriva a sua volta dal fatto che, oltre a condividere con gli altri stati affettivi, sensazioni e capacità percettive, condividiamo anche una struttura nervosa sottostante che funge da processo organizzativo alla base delle nostre azioni. Il meccanismo della simulazione incarnata sfrutta dunque l'organizzazione intrinseca del sistema motorio³ che gli esseri umani condividono, permettendo così di percepire l'altro come “un altro sé come noi”, possedente una matrice corporea costitutiva che, grazie al processo di condivisione intenzionale e intercorporeità, ci rende in grado di simularne lo stato interno. Il meccanismo di consonanza intenzionale è basato su processi neurali che sottendono la nostra capacità di agire e percepire gli altri, aree di competenza del sistema motorio. Tuttavia, il concetto di simulazione utilizzato nella teoria della simulazione incarnata non fa riferimento a quel macrocosmo di significati racchiusi nel termine ma, piuttosto, si riferisce ad una particolare forma di simulazione che permette di comprendere le azioni

³ De Preester (2008) scrive a questo proposito: “l'altro è visto come un comportamento, e l' “lo” è primariamente un “lo” motorio”.

e le emozioni altrui. Non basta, infatti, che vi sia somiglianza interpersonale tra lo stato dell'osservatore e dell'osservato perché si possa parlare di simulazione incarnata: è necessario che si attribuisca agli altri gli stessi processi mentali e stati emotivi o affettivi di cui si esperisce in prima persona. È grazie a questa sovrapposizione, questo “*riutilizzo intrapersonale dello stato o del processo mentale*” (Gallese 2011) che l'individuo osservante compie, a renderlo in grado di entrare in una “consonanza intenzionale” con coloro con cui interagisce. Dunque, secondo la Teoria della Simulazione Incarnata i processi di mentalizzazione avvengono in virtù di un processo che mappa su “*rappresentazioni mentali in formato corporeo*” (Gallese, Ammaniti 2014). Ancora una volta, come già accaduto con Daniel Stern e i *vitality forms*, viene messa in luce l'importanza della componente corporea nelle interazioni sociali e come su di questa si fondi la capacità di comprensione reciproca tra esseri umani. Da un punto di vista neurofisiologico è possibile fondare questa capacità su un meccanismo scoperto alla fine degli anni '90 e reso noto come “meccanismo specchio”.

1.2 Mi specchio in te: i neuroni *mirror* e la codifica dell'azione intenzionale

Uno dei più grandi quesiti che da sempre caratterizza lo studio della filosofia e delle scienze è: come fanno gli esseri umani a capirsi l'un l'altro? Osservando una palla al centro di un campo da calcio e un bambino che corre verso di essa, quasi certamente siamo in grado di predire con una certa accuratezza che il bambino calcerà la palla una volta raggiunta. Grazie alle informazioni che derivano dal contesto (campo da calcio), dalle azioni del bambino (correre) e dall'oggetto verso cui si dirige (palla) siamo dunque in grado di comprendere lo scopo dell'azione che sta per essere compiuta. La domanda che sottende a questa premessa è: come facciamo a comprendere in maniera automatica, intuitiva, lo scopo dell'azione che stiamo osservando? La teoria attualmente più accreditata è che vi sono dei meccanismi nel nostro cervello che sono in grado di aiutarci nella comprensione immediata dell'intenzione dell'azione dell'altro (Rizzolatti, 1996). È certamente vero che ci sono situazioni più complesse, ambigue, in cui lo scopo dell'azione si deduce per via inferenziale: più nuova e inesperta è la situazione che abbiamo di fronte, più difficilmente saremo in grado di comprendere cosa sta accadendo. Eppure, un gruppo di scienziati dell'università di Parma ha scoperto, all'inizio degli anni

90', un meccanismo che potrebbe sottendere alla capacità di comprensione delle azioni basato sul funzionamento di un gruppo di neuroni a cui è stato dato il nome di "neuroni specchio" (Rizzolatti 2004).

1.2.1 Aree dotate di proprietà *mirror* nel macaco

I neuroni specchio, osservati per la prima volta nella corteccia premotoria del macaco, sono dotati di una proprietà detta "proprietà *mirror*" che li rende in grado di attivarsi sia quando un'azione viene compiuta in prima persona sia quando la stessa la si osserva compiuta da altri.

Durante la registrazione dei potenziali d'azione di singoli neuroni dell'area F5 della corteccia premotoria ventrale (PMv) del macaco (Gentilucci et. al., 1988, Rizzolatti et. al., 1988), sono state osservate le proprietà di risposta di diversi neuroni durante una serie di azioni che il macaco eseguiva liberamente. Nello studio (Di Pellegrino et al., 1992) lo sperimentatore presentava al macaco diversi oggetti, dissimili per forma e colore, collocandoli in zone vicine o lontane rispetto all'animale che aveva il compito di afferrarli, manipolarli, portarli alla bocca etc. Capitava inoltre che lo sperimentatore, durante il task sperimentale, eseguisse lui stesso queste stesse azioni di fronte all'animale. Una delle prime scoperte, rivelatasi essere una proprietà funzionale comune a molti neuroni di F5, è che alcuni neuroni si attivavano per lo *scopo* per cui l'azione veniva compiuta (Rizzolatti et al., 1988).

La seconda scoperta riguarda la proprietà funzionale di un gruppo di neuroni in F5 la cui scarica si presentava sia durante l'esecuzione di un'azione finalizzata (es. afferrare un pezzo di cibo), sia alla sola presentazione dell'oggetto implicato nell'azione precedentemente eseguita, indipendentemente se a questo sarebbe dovuta seguire l'azione di afferramento o meno. Questi neuroni sono stati definiti *neuroni canonici* (Rizzolatti et al., 1988, Murata et. al., 1997).

La terza scoperta - forse la più strabiliante di tutte - è avvenuta grazie all'osservazione di un comportamento peculiare di un altro gruppo di neuroni in F5. Questi neuroni, che rispondevano durante l'esecuzione di un certo tipo di azioni, presentavano una risposta

simile anche quando il macaco si limitava ad *osservare* quella stessa azione compiuta dallo sperimentatore. Ciò, però, non succedeva alla sola presentazione dello stimolo o alla pantomima dell'azione. Questi neuroni rispondevano, infatti, sia quando la scimmia afferrava un pezzo di cibo, sia quando questa osservava l'atto di afferramento del cibo compiuto da uno sperimentatore; tuttavia, questi neuroni rimanevano silenti alla sola presentazione del cibo o all'azione mimata ma priva di un oggetto da afferrare, in cui la mano dello sperimentatore si avvicinava su un piano e si chiudeva attorno al punto in cui si sarebbe dovuto trovare il cibo, mimando quindi il gesto dell'afferramento pur senza oggetto da afferrare. (di Pellegrino et al., 1992; Gallese et. al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Gallese et al., 1996).

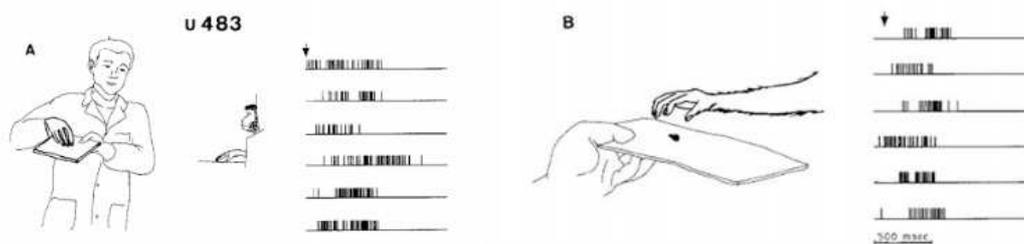


Figura 1. Risposte visive (A) e motorie (B) di un neurone specchio [Di Pellegrino et al., 1992]

La figura 1 mostra l'attività di un neurone che presenta questa proprietà, definita “*proprietà mirror*”. Nella figura a sinistra (A) si osservano le scariche del neurone nella corteccia del macaco che osserva l'azione di afferramento compiuta dallo sperimentatore. Nella figura a destra (B) sono osservabili le scariche dello stesso neurone durante l'esecuzione, da parte dell'animale, dell'azione di afferramento. Confrontando le scariche nelle due condizioni è possibile notare la stretta congruenza⁴ dei profili di attivazione del

⁴ A proposito di congruenza, studi successivi hanno dimostrato che i neuroni specchio possono essere divisi in due categorie: congruenti “in senso stretto”, in cui l'atto motorio eseguito e quello osservato sono perfettamente congruenti sia in termini di scopo che in termini di cinematica dell'azione, e congruenti “in senso lato” dove l'attivazione si osserva anche in azioni che hanno lo stesso scopo (afferrare) ma la cinematica dell'azione o l'atto motorio osservato (afferrare e portare alla bocca) è diverso da quello eseguito (esclusivamente afferrare). (Rizzolatti et. al., 1996)

neurone. Questa proprietà è estremamente rilevante poiché suggerisce che *“lo stesso neurone sia in grado di confrontare ciò che la scimmia fa con ciò che la scimmia vede fare”* (Fogassi, Rollo, 2018). Si è dunque ipotizzato che, alla base del funzionamento del *circuito mirror*, ci sia un meccanismo di comparazione tra la risposta visiva e quella motoria. Per approfondire questo concetto, si ritorni alla figura 1. È stato precedentemente accennato che nell’istogramma a destra (B) è possibile osservare le scariche del neurone durante la condizione di esecuzione, ovvero quando era il macaco a compiere l’azione di afferramento. Questa si potrebbe definire una risposta motoria del neurone. Ma la stessa risposta, con un profilo di congruenza pressoché identico, veniva emessa dallo stesso neurone anche durante l’osservazione (A). Tuttavia, l’*input* e l’*output* sono diversi: in A il neurone si attivava alla sola osservazione e l’animale non si preparava ad una risposta motoria, poiché a differenza della condizione d’esecuzione, in questo caso il compito del macaco era puramente osservazionale. È stato, dunque, ipotizzato che la risposta del neurone *mirror* in A sia dovuta ad una *“trasformazione delle rappresentazioni sensoriali in entrata in rappresentazioni motorie, e più precisamente nello stesso tipo di rappresentazioni motorie”* che è innescato in B (Rizzolatti, Sinigaglia, 2019).

Successivamente sono stati condotti numerosi studi volti all’individuazione di altre aree cerebrali in cui potessero essere presenti neuroni con proprietà *mirror*. Sulla base dei primi studi, infatti, si pensava che i neuroni specchio fossero presenti solamente in F5c, ovvero quella parte di corteccia premotoria ventrale anteriore localizzata sulla convessità corticale.

In realtà studi successivi hanno dimostrato che sia i neuroni *mirror* sia i neuroni canonici si trovano anche in F5p⁵, localizzata nel banco posteriore del solco arcuato inferiore (Bonini et al. 2014). Ulteriori ricerche hanno dimostrato che anche alcuni neuroni corticospinali in F1 sono dotati di proprietà *mirror* (Lemon, 1999), così come altri gruppi di neuroni in F2 (Tkach et al., 2007) e in F6 (Yoshida et al., 2011; Livi et al., 2019).

⁵ Luppino e collaboratori hanno condotto degli studi di citoarchitettura volti a valutare la disposizione e composizione cellulare dell’area F5, rivelandone la sua disomogeneità, distinguendo tre aree: F5 convessità (F5c), F5 anteriore (a), F5 posteriore (p) (Belmalih et al., 2009). F5c e F5p sono aree che presentano un collegamento diretto con F1, regione cerebrale del macaco equivalente all’area motoria primaria (M1) dell’uomo. F5a non presenta questa connessione diretta ma è, invece, l’unica area di F5 ad essere connessa con la corteccia prefrontale ventrolaterale (Matelli et al., 1986; Gerbella et al., 2011)

La possibilità che altre aree cerebrali nella corteccia del macaco presentino gruppi di neuroni dotati di proprietà *mirror* ha dato il via ad una serie di studi di registrazione che hanno effettivamente dimostrato la presenza di questi anche nel lobulo parietale inferiore (IPL) nel lobo prefrontale.

Per quanto riguarda IPL sono stati condotti degli studi che hanno dimostrato la presenza di neuroni dotati di proprietà *mirror* nelle aree PF, PFG (Gallese et. al., 2002; Fogassi et. al., 2005) e AIP (Pani et. al., 2014). Maeda e collaboratori (2015) hanno individuato, su una popolazione di 235 neuroni nel lobulo parietale inferiore del macaco, 13 neuroni con proprietà *mirror*. I risultati della ricerca, infatti, dimostrano che questi neuroni presentavano una scarica sia durante l'osservazione di azioni svolte dallo sperimentatore di fronte al macaco, sia durante l'esecuzione delle stesse azioni svolte dall'animale. La gran parte dei neuroni con proprietà *mirror* che sono stati registrati nelle aree PF e PFG rappresenta lo scopo dell'azione da eseguire, e non i singoli movimenti delle sequenze motorie atte al raggiungimento di questo. (Rozzi et. al., 2008). Lo stesso si può dire per i neuroni *mirror* in AIP (Maeda et., al 2015). A questo proposito, Fogassi e collaboratori (2005) hanno condotto uno studio in cui sono stati registrati singoli neuroni in PFG durante due condizioni motorie diverse. Nella prima, il macaco aveva il compito di afferrare un pezzo di cibo e portarlo alla bocca per ingerirlo mentre, nella seconda, l'animale avrebbe dovuto afferrare il pezzo di cibo e riporlo in un contenitore posizionato accanto. I risultati dello studio mostrano che circa un terzo dei neuroni registrati da PFG si attivava in entrambe le condizioni: la spiegazione data dai ricercatori è che la scarica di questi neuroni rappresenti lo scopo di afferramento. Due terzi dei neuroni registrati, invece, rispondevano durante la fase di raggiungimento e afferramento solo in una delle due condizioni, dimostrando che la loro scarica fosse dipendente dal *goal* ultimo dell'azione. Vale la pena di notare che l'azione di raggiungimento e afferramento sia la stessa in entrambe le condizioni e, ciò che cambia in questo caso, è il secondo atto motorio che decreta anche lo scopo finale dell'azione eseguita dall'animale.

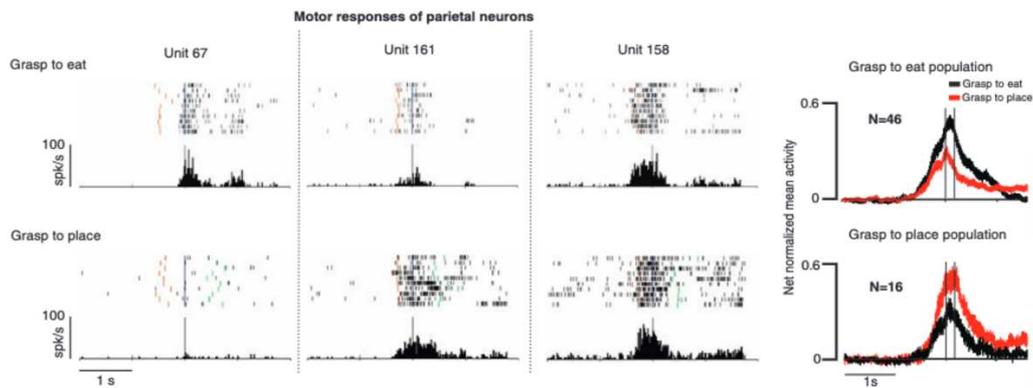


Figura 2. A sinistra: attività di tre neuroni registrati in PFG durante l'afferramento per portare alla bocca e l'afferramento per mettere nel contenitore. Le barre rosse rappresentano il momento in cui il macaco rilascia la mano dalla posizione di partenza, l'incipit dell'atto motorio di raggiungimento, quelle verdi il momento in cui la mano tocca il contenitore. A destra: Risposte selettive delle due popolazioni neuronali che rispondono all'atto di afferramento per portare alla bocca (*grasp to eat*) o all'afferramento per spostare (*grasp to place*). Le due linee verticali presenti in entrambi gli istogrammi rappresentano, rispettivamente, il momento in cui la mano dell'animale tocca l'oggetto e il momento in cui lo afferra. [Fogassi et al., 2005]

Neuroni *mirror* sono stati trovati anche in altre aree parietali: l'area intraparietale ventrale (VIP) e l'area intraparietale laterale (LIP). Murata e collaboratori (2015) hanno scoperto che un gruppo di neuroni bimodali in VIP presentava una scarica sia quando uno stimolo visivo veniva posto in prossimità di alcune zone del corpo del macaco sia quando, lo stesso stimolo visivo, veniva avvicinato in prossimità delle stesse zone del corpo dello sperimentatore. Questi neuroni, dunque, dimostravano di avere una risposta strettamente congruente: se il campo recettivo visivo di un dato neurone dotato di proprietà *mirror* registrato in VIP si trovava intorno alla guancia del macaco, questo stesso neurone rispondeva anche quando lo stimolo visivo veniva avvicinato in prossimità della guancia dello sperimentatore. Per quanto riguarda l'area LIP, un gruppo di ricerca della Duke University (Sheperd et. al., 2009) ha registrato un gruppo di neuroni nella corteccia parietale di alcuni macachi che avevano il compito di compiere un movimento saccadico in una specifica direzione e di osservare un'immagine di un altro macaco il cui sguardo puntava nella medesima direzione⁶. I risultati ottenuti hanno dimostrato che una parte dei

⁶ L'area LIP si trova nella parte posteriore del banco laterale del solco intraparietale ed è ormai da tempo nota la sua connessione con il campo oculare frontale (FEF). Con molta probabilità è questa

neuroni in LIP rispondeva in modo congruente per quanto riguarda la direzione dello sguardo sia durante l'esecuzione che durante l'osservazione. Inoltre, un gruppo ridotto di neuroni nella stessa area mostrava una soppressione della scarica spontanea quando la direzione dello sguardo osservato era la medesima direzione che induceva l'attivazione degli stessi neuroni durante il task di esecuzione. (Sheperd et al., 2009)

È stato dimostrato che anche nel lobo prefrontale sono localizzati neuroni che possiedono una risposta selettiva in risposta alla sola osservazione di azioni di raggiungimento e afferramento (Nelissen et. al., 2005) e, più recentemente, si è scoperto che una parte di questi neuroni possiede delle proprietà *mirror* che li rende in grado di attivarsi anche durante l'esecuzione delle stesse azioni (Simone et. al., 2015). Infine, neuroni con proprietà *mirror* sono stati trovati anche nell'area 9 (Lanzillotto et al., 2017).

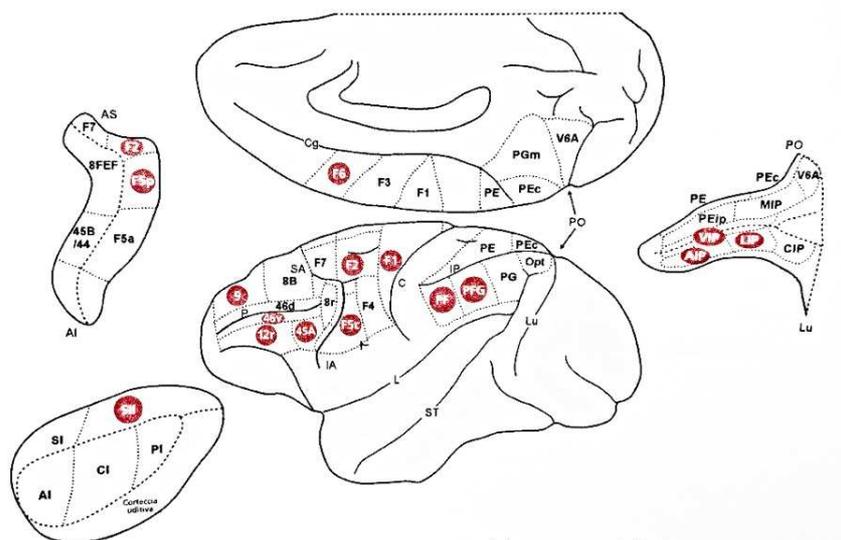


Figura 3. *Visione laterale e mesiale del cervello del macaco. In rosso le aree dotate di proprietà mirror finora note. [Riadattata da Rizzolatti G., Sinigaglia G., (2019) "Specchi nel cervello. Come comprendiamo gli altri dall'interno", Raffaello Cortina Editore, Milano.]*

Grazie al contributo di numerosi studi è stata identificata nel cervello del macaco una vera e propria rete di aree che si attivano durante l'osservazione di atti finalizzati. Nelissen et. al., (2011) hanno dimostrato come l'input visivo di un'azione compiuta da altri attivi il

connessione che permette ai neuroni di LIP di ricevere degli input dalle aree visive e, soprattutto, di attivarsi durante i movimenti oculari saccadici (Andersen et. al., 1997)

solco temporale superiore (STS), che è solitamente implicato nell'elaborazione di ordine superiore di stimoli in movimento. I neuroni in STS sono neuroni con una risposta puramente visiva e, pertanto, diversamente dai neuroni con proprietà *mirror* fino a ora analizzati, non si attivano durante l'esecuzione di movimenti da parte dell'animale. Tuttavia, questi neuroni trasmettono l'informazione visiva relativa alle azioni osservate a F5 grazie alla connessione reciproca che entrambe le aree hanno con una parte del lobulo parietale inferiore (IPL) il quale comprende l'area PF e PFG. All'interno di questo circuito l'elaborazione pittorica dello stimolo viene compiuta nella parte anteriore di STS, trasmessa all'area PFG dove l'informazione visiva viene integrata con il segnale motorio, giungendo infine in F5c. Inoltre, Kraskov e collaboratori (2009) hanno scoperto una gamma di neuroni con proprietà *mirror* che aumentavano la loro scarica durante l'esecuzione di movimenti ma che la inibivano durante l'osservazione. Risultati simili sono stati raggiunti anche da Vigneswaran e collaboratori (2013) per i neuroni del tratto piramidale che ha origine nella corteccia motoria primaria del macaco (F1). Lo studio ha individuato l'esistenza di alcuni neuroni che aumentava la loro frequenza di scarica durante l'osservazione e di altri che, invece, la inibivano. Studi comparativi hanno dimostrato che la risposta visiva in F1 all'osservazione dell'azione è di gran lunga inferiore rispetto alla scarica visiva dei neuroni in F5 e, probabilmente, questo spiega perché negli studi di fMRI l'attivazione della corteccia motoria primaria solitamente non è significativa. In ogni caso, l'inibizione osservata potrebbe essere data da un meccanismo che permette ai neuroni con proprietà *mirror* di attivarsi durante l'osservazione di un'azione senza che questo determini che l'animale esegua a sua volta l'azione osservata. A questo proposito, studi di lesione sull'essere umano hanno dimostrato che un danno nelle aree prefrontali può determinare ecoprassia, ovvero l'incapacità di inibire la tendenza a riprodurre un'azione osservata. È dunque possibile ipotizzare che l'area prefrontale sia coinvolta in meccanismi di tipo inibitorio.

1.2.2. Meccanismo *mirror* nell'uomo: il *network* parieto-frontale

La proprietà *mirror* che caratterizza la risposta dei neuroni nelle diverse aree cerebrali del macaco sembra essere la dimostrazione dell'esistenza di un circuito complesso in grado di attivarsi durante l'osservazione e l'esecuzione di azioni finalizzate. Sono stati condotti numerosi studi che hanno dimostrato come questa caratteristica sia presente anche nell'uomo. Grazie alle tecniche indirette di risonanza funzionale e *brain imaging* è stato possibile condurre delle ricerche che hanno portato alla scoperta di un circuito complesso, definito *network* parieto-frontale: una rete di aree corticali che si è dimostrata attiva durante l'osservazione dell'azione nell'uomo.

Uno dei primi studi che dimostra la presenza nel sistema motorio dell'uomo di risposte *mirror* è stato condotto grazie alla tecnica di stimolazione magnetica transcranica. La TMS è una tecnica di stimolazione cerebrale non invasiva: applicato uno stimolo magnetico di una certa intensità nella zona della corteccia motoria è possibile registrare i potenziali d'azione evocati (MEP) nei muscoli controlaterali all'area stimolata. In questo studio, condotto da Fadiga e collaboratori (1995), ai partecipanti veniva chiesto di osservare alcuni atti motori inerenti ad azioni di mano e braccio eseguiti dallo sperimentatore. Contestualmente all'osservazione, uno stimolo magnetico con un'intensità tale da non evocare nessun movimento evidente veniva somministrato nella zona della corteccia motoria primaria del partecipante e, tramite un elettromiografo, venivano registrati i MEP (indotti dalla stimolazione) dai muscoli coinvolti in atti motori tipici dell'azione di afferramento quali: l'estensore comune delle dita, il flessore superficiale delle dita, il primo interosseo e il muscolo opponente. Come condizione di controllo, il soggetto aveva il compito di osservare una luce che si abbassava lentamente di intensità. La teoria fondante la ricerca era basata sull'idea che, se i neuroni con proprietà *mirror* presenti nell'area omologa di F5 nell'uomo si fossero attivati durante l'osservazione avrebbero, di conseguenza, attivato sotto soglia anche i neuroni di F1, senza che questi innescassero a loro volta un movimento visibile. L'esperimento ha dimostrato che l'osservazione dell'azione induce un aumento dei MEP rispetto alla condizione di controllo sia nel primo interosseo che nell'opponente. È interessante notare che i MEP, nella condizione di osservazione, venivano registrati dagli stessi muscoli reclutati per compiere il movimento osservato, a riprova del fatto che anche il sistema motorio dell'essere umano compie un paragone -quasi una sovrapposizione- delle azioni

osservate rispetto al repertorio di atti motori potenzialmente eseguibili dal soggetto che osserva. Da qui l'ipotesi che vi sia un dizionario motorio, una "conoscenza motoria interna", che permette di attribuire un significato specifico a certi stimoli visivi. Quando osserviamo le azioni compiute da altri, nel sistema motorio avviene un meccanismo di "matching", una comparazione tra atto motorio osservato e atto motorio "in memoria", attivando quella parte del circuito motorio che riguarda l'esecuzione di quello stesso atto osservato. Questo *matching system* permetterebbe di accedere al significato motorio dell'atto osservato in maniera automatica e immediata, e potrebbe essere alla base della comprensione dello scopo delle azioni degli altri. La scoperta di questo sistema è un ulteriore sostegno empirico alla teoria del "rispecchiamento empatico" di Trevarthen (1998), secondo cui il bambino possiede una serie di rappresentazioni di espressioni e azioni finalizzate dell'altro e che queste rappresentazioni altro non sono che "immagini motorie" (Fogassi, Rollo, 2018).

Numerosi esperimenti successivi hanno messo in luce le proprietà del sistema specchio nell'uomo. Buccino e collaboratori (2001) hanno condotto uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI) in cui ai soggetti posti all'interno dello scanner veniva chiesto di osservare una sequenza di azioni eseguite da un altro individuo. Le azioni osservate potevano rappresentare atti finalizzati, ovvero rivolti verso un oggetto target (object-related action), o semplici pantomime prive dell'oggetto target dell'azione ma aventi la stessa cinematica delle precedenti (non-object-related action). Entrambe le tipologie di azioni potevano essere effettuate mediante diversi effettori biologici (mano, piede, bocca). I risultati dello studio mostrano, complessivamente, un'attivazione nella parte anteriore della zona frontale di tutta la corteccia premotoria, compresa l'area 44 di Broadmann e parte dell'area 45. Inoltre, l'osservazione degli atti di bocca attivava aree più laterali, gli atti di mano aree più mediali e gli atti di piede aree ancor più mediali. Risultati simili sono stati osservati anche nel lobo parietale e, anche in questo caso, si è notata un'organizzazione nelle attivazioni basata sul tipo di effettore utilizzato: l'osservazione degli atti di bocca attivava la zona rostrale del lobo parietale, quelle di mano una zona più caudale e quelle di piede ancora più caudale. Questi risultati hanno indotto gli autori a concludere che anche nell'essere umano l'osservazione di atti motori finalizzati determina l'attivazione di campi motori corrispondenti seguendo un'organizzazione somatotopica. In altre parole, l'osservazione di uno specifico atto

motorio va ad attivare la sua corrispondente rappresentazione sia nella corteccia motoria che in quella parietale. È importante sottolineare che, se nella corteccia premotoria anche l'osservazione della pantomima, oltre che quella degli atti finalizzati, provocava una risposta consistente da parte della popolazione neuronale, lo stesso non si può dire dei neuroni nella corteccia parietale. Questa mancanza di attivazione nella corteccia parietale durante l'osservazione della pantomima potrebbe essere dovuta all'assenza dell'oggetto che, invece, è presente nel caso degli atti motori finalizzati. È dunque probabile che per l'attivazione parietale sia necessaria la presenza di un oggetto- target, condizione non necessaria per l'attivazione della corteccia premotoria nell'uomo. La capacità della corteccia premotoria di attivarsi anche in risposta all'osservazione di azioni prive di oggetto- target, come le pantomime, sembra essere esclusiva dell'uomo e potrebbe riflettere la capacità innata di imitazione, esclusiva prerogativa dell'essere umano. Anche in questo caso si conferma l'ipotesi secondo cui quando osserviamo gli atti svolti da qualcun altro, attiviamo le corrispondenti rappresentazioni degli atti motori in corteccia, le stesse che si attiverrebbero se fossimo noi ad eseguire l'azione che stiamo osservando. Filimon e collaboratori (2007) hanno condotto un esperimento per verificare l'esatta localizzazione delle attivazioni nella corteccia premotoria umana durante l'esecuzione, l'osservazione e l'immaginazione di atti di braccio.

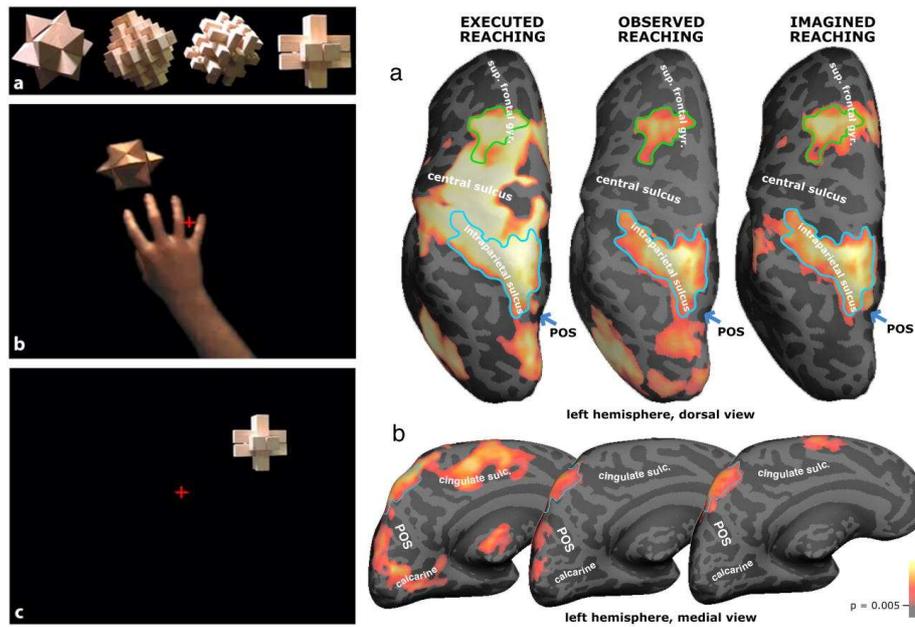


Figura 4. A sinistra: a) I quattro diversi stimoli utilizzati nell'esperimento; b) Esempio di filmato utilizzato durante i compiti di osservazione dell'atto motorio: una mano umana che si appresta ad afferrare uno degli stimoli tridimensionali; c) Presentazione del solo stimolo nella condizione di controllo. A destra: sovrapposizione delle attivazioni nelle aree premotorie dorsali e parietali posteriori durante le tre condizioni di esecuzione, osservazione e immaginazione. a) Visione dorsale dell'emisfero sinistro; b) Visione mediale dell'emisfero sinistro. [Filimon et al. 2007].

L'esperimento prevedeva tre condizioni: nella prima, il soggetto aveva il compito di eseguire lui stesso l'atto di raggiungimento dell'oggetto; nella seconda il soggetto doveva osservare un filmato di una mano umana che eseguiva un movimento di raggiungimento dell'oggetto; nella terza veniva chiesto al soggetto di immaginare l'azione di raggiungimento senza compiere nessun movimento (figura 4). I risultati mostrano che nella condizione di osservazione è presente una consistente attivazione delle aree intorno al solco intraparietale e di parte del lobo parietale superiore. Inoltre, è evidente l'attivazione della corteccia premotoria tra l'area ventrale e l'area dorsale. Nella condizione di immaginazione le attivazioni sono molto simili ma, in più, è possibile notare l'attivazione mesiale che coinvolge la corteccia supplementare e presupplementare. Risulta invece assente l'attivazione occipitale, in quanto nella condizione di immaginazione manca la componente visiva. Nella condizione di esecuzione le attivazioni rilevate confermano che alcune zone prese in analisi sembrano

dotate di proprietà *mirror*. Infatti, le attivazioni del solco intraparietale e del giro frontale superiore nella condizione di osservazione e in quella di esecuzione sono pressoché sovrapponibili. Nella condizione di esecuzione le aree attivate in aggiunta alle altre condizioni sono la somatosensoriale primaria e la corteccia motoria primaria poiché, come stabilito dal task motorio, vi è una vera e propria esecuzione dell'atto da parte del soggetto. Anche questo esperimento ha il merito di confermare ancora una volta l'ipotesi secondo cui gli atti osservati attivano le rappresentazioni in corteccia che si attiveranno se fossimo noi ad eseguire l'azione che stiamo osservando. È altresì interessante sottolineare che le attivazioni durante la condizione di immaginazione sono pressoché coincidenti con quelle osservate nella condizione di osservazione, il che potrebbe significare che anche nel caso dell'immaginazione vengono reclutate le stesse rappresentazioni motorie.

Gli studi di elettrofisiologia e *brain imaging* hanno dunque confermato l'ipotesi che anche nell'uomo, così come nella scimmia, sono presenti meccanismi di tipo specchio. Tuttavia, tra i due sistemi, vi sono differenze. Prima fra tutte, il sistema specchio nell'uomo si è rivelato in grado di attivarsi durante l'osservazione di azioni prive di un oggetto target (non-object-related action) (Buccino et al., 2001) e di codificare atti motori intransitivi e transitivi (Fadiga et. al., 1995). Inoltre, sembra che il sistema dei neuroni specchio nell'uomo appaia più esteso di quello della scimmia, anche se questa conclusione non può essere data per certa a causa delle differenti tecniche impiegate nella sperimentazione animale e in quella umana.

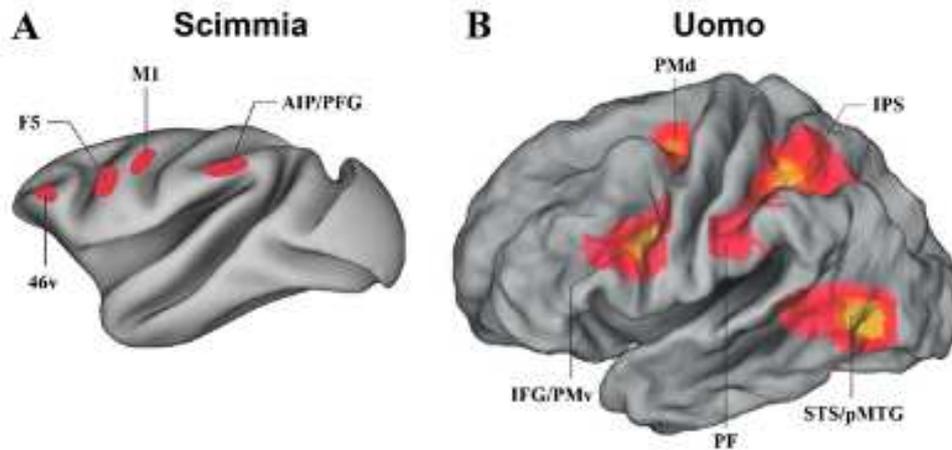


Figura 5. Confronto tra attivazioni *mirror* nel cervello della scimmia (a sinistra) e dell'uomo (a destra). [Di Cesare (2019). "Understanding the internal states of others"; Diabasis]

Attualmente i risultati di numerosi studi mostrano che, nel cervello umano, le aree dotate di proprietà *mirror* che concorrono a strutturare un sistema specchio equiparabile a quello già trovato nella scimmia sono: la corteccia premotoria ventrale (*PMV*) e il giro frontale inferiore (*IFG*). *PMV* è compresa tra il solco frontale superiore e la parte laterale della porzione posteriore del lobo frontale. Quest'area è definita come omologa delle aree F4 e F5 del macaco, comprendendo aree d'attivazioni braco-manuali e buccali. *IFG* è compreso tra il solco frontale inferiore e il solco precentrale e comprende l'area 44 e parte dell'area 45 di Broadmann, anche queste considerate omologhe dell'area F5 del macaco. Altre aree dotate di proprietà *mirror* nell'uomo sono: il lobulo parietale inferiore, il solco intraparietale e il lobo parietale superiore (la porzione immediatamente sopra il solco intraparietale).

Infine, la corteccia premotoria dorsale, al di sopra del solco frontale superiore, considerata omologa di F5 e F7 e attiva soprattutto durante l'esecuzione e l'osservazione di atti motori con gli arti inferiori. Anche il solco temporale superiore (*STS*) fa parte delle aree dotate di proprietà *mirror* nell'uomo, con un ruolo di ritrasmissione delle informazioni visive alle aree parietali, omologo a quello della scimmia.

Sono stati prodotti numerosi studi elettrofisiologici e di *neuroimaging* volti ad indagare la presenza di attivazioni *mirror* anche nei bambini. Fecteau e collaboratori (2004) hanno condotto uno studio su un campione di bambini di tre anni il cui compito era quello

di osservare ed eseguire movimenti di mano e braccio finalizzati al disegno. Attraverso la registrazione tramite EEG gli autori hanno dimostrato l'evidente desincronizzazione del ritmo alfa nella zona di rappresentazione sensorimotoria della mano sia durante il compito di osservazione che durante l'esecuzione. Lepage e Theoret (2006) hanno ottenuto risultati simili in un campione di bambini dai quattro agli undici anni sottoposti all'osservazione ed esecuzione di atti di afferramento. I risultati della loro ricerca, in linea con quelli di Fecteau, mostrano una riduzione del ritmo μ nella corteccia sensorimotoria durante entrambi i compiti di osservazione ed esecuzione.

Marshall e Meltzoff (2010) hanno condotto uno studio su bambini di 14 mesi, registrando tramite EEG la desincronizzazione del ritmo μ durante l'osservazione e l'esecuzione di un movimento di raggiungimento con il braccio atto a premere un pulsante.

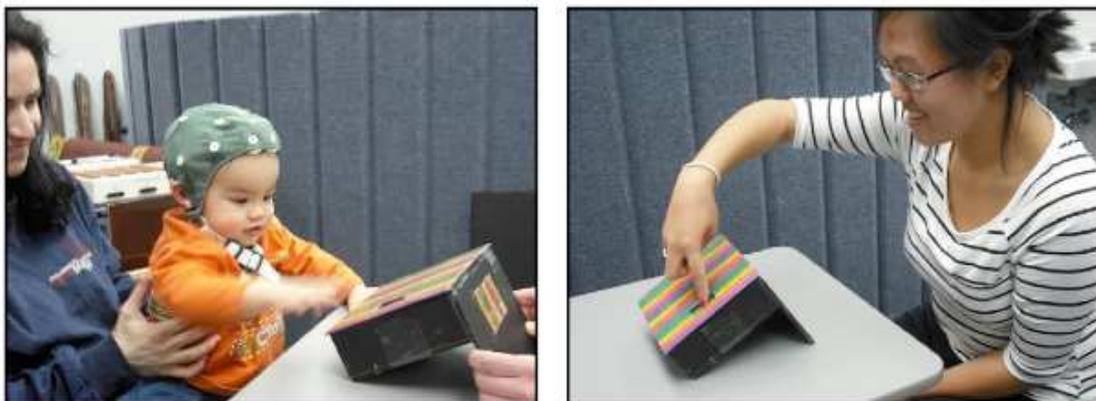


Figura 6 In foto le condizioni di 'esecuzione (sinistra) e osservazione (destra) nello studio di Meltzoff (2010). Le acquisizioni EEG prese in analisi riguardano il range temporale di 500 ms prima e dopo il momento esatto in cui, in entrambe le condizioni, viene premuto il pulsante. Durante l'osservazione il bambino non ha a disposizione nessun oggetto da manipolare.

I risultati della ricerca mostrano una forte desincronizzazione del ritmo μ nelle aree frontali e parietali della corteccia, maggiore nella condizione di osservazione dell'azione rispetto alla condizione di esecuzione. Nello specifico, la riduzione del ritmo nella banda 6-9 Hz era più diffusa nella condizione di osservazione che in quella di esecuzione nelle aree parietali e frontali, mentre nelle zone centrali della corteccia (elettrodi C3, Cz, C4) si

osservava in entrambe le condizioni una congruenza nei profili di desincronizzazione del ritmo μ .

Seppur con qualche differenza nei profili di attivazione è possibile concludere che anche nel bambino è presente un sistema *mirror* di rispecchiamento nelle aree parietali e frontali che si attiva sia durante l'osservazione che durante l'esecuzione degli atti motori.

1.3 Un meccanismo *mirror* specifico per i *vitality forms*.

La congruenza visuo-motoria nel profilo di attivazione dei neuroni *mirror* nella scimmia che si attivano sia durante l'osservazione che durante l'esecuzione di atti motori, allo stesso modo delle evidenze empiriche circa l'esistenza di numerose aree con proprietà *mirror* nell'uomo, tendono a corroborare l'ipotesi secondo cui questo circuito abbia un ruolo nella codifica delle azioni. Tuttavia, è impensabile che all'interno di un contesto ecologico si osservi un'azione che sia totalmente priva di caratterizzazione affettiva. Come già accennato in precedenza, due azioni possono essere dirette verso il medesimo scopo - porgere un oggetto a qualcuno - ma il modo in cui queste azioni vengono eseguite (in maniera gentile, rude, sgarbata e così via) cambia sulla base di numerosi fattori, intrinseci e contestuali. Le così dette forme vitali, quindi, sono necessarie per una corretta interazione sociale e, come sostenuto da Stern, potrebbero essere anche alla base dei meccanismi di sintonizzazione affettiva.

I neuroni *mirror* della corteccia premotoria sono caratterizzati da numerose proprietà funzionali ma, tra queste, non è emersa una differenza di attivazione sulla base del "come" l'azione, osservata o eseguita, è compiuta. Nonostante l'evidente importanza che rivestono l'espressione e il riconoscimento del *come* di un'azione, oltre che del *perché* e del *cosa*, è solo negli ultimi anni che l'Università di Parma, in collaborazione con Daniel Stern, ha avviato una linea di ricerca che mira ad approfondire quali e come determinate aree cerebrali siano implicate nella rappresentazione delle forme vitali, proprie e altrui.

I primi studi di fMRI hanno individuato nell'insula, in particolare nella sua sezione dorso-centrale (DCI), uno dei nodi possibili di un circuito volto all'espressione e al riconoscimento delle forme vitali.

1.3.1. La struttura dell'Insula

L'insula, spesso chiamata anche corteccia insulare o lobo dell'insula, è una struttura filogeneticamente molto antica e condivisa dalla totalità dei mammiferi. Nell'uomo è una porzione della corteccia cerebrale profondamente radicata all'interno della scissura di Silvio, tra il lobo temporale e il lobo frontale. L'area corticale che la ricopre costituisce un vero e proprio "coperchio" e viene definita opercolo. I diversi opercoli sono formati da porzioni corticali del lobo frontale, parietale e temporale.

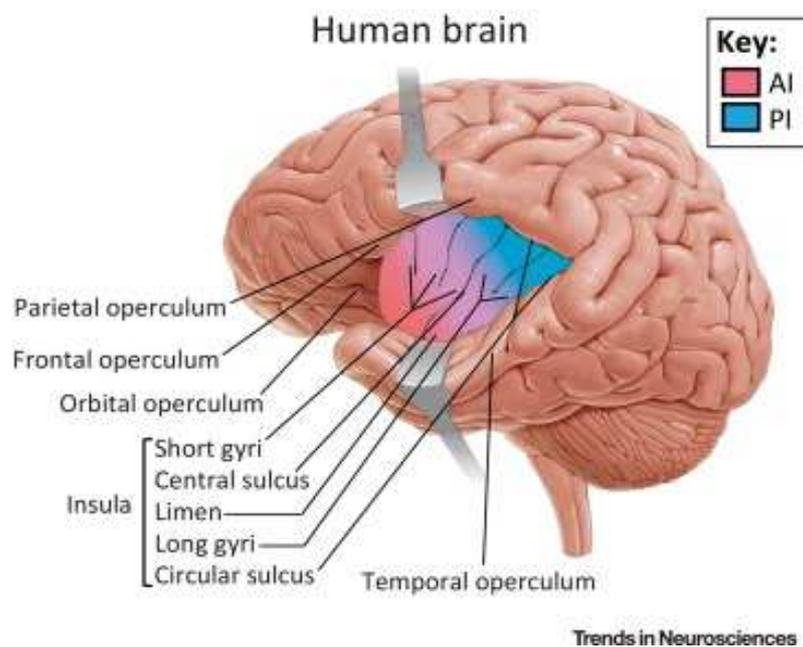


Figura 7 Il lobo dell'Insula, suddiviso in anteriore (AI) e posteriore (PI). Per visualizzarlo è necessario rimuovere gli opercoli. (H.Namkung, S.H. Kim, A. Sawa, 2017)

La corteccia insulare può essere suddivisa in due parti: una anteriore, costituita da tre circonvoluzioni brevi e una posteriore, costituita da due circonvoluzioni lunghe. Studi citoarchitettonici hanno inoltre messo in luce l'aspetto estremamente disomogeneo della sua struttura cellulare, granulare nella porzione posteriore e agranulare nella porzione anteriore. È inoltre caratterizzata dalla presenza di tre solchi che segnano il confine con i lobi adiacenti: una scissura anteriore, posta appena davanti alla prima circonvoluzione breve, una scissura posteriore, posta dietro l'ultima circonvoluzione lunga e, infine, una scissura superiore, che tocca i margini di tutte le circonvoluzioni presenti nell'insula.

La complessa organizzazione morfologica e architettonica del lobo insulare riflette la vastità delle proprietà funzionali attribuite a quest'area. Dal punto di vista delle sue connessioni, corticali e sottocorticali, possiamo suddividerla in due settori con proprietà differenti: una regione viscerale anteriore, che corrisponde all'area agranulare e parte dell'area disgranulare, e una regione polimodale posteriore, che comprende la restante parte dell'area disgranulare e l'area granulare. La regione anteriore ha forti connessioni con l'area ventrale del solco temporale superiore, una regione in cui sono stati individuati numerosi neuroni che si attivano selettivamente alla presentazione di volti. Inoltre, riceve proiezioni dai centri olfattivi e gustativi, dal nucleo ventro-mediale del talamo e dall'amigdala, a cui proietta di rimando. La regione posteriore dell'insula ha un ruolo polimodale, con una funzione predominante di modulazione somatosensoriale e nocicettiva. Questa regione presenta, infatti, forti connessioni con aree corticali somatosensoriali, premotorie e uditive.

È stato inoltre ipotizzato che l'insula possa avere un ruolo anche nei processi empatici. Singer e collaboratori (2004) hanno condotto uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI) su delle coppie di coniugi o fidanzati, dimostrando che vi è un'attivazione bilaterale dell'insula anteriore e della corteccia cingolata anteriore sia quando uno dei due esperisce in prima persona una sensazione dolorifica, sia quando questo osserva un segnale che indica che il partner stia provando dolore. Inoltre, è interessante sottolineare che sia le attivazioni insulari che le attivazioni della corteccia cingolata sono più evidenti in quei soggetti che hanno ottenuto alti punteggi al test per la valutazione del quoziente empatico. Questo risultato è stato replicato anche sul modello animale in uno studio recente condotto da Carrillo e collaboratori (2019), in cui è stato visto che specifici neuroni presenti nell'area 24 della corteccia cingolata anteriore del ratto si attivano sia durante l'esperienza dolorifica sia durante l'osservazione di un altro ratto che esperisce la stessa condizione. Alcuni di questi neuroni rispondono selettivamente all'osservazione delle manifestazioni comportamentali del dolore dell'altro, non attivandosi invece per altre emozioni negative come la paura. Questi neuroni sono stati definiti dagli stessi autori *emotional mirror neurons*, sottolineando così la proprietà funzionale peculiare che caratterizza anche i neuroni *mirror* di f5.

In generale, una metanalisi di Kurth et al. condotta su 1768 studi di *neuroimaging* ha messo in luce l'organizzazione funzionale della corteccia insulare. In particolare, gli autori hanno identificato quattro distinti domini funzionali nell'insula: il dominio senso-motorio (SM), il dominio olfattivo-gustativo (OG), il dominio socio-emotivo (SE) e il dominio cognitivo (CG).

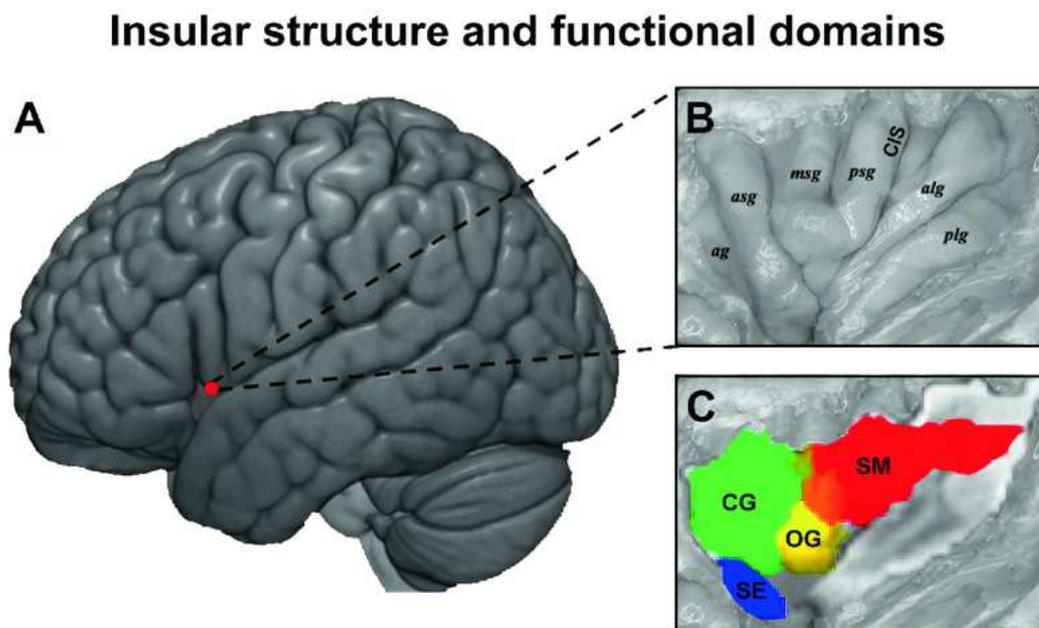


Figura 8 Localizzazione dell'insula nel cervello umano (a). Struttura anatomica dell'insula (b): giro accessorio (ag); giro corto anteriore (asg); giro medio corto (msg); giro corto posteriore (psg); solco insulare centrale (CIS); giro lungo anteriore (alg); giro lungo posteriore (plg). Domini funzionali identificati nella corteccia insulare destra: senso-motorio (rosso), olfattivo-gustativo (giallo), socio-emotivo (blu) e cognitivo (verde) (c). Figura adattata da Kurth et al.

Nei paragrafi successivi verrà discusso il ruolo dell'insula dorso-centrale (DCI), che è composta dal giro corto medio e posteriore nella codifica delle forme di vitalità dell'azione e del linguaggio. Quest'area è considerata tra i centri nevralgici di elaborazione dell'informazione circa lo stato affettivo dell'altro ed è, infatti, implicata nella rappresentazione delle forme vitali proprie e altrui.

1.3.2. Osservazione di azioni

L'osservazione delle azioni eseguite dagli altri permette all'osservatore di comprendere lo scopo (*goal*) dell'azione e, a volte, anche il motivo per cui essa è compiuta. Se osserviamo qualcuno afferrare una bottiglietta d'acqua e svitarne il tappo possiamo prevedere con una certa dose di sicurezza che il *goal* dell'azione sarà bere, e che il motivo più probabile è che costui ha sete. Queste informazioni, per quanto utili, non ci informano circa un altro aspetto, ovvero il *modo* con cui questa azione viene compiuta. Ad esempio, questa stessa azione potrebbe essere compiuta in modo energetico o delicatamente a seconda che l'individuo sia più o meno assetato. Riconoscere la forma vitale di un'azione compiuta da qualcun altro è fondamentale per la decodifica degli aspetti non verbali della comunicazione. A questo proposito, Di Cesare e collaboratori (2014) hanno condotto uno studio di fMRI articolato in due condizioni: *what* e *how*. Nella condizione *what* ai soggetti veniva richiesto di osservare coppie di video consecutivi focalizzandosi sul *goal* delle azioni e di indicare se queste differivano o meno. Nella condizione *how*, invece, ai partecipanti veniva chiesto di osservare gli stessi video e di indicare se le azioni fossero o meno caratterizzate dalla stessa forma vitale.

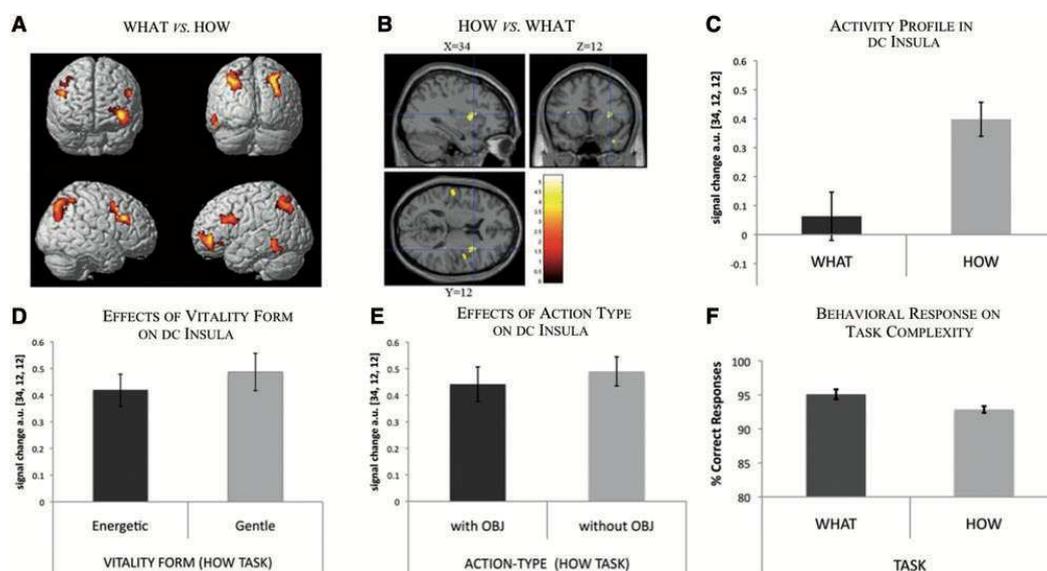


Figura 9 Attivazioni cerebrali risultanti dal contrasto diretto tra (A) cosa vs come compito e (B) come vs quale compito. (C) Profilo di attivazione dell'insula dorso-centrale destra (massima: 34, 12, 12) nel contrasto tra le condizioni how vs what. (D) Profilo di attivazione dell'insula dorso-centrale (massima: 34

12 12) in funzione della forma di vitalità (energico, gentile) durante la condizione how (E) Profilo di attivazione nell'insula dorso-centrale (maxima: 34 12 12) in funzione del tipo di azione osservata (con oggetto, senza oggetto) durante la condizione how (F) Percentuale di risposte corrette (hit) durante la discriminazione nella condizione what (è la stessa o un diverso tipo di azione?) e how (è la stessa o una diversa forma di vitalità?) all'interno di ogni condizione. [Di Cesare, 2014]

I risultati, indipendentemente dalle due condizioni, mostrano delle attivazioni bilaterali nella corteccia premotoria dorsale, nel giro frontale inferiore e medio, nell'ippocampo e nell'insula. Nonostante le attivazioni comuni trovate tra le due condizioni, le aree corticali sembrano maggiormente attive nella condizione *what*. Questo pattern di attivazione corticale è simile a quello tipicamente descritto negli studi di fMRI relativi all'osservazione ed esecuzione di azioni *goal-directed* (Rizzolatti et al., 1996; Iacoboni, 2009). Coerentemente con i risultati generali, l'analisi di contrasto fra le attivazioni delle due condizioni mostra delle attivazioni significativamente maggiori nella condizione del *what* per quanto concerne il lobo parietale posteriore bilaterale, la corteccia premotoria nella sua sezione rostrale, includendo la parte caudale del giro frontale inferiore e la parte più rostrale del giro frontale inferiore. Questi dati suggeriscono che la codifica dello scopo di un'azione recluta in maniera massiva i circuiti parieto-frontali che sottendono l'elaborazione dell'azione osservata ed eseguita. Per quanto riguarda la condizione *how* sono state osservate attivazioni consistenti nell'insula dorso-centrale. Questi risultati aprono la strada all'ipotesi che l'insula dorso-centrale sia uno dei principali centri di elaborazione dell'informazione circa lo stile (o la forma vitale) dell'azione osservata.

1.3.3. Esecuzione di azioni

In un secondo studio dal titolo "*Expressing our internal states and understanding those of others*" di Di Cesare (2015) è stato dimostrato che l'insula dorso centrale non solo ha un ruolo preponderante nella decodifica della forma vitale dell'azione altrui ma è anche attivo durante l'esecuzione o l'immaginazione di un'azione caratterizzata da una forma vitale. Tramite la registrazione del segnale BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) mediante fMRI sono state individuate le aree funzionalmente attive nello svolgimento di vari compiti. Nello specifico, l'esperimento richiedeva ad un campione di soggetti normotipici di eseguire, osservare o immaginare il passaggio di un oggetto

eseguito in maniera rude o gentile. Inoltre, viene aggiunta una condizione di controllo in cui i soggetti osservano, immaginano o eseguono l'atto di inserire una pallina all'interno di una scatola.

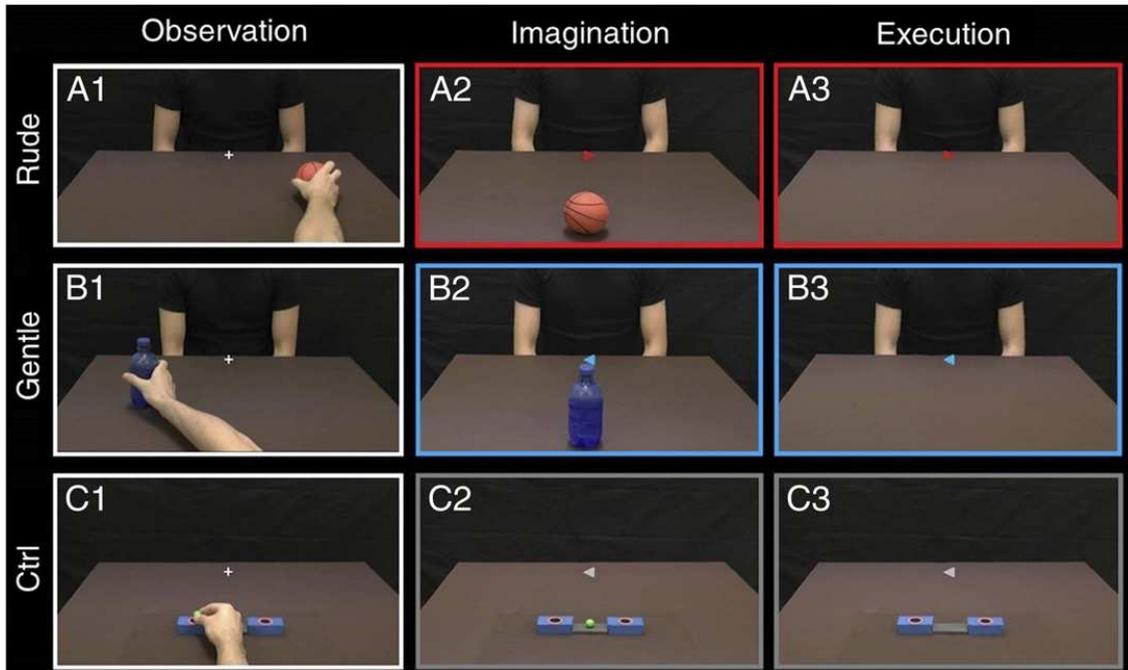


Figura 9. Rappresentazione paradigma sperimentale. Il partecipante ha osservato la mano destra di un attore che spostava un oggetto (A1) verso destra o (B1) verso sinistra. Sono stati usati quattro oggetti. L'azione osservata poteva essere eseguita con una forma di vitalità gentile o rude, e la richiesta era di focalizzare l'attenzione sullo stile di azione. (C1) Come controllo, il partecipante ha osservato una mano che posizionava una pallina nel foro destro o sinistro di una scatola in modo casuale. (Centro) Immaginazione. Il partecipante doveva immaginarsi mentre regalava un oggetto a un altro attore seduto di fronte a lui con una forma di vitalità gentile o rude. (A2 e B2) Nella parte centrale dello schermo c'era una freccia che indicava la scaletta (blu, dolce; rossa, maleducata) e la direzione dell'azione immaginata. Il contorno dello schermo (rosso o blu) ha ricordato al partecipante lo stile di azione richiesto. (C2) Come controllo, il partecipante doveva immaginare di mettere la palla nella scatola secondo la direzione della freccia. (Destra) Esecuzione. Il partecipante aveva in mano un pacchetto di cracker e ha dovuto spostarlo con (A3) maleducato (rosso) o (B3) gentile stile (blu) verso l'attore di fronte a lui. Come controllo, il partecipante doveva posizionare la pallina nella scatola. Durante l'attività EXE, il partecipante ha visto solo la scena raffigurata e la sua mano era fuori dal suo campo visivo. (Adattato da "Expressing our internal states and understanding those of others Giuseppe Di Cesare, Cinzia Di Dio, Massimo Marchi, and Giacomo Rizzolatti, 2015).

I risultati mostrano in tutte e tre le condizioni sperimentali, ma non in quella di controllo, una consistente attivazione dell'insula dorso-centrale (DCI), della corteccia parietale posteriore e della corteccia premotoria dorsale.

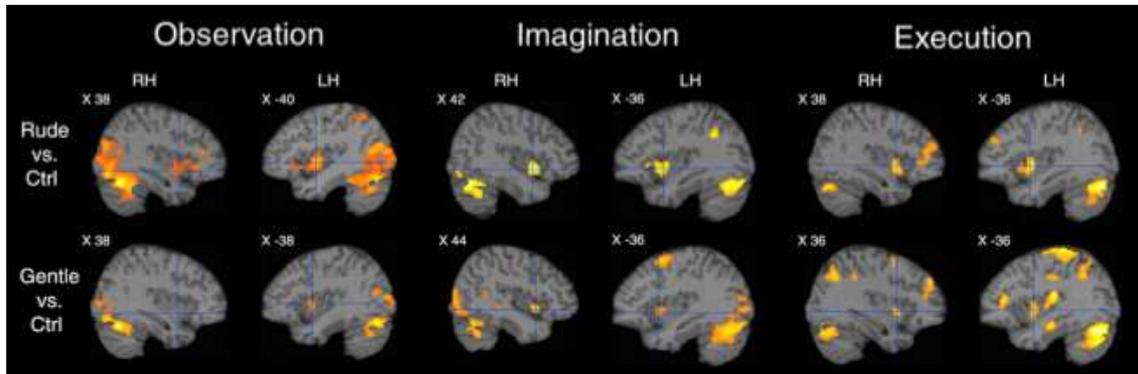


Figura 10. Attivazioni cerebrali derivanti dall'osservazione, immaginazione ed esecuzione delle azioni caratterizzate da forme vitali. Le sezioni para sagittali mostrano l'attivazione insulare nei due emisferi nell'analisi di contrasto tra rude vs. Ctrl e gentile vs. Ctrl. LH, emisfero sinistro; RH, emisfero destro (Di Cesare et. al., 2015.)

Il coinvolgimento dell'insula dorso-centrale tra le aree che si dimostrano attive durante l'osservazione, l'immaginazione e l'esecuzione delle azioni caratterizzate da una certa forma vitale induce a ipotizzare che i neuroni di quest'area posseggano proprietà *mirror*.

Questa ipotesi è stata ulteriormente rafforzata dai risultati di uno studio fMRI dal titolo "The middle cingulate cortex and dorso-central insula: A mirror circuit encoding observation and execution of vitality forms" del 2021 (Di Cesare et al.) dove, utilizzando gli stessi stimoli e simili procedure sperimentali, è stata dimostrata l'attivazione, sia in osservazione che in esecuzione, della corteccia cingolata mediale di sinistra (MCC), dell'area presupplementare motoria e dell'insula dorsocentrale sinistra (DCI). L'analisi *voxel-based* dimostra che gli stessi voxel dell'insula dorso centrale e della corteccia cingolata mediale sono selettivamente coinvolti nella percezione così come nell'esecuzione di azioni caratterizzate da una specifica forma vitale. Inoltre, il segnale BOLD dei voxel localizzati in MCC è strettamente correlato all'osservazione ed esecuzione di azioni eseguite in modo gentile o rude. Lo stesso si può dire del segnale BOLD di molti dei voxel dell'insula dorsocentrale. Infine, per identificare se a questa proprietà funzionale comune si accosti un collegamento anatomico tra le due aree i

ricercatori hanno condotto un'indagine trattografica multifibra (*diffusion tensor imaging* - *DTI*) sugli stessi partecipanti. L'analisi rivela una connessione anatomica tra MCC e DCI e, per questo, entrambe le aree sono state individuate come nodi di un circuito *mirror* specifico per il riconoscimento e l'espressione dei diversi *vitality forms*.

1.3.4 Connessioni anatomiche tra l'insula e i circuiti parieto-frontali

Diversi studi di fMRI sull'uomo hanno dimostrato il coinvolgimento dell'insula dorso-centrale nella modulazione degli aspetti affettivi di diverse azioni svolte con gli arti superiori. Considerando il ruolo fondamentale delle reti corticali nel controllo delle azioni del braccio è stato ipotizzato che nell'uomo esista un collegamento tra l'area insulare di rappresentazione della mano e il circuito *mirror* parieto-frontale, impiegato nell'elaborazione e nella codifica dell'azione propria e altrui.

Nello studio "*Insula Connections with the Parieto-Frontal Circuit for Generating Arm Actions in Humans and Macaque Monkeys*" di Di Cesare e collaboratori (2018) è stato dimostrato tramite *multifiber DTI* (*diffusion tensor imaging*) che l'insula è connessa tramite fasci di materia bianca con il lobulo parietale inferiore, l'area ventrale della corteccia premotoria e l'area 46 di Broadman. Interessante è che la stessa analisi di DTI viene compiuta sul modello animale, rivelando l'esistenza di connessioni simili anche nella corteccia del macaco.

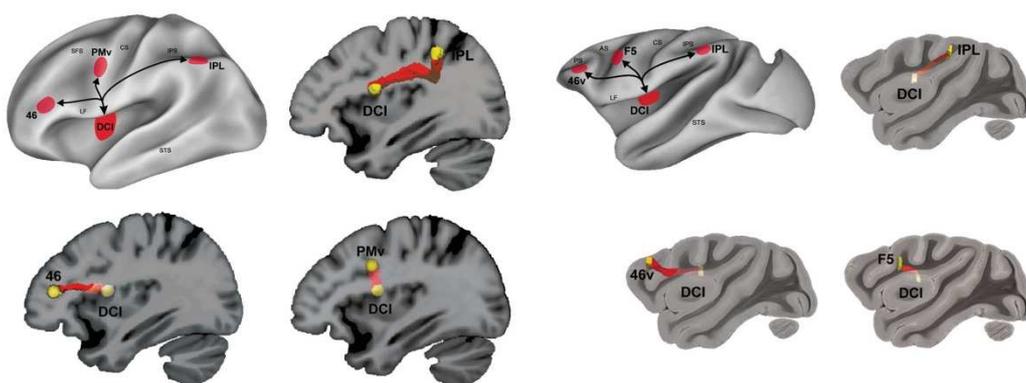


Figura 11 Connessioni insulari con il circuito parieto-frontale nell'uomo e nella scimmia (A). Panoramica delle fibre di sostanza bianca che collegano l'insula dorso-centrale con il circuito parieto-frontale nell'uomo (sinistra) e nella scimmia (destra). Uomo: IPL, lobulo parietale inferiore; IPS, solco intraparietale; STS, solco temporale superiore; CS, solco centrale; SFS, solco

frontale superiore; 46, zona 46; PMv, area premotoria ventrale ; LF, fessura laterale; DCI, insula dorso-centrale. Scimmia: F5, zona frontale 5; AS, solco arcuato; PS, solco principale; 46 v, parte ventrale dell'area 46. (Di Cesare et al., 2020)

In entrambe le specie è stato dimostrato che l'insula è connessa con i circuiti parieto-frontali deputati alla codifica dell'azione osservata ed eseguita tramite tratti di materia bianca che decorrono paralleli al terzo ramo del fascicolo longitudinale superiore e del segmento anteriore del fascicolo arcuato.

Il legame dell'insula dorso-centrale con il circuito parieto-frontale nella scimmia è ulteriormente confermato da una recente rassegna di studi che dimostrano come questo settore dell'insula sia connesso anche con altre aree cerebrali deputate all'analisi sensoriale (Edward H.C, 2019), tra cui la corteccia somatosensoriale secondaria, il putamen e la parte mediana della corteccia cingolata (Di Cesare et al., 2020), in cui la stimolazione elettrica evoca movimenti del braccio sia nelle scimmie che nell'uomo (Luppino et. al., 1991). Queste connessioni, da un lato, confermano che tra le aree coinvolte nel network deputato alla codifica e alla pianificazione delle azioni di mano vi sia anche l'insula dorso-centrale e, dall'altro, suggeriscono ulteriori percorsi attraverso i quali l'insula modula le forme di vitalità espresse dell'agente (Di Cesare et al., 2020).

2. “BROKEN MIRRORS” OR *CLOUDED GLASS*?: AUTISTIC SPECTRUM DISORDER (ASD)

2.1 Autismo: cenni storici e caratteristiche cliniche

Nell’opera “*Disturbi autistici del contatto affettivo*” Leo Kanner (1943), psichiatra austriaco e docente alla Johns Hopkins University, descrisse per la prima volta una condizione che definì “autismo infantile”, conosciuta ai tempi anche come “sindrome di Kanner”. Attraverso un’osservazione sistematica di 11 bambini che durò per quasi 5 anni, l’autore individuò quelle che sembravano essere le caratteristiche che questi pazienti avevano in comune: estrema solitudine, desiderio ossessivo per il mantenimento di una condizione, difficoltà e anomalie nel linguaggio, assenza di marker fisici e acquisizione normale delle principali funzioni, potenziale cognitivo globale nella norma con picchi superiori alla media in alcune capacità quali: capacità mnestiche, grafiche, musicali.

Nello stesso periodo, ma del tutto indipendenti dagli studi di Kanner, Hans Asperger (1944), pediatra e accademico austriaco, pubblicò numerose ricerche su alcuni bambini definiti “psicotici” che presentavano le stesse caratteristiche già descritte da Kanner. Asperger si concentrò in particolar modo sul linguaggio, l’apprendimento e le abilità motorie, tre aspetti dello sviluppo in cui questi bambini sembravano essere deficitari. Per quanto riguarda il linguaggio, il pediatra austriaco constatò che questo veniva acquisito alla stessa età dei bambini con sviluppo tipico ma che veniva usato in maniera “innaturale” (Asperger, 1944). Inoltre, sebbene questi bambini dimostrassero di avere buone capacità di pensiero logico astratto, l’apprendimento in alcuni ambiti, come la socializzazione o la cognizione emotiva, sembrava essere per loro più lento e difficoltoso. Le abilità motorie si rivelavano in linea con le aspettative per quanto riguardava l’acquisizione della motricità fine e grossolana ma, data la scarsa espressività che caratterizzava l’interazione di questi bambini, lo stesso non si poteva dire per la motricità facciale.

Entrambi, Kanner e Asperger, suggerirono che questi pazienti fossero affetti da un “disturbo del contatto” che intaccava profondamente lo sviluppo delle capacità affettive e dell’istintualità. Due furono le principali caratteristiche su cui questi studiosi basarono le prime descrizioni riguardo la sintomatologia del disturbo: estrema solitudine e

ossessiva insistenza sulla ridondanza e la ripetitività delle azioni quotidiane. Tutti i pazienti sembravano non curarsi di ciò che avveniva nell'ambiente circostante mostrando la tendenza a preferire giochi solitari che non implicassero lo sviluppo di relazioni significative con gli altri bambini. Asperger precisò più volte nei suoi lavori che la distanza a cui egli faceva riferimento era una distanza più "mentale" che fisica. Alcuni bambini mostravano dei fastidi nel contatto corporeo ma altri no. Ciò che accomunava tutti i bambini era la predisposizione all'assenza intesa come "lontananza mentale", in altre parole un'incapacità di sintonizzarsi con l'interlocutore, indipendentemente che questo fosse adulto o bambino. In secondo luogo, questi bambini sembravano tutti possedere un desiderio ossessivo per il mantenimento di una condizione. Questa loro predisposizione alla ripetitività e al controllo era caratterizzata da comportamenti ripetitivi, continui e manifestazioni di angoscia e di terrore ogni qual volta la loro *routine* quotidiana subiva un cambiamento inatteso. I bambini erano soliti avere degli interessi ristretti, tipicamente attività che comprendessero gesti rituali: atti motori meccanici che venivano ripetuti più volte. Dai primi studi di coloro che possiamo considerare, a tutti gli effetti, i padri fondatori degli studi sull'autismo, ad oggi, la diagnosi è ancora basata sulle stesse tre aree di pertinenza: interazione sociale, comunicazione verbale e non verbale e repertorio ristretto di interessi. Nonostante le numerose evidenze che l'insieme di caratteristiche descritte da Kanner e Asperger definissero il quadro di una nuova sindrome del neurosviluppo (Rimland, 1964), il disturbo autistico fece il suo ingresso nella diagnostica ufficiale soltanto nel 1980, con la pubblicazione del DSM III (American Psychiatric Association, 1980). Attualmente, i due strumenti che, maggiormente, vengono utilizzati nell'ambito della medicina e della psichiatria per formulare una diagnosi di autismo sono il DSM V (American Psychiatric Association, 2014) e l'ICD-10 (OMS, 1990, revisione 2010). Entrambi i gruppi di lavoro sottostanti alle due opere concordano nel voler raggruppare sotto il nome di "disturbi dello spettro autistico" le diverse classificazioni che negli anni sono state utilizzate in ambito sanitario per descrivere le varie manifestazioni del fenomeno clinico: "sindrome autistica", "sindrome di Asperger", "disturbo disintegrativo dell'infanzia" e "disturbo pervasivo dello sviluppo non altrimenti specificato". Tutti questi disturbi, infatti, sono stati ritenuti molto simili tra loro per eziologia e caratteristiche cliniche e sembrano differenziarsi solo rispetto alla gravità della condizione (Kring, Johnson et. al., 2017).

La scelta da parte dell'American Psychiatric Association e dell'OMS di riunire sotto il termine "disturbo dello spettro autistico" le varie classificazioni che venivano effettuate in ambito clinico è dovuta principalmente a due motivi; La differenziazione dei disturbi dello spettro autistico da altri disturbi del neurosviluppo e dallo sviluppo considerato "normotipico" è chiara ed evidente a tutti i professionisti del settore medico sanitario, mentre le distinzioni che venivano effettuate all'interno dei diversi disturbi non sono state giudicate valide a causa della bassa concordanza tra i clinici. Inoltre, l'autismo è da sempre stato definito da una serie di comportamenti più o meno presenti nei pazienti osservati. Nonostante vi sia una grande variabilità di sintomi che possono presentarsi, i tre domini all'interno della quale questi fanno la loro comparsa sono: deficit social/di comunicazione, interessi fissi e rigidi e comportamenti stereotipati. Per questo l'autismo è meglio definito da un insieme comune di deficit in questi tre ambiti con l'eventuale inclusione di specificatori clinici come, ad esempio, la gravità del deficit nel comportamento adattivo o nelle abilità verbali, e di caratteristiche associate (ad es. ritardo mentale, comorbilità con altri disturbi neurologici, malattie genetiche etc.) Questo permette ai clinici di formulare una diagnosi su misura del paziente, valutando punti di forza e di debolezza di un disturbo che vanta uno spettro molto ampio di caratteristiche e sintomatologie. La variabilità di caratteristiche e sintomi che gli individui con diagnosi di spettro autistico presentano hanno permesso alla psichiatra britannica Lorna Wing (2006) di identificare tre diverse tipologie di bambini con questo disturbo: tipo isolato, tipo passivo e tipo eccentrico. Il primo è caratterizzato dal comportamento già ampiamente descritto nei primi studi osservazionali di Kanner: un bambino chiuso, poco interessato alle interazioni sociali e apparentemente ancor meno incline ad intessere qualsivoglia legame affettivo. La seconda tipologia invece è meglio descritta come una tipo di personalità passiva, che non rifiuta le interazioni sociali ma da cui sembra poco coinvolto. Il bambino "passivo" è un bambino che raggiunge un buon livello di linguaggio e che rende i rapporti parte della sua routine quotidiana, al pari di altre attività, imparando soltanto alcune caratteristiche base della socialità e riproponendole indipendentemente dai contesti. Il terzo tipo di bambino, infine, è descritto come scarsamente in grado di rispondere appropriatamente agli stimoli d'interazione sociale che incontra, mostrandosi eccessivamente affettuoso e confidente verso gli estranei e verbalizzando frasi decontestualizzate rispetto all'argomento di discussione.

In generale, l'esordio del disturbo autistico viene collocato intorno ai 2 anni di età, che corrisponde al momento in cui i genitori iniziano a notare la mancanza di alcuni atteggiamenti tipici dei bambini di quell'età. Questo accade poiché, sebbene siano numerose le ricerche volte all'indagine delle cause per cui questo disturbo ha origine, non esiste attualmente un elemento diagnostico biologico certo, così come nessun comportamento manifestato in giovane età può essere classificato come caratteristica certa della sindrome. Ad oggi l'autismo è diagnosticabile con un grado significativo di certezza soltanto a partire dai 3 anni di età, e spesso a causa dei dubbi che i genitori riportano al pediatra.

I genitori, infatti, riferiscono spesso che il bambino non sembra mostrare interesse per le pratiche di gioco condiviso, evita il contatto oculare, manca di imitazione spontanea dei gesti (ad esempio, battere le mani) e non risponde quando viene chiamato per nome. Questi primi comportamenti concorrono a condizionare l'interazione sociale primaria e sono predittivi di un'incapacità postuma di sviluppare relazioni adeguate con gli altri bambini (Wing 2006). Uno dei comportamenti che maggiormente viene riportato dai familiari del bambino è l'evidente mancanza di comportamenti di reciprocità sociale ed emozionale. Già dalla primissima infanzia il bambino non mette in atto gli atteggiamenti tipici di *pointing* (Camaioni, 1997) e presenta una mancanza parziale, a volte totale, dell'indicazione dichiarativa, con conseguente assenza di comportamenti di attenzione condivisa (Baron-Cohen, 1989), in cui il bambino compie dei gesti per direzionare l'attenzione del *caregiver* verso quegli eventi che vuole condividere con lui.

Criteri diagnostici del DMS-5 per i disturbi dello spettro dell'autismo	
<p>A. Deficit di comunicazione e dell'interazione sociale che si manifestano attraverso i seguenti sintomi.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Deficit nella reciprocità socio-emotiva, ad esempio incapacità di prendere contatto con gli altri, incapacità di dialogare, ridotta capacità di condividere con gli altri interessi o emozioni. - Deficit dei comportamenti non-verbali, come il contatto oculare, l'espressività facciale, il linguaggio del corpo - Deficit nella capacità di stabilite con i pari relazioni adeguate al livello di sviluppo 	<p>B. Pattern di comportamento, interessi o attività limitati e ripetitivi, che si manifestano attraverso almeno due dei seguenti sintomi.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modalità stereotipate o ripetitive nell'uso del linguaggio, nei movimenti o nella manipolazione degli oggetti. - Rigida aderenza a routine, rituali nei comportamenti verbali e non verbali, o estrema resistenza ai cambiamenti. - Fissazione su interessi molto ristretti, ad esempio eccessivo e persistente interesse per parti di oggetti - Ipereattività o iporeattività agli stimoli sensoriali, o interesse inusuale verso l'ambiente sensoriale, ad esempio fascinazione per luci o oggetti che ruotano.
<p>C. Esordio nella prima infanzia</p>	<p>D. I sintomi limitano o compromettono il funzionamento della persona.</p>

Figura 12 Criteri diagnostici per una corretta diagnosi del disturbo dello spettro autistico secondo il DMSV

Nel DMS V le diverse categorie diagnostiche incluse nel DSM-IV-TR (disturbo autistico, disturbo di Asperger, disturbo pervasivo dello sviluppo non altrimenti specificato, disturbo disintegrativo dell'infanzia) sono state riunite in un'unica categoria, rinominata "disturbo dello spettro dell'autistico". La figura 7 riporta i criteri del DMS-V per la diagnosi di ASD; di seguito le principali caratteristiche cliniche con particolare riguardo rispetto i problemi relativi alle interazioni sociali ed emozionali, le difficoltà di comunicazione e le difficoltà motorie.

Il primo studio effettuato con risonanza magnetica MRI su individui affetti da disturbo dello spettro autistico risale agli anni 80 e riporta un'ipoplasia del verme cerebellare nel cervelletto e suggerendo che questa alterazione neurologica fosse alla base della sindrome. (Kandel, 2015)

Hobson e Lee (1998) hanno condotto uno studio i cui risultati evidenziano la quasi totale assenza della produzione spontanea del saluto in bambini affetti da ASD in ogni sua forma, che sia verbale o effettuato mediante sorriso, movimento della mano, contatto oculare. In merito a quest'ultimo è importante sottolineare che, sebbene bambini ASD a volte stabiliscano un contatto oculare, il loro sguardo non sembra quasi mai avere un intento comunicativo. Solitamente, lo sguardo dei bambini viene indirizzato verso

l'adulto quando cerca di attirare l'attenzione su di sé o di dirigere l'attenzione degli altri su un particolare oggetto di suo interesse: tutto questo risulta assente nel bambino con autismo, sintomo di un deficit nella capacità di attenzione congiunta. Nei bambini ASD sembrano compromesse tutte quelle interazioni in cui due o più persone coinvolte prestano la più totale attenzione l'una all'altra. In uno studio, (Shic, Macari e Chawarska, 2014) bambini di 6 mesi a cui era stata diagnosticata una forma di autismo precoce (evoluta in seguito come diagnosi di ASD) venivano sottoposti all'osservazione di filmati di volti di individui che parlavano. Comparando l'*engagement* dell'attenzione verso i video da parte di bambini neurotipici e bambini ASD è emerso che il tempo dedicato all'osservazione dei filmati da parte dei primi è nettamente superiore a quello dei secondi. Inoltre, i bambini neurotipici si soffermavano con lo sguardo in modo particolare su occhi e bocca: evidenza assente nel pattern di osservazione dei bambini ASD. In accordo con questo dato, alcuni studi di fMRI hanno dimostrato che in compiti di individuazione e percezione di volti i soggetti affetti da ASD non presentano un'attivazione significativa del giro fusiforme, del solco temporale superiore e le regioni temporali adiacenti e dell'amigdala: tutte aree implicate nell'identificazione dei volti e nel processamento e riconoscimento delle emozioni in soggetti normotipici (Critchley, Daly, Bullmore et al., 2007). Sempre riguardo al confronto tra bambini neurotipici e bambini ASD è stato dimostrato che in quest'ultimi l'amigdala raggiunge il peso che dovrebbe avere in un soggetto adulto a circa 8 anni di età⁷ e, a causa di ciò, è possibile che qualunque modifica e riorganizzazione delle connessioni nervose che ha luogo negli adolescenti non avviene nei soggetti ASD (Kandel, 2015). Un altro studio condotto da Capps e collaboratori in merito al riconoscimento delle emozioni da parte dei bambini ASD ha evidenziato che questi sono effettivamente in grado di riconoscere l'emozione espressa da altri individui ma che hanno difficoltà a capire le motivazioni scatenanti⁸ (Capps, Losh e Thurber, 2000). In generale, è possibile affermare che le aree cerebrali attualmente note che con un certo grado di significatività possono determinare i deficit nell'ambito dell'interazione sociale nei soggetti autistici (poiché implicate nelle alterazioni comportamentali manifestate dai

⁷ Nei bambini neurotipici l'amigdala aumenta del 40% le sue dimensioni dagli 8 ai 18 anni e il resto del cervello diminuisce di circa il 10%. (Kandel, 2015)

⁸ Quando ad uno dei bambini affetti da ASD venne chiesto di spiegare il motivo per cui qualcuno fosse arrabbiato, la sua risposta fu "perché stava urlando". (Capps, Losh e Thurber, 2000)

soggetti stessi) sono: la corteccia orbitofrontale (OFC), la corteccia cingolata anteriore (ACC), l'amigdala (A), l'insula, il solco temporale superiore (STS), un'area del giro fusiforme specifica per il riconoscimento dei volti (FG), (Kandel, 2015).

Per quanto riguarda la comunicazione, una delle anomalie più frequenti durante il periodo di acquisizione del linguaggio è la presenza di ecolalie, immediate o differite che, nei casi più gravi, persistono per tutto il corso della vita dell'individuo. Un'altra anomalia strettamente connessa all'ecolalia, anche se meno frequente nel linguaggio dei bambini affetti da ASD, è l'inversione dei pronomi: il bambino parla di sé utilizzando pronomi come "lui" o "lei" o riferendosi a se stesso utilizzando il nome proprio. In generale lo sviluppo del linguaggio avviene in ritardo. Il *bubbling* presente normalmente nei bambini a partire dai 6-7 mesi di età risulta carente nei bambini con diagnosi precoce di ASD (Ricks, 1975) e, in generale, si riscontra un ritardo nell'acquisizione delle abilità linguistiche. I deficit che si osservano nel campo del linguaggio possono essere ricondotti ad alterazioni di numerose aree cerebrali. Tra le più studiate e confermate troviamo la regione frontale inferiore, lo striato e regioni sottocorticali come i nuclei pontini (PN). (Kandel, 2015)

Infine, per quanto concerne gli atti e le stereotipie motorie, frequenti nei bambini con diagnosi di ASD, esse possono essere ricondotti a turbamenti in seguito a qualunque cambiamento nella loro vita quotidiana o nell'ambiente che li circonda (Kring, Johnson et al., 2017). Non è raro che alcuni bambini ASD esibiscano in queste situazioni comportamenti stereotipati, come lo sfarfallio delle mani, un dondolio incessante o altri movimenti ritmici e ripetuti. Altri bambini possono presentare stereotipie di interesse, arrivando a sviluppare delle vere e proprie ossessioni nei confronti di oggetti semplici (matite, sassi, chiavi) o complessi, come elettrodomestici e altri oggetti meccanici. Anche gli interessi sono stereotipati, sia nel gioco, dove vengono predilette attività solitarie, sia negli hobby in adolescenti e adulti, dove si prediligono attività di sistematizzazione come, ad esempio, il collezionismo. Alla base dei comportamenti stereotipati l'ipotesi più accreditata è un deficit localizzato al livello dello striato. (Kandel, 2015)

2.2 Autismo e circuiti *mirror*

Uno dei primi scienziati che ipotizzò un collegamento tra alcuni sintomi autistici e un malfunzionamento dei circuiti parieto-frontali, dedicati alla codifica delle azioni osservate ed eseguite dovuta alle proprietà *mirror* dei neuroni di queste aree, è Hustin H.G. Williams che, nel 2001, pubblicò un articolo dal titolo “*Imitation, mirror neurons and autism*”. In virtù del ruolo evidente che le aree *mirror* assolvono nella decodifica delle azioni intenzionali e, vista l’idea secondo cui questa proprietà possa essere alla base di meccanismi di imitazione e apprendimento, l’autore individua in un malfunzionamento di queste aree una possibile causa della sintomatologia autistica. La capacità di imitare è considerata da molti un precursore della Theory Of Mind (ToM) dato che entrambe presuppongono la capacità di mettersi nei panni dell’altro (Whiten A., 1996, Whiten A., 1997) e, proprio per questo, tra i principali modelli teorici che ipotizzano l’origine e lo sviluppo della teoria della mente spicca la teoria della simulazione⁹. È stato dimostrato che molti soggetti a cui è stato diagnosticato un disturbo dello spettro autistico (ASD) mostrano deficit nelle capacità di imitazione (Smith et al., 27) e, in particolare, si rivelano incapaci di imitare azioni “simboliche”, ovvero quelle azioni di pantomia in cui, ad esempio “*si mima l’atto di lavarsi i denti ma senza avere in mano uno spazzolino*” (Williams, 2001). Queste evidenze conducono all’ipotesi dell’autore, secondo cui alla base della costellazione di sintomi che caratterizzano la sindrome autistica vi sia una disfunzione dei circuiti *mirror* parieto-frontali; in particolare, Williams sostiene che questa disfunzione sia dovuta ad un fallimento nello sviluppo delle aree premotorie e parietali, a causa dell’interazione di fattori genetici ed ambientali, ipotizzati come principali responsabili della sintomatologia autistica. Questa disfunzione potrebbe portare ad una compromissione nel processo di formazione delle rappresentazioni sé-altro e ad

⁹ Tra i vari sostenitori della teoria vanno sicuramente citati J. Heal (1986), R.M. Gordon (1986) e A.I. Goldman (1989), oltre allo psicologo P.L. Harris (1987). Il fulcro centrale della teoria attribuisce all’individuo, a partire dai cinque anni di età, la capacità di comprendere implicitamente lo stato mentale dell’altro simulando internamente il comportamento osservato. In altre parole, la nostra capacità di predire il comportamento altrui è, in larga misura, basata su una peculiare attività immaginativa in cui ipotizziamo lo stato mentale in cui l’altro si trova nel momento in cui compie le azioni che osserviamo compiendo un’analisi associativa del rapporto di causa- effetto tra stato dell’altro e azione compiuta.

un conseguente fallimento nello sviluppo dell'empatia e di una piena e completa *theory of mind* (Williams, 2001).

In accordo con quanto detto finora, Vilayanur S. Ramachandran e Lindsay M. Oberman (2005) hanno condotto un esperimento su due differenti campioni composti, rispettivamente, da soggetti neurotipici e *high functioning* ASD. Lo studio era volto ad individuare se, in individui ASD, si potesse dimostrare una disfunzione nel sistema *mirror* grazie alla registrazione della desincronizzazione del ritmo μ nella corteccia motoria primaria. Studi precedenti in cui sono coinvolti gli autori della presente ricerca (E.L. Altschuler, et al., 1997) avevano già esaminato il sistema specchio nell'uomo attraverso l'analisi delle oscillazioni della banda di frequenza elettroencefalografica (EEG) μ dimostrando che, in condizioni di riposo, i neuroni sensorimotori mostrano un'attivazione sincrona e spontanea che correla con oscillazioni EEG nella banda di frequenza 8-13Hz(μ) ma, quando gli individui eseguono un'azione, questi stessi neuroni si attivano in modo asincrono, diminuendo la potenza delle oscillazioni EEG nella banda di frequenza μ . Poiché le proprietà dei neuroni specchio sono indistinguibili da quelle dei neuroni premotori, motori o sensorimotori a loro prossimali, è probabile che la soppressione del ritmo μ durante l'esecuzione di un'azione da parte dell'individuo sia il risultato delle attivazioni di diverse popolazioni neurali nelle aree premotorie e sensorimotorie. Tuttavia, la stessa desincronizzazione è stata vista in soggetti impegnati in compiti di osservazione di azioni (Pineda, 2000) e, in questo caso, l'unica tipologia di neuroni che sappiamo ad oggi con certezza essere attivi sia in esecuzione che in osservazione di atti motori sono quelli con proprietà *mirror*. Ciò ha suggerito agli autori l'idea che la soppressione delle onde μ alle azioni osservate potrebbe essere con buona probabilità presa come misura selettiva del funzionamento del sistema specchio nell'uomo. Poiché il ritmo μ è generato dalle attività nelle aree sensorimotorie e i neuroni con proprietà *mirror* nell'uomo erano stati inizialmente individuati in aree premotorie, è stato ipotizzato dagli autori che il suddetto ritmo μ possa indicizzare la modulazione a valle delle aree sensorimotorie primarie da parte dei neuroni specchio. Sulla base di queste premesse, gli autori hanno chiesto ad entrambi i gruppi - soggetti neurotipici e *high functional* ASD - di partecipare a quattro diverse condizioni, così articolate: nella prima e nella seconda condizione veniva, rispettivamente, chiesto agli individui di svolgere un movimento di mano o di osservare lo stesso movimento svolto da un ricercatore in video. Nella terza e

quarta condizione, dette condizioni di controllo, i soggetti avevano il compito di guardare un video di un movimento non-biologico di due palle che rimbalzano, o di osservare un video *full screen television static*, ascrivibile al corrispettivo visivo di un rumore bianco.

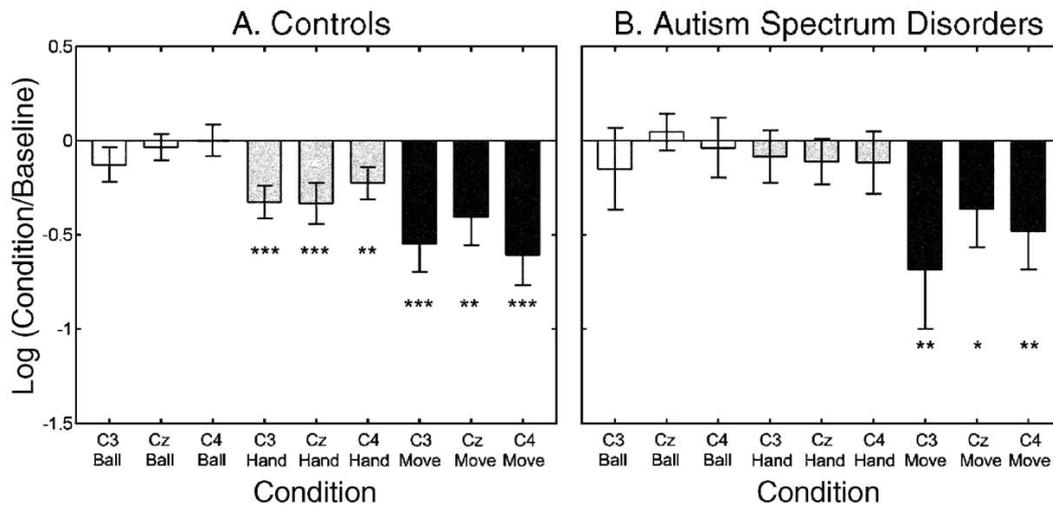


Figura 13 Soppressione μ nei soggetti di controllo e ASD. Le barre rappresentano il rapporto medio della potenza nella frequenza μ (8–13 Hz) durante la condizione di controllo “Bouncing balls” (bianco), la condizione sperimentale di osservazione dell’azione di mano (grigio) e la condizione di movimento della propria mano (nero). C3, Cz e C4 sono i siti degli elettrodi superficiali dell’EEG negli individui a sviluppo tipico (A) e high functioning ASD (B). Le barre di errore rappresentano l’errore standard dalla media. Per tutti i valori, un rapporto medio log maggiore di zero indica un miglioramento μ ; un rapporto medio log inferiore a zero indica la soppressione μ . Una soppressione significativa è indicata dagli asterischi, * P b 0,05, ** P b 0,01, *** P b 0,005. (Oberman et al., 2005)

Ciò che emerge dai risultati dello studio è che, se durante l’esecuzione dell’atto motorio di mano si nota un’evidente desincronizzazione del ritmo μ in entrambi i gruppi, nella condizione di osservazione soltanto i soggetti neurotipici mostrano risultati altrettanto significativi. La desincronizzazione rilevata nei soggetti ASD per quest’ultima condizione, invece, non è significativa, fornendo un contributo empirico alla tesi secondo cui una disfunzione dei sistemi *mirror* possa trovarsi alla base di molti deficit neuro comportamentali osservati in individui ASD maschi ad alto funzionamento. È interessante sottolineare che, qualche anno dopo, gli stessi autori (Oberman 2008) hanno condotto una ricerca basata sulle stesse ipotesi e utilizzando la stessa metodologia, ma con una variabile aggiunta. Gli studiosi avanzarono e dimostrarono empiricamente l’ipotesi secondo cui la familiarità con l’attore

dimostratore nella condizione di osservazione del movimento potesse avere un ruolo nella modulazione del ritmo μ in entrambi i gruppi. Il campione era costituito da bambini di età compresa tra gli otto e i dodici anni e veniva chiesto loro di partecipare a tre differenti condizioni. Le prime due condizioni consistevano nell'osservazione di un individuo estraneo o nell'osservazione di un individuo familiare per il bambino (genitore, *caregiver*, fratello/sorella), in entrambi i casi impegnati nell'esecuzione della medesima azione di mano. La terza condizione prevedeva che fosse il bambino stesso a compiere l'azione osservata. La condizione di controllo, così come nello studio precedente, consisteva nell'osservazione di un video del movimento di due palle che rimbalzano.

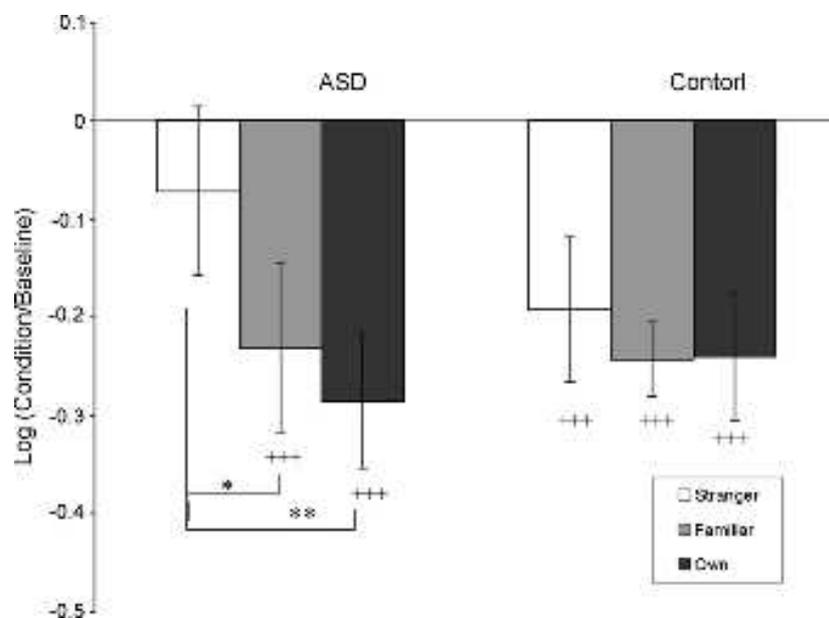


Figura 14 Soppressione μ registrata durante l'osservazione di azioni eseguite da un individuo sconosciuto, un individuo familiare e durante l'esecuzione delle stesse azioni da parte del partecipante stesso. Le barre rappresentano il rapporto logaritmico medio della potenza nella frequenza μ (8–13 Hz) durante le condizioni “estraneo” (barre bianche), “familiari” (barre grigie) e “proprie” (barre nere), rispetto alla potenza nella condizione “bouncing balls”. A sinistra il campione di soggetti ASD, a destra i controlli a sviluppo tipico. Differenze significative nella soppressione sono indicate da asterischi: * $p < .05$, ** $p < .01$; la soppressione significativa da 0 è indicata da segni più: +++ $p < 0,001$. (Oberman, 2008)

Anche in questo caso i risultati confermano la non significatività della soppressione del ritmo μ durante l'osservazione, da parte dei bambini ASD, di azioni di mano svolte da parte di un agente estraneo. La novità sta nel fatto che se l'azione osservata dal bambino

viene svolta da un agente familiare come un genitore o un fratello, allora la soppressione del ritmo μ si verifica in maniera abbastanza chiara superando la soglia di significatività. Questa scoperta suggerisce innanzitutto che la soppressione del ritmo μ nei bambini ASD potrebbe dipendere dalla familiarità con l'agente, cosa che invece non sembra succedere ai soggetti neurotipici che costituiscono il campione di controllo. Questi risultati potrebbero concorrere alla risoluzione della domanda clinica del perché i miglioramenti nelle abilità sociali e nella comunicazione nelle terapie specializzate per i bambini ASD siano più evidenti quando il bambino ha la possibilità di interagire con un genitore o un fratello, rispetto a un estraneo. Secondo gli autori questo risultato ha una grande rilevanza dal punto di vista clinico perché potrebbe portare altri studi ad approfondire l'importanza dell'inclusione attiva dei genitori negli interventi terapeutici. D'altronde questo non è il primo studio i cui risultati mettono in luce l'importanza che assume la familiarità dello stimolo per i soggetti affetti da sindrome autistica. Difatti, già alcuni studi hanno rilevato come, sebbene la tipica risposta neurale alla vista di volti estranei sia assente in soggetti ASD, questa diviene visibile quando i volti proposti appartengono ad individui familiari ai soggetti (Pierce et al 2004). L'ipotesi che gli autori avanzano circa i risultati ottenuti dai loro studi è che la presenza di una soppressione μ nella risposta del campione ASD all'osservazione di azioni compiute dal bambino stesso o dall'agente familiare potrebbe essere il risultato della maggiore rilevanza attenzionale e motivazionale che gli stimoli familiari rappresentano, causando una maggiore attività del sistema specchio implicato nel riconoscimento dell'azione. Non è chiaro se l'effetto ottenuto nel presente studio sia il risultato della familiarità con l'attore ("questa è la mia mano" rispetto a "questa è la mano di un estraneo") o, piuttosto, l'effetto dell'agente ("questa è la mia stessa azione" rispetto a "questa è l'azione di uno sconosciuto"). Tuttavia numerosi studi precedenti indicano che il sistema specchio non risponde all'osservazione di un'immagine statica rappresentante un effettore biologico (es. mano ferma). Pertanto, identità e azione sembrano essere due istanze correlate nella codifica compiuta dalle aree appartenenti alla circuiteria *mirror*.

Le evidenze finora riportate conducono all'ipotesi secondo cui la difficoltà nella codifica dell'azione dell'altro da parte di soggetti ASD dipenda da una disfunzione delle aree premotorie e parietali che, insieme, formano i circuiti *mirror* parieto-premotori. Una

ricerca del 2007 condotta dai ricercatori di Parma (Cattaneo, Rizzolatti, 2007) mette alla prova un'altra teoria. Numerosi studi (Fogassi, 2005) hanno portato evidenze circa l'esistenza, nella scimmia, di neuroni *mirror* nelle aree parietali e premotorie che, codificando selettivamente per specifici atti motori (es. grasping), mostravano delle attivazioni differenti in base al goal finale dell'azione di cui quell'atto motorio è chiamato a far parte (es. grasping for placing vs. grasping for eating). Tramite registrazione elettromiografica lo studio indaga la possibilità che il tipo di organizzazione dell'esecuzione dell'azione che le evidenze sui primati non umani hanno evidenziato possa essere esteso anche agli esseri umani neurotipici, ma non a soggetti ASD.

Per dimostrare ciò è stato reclutato un campione costituito da due gruppi, soggetti neurotipici e *high functional* ASD. Le due fasi dell'esperimento erano così articolate:

Durante la prima fase, OBSERVATION TASK, ai soggetti di entrambi i gruppi veniva chiesto di osservare un attore impegnato in due azioni con goal differenti, sebbene costituite entrambe dai medesimi atti motori

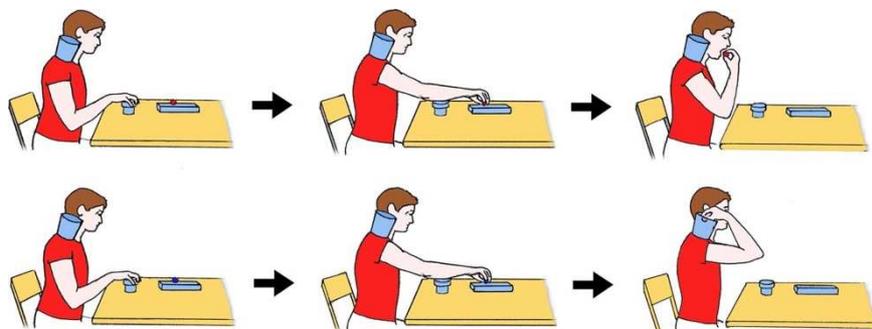


Figura 15 Rappresentazione schematica delle due azioni osservate. Sopra: l'individuo prende un pezzo di cibo posizionato su un piatto, lo afferra, lo porta alla bocca e infine lo mangia. Sotto: l'individuo prende un pezzo di carta che si trova sullo stesso piatto, lo afferra e lo mette in un contenitore posto sulla spalla. (Cattaneo, 2007)

Nella prima azione l'attore, partendo da una posizione di partenza, allunga il braccio (*reaching*) per afferrare un oggetto edibile posto su una base che ha di fronte, lo afferra (*grasping*) e lo porta verso la bocca per mangiarlo (*eating*).

Nella seconda azione l'attore, dalla stessa posizione di partenza, allunga il braccio (*reaching*) per afferrare un pezzo di carta che si trova sulla base che ha di fronte, lo afferra (*grasping*) e lo porta verso una scatolina fissata sulla sua spalla (*placing*). Durante tutta la durata dell'osservazione ai soggetti osservanti è stata registrata l'attività del muscolo miloioideo (MH), utilizzata come variabile per valutare un possibile effetto *mirroring* durante l'osservazione. I risultati di questa prima parte dello studio mostrano, durante l'osservazione dell'azione a scopo alimentare, un marcato aumento dell'attività MH nei bambini neurotipici. Questa attività inizia già dal momento in cui l'attore esegue il primo atto motorio di raggiungimento dell'oggetto e si incrementa durante il momento del *grasping*, persistendo sino all'atto dell'*eating*. Al contrario, i soggetti ASD non mostrano nessun tipo di attività MH per l'intera durata dell'osservazione. In nessuno dei due gruppi è stata rilevata un'attività MH significativa all'osservazione dell'azione di posizionamento.

Nella seconda fase dell'esperimento è stata registrata l'attività del muscolo miloioideo durante l'esecuzione delle stesse due azioni descritte in precedenza. Analizzando i risultati è evidente che il tempo di reazione del muscolo miloioideo sia significativamente diverso tra i due gruppi. Nel gruppo di soggetti neurotipici si rileva una graduale attivazione del muscolo miloioideo centinaia di millisecondi prima che la mano raggiunga il cibo, aumentando la sua attivazione durante la presa e raggiungendo il suo picco massimo quando il soggetto apre la bocca per accogliere il cibo. Nel gruppo di soggetti ASD, invece, non è stata trovata nessuna attivazione MH significativa durante le fasi di *reaching* e *grasping*, individuata soltanto nella "*bringing to the mouth phase*" con un rapido e progressivo aumento dell'attività in poche decine di millisecondi. Questi risultati concorrono a strutturare l'ipotesi secondo cui la compromessa capacità di comprensione dell'azione dell'altro, considerata tra i deficit utili a strutturare le difficoltà empatiche e di socializzazione in soggetti ASD, potrebbe derivare da una più generale compromissione di varie aree cerebrali, tra cui le aree parietali e premotorie, ed è da questa iniziale compromissione che derivano conseguentemente i deficit nell'attività dei sistemi specchio rilevati nei soggetti affetti da disturbo dello spettro autistico.

1.4 I *vitality forms* e l'autismo

I *vitality forms* sono da sempre stati considerati da Stern alla base delle dinamiche caratterizzanti le interazioni sociali. Le recenti scoperte circa le proprietà funzionali dell'insula e della corteccia cingolata hanno messo in luce come, in soggetti neurotipici, un corretto funzionamento di queste aree possa essere alla base della capacità di riconoscere la forma vitale con cui l'azione viene espressa. Una delle principali manifestazioni cliniche ricollegabili alla sintomatologia autistica è proprio l'incapacità di riconoscere lo stato emotivo dell'altro, con conseguente difficoltà ad instaurare relazioni socio-emotive (DSM V). Inoltre recenti studi funzionali sull'attività insulare mostrano un'ipoattivazione delle aree anteriori in soggetti ASD (Uddin, Menon, 2009). Questo ha permesso a molti autori di ipotizzare che la sintomatologia autistica possa rappresentare il campo d'elezione per lo studio dei meccanismi di espressione e riconoscimento dei *vitality forms*. Tra le prime ricerche dedicate allo studio delle forme vitali in pazienti autistici ritroviamo il lavoro di Rochat e collaboratori (2013) che sottopone un campione di bambini ASD e bambini neurotipici all'osservazione di video raffiguranti una serie di azioni con oggetto (porgere una tazza) o senza oggetto (dare il cinque) ripetute con differenti forme di vitalità (vigoroso e gentile). I video venivano mostrati a coppie e rappresentavano, nello specifico, azioni con la stessa finalità ma svolte con stile diverso o, al contrario, azioni con finalità diverse ma eseguite entrambe in maniera vigorosa o gentile. Per ogni coppia di video mostrata entrambi i gruppi erano invitati a focalizzarsi sul "cosa" le due azioni rappresentassero o sul "come" queste azioni venissero eseguite, indipendentemente dal *goal* delle stesse. In seguito all'osservazione di ogni coppia di video veniva chiesto ai bambini di giudicare se le azioni fossero uguali per stile o per finalità. I risultati dello studio dimostrano che il gruppo di soggetti ASD, a differenza del gruppo costituito da soggetti neurotipici, erano in grado di riconoscere se l'azione differisse circa il "cosa", dunque la finalità, mentre non si dimostravano altrettanto capaci di distinguere i video circa lo stile con cui le azioni venivano eseguite. Alla luce delle evidenze della comprovata difficoltà dei soggetti con disturbo dello spettro autistico nel riconoscimento della forma vitale di un'azione, Di Cesare e colleghi (2017) condussero uno studio volto ad approfondire la tematica. Questo si rese necessario poiché molti degli

studi atti ad indagare la relazione tra il riconoscimento dei *vitality forms* e i disturbi dello spettro autistico si basano su procedure complesse che chiamano in causa altri meccanismi che nella patologia risultano compromessi come, ad esempio, i compiti di *matching to sample*, di comparazione tra stimoli o di imitazione; procedure che danno per assodato un buon funzionamento della memoria procedurale e di altri meccanismi soggiacenti l'elaborazione percettiva che si sono dimostrati deficitari in soggetti ASD (Sparaci et al., 2005).

Per questo motivo lo studio di Di Cesare (2017) richiede ai partecipanti, *high functional ASD* di età compresa tra gli otto e i dodici anni, di svolgere un compito di immediata valutazione delle diverse forme di vitalità caratterizzanti un'azione. In questo modo i bambini sono chiamati al riconoscimento dello stile dell'azione senza dover affrontare altri tipi di compiti che possono rappresentare una variabile interveniente. Le azioni osservate vengono eseguite secondo otto diverse temporizzazioni e velocità e i soggetti hanno il compito di segnalare il *vitality* che le caratterizza su una scala likert a cinque punti che include: “molto rude”, “rude”, “così così”, “gentile”, “molto gentile”. Gli obiettivi dello studio erano duplici; da un lato valutare la percezione delle forme di vitalità caratterizzanti le azioni osservate in soggetti ASD utilizzando metodi diretti di quantificazione, dall'altro comprendere se l'enfasi con cui viene espresso il *vitality* possa influire sulla capacità di identificazione dello stesso. Del resto, come già accennato dallo stesso Stern, l'intensità con cui esprimiamo le emozioni può variare anche a parità d'emozione provata. La stessa emozione può essere espressa in maniera lieve o prorompente, così come una forma di vitalità rude può essere rappresentata cinematicamente attraverso un atto più o meno veloce in base all'intensità e all'enfasi che si vuole dare all'azione.

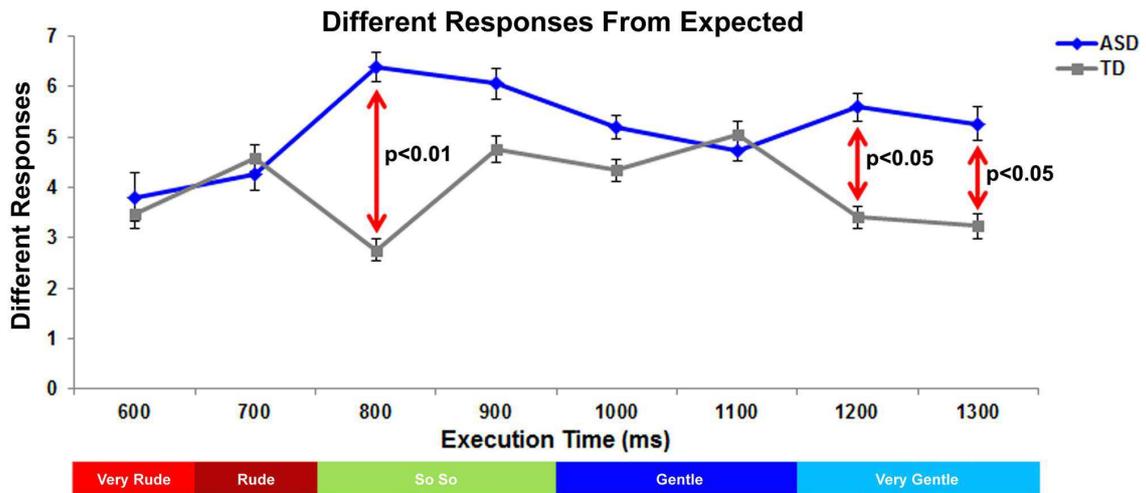


Figura 16 Il grafico mostra la differenza nelle risposte date rispetto al riconoscimento dei Vitality Forms tra il gruppo di controllo e il gruppo ASD. Le differenze significative tra i giudizi dati dai due gruppi sono indicate dalle barre rosse verticali e si collocano ad 800 ms, 1200 ms e 1300 ms (Di Cesare et. al., 2017)

I risultati dello studio mettono in evidenza come il gruppo di bambini ASD sia effettivamente in grado di identificare correttamente lo stile dell'azione nei casi in cui l'azione è svolta in maniera "molto rude", "rude" e "gentile", ma hanno difficoltà a riconoscere le azioni "così così" dunque quelle caratterizzate da uno stile neutro, e quelle "molto gentili". Nonostante i risultati, gli autori sostengono che questa tendenza sia in linea con le conoscenze circa l'incapacità dei soggetti ASD di riconoscere correttamente i *vitality forms* e, di conseguenza, di comprendere lo stato affettivo degli altri. Infatti, nella vita di tutti i giorni la maggior parte delle azioni e, in particolare, quelle che coinvolgono gli oggetti, vengono eseguite con un *vitality form* sfumato e non così enfatico come nei casi delle azioni che i soggetti del presente studio sono riusciti a categorizzare correttamente. (Di Cesare et al., 2017)

1.4.1 L'espressione dei *vitality forms* in soggetti ASD

Nonostante i risultati circa l'incapacità, parziale o totale, che i soggetti ASD dimostrano nel riconoscimento dei *vitality forms* caratterizzanti le azioni altrui, il primo studio volto ad indagare la capacità di espressione delle forme vitali in questi soggetti è stato condotto da Casartelli e collaboratori nel 2020.

In questo studio sono stati reclutati bambini *high functional* ASD e bambini neurotipici a cui viene chiesto di compiere determinate azioni (spostare una bottiglia, lanciare una palla, porgere un pacco di crackers) in maniera differente in base a due diverse condizioni. Nella prima, i bambini avevano il compito di eseguire le azioni in modo rude mentre, nella seconda, si chiedeva loro di compiere le stesse in modo gentile.

La *ratio* sottostante le analisi cinematiche permette di suddividere le azioni in due ulteriori condizioni: “*what*” e “*how*”. Nella “*what condition*” vengono eseguite analisi di congiunzione delle tre differenti azioni eseguite con lo stesso *vitality forms* (gentile, rude) mentre, nella “*how condition*” vengono eseguite analisi di congiunzione della stessa azione (es. lanciare una palla) eseguita con due differenti *vitality forms*.

I dati cinematici estrapolati dalle azioni di entrambi i gruppi, ASD e gruppo di controllo, sono stati sottoposti a due diverse analisi, inter e intra-group. I parametri presi in considerazione sono: durata del movimento (MT), picco di velocità (pV), picco di accelerazione (pA), picco di decelerazione (pD), percentuale del tempo spesa all'accelerazione (T%Acc), percentuale del tempo spesa alla decelerazione (T%Dec), dislocamento massimo lungo i tre assi Cartesiani (MaxDx, MaxDy,MaxDz). In riferimento agli assi Cartesiani, X corrisponde all'asse dorso-centrale del corpo, Y all'asse verticale, Z all'asse laterale. Per tutti i parametri sono stati calcolati due indici di differenza assoluta: il primo misura la quantità di variazione di ogni parametro trasversalmente alle tre diverse azioni caratterizzate dallo stesso *vitality* (il “*what index*”) mentre il secondo misura la quantità di variazione di ogni parametro nel confronto tra azioni uguali, con lo stesso *goal*, ma espresse secondo differenti forme vitali (il “*how index*”).

I risultati mostrano che, rispetto al gruppo di controllo, i soggetti ASD mostrano, in media, variazioni minori nell'espressione degli indici pV, pA e pD e in MT e MaxDx nelle analisi di contrasto tra le condizioni *how* e *what* rispetto al gruppo di controllo. L'entità della variazione di questi parametri nei soggetti ASD non è risultata significativa, nei soggetti di controllo si.

Inoltre, nell'analisi *inter-group*, gli indici *how* e *what* dei soggetti di controllo sono stati messi a confronto con quelli del gruppo ASD. Questa analisi permette agli autori di studiare la differenza tra i due gruppi relativamente alla quantità di variazione dei parametri cinematici per ogni condizione (*how* e *what*). Per quanto riguarda la condizione del *what* non sono state rivelate differenze significative tra i due gruppi per nessuno degli indici. Il paragone tra i due gruppi rispetto all'analisi cinematica della condizione *how*, invece, rivela che il gruppo ASD modula il parametro MT sulla base della forma vitale espressa, cosa che non avviene tra i soggetti del gruppo di controllo. Inoltre, alcuni soggetti ASD impiegano più tempo nell'esecuzione delle azioni rudi rispetto a quelle gentili, mentre per molti altri non si rileva nessuna differenza nella cinematica tra le azioni espresse in maniera rude e gentili. Nel gruppo di controllo, invece, la situazione è l'opposta: i bambini neurotipici impiegano più tempo nell'esecuzione delle azioni gentili rispetto a quelle espresse in modo rude. In particolare, la variazione del parametro MT è stata individuata come predittrice dell'espressione dei *vitality forms* nei soggetti di controllo, ma non nei soggetti ASD. Alla luce delle somiglianze nella cinematica tra l'espressione delle azioni rudi e gentili, nel complesso lo studio tende a confermare l'ipotesi secondo cui i bambini ASD hanno delle caratteristiche cinematiche dissimili dai bambini neurotipici nell'espressione dei *vitality forms* caratterizzanti le azioni.

3. ESPERIMENTO: Espressione dei *vitality forms* in bambini affetti da Disturbo dello Spettro Autistico.

3.1 Obiettivi dello studio

Lo scopo del presente studio è quello di approfondire la conoscenza circa l'espressione delle forme di vitalità nei bambini affetti da disturbo dello spettro autistico. Alcuni studi precedenti (Casartelli, 2020; Di Cesare et al., 2017) hanno evidenziato come vi siano delle differenze sostanziali tra l'espressione e la comprensione dei *vitality forms* in bambini autistici ad alto funzionamento, rivelando che in entrambi i casi questi soggetti sono in grado di riconoscere ed esprimere azioni con un determinato *vitality form*, ma che il modo in cui lo fanno sembra differire da individui normotipici. Nello studio di Di Cesare e collaboratori (2017) il campione dimostra di essere effettivamente in grado di identificare correttamente lo stile dell'azione osservata solo nei casi in cui questa sia svolta in maniera estremamente enfaticizzata, riconoscendo dunque le forme di vitalità estreme come, ad esempio, un'azione considerata dagli autori "molto scortese". Tuttavia, viene dimostrata la loro difficoltà nel riconoscimento di azioni meno enfatiche, collocate nel mezzo di un continuum che va da "molto scortese" a "estremamente gentile".

Gli Autori sostengono che questi risultati sono in linea con le conoscenze circa l'incapacità dei soggetti ASD di riconoscere correttamente i *vitality forms* e, di conseguenza, di comprendere lo stato affettivo degli altri. Infatti, nella vita di tutti i giorni la maggior parte delle azioni e, in particolare, quelle che coinvolgono gli oggetti, vengono eseguite con uno stile vitale sfumato e non così enfatico come nei casi delle azioni che i soggetti dello studio sono riusciti a categorizzare correttamente. (Di Cesare et al., 2017). Lo studio di Casartelli e collaboratori (2020), invece, pone l'enfasi sulla modalità d'espressione dei *vitality forms* nei bambini ASD, tramite uno studio di cinematica volto ad indagare le differenze tra questi e soggetti normotipici nella caratterizzazione delle azioni espresse con differenti forme di vitalità. Anche in questo caso gli Autori trovano delle differenze in alcuni parametri del movimento, come il tempo totale dell'azione (MT), che differiscono significativamente tra i due gruppi, rivelando che i soggetti autistici, pur dimostrando di saper modulare l'espressione dei *vitality forms*, lo fanno in modo diverso rispetto ai soggetti normotipici.

Alla luce di questi risultati il presente studio ha lo scopo di indagare più a fondo la caratterizzazione cinematica delle azioni espresse mediante *vitality forms* da bambini ASD ad alto funzionamento, introducendo la variabile dell'interazione sociale nel contesto di espressione dell'azione. Il task, infatti, prevede una condizione definita "Non sociale" in cui al bambino è richiesto di spostare un oggetto in avanti (una bottiglietta) con uno stile gentile, rude o neutro, e una condizione "Sociale" in cui al bambino è richiesto di passare la stessa bottiglietta ad uno sperimentatore seduto di fronte a lui.

La valutazione della differenza di espressione delle forme vitali in un contesto sociale e non sociale è fondamentale nell'ambito di una patologia come quella autistica, in cui alcuni tra i deficit più severi riguardano una compromissione delle abilità nella sfera della comunicazione e dell'interazione sociale. Come lo stesso DMS-V riporta: "*per considerare soddisfatto il criterio A*" che riguarda, appunto, un deficit della comunicazione e dell'interazione sociale "*devono essere compromesse in modo pervasivo tre abilità [...]: la reciprocità socio-emotiva, i comportamenti comunicativi non verbali e lo sviluppo, gestione e comprensione delle relazioni*". Del resto, gli stessi *vitality forms* vengono definiti da Stern come fattori, imprescindibili dalle azioni, tramite cui siamo in grado di comunicare il nostro stato interno all'altro. Il modo, quindi, con cui esprimiamo l'azione dal punto di vista affettivo non può essere slegato dal concetto di interazione sociale e, di conseguenza, il concetto stesso di interazione sociale non può prescindere dalla presenza di un altro diverso da noi verso cui manifestare intenzioni, interessi e affetti. La compromissione evidenziata nei soggetti ASD relativa ai comportamenti comunicativi non verbali trova un fondamento empirico negli studi che riguardano l'espressione dei *vitality forms*. Casartelli (2020) ha dimostrato che, rispetto ai bambini normotipici, i soggetti autistici utilizzano dei meccanismi di espressione parzialmente diversi ma che, nel complesso, sono in grado di modulare lo stile dell'azione per esprimere diverse forme di vitalità. Tuttavia, sulla base dei motivi precedentemente citati, questo studio si pone come scopo ultimo quello di confrontare come varia l'espressione dei *vitality forms* in soggetti ASD in un contesto sociale e non sociale, a riprova del fatto che lo studio dei *vitality forms* non può essere slegato dal contesto naturale in cui questi vengono espressi: l'interazione sociale.

3.2 Materiali e Metodi

3.2.1 Il campione

La ricerca è stata svolta su un campione di 21 bambini con diagnosi di disturbo dello spettro autistico con un QI >70, di età compresa tra i sette e i tredici anni. I criteri di esclusione comprendono la manifestazione e/o presenza nota di sindromi metaboliche e genetiche, encefalopatie epilettiche e/o epilessia, malformazioni strutturali del sistema nervoso centrale, disturbi maggiori del movimento quali paralisi cerebrali infantili. Due bambini si sono dimostrati *outlier* durante il processo di analisi dei dati e per questo sono stati esclusi dalla ricerca a posteriori. Le famiglie dei minori soggetti allo studio hanno aderito in maniera volontaria firmando un apposito consenso informato e sono state reclutate tramite segnalazione del progetto alle associazioni di familiari, tramite contatto volontario con il centro I.R.I.B. Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - C.N.R. Consiglio Nazionale delle Ricerche, presso l'Istituto Marino di Mortelle, Messina e/o presso le sedi di Catania e Lentini (SR), tramite sito web del centro di ricerca (<http://www.irib.cnr.it/>) e tramite associazioni, cooperative o centri di ricerca partner. Lo studio è stato approvato dal comitato etico Palermo I dell'A.O.U.P. di Palermo, verbale n° 09/2021.

3.2.2 Le batterie Neuropsicologiche

Al campione sono state somministrate delle batterie neuropsicologiche al fine di indagare le loro capacità cognitive ed affettive. Viene inoltre riportata nei seguenti paragrafi la descrizione dell'*Autism Diagnostic Observation Schedule-Second Edition* (ADOS-II, Gotham et al., 2006; Lord et. al., 1989), strumento diagnostico utilizzato per la diagnosi del Disturbo dello Spettro Autistico ai soggetti partecipanti.

WISC-IV; WASI-II

Per attestare le capacità cognitive dei bambini è stata utilizzata la traduzione italiana (Orsini, Pezzutti, Picone, 2012) della *Wechsler intelligent Scale for Children*, (WISC-IV-Wechsler, 2003). La WISC-IV è uno strumento composto da diverse scale di valutazione volte ad indagare quattro aree cognitive in soggetti di età compresa fra i sei e i sedici anni e undici mesi. Gli indici cognitivi che si ricavano dalla valutazione delle diverse aree

sono: indice di comprensione verbale (ICV), indice di ragionamento visuo-percettivo (IRP), indice di Memoria di Lavoro (IML), indice di velocità di elaborazione (IVE). Inoltre, è possibile calcolare il QI, un indice generico delle capacità cognitive del bambino.

L'indice di comprensione della lingua (ICV) è composto da cinque sub test. I primi tre sono: “somiglianze”, “vocabolario” e “comprensione”. Gli ultimi due test, supplementari e spesso non somministrati, sono “informazione” e “ragionamento delle parole”. Nel complesso l'ICV quantifica la capacità di un soggetto nella formulazione e nell'uso coerente di concetti verbali¹⁰, analizzando la capacità d'ascolto e di comprensione delle richieste del bambino, nonché la capacità di recuperare informazioni apprese in precedenza e l'essere in grado di articolare ed esprimere correttamente le risposte a una serie di domande. Quest'ultima abilità è particolarmente deficitaria in bambini con ritardo mentale che mostrano evidenti difficoltà nell'articolazione concettuale e pratica di molte definizioni.

L'indice di ragionamento visuo-percettivo (IRP) è costituito da tre sub test standard e un test supplementare: “disegno con i cubi”, “ragionamento con le matrici”, “concetti illustrati” e “completamento di figure”. L'indice misura il ragionamento non verbale e l'intelligenza fluida, due costrutti che difficilmente sono influenzati dal livello culturale e d'istruzione dei soggetti e, pertanto, utili per la valutazione del QI indipendentemente dal contesto sociale d'appartenenza. Nel complesso, vengono valutate la capacità di un soggetto di pianificare e risolvere un dato problema grazie all'utilizzo di abilità visuospaziali e visuomotorie e la più generica capacità di *problem solving*.

L'indice della memoria di lavoro (IML) è costituito da due sub test e un test supplementare: “memoria numerica”, “riordino di lettere e numeri” e “ragionamento aritmetico”. L'indice misura la capacità di un soggetto di apprendere e ritenere in memoria nuove informazioni come semplici lettere o numeri, la capacità di mantenere la concentrazione per un certo lasso di tempo e la capacità di manipolazione, astratta e concreta, utile a generare nuove soluzioni.

¹⁰ I concetti verbali espressi nel sub test “vocabolario” sono connotate di un significato emotivo che può produrre risposte da parte del bambino utili per una diagnosi clinica.

Infine, l'Indice di Velocità di Elaborazione (IVE) è costituito da due sub-test e un test supplementare: "cifrario", "ricerca di simboli" e "cancellazione". L'indice misura la capacità del soggetto di focalizzare l'attenzione e di analizzare e classificare rapidamente gli stimoli (Orsini et al., 2012). La WISC-IV permette, inoltre, di calcolare tre diversi indici composti: Quoziente Intellettivo Totale (QIT), Indice di Abilità generale (IAG) e Indice di Competenza Cognitiva (ICC). Il QIT è formato dai dieci sub-test che costituiscono i quattro indici (ICV, IRP, IML, IVE), l'IAG è formato dai sub-test che compongono l'ICV e l'IRP. Infine, l'ICC unisce IML e IVE in un unico punteggio.

Alcuni bambini sono stati sottoposti alla WASI-II, *Wechsler Abbreviated Scale of intelligent* (Wechsler, 1999) ovvero la *short form* delle scale Wechsler. La differenza sostanziale tra i due test è che la scala WAIS, anch'essa progettata per la valutazione delle capacità cognitive in soggetti tra i sei e gli ottantanove anni, consta di soli quattro sottotest. I test "vocabolario" e "somiglianze", che nella WISH-IV sono due dei *sub test* che concorrono alla strutturazione dell'Indice di comprensione della lingua (ICV), e che nella WAIS sono combinati per formare l'omologa scala verbale che produce un punteggio QI verbale (VIQ). Invece, i test "disegno con i cubi" e "ragionamento con le matrici", che nella WISH-IV costituiscono, insieme a "concetti illustrati", l'Indice di ragionamento visuo-percettivo (IRP), nella WAIS definiscono un punteggio QI delle prestazioni (PIQ). Infine, la scala WAIS permette di valutare l'intelligenza generale tramite l'indice del quoziente intellettivo (QI), risultante dai punteggi conseguiti nel PIQ e nel VIQ.

TEC

Il TEC, *Test of emotional comprehension* (Pons, Harris, 2005), è uno strumento volto ad indagare la comprensione emotiva e il possesso della teoria della mente in bambini di età compresa tra i tre agli undici anni. È noto in letteratura che bambini nei quali si riscontra un disturbo dello spettro autistico si dimostrano spesso incapaci di superare i *false believe tasks* (Baron-Cohen, 1985). Questa incapacità è riconducibile all'ipotesi secondo cui individui ASD non posseggono un'adeguata capacità di mentalizzazione né una teoria della mente. Per questo motivo è sembrato utile somministrare al nostro campione il TEC, in quanto la capacità di comprendere ed esprimere i *vitality forms* potrebbe essere correlata ad una buona competenza emotiva. Il test indaga nove fattori che costituiscono

il costrutto della comprensione emotiva: “riconoscimento delle emozioni di base”, “comprensione della natura complessa delle emozioni”, “considerazione del ruolo di cause esterne”, “ricordi, desideri, credenze e valori morali ” sottostanti le emozioni altrui, “capacità di distinguere le emozioni manifeste da quelle effettivamente sperimentate”, “regolazione delle emozioni sperimentate nel momento presente” (Lingiardi et. al., 2017). Il test sottopone al bambino una serie di storie a fumetti ritraenti determinati eventi. Al termine di ogni racconto viene chiesto al bambino di indicare, tra quattro immagini ritraenti quattro diverse espressioni facciali, quale tra queste sia la più appropriata sulla base dell’evento accaduto. Il punteggio ottenuto dal test varia su una scala da 0 a 9.

ADOS-II

Il test ADOS-II, *Autism Diagnostic Observation Schedule-Second Edition* (Gotham et al., 2006; Lord et. al., 1989) è uno strumento basato su un’osservazione di gioco semi strutturato volto alla diagnosi del disturbo dello spettro autistico. Lo scopo della somministrazione è la valutazione del comportamento del bambino in riferimento a cinque domini: “linguaggio e comunicazione”, “interazione sociale reciproca”, “immaginazione e creatività”, “Comportamenti stereotipati e interessi ristretti”, “altri comportamenti definiti anormali”. Il test è utilizzato sia per la diagnosi in età infantile, a partire dai dodici mesi di età, sia per l’età adulta. La seconda edizione dell’Ados è strutturata in cinque distinti moduli, ciascuno dei quali costituiti da uno specifico materiale di lavoro e relativo protocollo di notazione. I criteri presi in esame per la scelta del modulo da somministrare sono l’età cronologica e il livello di sviluppo linguistico raggiunto dai soggetti. Il modulo Todler è indicato per bambini dai dodici ai trenta mesi ed è utile per indagare aspetti relativi all’affettività sociale e al comportamento ristretto e stereotipato in soggetti che non hanno ancora sviluppato un linguaggio fluente. Tuttavia, a causa dell’età precoce, in questo modulo viene fornito un indicatore di rischio e non un cut-off, come invece accade negli altri moduli in cui i punteggi cut off indicano due diverse condizioni cliniche: da 7 a 11 vi è una diagnosi di spettro autistico con “grande ventaglio di possibilità”, dal punteggio 12 in su viene considerato autismo. I moduli 1 e 2 sono pensati, rispettivamente, per bambini che non hanno sviluppato un linguaggio fluente al di sopra dei 31 mesi e bambini che hanno un livello di sviluppo del linguaggio

che consente loro di produrre frasi complete in modo parzialmente fluente. Il modulo 1 è costituito da dieci diversi momenti di attività strutturata appositamente per valutare le capacità del bambino circa i domini dell'affetto sociale e del comportamento, con particolare attenzione alla propensione dei soggetti verso interessi insoliti o ripetitivi. Il modulo 2 prevede quattordici sessioni in cui il bambino è invitato al gioco semistrutturato. Le attività proposte consentono di indagare la capacità di immaginazione, interazione congiunta, capacità di conversazioni e altre variabili relative alla socializzazione. Il modulo 3 può essere applicato a bambini e adolescenti che dimostrano di possedere un linguaggio fluente e, oltre alle attività previste dal modulo 2, si aggiunge anche una sessione di conversazione e un'intervista che indaga le emozioni e le relazioni amicali. Infine, il modulo 4 è dedicato alla diagnosi in età adulta ed è strutturato per soggetti che possiedono un linguaggio fluente: le sessioni di gioco proposte sono minori ed è prevista la somministrazione di un'intervista dedicata alle emozioni, alle abilità e alle relazioni sociali.

Per quanto concerne il nostro campione, sono stati somministrati ai bambini i moduli 1, 2 o 3 a seconda dell'età e della qualità del linguaggio dimostrata. In linea con i criteri diagnostici per l'individuazione della sindrome autistica secondo il DSM-5, l'ADOS II considera le aree cliniche dell'Affetto Sociale (AS) e dei comportamenti ripetuti e stereotipati (CRR), attribuendo un punteggio indipendente alle due aree. Inoltre, è possibile ricavare un punteggio generale, ricavandolo dalla somma dei punteggi ottenuti nell'AS e nella CRR. Infine, è data la possibilità di ricavare un punteggio di comparazione (PC) che permette una valutazione standardizzata dell'evoluzione dei sintomi autistici nel tempo per bambini di diverse età e abilità.

3.2.3 Paradigma sperimentale

Padronanza del concetto “rude” e “gentile”

Al fine di indagare la padronanza e la comprensione dei concetti “rude” e “gentile”, prima dell’esperimento è stata somministrata ad ogni partecipante un’intervista semi strutturata. L’intervista ha previsto 6 domande a cui i bambini dovevano rispondere liberamente; Le prime quattro domande erano costruite al fine di valutare la capacità descrittiva dei bambini rispetto ai due concetti e verificare, tramite la richiesta di un esempio a titolo esplicativo, la capacità di utilizzarli coerentemente per descrivere uno o più eventi nella realtà quotidiana: “cosa vuol dire gentile?”, “cosa vuol dire rude?”, “fai un esempio di gentile”, “fai un esempio di rude”. Le ultime due domande, invece, miravano a valutare la padronanza dei nessi causa-effetto che la messa in atto di un’azione caratterizzata da un *vitality* può indurre: “cosa succede quando sei gentile con un altro?”, “cosa succede quando sei sgarbato con un altro?”. In seguito, sono state lette ai soggetti delle frasi relative alla definizione dei termini “rude” e “gentile” e i loro sinonimi, in modo tale da creare in tutti i soggetti una rappresentazione concettuale univoca dei due termini. Infine, ogni bambino è invitato ad osservare attentamente 12 video di pochi secondi che riguardano scene di cartoni animati in cui avvengono degli eventi in cui il comportamento di uno o più personaggi può essere considerato “rude” o “gentile” (es. “calciare una palla in modo rude” o “mescolare la zuppa in modo gentile”). Il compito dei partecipanti era quello di indicare il corretto *vitality form* caratterizzante l’azione osservata; soltanto i soggetti che hanno totalizzato almeno il 75% di risposte corrette (9 su 12) sono stati ammessi all’esperimento successivamente condotto. È importante notare che le azioni mostrate nei video erano tutte differenti dal task richiesto ai bambini nella fase sperimentale.

Paradigma sperimentale

Il paradigma sperimentale prevedeva due condizioni, una *sociale* e una *non sociale*. In entrambe le condizioni il bambino era seduto su una sedia di fronte ad un tavolo. Nella condizione *sociale* un'operatrice era seduta dalla parte opposta del tavolo rispetto a dove si trovava il bambino mentre, nella condizione *non sociale* di fronte al bambino era posta una sedia vuota. In entrambe le condizioni al bambino era richiesto di spostare una bottiglietta in modo neutro, gentile o rude (vedi figura 17).

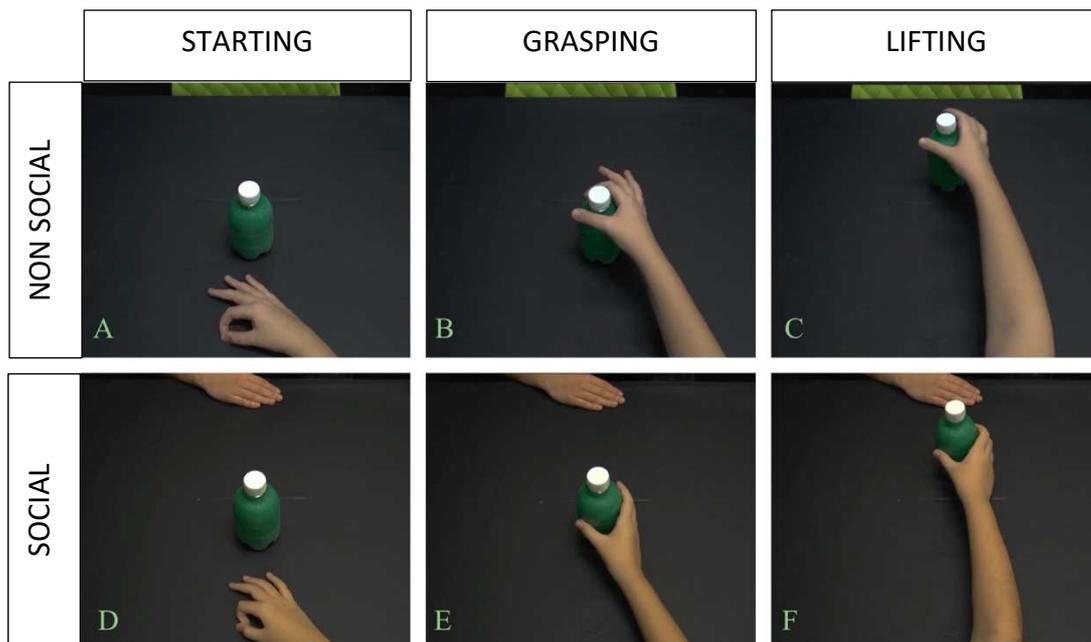


Figura 17 Esempio di ripresa anteriore degli atti motori consecutivi di reaching(A/D), grasping(B/E) e lifting (C/F) nella condizione Non Social (sopra) e Social (Sotto).

Al bambino era richiesto di poggiare la mano destra su un punto preciso del tavolo in una posizione di partenza standard (*starting position*) e, dopo aver ascoltato le istruzioni fornite dallo sperimentatore, afferrare la bottiglietta posta di fronte a lui e spostarla in avanti oltre una certa distanza minima, delimitata da una linea disegnata sul tavolo¹¹.

¹¹ Le misure del tavolo erano di: 61cm x 100cm x 72cm. Il punto di partenza in cui il bambino posizionava la mano distava 9cm dal bordo del tavolo. La posizione iniziale della bottiglietta distava 20.7cm dal bordo del tavolo. La linea target che delimitava lo spazio minimo che i bambini dovevano raggiungere nell'atto dello spostamento distava 32 cm. dal bordo del tavolo.

Le azioni eseguite dal bambino erano video registrate utilizzando una videocamera con inclinazione di 30° che riprendeva il braccio e la mano del bambino.

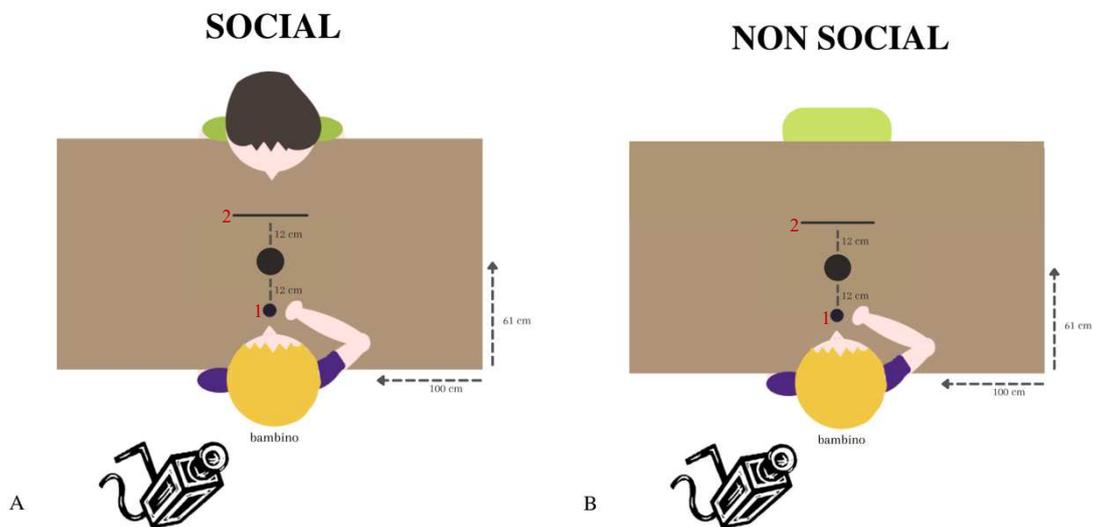


Figura 18 Setting sperimentale, schema dall'alto; condizione Social (A), condizione Non Social (B)

Ad ogni bambino erano fornite le stesse istruzioni: *Di fronte a te hai una bottiglietta. Dovrai posizionare la mano con cui disegni su questo punto qui* (figura 18 punto1) *in questo modo* (lo sperimentatore riproduce la conformazione della mano). *Poi ascolterai la mia frase, in cui ti dirò “Passa la bottiglietta in avanti”* (condizione sociale, figura A) o *“Sposta la bottiglietta in avanti”* (condizione non sociale, figura B). Le condizioni *sociale* e *non sociale* sono state effettuate in modo randomizzato. Specificatamente il primo bambino ha iniziato con la condizione *non sociale*, il secondo con la condizione *sociale* e così via. *“Al termine della mia frase, potrai spostare la bottiglietta in avanti oltre questa linea* (figura 18 punto 2), *dove vuoi tu”*. Dopo le prime istruzioni, si è proceduto alla registrazione dei primi due task, “social neutro” e “non social neutro”. In seguito, si procedeva con le nuove istruzioni: *“Adesso io ti chiederò di spostare la bottiglietta in maniera rude o gentile. Ascolta bene la mia frase. Quando finisco la frase, procedi con l’azione”*. Dopo queste brevi istruzioni sono stati registrati gli altri due task *vitality social* e *vitality non social*. Per ogni stile (neutro, gentile, rude) sono state eseguite cinque ripetizioni per la condizione sociale e altrettante per la condizione non sociale, per un totale di 30 azioni.

3.3 Metodologia e *data analysis*

3.3.1 Estrazione ed elaborazione dei dati cinematici

Le traiettorie cinematiche sono state estratte tramite un'applicazione sviluppata con linguaggio Objective-C, utilizzando la libreria di Google MediaPipe che utilizza Tensorflow Lite come framework per il deep-learning. I dati cinematici dei partecipanti sono stati acquisiti utilizzando una telecamera digitale HC-X920 e analizzati tramite il software MATLAB. (2010). *version 7.10.0*.

Per quanto riguarda il movimento della mano, per ogni partecipante sono stati presi in considerazione tre punti (*marker*): il primo, relativo al polso, utile all'estrazione delle informazioni sul *reaching*; gli altri due, relativi alla terza falange del pollice e dell'indice, per poter calcolare ampiezza e momento del *grasping*. Tutti i parametri sono stati registrati e analizzati bidimensionalmente sugli assi cartesiani X e Y. Per tutte le misure registrate è stato utilizzato un fattore di conversione al fine di ottenere la grandezza reale in mm. Questo fattore è stato ricavato a partire dalla lunghezza misurata in Y del tavolo (610 cm.).

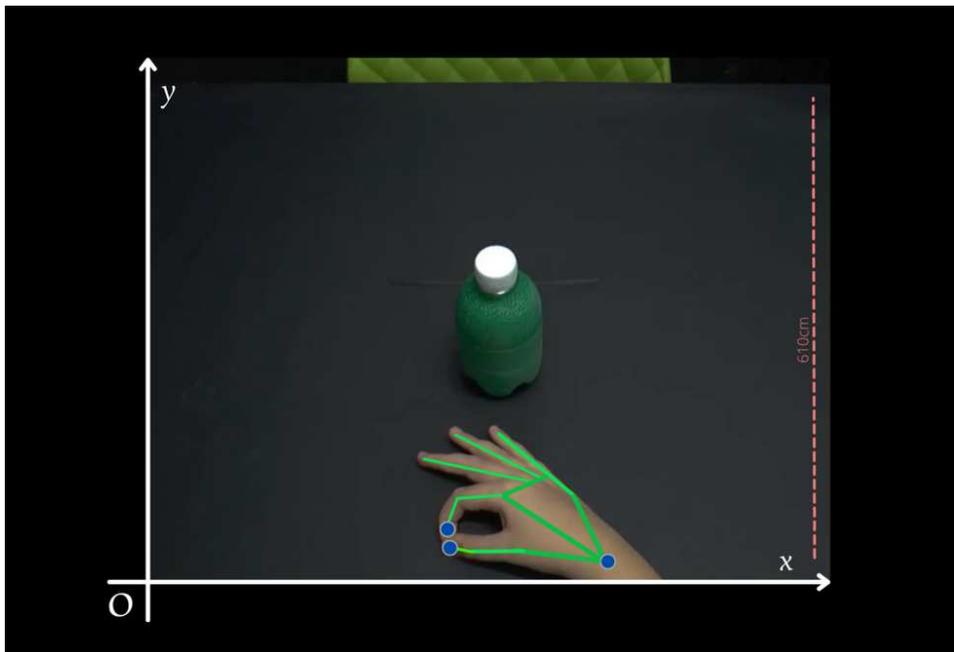


Figura 19 In blu: i tre marker posizionati sul polso e sulla terza falange del pollice e dell'indice. In bianco: gli assi cartesiani X-Y lungo cui sono state analizzate le variazioni spaziotemporali dei tre

punti durante il movimento della mano. In rosso: la lunghezza reale utilizzata per calcolare il fattore di conversione mm-px.

Per descrivere come varia la posizione della mano nello spazio si è fissato un sistema di assi cartesiani con l'origine posta nell'angolo in basso a sinistra del video (vedi figura 19). La posizione dei tre punti è stata rilevata ogni 30 ms (framerate = 30ms). Considerando la fase di *reaching* è stato preso in considerazione la posizione del marker localizzato sul polso e in base alla sua variazione nel tempo sono stati calcolati i seguenti parametri cinematici: velocità media ($V_{mean} = S/T = (S2-S1)/(T2-T1)$), picco di velocità massima (pV) accelerazione media ($A_{mean} = (V2-V1)/(T2-T1)$), picco di accelerazione massima (pA), momento del grasping (**GraspT**). Diversamente, per quanto riguarda la fase di *grasping* sono stati presi in considerazione le posizioni dei *markers* localizzati sulla terza falange del dito indice e pollice. In base alla loro variazione nel tempo sono stati calcolati i seguenti parametri cinematici: massima distanza tra indice e il pollice (**MaxOpen**), momento in cui si raggiunge una massima distanza tra l'indice e il pollice (**MaxOpenT**). Il momento di partenza dell'azione è stato identificato calcolando il valore nel tempo del punto di flesso relativo alla traiettoria Y del polso. Dopo la registrazione, ciascun video è stato processato attraverso l'utilizzo del software Virtual Dub. Nello specifico tutti i video sono stati sottoposti ad un processo di editing al fine di separare la fase di *reaching* e *grasping* (prima parte dell'azione) dalla fase di *lifting* (seconda parte dell'azione).

Per separare in maniera ottimale e omogenea le fasi di *reaching* e *grasping* dalla fase di *lifting*, il criterio di editing assunto per tutti i video è stato quello di tagliare due *frames* prima della fase di *lifting*, ovvero 60 ms prima del momento in cui il bambino alza la bottiglietta per iniziare il movimento successivo.

3.3.2 Risultati

L'analisi dei dati è stata effettuata attraverso l'utilizzo del software Rstudio (version 4.1.2). Specificatamente, è stato calcolato il valore medio di ogni parametro (**MeanV**, **pV**, **MeanA**, **pA**, **MaxOpenT** e **GraspT**) registrato per ciascun bambino in ognuna delle sei condizioni sperimentali [SOCIAL-NEUTRO (**N_S**); NON SOCIAL-NEUTRO (**N_{NS}**); SOCIAL-GENTILE (**G_S**); NON SOCIAL- GENTILE (**G_{NS}**); SOCIAL-RUDE (**R_S**); NON SOCIAL- RUDE (**R_{NS}**)]. In totale sono stati analizzati 766 trials suddiviso nel seguente modo:

TOT: 766	GENTILE	RUDE	NEUTRO
SOCIALE	119	127	137
NON SOCIALE	113	139	131

Tabella 1 Totale delle azioni analizzate e relativa suddivisione nelle due condizioni (sociale-non sociale) per le variabili vitality (rude, gentile, neutro)

Allo scopo di valutare le possibili differenze tra le azioni rudi e gentili nelle condizioni *social* e *non social* i valori dei parametri cinematici sono stati normalizzati rispetto a quelli ottenuti nelle due condizioni “neutre” *social* e *non social*. Ad esempio, per normalizzare il parametro MeanVrude è stata applicata la seguente formula: $\text{meanVrude}(\%) = [\text{meanVrude}/\text{meanVneutro}] * 100$.

Dopo aver effettuato la normalizzazione, per ciascun parametro cinematico è stata effettuata un'analisi statistica (ANOVA fattoriale a misure ripetute 2x2) che ha compreso due fattori: il fattore *vitality* (rude-gentile), e il fattore *socialità* (sociale-non sociale).

I risultati dell'analisi hanno rivelato una differenza significativa tra l'espressione del *vitality* (rude-gentile) indipendentemente dalla condizione (social-non social) per tutte le variabili ad eccezione di MaxOpen (VelMean, VelMax, AccMean, AccMax, MaxOpenT: ***p < 0.001, GraspT: **p = 0.01). Diversamente, non è stata trovata nessuna differenza significativa tra le condizioni *social* e *non social*, indipendentemente dall'espressione del *vitality*. L'effetto d'interazione tra i due fattori (socialità e *vitality*) è risultato significativo per tutte le variabili tranne che per MaxOpen e MaxOpenT (VelMean, AccMean: ***p < 0.001, VelMax: **p=0.01, AccMax: **p < 0.01, GraspT : *p < 0.05)

Infine, l'analisi post-hoc ha evidenziato le significatività tra: VelMeanG_{NS}-VelmeanR_{NS} (**p.= 0.00017), VelMaxG_{NS}-VelMaxR_{NS} (**p.= 0.0017), AccMeanG_{NS}-AccMaxR_{NS} (**p.=0.00002), AccMaxG_{NS}-AccMaxR_{NS} (**p.= 0.01), MaxOpenG_{NS}-MaxOpenR_{NS} (**p.=0.01), GraspTG_{NS}-GraspTR_{NS} (**p.= 0.005). AccMeanG_S-AccMeanR_S (*p.= 0.02), VelMeanG_S-VelMeanR_S (*p.= 0.05), VelMeanG_{NS}-VelMeanR_S (**p.= 0.002), VelMeanG_{NS}-VelMeanR_S (**p.=0.008), VelMaxG_S-VelMaxR_{NS} (**p.= 0.005), VelMaxG_{NS}-VelMaxR_S (**p.=0.01), AccMeanG_S-AccMeanR_{NS} (**p.= 0.0002), AccMeanG_{NS}-AccMeanR_S (**p.=0.004), AccMaxG_S-AccMaxR_{NS} (**p.= 0.009), GraspTG_{NS}-GraspTR_S (*p.=0.03), MaxOpenTG_S-MaxOpenTR_{NS} (**p.= 0.009).

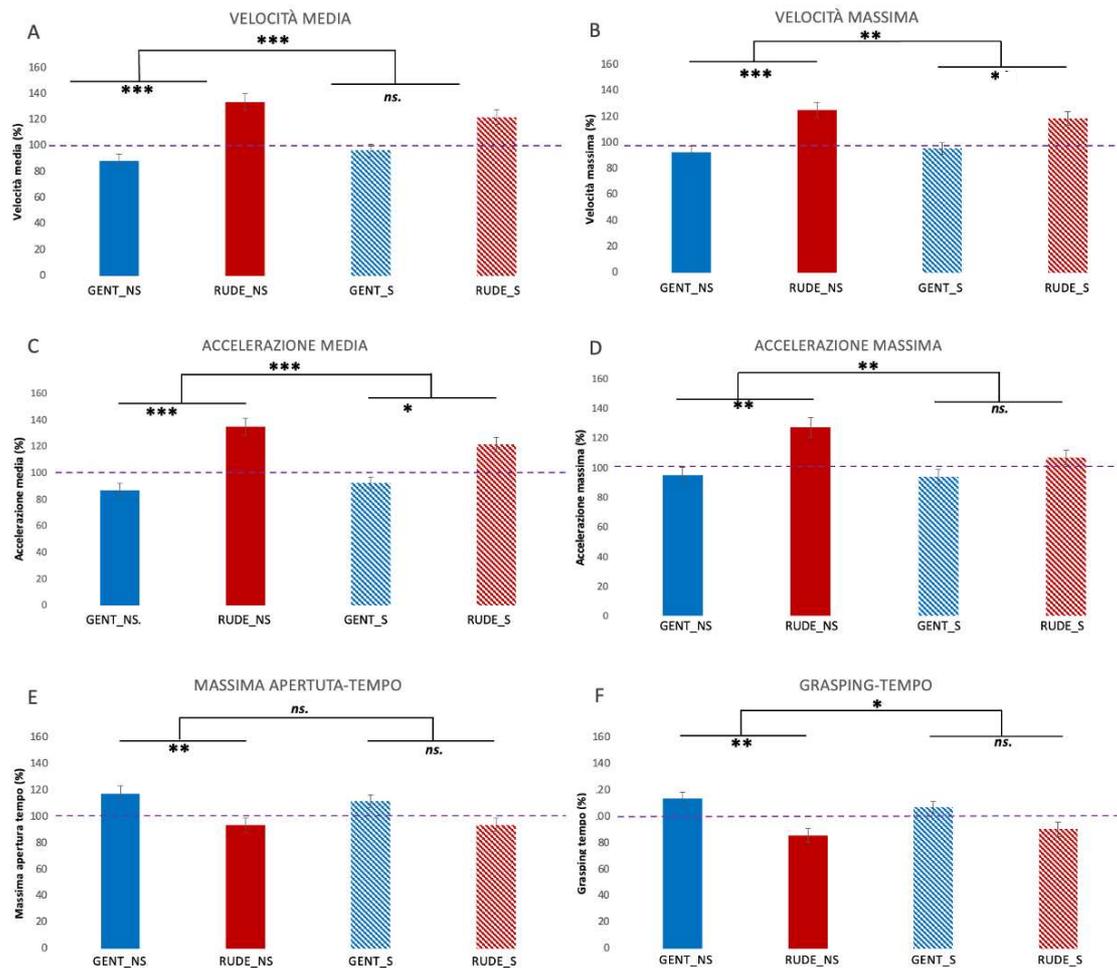


Figura 20 I parametri di Velocità media (A), Picco di velocità massima (B), Accelerazione media (C), Picco di accelerazione massima (D), Tempo di massima apertura (E), Tempo di Grasping (F) in relazione alla significatività della differenza tra rude e gentile all'interno di ognuna delle due condizioni (Social-non Social; in verde) e la significatività totale della differenza della modulazione dei vitality forms nelle due condizioni sociali e non social (in nero). Sull'asse delle ascisse le quattro condizioni, [GENTILE NS(BLU) RUDE NS(ROSSO) GT S(BLU) RUDE S(ROSSO)]. Sull'asse delle ordinate il parametro di velocità media espresso in percentuale rispetto alla condizione neutra di baseline (riga tratteggiata).

È stata successivamente indagata un'eventuale relazione tra l'espressione dei *vitality forms* nelle due condizioni *social* e *non social* e i punteggi dei bambini ottenuti alle scale di valutazione del Test della Comprensione delle Emozioni (TEC) espressi in z scores. A tale scopo è stata calcolata la differenza (Δ) per ogni parametro di cinematica (**MeanV**, **pV**, **MeanA**, **pA**, **MaxOpenT** e **GraspT**) tra le condizioni **SOCIAL-RUDE** e **SOCIAL-GENTILE** [$\Delta VF_S = (\text{rude}_s - \text{gentile}_s)$] e le condizioni **NON SOCIAL-RUDE** e **NON SOCIAL-GENTILE** [$\Delta VF_{NS} = (\text{rude}_{ns} - \text{gentile}_{ns})$].

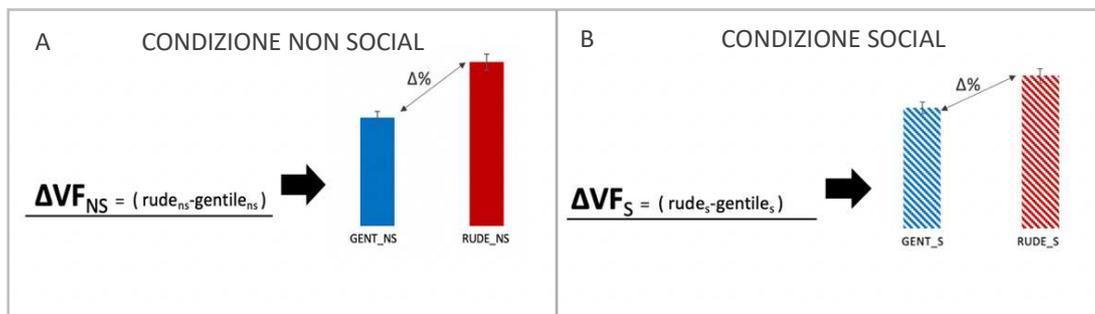


Figura 21 A sinistra (A) il Δ tra la condizione non social- rude e non social-gentile. A destra (B) il Δ tra la condizione social-rude e social-gentile

È stata effettuata un'analisi di correlazione tra ΔVF_{ns} e i punteggi TEC espressi in z scores dei soggetti. I risultati di questa analisi hanno evidenziato la relazione significativa tra il TEC e i seguenti parametri cinematici: velocità media (VelMean: *p.value < 0.05, Cohen's d = 2.14, $R^2 = 0,19$), accelerazione media (AccMean: **p.value = 0.0, Cohen's d = 2.28, $R^2 = 0,29$), il tempo impiegato per effettuare il grasping (GraspT: **p.value < 0.01, Cohen's d = 1.49, $R^2 = 0,36$) e il tempo entro cui si raggiunge la massima apertura della mano (MaxOpT: *p.value < 0.05, Cohen's d = 1.03, $R^2 = 0,24$).

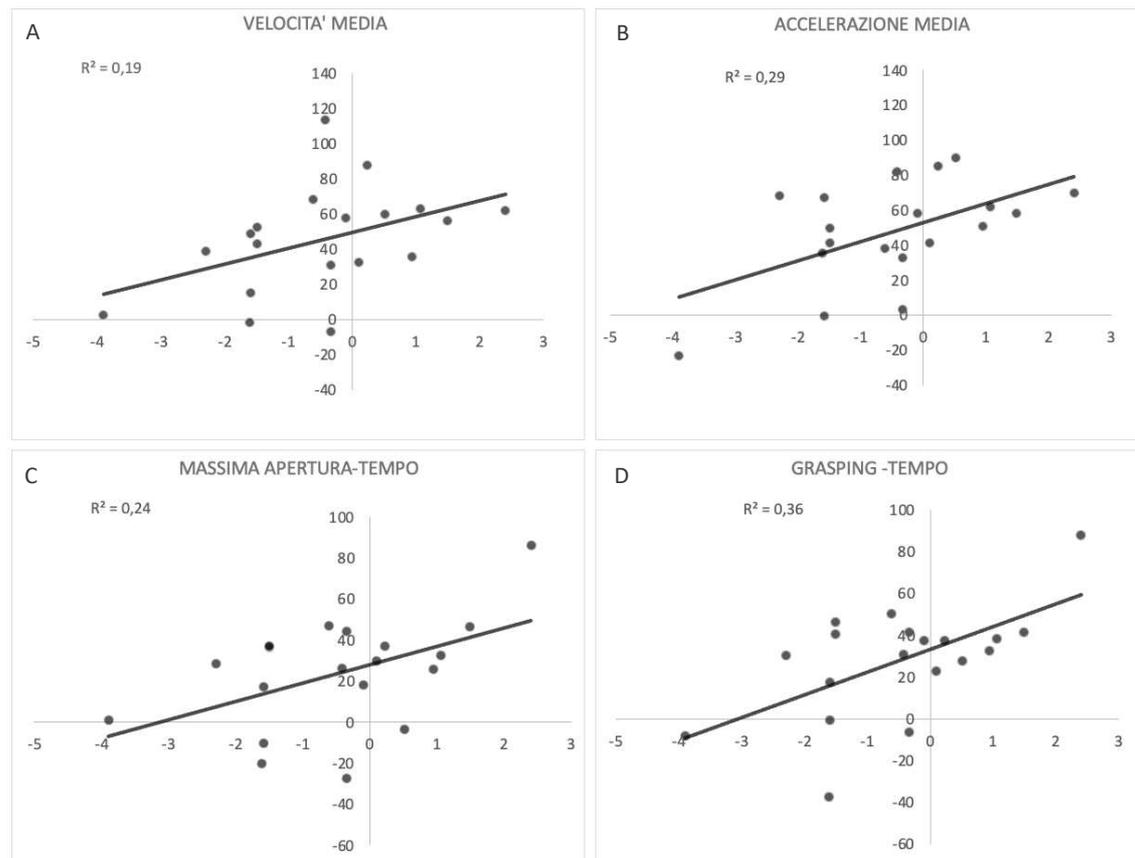


Figura 22 Analisi di correlazione tra gli z-scores del TEC (in ascissa) e i ΔVF_{ns} (in ordinata) per i parametri: velocità media (A), accelerazione media (B), massima apertura-tempo (C), grasping-tempo (D).

Infine, per valutare la possibile differenza della modulazione dei parametri cinematici dei *vitality forms* tra la condizione non sociale e sociale è stato calcolato un indice generale ($\Delta vf_{tot} = |\Delta vf_{ns}| - |\Delta vf_s|$) che quantifica la differenza di modulazione.

In questo modo è stato possibile ottenere per ogni bambino un valore percentuale di quanto la modulazione tra i *vitality forms* gentile e rude differisca passando dalla condizione non sociale alla condizione sociale. Infine, dopo aver ottenuto questo indice (Δvf_{tot}) è stata effettuata un'analisi di correlazione con i punteggi TEC ottenuti dai soggetti. I risultati di questa analisi hanno evidenziato la relazione significativa tra il TEC e i seguenti parametri cinematici: velocità media (VelMean: *p.value < 0.05, Cohen's d = 0.95, $R^2 = 0,26$), tempo impiegato per effettuare il grasping (GraspT: **p.value < 0.01, Cohen's d = 0.42, $R^2 = 0,34$) e tempo entro cui si raggiunge la massima apertura della mano (MaxOpT: **p.value < 0.01, Cohen's d = 0.28, $R^2 = 0,37$).

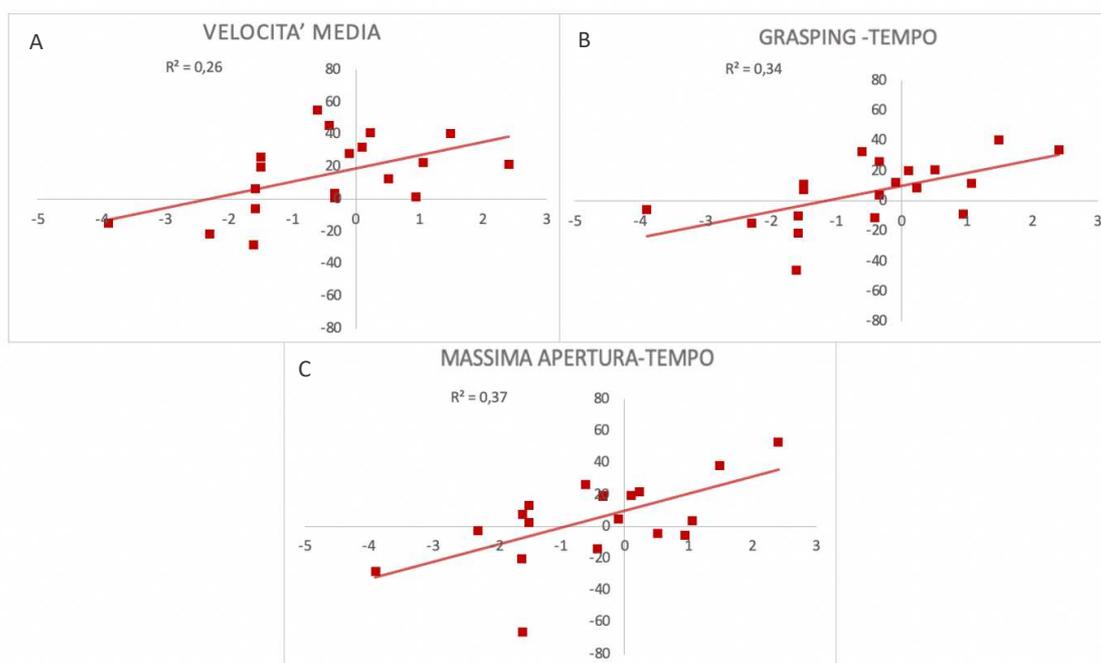


Figura 23. Analisi di correlazione tra gli z-scores del TEC (in ascissa) e i $\Delta VFor$ (in ordinata) per i parametri: velocità media (A), grasping-tempo(B), massima apertura-tempo (C).

Un dato interessante da riportare è la relazione tra il tempo impiegato per raggiungere la massima apertura della mano (MaxOpT) e il tempo totale dell'azione (GraspT). Analizzando la percentuale di tempo impiegata a raggiungere la massima apertura rispetto al tempo totale in cui i soggetti eseguono l'azione di *grasping* è possibile osservare già dai grafici (Figura 25) come il parametro vari in base alla condizione. Eseguendo un T.Test sulle medie delle diverse condizioni è risultata significativa la differenza tra la condizione NON SOCIAL-GENTILE e NON SOCIAL-RUDE (**p.value < 0.01). Il tempo per impiegare la massima apertura nella condizione non sociale è maggiore nelle azioni rudi rispetto alle azioni gentili. Diversamente, questo non si verifica tra le condizioni SOCIAL-GENTILE e SOCIAL-RUDE, dove le differenze tra le medie non sono significative (p.value= 0.8).

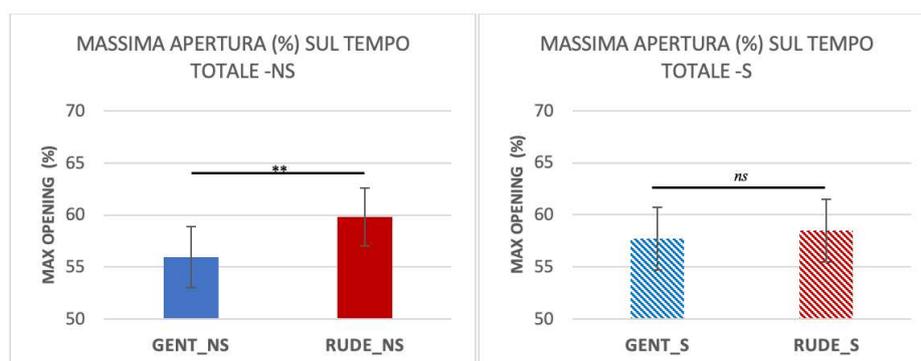


Figura 24 MaxOpenT(%) calcolata sul totale del tempo impiegato per l'esecuzione dell'azione (GraspT) nella condizione Non social (a sinistra) e Social (a destra)

3.3 Discussione

Il primo criterio diagnostico descritto nel *DSM-V* per il disturbo dello spettro autistico riguarda una severa compromissione nelle aree di comunicazione e interazione sociale sottolineando, in particolare, la difficoltà che questi individui dimostrano nell'ambito della reciprocità socio-emotiva, resa evidente dalla loro “*ridotta capacità di condividere con gli altri interessi o emozioni*” (*DSM-V*). Tuttavia, sebbene vi sia una ricca rassegna di studi volta ad approfondire la capacità dei soggetti ASD di esprimere e comprendere il *goal* di un'azione (Cattaneo et al., 2007, Montobbio et al., 2021) sono ancora poche le ricerche che indagano la capacità di espressione e comprensione del *how*, ovvero il *modo* tramite cui l'azione viene espressa. Attualmente, le poche ricerche esistenti affermano che vi è una differenza tra la capacità dei soggetti ASD e la capacità dei soggetti normotipici di riconoscere (Rochat, 2013; Di Cesare, 2017) e di eseguire (Casartelli, 2020) azioni caratterizzate da diversi *vitality forms*, fondamentali nelle interazioni sociali. Alla luce di questi risultati, il presente studio ha lo scopo di indagare più a fondo la caratterizzazione cinematica delle azioni espresse con *vitality forms* differenti (rude, gentile) da bambini ASD ad alto funzionamento. Inoltre, è stato studiato un secondo aspetto fondamentale relativo al contesto nel quale le azioni sono espresse: contesto sociale e non sociale.

L'analisi dei parametri cinematici relativa alla fase di *grasping* dell'azione ha rivelato come questi soggetti, in una condizione non sociale siano in grado di esprimere la stessa azione attraverso due forme vitali differenti. In particolare, i *vitality forms* espressi dai bambini ASD si distinguono nella loro espressione motoria per le seguenti caratteristiche cinematiche: la velocità (media e massima), l'accelerazione (media e massima), il tempo complessivo impiegato per effettuare l'atto motorio (tempo di *grasping* e tempo necessario a raggiungere la massima apertura della mano). Ognuno di questi parametri cinematici è espresso in maniera significativamente diversa sulla base del *vitality* caratterizzante l'azione. Questi dati sono in linea con i risultati riportati da Casartelli e collaboratori (2020), i quali riportano una significativa differenza relativa a determinati parametri cinematici (picco di velocità (pV) e picco di accelerazione (pA)) tra l'esecuzione di azioni rudi e gentili eseguite da bambini *high functional* ASD.

Alla luce di ciò, appare evidente come i bambini ASD ad alto funzionamento siano in grado di modulare le forme vitali intrinseche nell'atto motorio ed esprimerle coerentemente alla richiesta. Tuttavia, i dati esposti nel presente elaborato dimostrano che, quando la stessa azione viene eseguita nella condizione sociale, ovvero quando al bambino viene richiesto di passare la bottiglietta ad un ricevente, la differenza in termini cinematici tra l'azione rude e gentile si riduce notevolmente. Infatti, i risultati delle analisi dimostrano che la differenza tra i *vitality forms* gentile e rude nella condizione social non è significativa per tutte le variabili prese in esame, fatta eccezione per i parametri di accelerazione media e picco di velocità massima, che nella condizione sociale presentano ancora un p.value significativo ma maggiore rispetto alla condizione non sociale.

Sembrerebbe, dunque, che l'interazione sociale riduca la capacità dei bambini ASD di esprimere in maniera significativamente diversa le forme vitali "gentile" e "rude" per i parametri presi in considerazione, come se questa capacità fosse attenuata da un fattore di disturbo, individuabile nella presenza dell'altro (ricevente dell'azione).

Questa variazione è ulteriormente confermata dall'indice di variazione totale (Δv_{tot}), il quale evidenzia un cambiamento di modulazione dell'azione attraverso le due condizioni social e non social per tutti i parametri cinematici presi in considerazione. Del resto, come sostenuto dallo stesso Stern "la condivisione di *vitality forms* traccia un percorso diretto nell'esperienza soggettiva di un altro" (Stern, 2010, p.43) definendo, in altre parole, una competenza, quella della condivisione, che presuppone la capacità intersoggettiva di comprendere ed empatizzare verso e con l'altro. Capacità che negli individui affetti da sindrome dello spettro autistico spesso è deficitaria. La dimostrata incapacità di modulare i *vitality* attraverso la propria cinematica alla presenza di un altro potrebbe essere una misura indiretta dell'alterazione dei meccanismi di intersoggettività nei bambini ASD.

Inoltre, l'analisi di correlazione tra il Δ Vitality Forms_{ns} e i punteggi dei bambini ASD al TEC rivela che all'aumentare della capacità di esprimere le forme di vitalità, aumenta il loro punteggio al TEC. Questa relazione potrebbe indicare che maggiore è l'abilità nel modulare la componente affettiva dell'azione e maggiore sarà anche la capacità di riconoscere l'espressione emotivo/affettiva dell'altro. D'altronde, la capacità di riconoscere lo stato affettivo altrui si fonda innanzitutto sulla consapevolezza del proprio

e sulla conseguente capacità di rappresentarsi quello esperito dall'altro. In questo contesto la conoscenza dello stato affettivo altrui è possibile poiché durante le interazioni sociali siamo in grado di entrare con esso in uno stato di "consonanza intenzionale" (Gallese 2003).

Secondo questi presupposti appare plausibile la correlazione osservata tra la comprensione dello stato affettivo dell'altro e la conseguente abilità d'espressione dei *vitality forms*, a riprova del fatto che comprensione ed espressione potrebbero basarsi sugli stessi processi neurali che sottendono la nostra capacità di agire e percepire gli altri. Del resto, il coinvolgimento dell'insula e dei circuiti parieto frontali tra le aree che si dimostrano attive durante l'osservazione, l'immaginazione e l'esecuzione delle azioni (nel caso dell'insula dorsocentrale specificatamente per azioni caratterizzate da determinati *vitality forms*) induce a ipotizzare che queste aree fungano da substrato anatomico-funzionale della capacità di percepire e rispondere adeguatamente, sia in termini di *what* che in termini di *how*, durante l'interazione sociale.

È plausibile ipotizzare, inoltre, che possedere un'adeguata Teoria della Mente (TOM), anch'essa valutata tramite il TEC, determini per i bambini con disturbo dello spettro autistico un'inibizione nell'espressione motoria delle forme di vitalità nei momenti di interazione con l'altro. È possibile che questo sia il risultato di una maggiore consapevolezza che i bambini ASD con punteggi alti al TEC posseggono rispetto all'interazione sociale. La presenza dell'altro, visto come una persona con cui interagire, con pensieri ed emozioni diversi dai propri, inibisce la produzione di un atto motorio caratterizzato da una forma vitale. Al contrario, minori sono i punteggi TEC totalizzati dai bambini, minore è la differenza d'espressione dei *vitality forms* nel passaggio dalla condizione social a quella non social. Questi bambini hanno una scarsa capacità di mentalizzazione e di riconoscimento dello stato affettivo altrui e, di conseguenza, la presenza dell'altro non modifica la loro espressione motoria.

I dati riportati nel presente elaborato devono essere letti con le dovute accortezze, alla luce del fatto che l'assenza di un campione normotipico non permette di chiarire se i soggetti ASD esprimano i *vitality forms* in maniera simile o dissimile rispetto ad individui tipici. Infatti, pur dimostrando che vi è una differenza significativa tra l'espressione

cinematica delle azioni rudi e gentili, non sappiamo ancora se questa differenza venga espressa in maniera simile ad altri bambini neurotipici della stessa età. Inoltre, pur essendo evidente l'impatto che la socialità ha sull'espressione dei *vitality forms*, rimane comunque da approfondire l'effetto che questa potrebbe avere anche sui bambini tipici. Per poter rispondere a queste domande saranno necessari ulteriori studi volti ad approfondire la tematica.

CONCLUSIONE

L'autismo è una sindrome nota per i deficit di comunicazione e d'interazione sociale. Per questo motivo molti studi indagano la capacità d'espressione e comprensione dei *vitality forms* posseduta da tali individui. Il presente elaborato dimostra che la presenza di qualcuno influisce significativamente sulla capacità dei bambini ASD di esprimere le forme vitali "gentile" e "rude". La presenza di un altro verso cui agire determina una condizione di interazione sociale che sembra diminuire la capacità di modulare l'azione in funzione della richiesta. Questo potrebbe essere dovuto alla patologia che questi bambini posseggono ma successivi studi di comparazione con un campione neurotipico potranno far luce sull'effettivo ruolo della patologia nel comportamento osservato.

BIBLIOGRAFIA

1. Altschuler E.L., Vankov A., Wang V., Ramachandran V.S., Pineda J.A. (1997). Person See, Person Do: Human Cortical Electrophysiological Correlates of Monkey See Monkey Do Cells. Poster Session Presented at the 27th Annual Meeting of the *Society for Neuroscience*, New Orleans, LA, (November).
2. Andersen, R.A., Snyder, A.L., Bradley, D.C., Xing, J. (1997). Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. *Annual Review of Neuroscience*, 20, 303-330
3. Asperger, H. (1944). Die „Autistischen psychopathen“ im Kindesalter. *Archiv für psychiatrie und nervenkrankheiten*, 117(1), 76-136.
4. Barch, D. M., Carter, C. S., Gold, J. M., Johnson, S. L., Kring, A. M., MacDonald III, A. W., ... & Strauss, M. E. (2017). Explicit and implicit reinforcement learning across the psychosis spectrum. *Journal of abnormal psychology*, 126(5), 694.
5. Baron-Cohen, S. (1989). Joint-attention deficits in autism: Towards a cognitive analysis. *Development and psychopathology*, 1(3), 185-189.
6. Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21(1), 37-46
7. Beebe, B., Lachmann, F. (1994). Representation and internalization in infancy: Three principles of salience. *Psychoanalytic Psychology*, 5, 305-337
8. Belmalih, A., Borra, E., Contini, M., Gerbella, M., Rozzi, S., Luppino, G. (2009). Multimodal architectonic subdivision of the rostral part (area F5) of the macaque ventral premotor cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 512(2), 183-217
9. Bonini, L., Manaresi, M., Livi, A., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (2014). Ventral premotor neurons encoding representations of action during self and others' inaction. *Current Biology*, 24(14), 1611-1614
10. Bruner, J. (1996). *La cultura dell'educazione. Nuovi orizzonti per la scuola* (Feltrinelli, Milano)
11. Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., ... & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European journal of neuroscience*, 13(2), 400-404.

12. Camaioni, L., Perucchini, P., Muratori, F., & Milone, A. (1997). Brief report: A longitudinal examination of the communicative gestures deficit in young children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 27(6), 715-725.
13. Capps, L., Losh, M., & Thurber, C. (2000). "The frog ate the bug and made his mouth sad": Narrative competence in children with autism. *Journal of abnormal child psychology*, 28(2), 193-204.
14. Carrillo, M., Han, Y., Migliorati, F., Liu, M., Gazzola, V., & Keysers, C. (2019). Emotional mirror neurons in the rat's anterior cingulate cortex. *Current Biology*, 29(8), 1301-1312.
15. Casartelli L., Cesareo A., Biffi E., G.C., Campione, L. Villa., M. Molteni., Sinigaglia C., (2020). Vitality Form expression in autisms. *Scientific Reports*, 10, 17182 . <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73364-x>
16. Catenoix, H., Isnard, J., Guénot, M., Petit, J., Remy, C., & Mauguère, F. (2008). The role of the anterior insular cortex in ictal vomiting: a stereotactic electroencephalography study. *Epilepsy & Behavior*, 13(3), 560-563.
17. De Preester, H. (2008). Toward a distinction between 'incorporation' and body extensions: prostheses and tools in the representation of the body in the brain, at the *Interdisciplinary Summer School on Body Representation, The body in the brain and the mind, Lectures*.
18. Deeley, Q., Daly, E. M., Surguladze, S., Page, L., Toal, F., Robertson, D., ... & Murphy, D. G. (2007). An event related functional magnetic resonance imaging study of facial emotion processing in Asperger syndrome. *Biological psychiatry*, 62(3), 207-217.
19. Di Cesare G., Gerbella M., Rizzolatti G., (2020) The neural bases of Vitality Forms, *National Science Review*, 7(1), 202-212, doi:10.1093/nsr/nw187
20. Di Cesare, G., Di Dio, C., Marchi, M., & Rizzolatti, G. (2015). Expressing our internal states and understanding those of others. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(33), 10331-10335.
21. Di Cesare, G., Di Dio, C., Rochat, M. J., Sinigaglia, C., Bruschweiler-Stern, N., Stern, D. N., & Rizzolatti, G. (2014). The neural correlates of 'vitality form' recognition: an fMRI study: This work is dedicated to Daniel Stern, whose immeasurable contribution to science has inspired our research. *Social cognitive and affective neuroscience*, 9(7), 951-960
22. Di Cesare, G., Marchi, M., Errante, A., Fasano, F., Rizzolatti, G., (2017). Mirroring the Social Aspects of Speech and Actions: The Role of the Insula. *Cerebral Cortex*, 1–10.

23. Di Cesare, G., Marchi, M., Lombardi, G., Gerbella, M., Sciutti, A., Rizzolatti, G. (2021). The middle cingulate cortex and dorso-central insula: A mirror circuit encoding observation and execution of vitality forms. *PNAS*, <https://doi.org/10.1073/pnas.2111358118>
24. Di Cesare, G., Pinardi, C., Carapelli, C., Caruana, F., Marchi, M., Gerbella, M., Rizzolatti, G. (2018). Insula Connections With the Parieto-Frontal Circuit for Generating Arm Actions in Humans and Macaque Monkeys. *Cerebral Cortex*, 1-8
25. Di Cesare, G., Sparaci, L., Pelosi, A., Mazzone, L., Giovagnoli, G., Menghini, D., ... & Vicari, S. (2017). Differences in action style recognition in children with autism spectrum disorders. *Frontiers in Psychology*, 8, 1456.
26. Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176-180
27. Evrard, H. C. (2019). The organization of the primate insular cortex. *Frontiers in Neuroanatomy*, 13, 43. doi: 10.3389/fnana.2019.00043.
28. Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of neurophysiology*, 73(6), 2608-2611.
29. Fecteau, S., Carmant, L., Tremblay, C., Robert, M., Bouthillier, A., & Theoret, H. (2004). A motor resonance mechanism in children? Evidence from subdural electrodes in a 36-month-old child. *Neuroreport*, 15(17), 2625-2627.
30. Filimon, F., Rieth, C. A., Sereno, M. I., & Cottrell, G. W. (2015). Observed, executed, and imagined action representations can be decoded from ventral and dorsal areas. *Cerebral Cortex*, 25(9), 3144-3158.
31. Fodor J. (1983). *The Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. MIT Press, Tr. it. *La mente modulare. Saggio di psicologia delle facoltà*, Il Mulino, (1988)
32. Fogassi, L., Ferrari, P.F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., Rizzolatti, G. (2005) Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 308, 622– 667.
33. Fogassi, L., Ferrari, P.F., Geslerich, B., Rozzi, S., Chersi, F., Rizzolatti, G. (2005). Parietal Lobe: From action organisation to intention understanding. *Science*, 308, 662-667
34. Fogassi, L., Rollo, D. (2018). *L'altro sono io. I neuroni specchio nello sviluppo dell'uomo. Cosa sono e a cosa servono*. San Paolo s.r.l, Milano.
35. Gallese, V. (2003). The roots of empathy: The shared manifold hypothesis and the neural basis of intersubjectivity. *Psychopathology*, 36, 171-180

36. Gallese, V. (2006). Intentional attunement: A neurophysiological perspective on social cognition and its disruption in autism. *Brain research*, 1079, 15-24
37. Gallese, V., Ammaniti, M. (2014). *La nascita dell'intersoggettività. Lo sviluppo del sé tra psicodinamica e neurobiologia*. Raffaello Cortina, Milano
38. Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996) Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593-609
39. Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (2002). Action representation and the inferior parietal lobe. In Prinz, W., Hommel, B. (a cura di), *Attention and Performance XIX: Common mechanism in perception and action*. Oxford University Press, Oxford, 247-266
40. Gallese, V., Sinigaglia, C. (2011). What is so special with embodied simulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 512-519
41. Gallese, V.(2011). Neuroscience and phenomenology. *Phenomenology and Mind*, 1, 33-48
42. Gentilucci, M., Fogassi, L., Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R., Rizzolatti, G. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: 1. Somatotopy and the control of proximal movements. *Experimental Brain Research*, 33 (2-3), 118-121
43. Gerbella, M., Belmalih, A., Borra, E., Rozzi, S., & Luppino, G. (2011). Cortical connections of the anterior (F5a) subdivision of the macaque ventral premotor area F5. *Brain Structure and Function*, 216(1), 43-65.
44. Goldman, A.I. (1989). Interpretation psychologized. *Mind and language*, 4, 161-85.
45. Gopnik, A., Wellman, H. M. (1992). Why the child's theory of mind really is a theory. *Mind and Language* 7(1), 45 –71.
46. Gordon, R.M. (1986). Folk psychology as simulation. *Mind and language*, 1, 158-71.
47. Gotham, K., Risi, S., Pickles, A., & Lord, C. (2006). [The Autism Diagnostic Observation Schedule \(ADOS\)](#). *Journal of Autism and Developmental Disorders*.
48. Harris, P.L. (1987). *Children and emotion. The development of psychological understanding* Oxford, London.
49. Heal, J. (1986). Replication and functionalism. *Language, mind, and logic*, ed. J. Butterfield, Cambridge, pp. 135-50.
50. Hobson, R. P., & Lee, A. (1998). Hello and goodbye: A study of social engagement in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 28(2), 117-127.

51. Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Reviews of Psychology*, 60, 653–70.
52. Ishida, H., Nakajima, K., Inase, M., Murata, A., (2010). Shared mapping of own and other's bodies in visuotactile bimodal area of monkey parietal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(1), 83-96
53. Isnard, J., Guénot, M., Sindou, M., & Mauguière, F. (2004). Clinical manifestations of insular lobe seizures: a stereo-electroencephalographic study. *Epilepsia*, 45(9), 1079-1090.
54. James, W. (1884) What is an emotion? *Mind* 34, 188–205
55. Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel, T.M., Siegelbaum, S.A., Hudspeth, A.J., (2015), *Principi di Neuroscienze* (4th edition ITA basata su 5th ENG), Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
56. Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous child*, 2(3), 217-250.
57. Kraskov, A., Dancause, N., Quallo, M. M., Shepherd, S., & Lemon, R. N. (2009). Corticospinal neurons in macaque ventral premotor cortex with mirror properties: a potential mechanism for action suppression? *Neuron*, 64(6), 922-930.
58. Kring, A.M., Davison, G.C, Neale, J.M., Johnson, S.L. (2017). *Psicologia Clinica*. Zanichelli, Bologna.
59. Krolak-Salmon, P., Hénaff, M., Isnard, J., Tallon-Baudry, C., Guénot, M., Vighetto, A., Bertrand, O., Mauguière, F., (2003). An Attention Modulated Response to Disgust in Human Ventral Anterior Insula. *Ann.Neurol.*, 53, 446-453.
60. Krolak-Salmon, P., Hénaff, M. A., Isnard, J., Tallon-Baudry, C., Guénot, M., Vighetto, A., ... & Mauguiere, F. (2003). An attention modulated response to disgust in human ventral anterior insula. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 53(4), 446-453.
61. Kurth, F., Zilles, K., Fox, P. T., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). A link between the systems: Functional differentiation and integration within the human insula revealed by meta-analysis. *Brain Structure and Function*, 214, 519–534
62. Lanzilotto, M., Gerbella, M., Perciavalle, V., & Lucchetti, C. (2017). Neuronal encoding of self and others' head rotation in the macaque dorsal prefrontal cortex. *Scientific reports*, 7(1), 1-12.
63. Lemon, R.N. (1999). Neural control of dexterity: What has been achieved? *Experimental Brain Research*, 128, 6-12

64. Lepage, J. F., & Théoret, H. (2006). EEG evidence for the presence of an action observation–execution matching system in children. *European Journal of Neuroscience*, *23*(9), 2505-2510.
65. Lingiardi, V., & McWilliams N. (a cura di) (2017). Manuale diagnostico psicodinamico. Seconda edizione. PDM-2. Raffaello Cortina, 2018.
66. Livi, A., Lanzillotto, M., Maranesi, M., Rizzolatti, G., Bonini L. (2019). From object to action: Agent based representations in monkey pre-supplementary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Science*, *116*, 2691-2700
67. Lord, C., Rutter, M., Goode, S., Heemsbergen, J., Jordan, H., Mawhood, L., & Schopler, E. (1989). Autism diagnostic observation schedule: A standardized observation of communicative and social behavior. *Journal of autism and developmental disorders*, *19*(2), 185-212
68. Luppino, G. Matelli, M, Camarda RM, Gallese V., Rizzolatti G., (1991). Multiple representations of body movements in mesial area 6 and the adjacent cingulate cortex: an intracortical microstimulation study in the macaque monkey. *J Comp Neurol*, *311*, 463–82.
69. Maeda, K., Ishida, H., Nakajima, K., Inase, M., Murata, A. (2015). Functional properties of parietal hand manipulation-related neurons and mirror neurons responding to vision of own hand action. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(3), 560-572
70. Marshall, P. J., & Meltzoff, A. N. (2011). Neural mirroring systems: Exploring the EEG mu rhythm in human infancy. *Developmental cognitive neuroscience*, *1*(2), 110-123
71. Matelli, M., Camarda, R., Glickstein, M., Rizzolatti, G. (1986), Afferent and efferent projections of the inferior area 6 in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, *251*(3), 281-298
72. MATLAB. (2010). *version 7.10.0 (R2010a)*. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
73. Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., Rizzolatti G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (Area F5) of the mokey. *Journal of Neurophysiology*, *78*(4), 2226-2230.
74. Namkung, H., Kim, S. H., & Sawa, A. (2017). The insula: an underestimated brain area in clinical neuroscience, psychiatry, and neurology. *Trends in neurosciences*, *40*(4), 200-207.

75. Nelissen, K., Borra, E., Gerbella, M., Rozzi, S., Luppino, G., Vanduffel, W., ... & Orban, G. A. (2011). Action observation circuits in the macaque monkey cortex. *Journal of Neuroscience*, *31*(10), 3743-3756.
76. Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, *24*, 190–198.
77. Oberman, L. M., Ramachandran, V.S., Pineda, J. A., (2008). Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorder, in response to familiar or unfamiliar stimuli: the mirror neurons hypothesis. *Neuropsychologia*, *46*, 1558-1565
78. Orsini, A., Pezzuti, L., Picone, L. (2012). *WISC-IV. Contributo alla taratura italiana*. Firenze: Giunti O.S.
79. Pani, P., Theys, T., Romero, M.C., Janssen, P. (2014). Grasping execution and grasping observation activity of single neurons in the macaque anterior intraparietal area. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(10), 2342-2355
80. Pierce, K., Haist, F., Sedaghat, F., & Courchesne, E. (2004). The brain response to personally familiar faces in autism: Findings of fusiform activity and beyond. *Brain*, *127*, 2703–2716.
81. Pineda, J.A., Allison, B.Z., Vankov, A. (2000). The effect of self – movement, observation and imagination on mu rhythms and readiness potentials (RP's): toward a brain-computer interface (BCI). *IEE Trans. Rehabil. Eng*, *8*, 219-222
82. Pons F., Harris P.L. (2000), TEC (Test of Emotion Comprehension), Oxford University Press, Oxford
83. Premack, D., Woodruff, G., (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences* *1*(4), 515-526
84. Ricks, D. M., & Wing, L. (1975). Language, communication, and the use of symbols in normal and autistic children. *Journal of autism and childhood schizophrenia*, *5*(3), 191-221.
85. Rimland, B. (1964). Infantile autism.
86. Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental Brain Research*, *71*, 491-507

87. Rizzolatti, G., Craighero, L., (2014). The Mirror Neuron System. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192
88. Rizzolatti, G., D'Alessio, A., Marchi, M. e Di Cesare, G., (2021). The neural bases of tactile vitality forms and their modulation by social context. *Scientific Reports* 11, 9095
89. Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, pp. 131-141
90. Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2019). *Specchi nel cervello. Come comprendiamo gli altri dall'interno*. Raffaello Cortina, Milano.
91. Rizzolatti, G., Sinigaglia, C., (2019). *Specchi nel cervello. Come comprendiamo gli altri dall'interno*. Raffaello Cortina Editore, Milano.
92. Rochat, M.J., Veroni, V., Bruschweiler – Stern, N., Pieraccini, C., Bonnet-Brilhault, F., Barthélémy, C., Malvy, J., Sinigaglia, C., Stern, D.N., Rizzolatti, G. (2013). Impaired vitality form recognition in autism. *Neuropsychologia*, 51(10), 1918-1924
93. Rozzi, S., Ferrari, S.P., Bonini, L., Rizzolatti, G., Fogassi, L. (2008). Functional organization of inferior parietal lobule convexity in the macaque monkey: Electrophysiological characterization of motor, sensory, and mirror responses and their correlation with cytoarchitectonic areas. *European Journal of Neuroscience*, 28(8), 1569-1588
94. Sander, L. W. (1977). Regulation of exchange in the infant caretaker system: A viewpoint on the ontogeny of “structures”. In *Communicative structures and psychic structures* (pp. 13-34). Springer, Boston, MA
95. Sander, L.W. (1995). Identity and the Experience of Specificity in a Process of Recognition. *Psychoanalytic Dialogues*. 5(4), 567-578.
96. Sheperd, S.V., Klein, J.T., Deaner, R.O., Platt, M.L. (2009). Mirroring of attention by neurons in macaque parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106(23), 9489-9494
97. Shic, F., Macari, S., & Chawarska, K. (2014). Speech disturbs face scanning in 6-month-old infants who develop autism spectrum disorder. *Biological psychiatry*, 75(3), 231-237.
98. Simone, L., Rozzi, S., Bimbi, M., & Fogassi, L. (2015). Movement-related activity during goal-directed hand actions in the monkey ventrolateral prefrontal cortex. *European Journal of Neuroscience*, 42(11), 2882-2894.

99. Singer, T., (2004) Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, 303(5661),1157–1162.
100. Sparaci, L., Formica, D., Lasorsa, F. R., Mazzone, L., Valeri, G., & Vicari, S. (2015). Untrivial pursuit: measuring motor procedures learning in children with autism. *Autism Research*, 8(4), 398-411.
101. Speranza, A.M., Ammaniti, A. (1995). Stern. In E. Pelanda (a cura di), *Modelli di sviluppo in psicoanalisi*. Raffaello Cortina, Milano
102. Stern, D. N. (1985). *The Interpersonal World of the Infant*. Basic Books, New York.
103. Stern, D. N. (2004). *The Present Moment in Psychotherapy and Everyday Life*. Norton, New York.
104. Stern, D. N. (2010). *Forms of vitality exploring dynamic experience in psychology, arts, psychotherapy, and development*. Oxford Univ Press, Oxford.
105. Stern, D.N (1989), *Le interazioni affettive*. In S. Lebovici, F. Weil-Harpen (a cura di) *Psicopatologia della prima infanzia*. Vol. 1: il mondo del neonato. Bollati Boringhieri, Torino
106. Stern, D.N. (1994). One way to build a clinically relevant baby. *Infant Mental Health Journal*, 15(1), 9-25
107. Stolorow, R. D., Atwood, G. (1992). *I contesti dell'essere*. Bollati Boringhieri, Torino.
108. Tkach, D., Hatsopoulos, N.G. (2007). Congruent activity during action and action observation in motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 26 (48), 13241-13250
109. Trevarthen, C. (1993). *The self born in intersubjectivity: the psychology of an infant communicating*. In U. Neisser (a cura di), *The perceived self: Ecological and interpersonal sources of self-knowledge*. Cambridge University Press, New York
110. Tronick, E. (2008). *Regolazione emotiva*. Raffaello Cortina, Milano.
111. Tronick, E.Z. (1998). Dyadically Expanded States of Consciousness and the Process of Therapeutic Change. *Infant Mental Health Journal*, 19(3), 290-299
112. Vigneswaran, G., Philipp, R., Lemon, R. N., & Kraskov, A. (2013). M1 corticospinal mirror neurons and their role in movement suppression during action observation. *Current Biology*, 23(3), 236-243.
113. Vygotskij, L.S., In L. Mecacci (a cura di) (2008). *Pensiero e linguaggio*. Editori Laterza, Roma.

114. Wechsler, D. (2003). *WISC-IV*. Wechsler Intelligence Scale for Children – Fourth Edition Technical and Interpretive Manual. *San Antonio, TX: The Psychological Association*.
115. Wechsler, D. (1999). Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence. The Psychological Corporation: *Harcourt Brace & Company*. New York, NY.
116. Whiten, A. (1996). Imitation, Pretence and Mindreading: Secondary Representation in Comparative Primatology and Developmental Psychology. In: A. E. Russon, K.A. Bard and S.T. Parker (Eds.) *Reaching Into Thought: The Minds of the Great Apes*, 300-324. Cambridge: Cambridge University Press
117. Whiten, A. (1997). The Machiavellian mindreader. In: A. Whiten R.W. Byrne (Eds.) *Machiavellian Intelligence II.: Evaluations and Extensions*. Cambridge University Press;
118. Wicker, B., (2003). Both of us disgusted in My insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40(3), 655–664
119. Williams, J. H., Whiten, A., Suddendorf, T., & Perrett, D. I. (2001). Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(4), 287-295.
120. Wing, L. (2006). *What's So Special about Autism?*. National Autistic Society.
121. Yoshida, K., Saito, N., Iriki, A., Isoda, M. (2011). Representation of others' action by neurons in monkey medial frontal cortex. *Current Biology*, 21(3), 249-253