



# UNIVERSITÀ DI PARMA

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA**

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

## **NEURONI SPECCHIO E DIAGNOSI DI SPETTRO AUTISTICO**

**EVIDENZE SPERIMENTALI E NEUROFISIOLOGICHE**

**Relatore:**

**Chiar.mo Prof. LEONARDO FOGASSI**

**Correlatore:**

**Chiar.ma Prof. ssa. DOLORES ROLLO**

**Laureanda:**

**GIULIA ORLANDINI**

**ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023**

*“Insegnami in modi diversi, così sarò in grado di imparare”*

*Cíntia Leão Silva*

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>Pag 05</b>
<b>1. I disturbi dello spettro autistico</b>	<b>Pag. 06</b>
1.1 Definizione e criteri	Pag. 06
1.2 Teorie sull'eziologia del disturbo	Pag. 10
1.3 Diagnosi e intervento	Pag. 18
<i>1.3.1 La storia dell'approccio al disturbo</i>	<i>Pag. 18</i>
<i>1.3.2 La diagnosi</i>	<i>Pag. 21</i>
<i>1.3.3 Gli interventi</i>	<i>Pag. 27</i>
<b>2. Il sistema specchio</b>	<b>Pag. 37</b>
2.1 La scoperta nei primati	Pag. 37
2.2 Gli studi sull'uomo e le scoperte successive	Pag. 48
2.3 Il linguaggio e i neuroni specchio	Pag. 53
<i>2.3.1 Linguaggio, segni ed evoluzione</i>	<i>Pag.61</i>
2.4 Neuroni specchio, l'intenzione altrui e lo sviluppo empatico	Pag.64
<b>3. Autismo e neuroni specchio</b>	<b>Pag. 71</b>
3.1 I neuroni specchio nell'autismo	Pag. 71
<i>3.1.1 Antitesi e lo specchio infranto</i>	<i>Pag. 85</i>
<i>3.1.2 Modello integrato EP-M e STORM</i>	<i>Pag. 90</i>

3.2	Valutazione del ritmo $\mu$ nell'ECG	Pag. 92
3.3	Codifica intenzionale deficitaria nell'autismo	Pag.98
<b>Conclusioni</b>		<b>Pag. 99</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>Pag. 101</b>
<b>Sitografia</b>		<b>Pag.120</b>

## Introduzione

Il presente lavoro è principalmente destinato a presentare una panoramica completa ed esauriente delle evidenze scientifiche e delle teorie consolidate che suggeriscono un'associazione tra l'autismo e un potenziale malfunzionamento dei neuroni specchio. Nel primo capitolo, intitolato “*I disturbi dello spettro autistico*”, si propone un'indagine accurata del Disturbo dello Spettro dell'Autismo (ASD) secondo la classificazione del Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (DSM). L'intento è quello di offrire un esame dettagliato della sintomatologia che distingue l'ASD, esaminando sia i sintomi nucleari del disturbo che le manifestazioni associate e concomitanti. Successivamente, il capitolo si addentra nelle varie teorie interpretative che cercano di spiegare l'eziologia dell'ASD, offrendo una disamina critica delle principali ipotesi attualmente in campo. Il capitolo si conclude con un'approfondita discussione sul processo di diagnosi dell'ASD e le diverse strategie di intervento che possono essere adottate una volta che il disturbo è stato identificato. Ciò comprende un esame delle metodologie diagnostiche standard, nonché una panoramica delle opzioni terapeutiche attualmente disponibili, dai trattamenti farmacologici alle terapie comportamentali e cognitive.

Il secondo capitolo è dedicato all'esplorazione del sistema dei neuroni specchio, a partire dalle sue specifiche caratteristiche fino alle sue implicazioni per l'autismo. Nel primo paragrafo, si delinea la storia delle scoperte pionieristiche effettuate sui primati dai neuroscienziati dell'Università di Parma, compresa la produzione della prima mappatura del cervello delle scimmie per identificare le aree con attività "specchio".

Il secondo paragrafo prende in considerazione lo studio del sistema specchio in riferimento alle ricerche condotte sull'uomo, al fine di comprendere le specificità del

sistema specchio umano e come queste possano differire da quelle osservate nella scimmia.

Nel terzo e ultimo paragrafo, si presentano gli studi sulle più recenti scoperte riguardanti il sistema dei neuroni specchio e le prospettive future per la ricerca in questo campo. Questo include un'analisi delle implicazioni di queste scoperte per la nostra comprensione dell'autismo, nonché una discussione sulle possibili direzioni future per la ricerca in questo campo emozionante e dinamico.

In sintesi, questo lavoro si propone l'obiettivo di illuminare le attuali comprensioni e le possibili future direzioni di questa intrigante intersezione tra neuroscienze e psicopatologia

# 1. I disturbi dello spettro autistico

## 1.1 Definizione e criteri

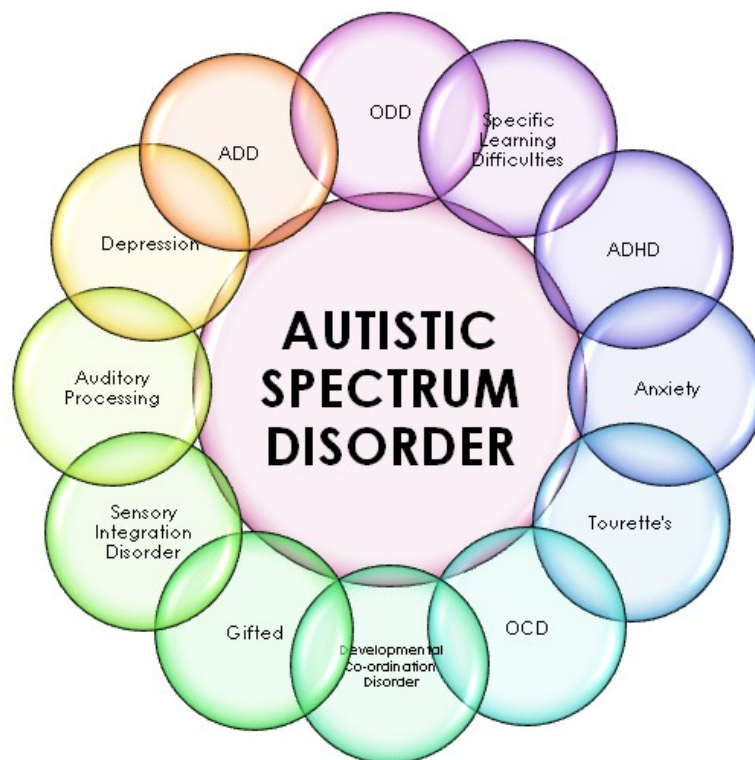
I disturbi dello spettro autistico (Autism Spectrum Disorder, ASD), rientrano nella più ampia categoria dei disturbi del neurosviluppo<sup>1</sup>, e si manifestano con deficit del comportamento e delle capacità cognitive che hanno un esordio precoce durante lo sviluppo. Tali deficit riguardano difficoltà più o meno significative in diversi ambiti dello sviluppo:

- il linguaggio;
- il movimento;
- la comprensione degli aspetti sociali;
- la comprensione delle emozioni proprie;
- la comprensione delle emozioni altrui;
- l'imitazione.

---

<sup>1</sup> E' stata pubblicata, nel 2013, la DSM-V, cioè la quinta edizione del *Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali*, traduzione del *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* redatto dall'A.P.A.. Esso ha dato una nuova definizione e trattazione dei Disturbi del neurosviluppo, cioè una serie di deficit che si mostrano nel periodo dello sviluppo e che possono permanere in età adulta, di cui fanno parte le disabilità intellettive, i disturbi di comunicazione e del movimento, i disturbi dello spettro dell'autismo e fetto alcolici (cosa vuol dire?), i disturbi da deficit di attenzione, iperattività e apprendimento (A.P.A., 2023).

Furono Wing<sup>2</sup> e Gould<sup>3</sup>, nel 1979, a introdurre il termine *spettro* per definire questa moltitudine di disturbi, al fine di indicare l'eterogeneità delle manifestazioni deficitarie che essi possono assumere in soggetti diversi sia in termini di gravità che di quantità. Wing, poi, nel corso della sua carriera di psichiatra, ha mostrato che l'autismo è un insieme di diverse e particolari gradazioni e di molte variabili; l'autismo è una condizione complessa, e non può essere quindi ridotto ad un disturbo con caratteristiche univoche: infatti all'interno di tale spettro, descritto tramite tre livelli di base di necessità di aiuto del soggetto, si possono riconoscere individui con caratteristiche cognitive anche profondamente distinte.



**Figura 1. ASD: Autistic Spectrum disorder (Lanc.org, 2023)**

<sup>2</sup> Lorna Wing, 1928-2014, Londra, è stata una psichiatra britannica.

<sup>3</sup> Judith Gould, anch'essa psichiatra britannica, collega di Lorna Wing.



Le condizioni di neurosviluppo costituiscono un insieme complesso e interconnesso di disturbi che possono spesso coesistere, ma che, nonostante le apparenti sovrapposizioni, presentano ognuna una propria peculiarità che richiede trattamenti e approcci individualizzati. L'immagine a cui si è fatto riferimento offre una rappresentazione grafica di come queste condizioni possano intrecciarsi e sovrapporsi, illustrando una rete complessa di interconnessioni.

In tale rappresentazione, si possono individuare condizioni come l'ansia e la depressione, comuni disturbi dell'umore che possono intersecarsi con una serie di altre condizioni di neurosviluppo. Anche le difficoltà di apprendimento, un altro aspetto comune, vengono evidenziate, sottolineando il modo in cui possono intrecciarsi con altri disturbi.

Interessante è l'osservazione delle "isole di competenza", un termine utilizzato per indicare le specifiche abilità o talenti che possono emergere in persone con certi disturbi di neurosviluppo, nonostante le sfide che possono incontrare in altri ambiti. Queste "isole" possono manifestarsi o meno nel contesto del disturbo, e la loro presenza può influenzare l'approccio terapeutico adottato.

L'immagine illustra anche come altri disturbi, come il Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività (ADHD) e la Sindrome di Tourette, possano interagire con altre condizioni. Questi disturbi possono complicare ulteriormente il panorama clinico, in quanto introducono una serie di sintomi aggiuntivi e possono esacerbare la sintomatologia di altre condizioni presenti, rendendo la gestione e il trattamento di questi pazienti un compito sfidante.

L'interpretazione di questa complessa sovrapposizione e interazione tra vari disturbi del neurosviluppo richiede un approccio olistico e multidisciplinare. È necessario prendere in considerazione non solo i sintomi individuali di ciascun disturbo, ma anche come essi si combinano e interagiscono l'uno con l'altro. Solo attraverso un'analisi complessiva e l'integrazione di varie prospettive terapeutiche si potrà fornire un supporto efficace a queste persone, rispondendo alle loro esigenze uniche e multiformi.

Le caratteristiche che spesso contraddistinguono i soggetti con diagnosi di ASD sono riassumibili in:

- capacità socio-relazionali deficitarie;
- scarse interazioni sociali;
- scarsa iniziativa nell'intraprendere un'interazione;
- comportamenti ripetitivi;
- stereotipie motorie e verbali;
- anomalie sensoriali;
- interesse verso target inusuali;
- risposte atipiche;
- mantenimento della *sameness* (Rollo, 2020)<sup>4</sup>.

Il DSM-5, già citato precedentemente, distingue e spiega tre diversi livelli nei quali includere i soggetti che presentino tali disturbi:

- **Livello 1:** il soggetto, in assenza di supporto, presenta deficit di comunicazione sociale che lo portano ad avere una notevole difficoltà ad avviare le interazioni

---

<sup>4</sup> Col termine *sameness* si fa riferimento alla necessità di tali soggetti di *mantenere costanti le condizioni ambientali e le routine quotidiane*. Per interpretare il livello di gravità si osservano la compromissione della capacità comunicativa e i pattern comportamentali ripetitivi e stereotipati.

sociali e risposte atipiche o infruttuose alle aperture sociali da parte di altri. L'individuo che rientra in questo livello di disturbo mostra, inoltre, un interesse ridotto per ogni tipo di interazione sociale<sup>5</sup>. L'inflessibilità nei livelli di comportamento causa interferenze significative con il funzionamento in uno o più contesti, causando, di conseguenza, anche grosse difficoltà nel passare da un'attività all'altra, e problemi nell'organizzazione e nella pianificazione, i quali ostacolano l'indipendenza.

- **Livello 2:** il soggetto presenta deficit marcati delle abilità di comunicazione sociale verbale e non verbale. Tali compromissioni sociali sono visibili anche in presenza di supporto. Per i soggetti di questo livello vi è un avvio limitato delle interazioni sociali e le reazioni agli stimoli sociali esterni sono ridotte ed anomale<sup>6</sup>. Sono frequenti, tanto da essere evidenti anche ad un osservatore casuale o sporadico, le inflessibilità di comportamento e le difficoltà nell'affrontare i cambiamenti o altri comportamenti ristretti/ripetitivi, e tali comportamenti interferiscono con il funzionamento in diversi contesti. Vi è un notevole disagio/difficoltà nel modificare l'oggetto dell'attenzione e l'azione.
- **Livello 3:** il soggetto presenta gravi deficit delle abilità di comunicazione sociale verbale e non verbale, i quali causano grandi compromissioni del funzionamento delle dinamiche relazionali e sociali, e si contraddistinguono per un avvio molto limitato delle interazioni sociali e reazioni quasi nulle alle aperture sociali da

---

<sup>5</sup> Per esempio, una persona che è in grado di formulare frasi complete e si impegna nella comunicazione, ma fallisce nella conversazione bidirezionale con gli altri, e i cui tentativi di fare amicizia sono strani e in genere senza successo.

<sup>6</sup> Per esempio, una persona che parla usando frasi semplici, la cui interazione è limitata a interessi ristretti e particolari e che presenta una comunicazione non verbale decisamente strana (cosa vuol dire "strana"?)

parte di altri<sup>7</sup>. Si verificano così inflessibilità di comportamento, estrema difficoltà nell'affrontare il cambiamento, e altri comportamenti ristretti/ripetitivi che però interferiscono in modo profondo con tutte le aree del funzionamento sociale, provocando, altresì, un grande disagio e una grande difficoltà nel modificare l'oggetto dell'attenzione o l'azione.

I criteri nosografici introdotti dal DSM-5 si distinguono da quelli precedenti poiché rispecchiano un approccio di tipo dimensionale, il quale permette di unire in una sola categoria tutti i disturbi precedentemente ritenuti sottogruppi dei Disturbi pervasivi dello sviluppo. Ciò aiuta e facilita in fase di diagnosi, e rispecchia al meglio la grande variabilità che contraddistingue questa categoria diagnostica.

Il termine autismo è stato introdotto primariamente nel 1911, da uno psichiatra elvetico, Eugen Bleuler, per descrivere una particolare forma di ritiro dal mondo causata però da un chiaro disturbo schizofrenico: l'etimologia è, come spesso capita, freudiana; Bleuler sottrae la parola Eros dal neologismo "autoerotismo", per ottenere la chiarificazione di una condizione di privazione, impedimento, assenza di scambi con il mondo esterno. Da quei primordi interpretativi passeranno oltre trent'anni perché si sviluppi un nuovo approccio alle dinamiche descritte da Bleuler, infatti la definizione di disturbo autistico, nella fattispecie riferito a undici pazienti bambini, nove maschi e due femmine, risale al 1943, ad opera di Leo Kanner<sup>8</sup>, in un articolo per la rivista *Nervous Child*. Kanner

---

<sup>7</sup> Per esempio, una persona con un eloquio caratterizzato da poche parole comprensibili, che raramente avvia interazioni sociali e, quando la fa, mette in atto approcci insoliti solo per soddisfare esigenze e risponde solo ad approcci sociali molto diretti.

<sup>8</sup> Psichiatra austriaco naturalizzato statunitense, nato nel 1894 e deceduto nel 1981, docente dal 1948 alla Johns Hopkins University di Baltimora, nel Maryland.

rivelò nei bambini un autismo infantile precoce, quello che ancora oggi è noto come autismo classico, e ne definì alcune caratteristiche base che si ripetevano con costanza:

- un potente desiderio di solitudine (isolamento autistico);
- un'ossessiva insistenza sull'uniformità persistente, concretizzantesi in un desiderio di ripetitività e dal comportamento ossessivo ed ansioso di ripetizione di linguaggio, azioni e abitudini quasi rituali;
- le isole di capacità, vale a dire una serie di capacità di dimostrata buona intelligenza mnemonica, fenomenica e numerica.

Secondo Kanner l'autismo deriva da fattori interpersonali psicodinamici e non cerca le cause biologiche, seppur dichiarando che l'autismo è un disturbo innato del contatto affettivo. In seguito molti psichiatri e ricercatori si sono interessati al fenomeno che nel tempo, però, ha visto sempre una difficile e vaga definizione globale e definitiva (Huang, 2020). Già nel 1944, in maniera indipendente da Kanner, il pediatra austriaco Hans Asperger descrisse casi simili in soggetti infantili e utilizzò il medesimo termine per definire bambini che presentassero una possibilità cognitiva minore o assente<sup>9</sup>. Egli notò come la sindrome si presentasse in età molto precoce, e ipotizzando una sua radice genetica nell'eziologia, notò come fosse presente una varia gradazione di stravaganza sociale (Rossi, 2010). Fu nel 1951 che Gilbert Lelord, medico francese, cominciò a

---

<sup>9</sup> Oggi, quindi, attraverso il concetto di *sindrome di Asperger* si intende una condizione di autismo non unito ad un ritardo mentale. Tale termine fu utilizzato e coniato originariamente dalla psichiatra inglese Lorna Wing, quando nel 1981 diede questo nome ad una sindrome presente in alcuni soggetti con difficoltà nelle interazioni sociali, che presentavano altresì alcuni schemi di comportamento ripetitivi e stereotipati, e nutrivano interessi per alcuni ambiti ristretti di attività; senza per questo avere singolarità di sviluppo ritardato di funzioni cognitive o fisiche. La Wing decise così di omaggiare Hans Asperger, il cui lavoro non fu pienamente riconosciuto fino agli anni novanta.

studiare la neurofisiologia dell'autismo, utilizzando delle tecniche di elettroencefalografia assieme agli allievi di Pavlov, sottolineando come si potessero notare delle notevoli differenze nella mappatura delle funzioni cerebrali tra soggetti normodotati ed autistici, come nel campo della associazione, della percezione e della formazione di riflessi condizionati<sup>10</sup>. La conferma definitiva della matrice biologica delle sindromi autistiche si ebbe con la pubblicazione dell'articolo di Bailey e colleghi nel 1995<sup>11</sup>, che confermava uno studio sui gemelli monozigoti e dizigoti, confermando così la componente genetica nella quasi totalità dei casi. Di lì a breve, nel 1997, fu così pubblicato negli Stati Uniti il “*Manuale di autismo e disturbi pervasivi dello sviluppo*” a cura di Cohen e Volkmar, che diventò il testo di riferimento universitario a livello continentale e presto internazionale<sup>12</sup>.

Nel 2001 fu pubblicato poi, a nome di molti esperti internazionali incaricati dall'US Department of Education, un manuale di linee guida sull'autismo, che indicava l'approccio psicoeducativo come il modello esemplare di presa in carico dei soggetti

---

<sup>10</sup> Il lavoro di Lelard non fu riconosciuto e lo stesso fu duramente contestato negli anni successivi, anche nel 1985 quando neuropsichiatri francesi, seguaci delle teorie psicodinamiche, negavano la base organica dell'autismo a scapito di una teoria che metteva in primo piano la inadeguatezza della figura materna.

<sup>11</sup> Bailey, A., Le Couteur, A., Gottesman, I., Bolton, P., Simonoff, E., Yuzda, E., & Rutter, M. (1995). Autism as a strongly genetic disorder: evidence from a British twin study. *Psychological medicine*, 25(1), 63–77. <https://doi.org/10.1017/s0033291700028099>.

<sup>12</sup> Sarà però tradotto in Italia solo nel 2004 dalla casa editrice Vannini, con il titolo “Autismo e disturbi generalizzati dello sviluppo”. Nella presentazione dell'opera a cura di Paolo Moderato, già professore di psicologia dell'Università di Parma, si sottolinea come le teorie psicodinamiche sull'eziopatogenesi dell'autismo siano state spazzate via dalle evidenze provenienti dalla ricerca genetica, e come di autismo non si possa guarire, sebbene un intervento efficace sia fondamentale per migliorare sia la vita delle persone con questo disturbo sia quelle dei loro familiari.

autistici e da allora le conclusioni del manuale rispecchiano gli elementi principali che hanno il consenso dei maggiori esperti (Lord, & al., 2001).

### 1.2.1 La diagnosi

L' American Psychiatric Association pubblica il manuale DSM (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) già dal 1952; se le prime due edizioni non avevano criteri diagnostici, dal DSM-III in poi il sistema diagnostico ha rappresentato una grossa novità perché ha creato una concezione della psicopatologia di tipo strettamente descrittivo e ateorico, fallendo però nel compito di formulare diagnosi valide, pur innalzando notevolmente la sua attendibilità (Migone, 2013). Rimane però comunque fondamentale il passo prodotto dal DSM-III e dalla sua revisione DSM-III R, pubblicati nel 1980 e 1987, poiché stabilirono per la prima volta l'autismo con una propria diagnosi separata descrivendolo come un disturbo pervasivo dello sviluppo che era distinto dalla schizofrenia. Il manuale definiva tre caratteristiche essenziali per produrre una diagnosi di autismo, tutte sviluppate nei primi 30 mesi di vita:

- mancanza di interesse per il prossimo;
  - problematiche visibili e chiare, di gravità notevole, nella comunicazione;
  - risposte stravaganti e rapporti spaziali straniati rispetto all'ambiente
- (Cocco, 2020).

Il tipo di diagnosi mutò poi a seguito degli studi prodotti e delle evidenze scientifiche che nel tempo si svilupparono (Frith, 1992; Anderson et al., 1990; Kemper & Baumann, 1993) e il DSM-IV, pubblicato nel 1994 e rivisto nel 2000, fu la prima edizione a classificare l'autismo come spettro. Questa versione del manuale elencava cinque

condizioni per la definizione della diagnosi di disturbo dello spettro autistico, tutte con caratteristiche distinte:

- autismo;
- Il disturbo generalizzato dello sviluppo non altrimenti specificato (Pervasive developmental disorder not otherwise specified: PDD-NOS);
- disturbo di Asperger;
- disturbo disintegrativo dell'infanzia (CDD), il quale si caratterizza per delle gravi regressioni nel processo di sviluppo del bambino;
- sindrome di Rett, la quale influenza sia il movimento che la comunicazione, e si manifesta soprattutto in soggetti di sesso femminile (DSM-IV, 1994, 2000).

La rottura diagnostica che presenta questo tipo di approccio sta nel fatto che, confermando la privazione di qualsiasi teorizzazione preventiva, esso ha fatto eco all'ipotesi delle ricerche del momento che confermavano pienamente come l'autismo fosse di matrice genetica e che ciascuna di queste categorie necessitasse di un collegamento con trattamenti specifici e definizioni singole (Cocco, 2020).

Negli anni successivi, fino alla redazione del DSM-V, del 2013, furono compiuti numerosi tentativi di ricerca che si proponevano di trovare i geni che producessero le condizioni dell'autismo (Muhle, & al., 2004). L'identificazione di circa un centinaio di alleli specifici che contribuiscono allo spettro autistico ha fornito pezzi importanti per il puzzle dell'autismo, e inoltre, data la quantità di prove a sostegno di un contributo significativo dei fattori ambientali al rischio di autismo, era allora chiaro che la ricerca di fattori ambientali dovesse essere rafforzata (Chaste, & al., 2012). Si è definitivamente



accettato così che l'autismo non è una singola malattia ma una sindrome con molteplici cause non genetiche e genetiche, ed è nata così l'idea di definizione di *disturbi dello spettro autistico* (ASD): fatta eccezione per la sindrome di Rett, attribuibile nella maggior parte degli individui affetti a mutazioni del gene della proteina legante il metile-CpG 2 (MeCP2), gli altri sottotipi di ASD (disturbo autistico, disturbo di Asperger, disturbo disintegrativo e PDD non altrimenti specificato) non sono collegati a nessuna causa genetica troppo specifica o non genetica, e dalle revisioni di testi e articoli si possono ricavare importanti prove del fatto che l'autismo sia conseguenza di una interazione di più fattori genetici (Muhle, & al., 2004). La revisione di tutti i più importanti libri di testo sull'autismo e di articoli pubblicati tra il 1961 e il 2003 fornisce prove convincenti dell'interazione di più fattori genetici come principali determinanti causali dell'autismo<sup>13</sup>. L'autismo è frequente nella sclerosi tuberosa complessa e nella sindrome dell'X fragile, ma questi due disturbi rappresentano solo una piccola minoranza di casi. Attualmente, condizioni mediche diagnosticabili, anomalie citogenetiche e difetti di un singolo gene (come il complesso della sclerosi tuberosa, la sindrome dell'X fragile e altre malattie rare) rappresentano insieme meno del 10% dei casi. Ci sono prove convincenti che l'autismo "idiopatico" è un disturbo ereditario (Muhle, 2004). Quindi, nella redazione del DSM-V, gli esperti hanno convenuto che fosse migliore un approccio più generale che inserisse nella diagnosi di autismo disturbi diversi, da lievi a gravi. Le preoccupazioni dovute alla mancanza di coerenza nel modo di affrontare i diversi stati, anche dal punto di vista clinico, e quella per il picco di

---

<sup>13</sup> Diversi studi epidemiologici indicano che fattori ambientali come esposizioni tossiche, teratogeni, insulti perinatali e infezioni prenatali come la rosolia e il citomegalovirus rappresentano pochi casi, e non danno alcuna conferma sulla vaccinazione morbillo-parotite-rosolia come responsabile dell'aumento dell'autismo. L'epilessia, la condizione medica più altamente associata all'autismo, ha cause genetiche/non genetiche altrettanto complesse (ma per lo più sconosciute).

prevalenza dell'autismo degli anni 2000, che suggeriva come i medici potessero essere influenzati dalle pressioni familiari per una particolare diagnosi, hanno condotto alla ben nota definizione di disturbi di spettro: con due caratteristiche essenziali, già ricordate, di disturbo persistente nella comunicazione e interazione sociale e schemi di comportamento limitati e ripetitivi presenti dalla prima infanzia (Cocco, 2020). E' altresì vero che il DSM-V ha incluso comportamenti specifici in ogni categoria, ma ha eliminato alcune sindromi specifiche nel livello autismo (Asperger e Rett primariamente), includendo le diagnosi di disturbo della comunicazione per includere bambini con problemi linguistici e sociali. Tali diagnosi di categoria sono state implementate con la divisione a tre livelli di gravità come già ricordato nel primo capitolo di questo lavoro (Bhat, 2020).

A seguito di tutto ciò che si è proposto a livello teorico è possibile affermare che, ad oggi, la diagnosi di autismo seguita nella maggior parte del globo richiede la presenza di un numero fisso e una compresenza di caratteristiche per una diagnosi, la quale deve essere eseguita in strutture specializzate riconosciute dal Sistema Sanitario Internazionale, seguendo appunto la griglia dei criteri del DSM-V<sup>14</sup> (Cocco, 2020). La diagnosi funzionale, poi, completa il percorso del soggetto, sotto la attenzione clinica

---

<sup>14</sup> Esso non è l'unico strumento riconosciuto a livello internazionale, ma ampiamente il più diffuso. Il suo utilizzo va di pari passo, soprattutto nei paesi anglosassoni, con quello della ICD, arrivata ad oggi alla undicesima edizione (2018 per la stesura, 2022 per la entrata in vigore), che è la "Classificazione Internazionale delle malattie" (International Classification of Diseases), fatta su basi teoriche e diagnostiche proposte dalla Organizzazione Mondiale della Sanità. L'ICD non richiede combinazioni di criteri per la diagnosi, ma elenca le caratteristiche che devono avere i disturbi, consentendo una interpretazione dei clinici sulla corrispondenza. In essa si possono trovare criteri più ampi, atti all'utilizzo globale, e una minore componente culturale specifica (Cocco, 2020); inoltre, per quanto riguarda i disturbi dello spettro autistico, L'ICD-11 esercita una forte distinzione tra individui con e senza disabilità, mettendo in luce il mascheramento che soggetti più anziani possono mettere in pratica sui tratti dell'autismo.

globale di una équipe multifunzionale, la quale ha anche il compito di definire il percorso successivo alla diagnosi, tramite un percorso terapeutico riabilitativo che include interventi di una équipe multi professionale composta da:

- neuropsichiatra;
- psicologo;
- terapeuta della neuropsicomotricità;
- logopedista;
- educatore (Valkanova, & al., 2013).

Spesso tale diagnosi avviene in età infantile, rendendo tale percorso ancora più articolato, per le difficoltà di intraprendere una corretta valutazione comportamentale dai diversi punti di vista: cognitivo, comunicativo, sociale ed emotivo del bambino, e si svolge nel tempo anche con incontri dedicati ai genitori, nei quali si conoscano le reciproche emotività e competenze, inquadrando anche il comportamento del bambino in diversi ambienti e in relazione al suo adattamento; e con incontri dedicati al bambino, che possano approfondire le caratteristiche del fenomeno tramite molte indagini (cfr. Baird, 2001; Kodak, & al., 2020):

- l'esame obiettivo e neurologico per escludere altre patologie e per valutare l'integrità delle strutture nervose centrali;
- la verifica dei parametri auxologici;
- la verifica dei parametri audiometrici;
- eventuali analisi genetiche e metaboliche;
- l'esame comportamentale, in più giorni, per verificare i comportamenti e codificarli nelle griglie di diagnosi, per verificare le competenze

cognitive e linguistiche, per valutare lo sviluppo emotivo e il profilo funzionale di abilità quotidiane e di adattamento (Lai, & al., 2014)<sup>15</sup>.

E' necessario notare come sia divenuta sempre più rilevante l'importanza della prima descrizione clinica dell'autismo in età precoce, ed esistono notevoli ambiti di miglioramento in questo settore (Bhat et al., 2014), anche perché la ricerca clinica ha notato come sia sempre più efficace la consistenza degli eventi terapeutici se la diagnosi avviene in età precoce (Baron – Cohen, & al., 2000). Per sfruttare queste possibilità occorre aumentare le consapevolezza dei genitori, dei professionisti dell'infanzia e della scuola all'attenzione dello sviluppo sociale, comportamentale e cognitivo dell'età evolutiva; esattamente come va aumentato il coinvolgimento dei medici pediatri di base a livello locale, al fine di poter avere un più capillare programma di sorveglianza dell'età prescolare (Cocco, 2020).

Nel caso di diagnosi effettuate in età adulta, la ricerca è stata storicamente scarsa, mettendo questi individui in una posizione svantaggiata dal punto di vista della salute mentale e fisica (Howlin, & al., 2012); anche secondo uno studio di Croen del 2015, gli adulti che soffrivano di disturbi dello spettro autistico nutrivano anche tassi notevolmente aumentati di disturbi della sfera psichiatrica come ansia e depressione, disturbi ossessivi-compulsivi e bipolari, oltre ad un tasso percentualmente più alto di tentativi di suicidio<sup>16</sup>. All'autismo in età adulta si associa più costantemente una

---

<sup>15</sup> Alcuni strumenti standard maggiormente accreditati sono: Autism Diagnostic Interview. Revised (ADI-R); Lord C. et al, 1994; Childhood Autism Rating Scale (CARS); Schopler, E., Reichler, R.J. & Renner, B.R. 1988. Childhood Autism Rating Scale. Los Angeles:WPS. Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS); Lord C. et al. 2000.

<sup>16</sup> Ma anche maggiori malattie come disturbi gastrointestinali, disturbi del sonno, diabete e malattie immunitarie ed autoimmuni.

disabilità fisica e/o intellettiva, e ciò produce un isolamento sociale e sanitario (Brugha, 2011), anche perché sono spesso correlati con l'autismo danni collaterali come disoccupazione e disinteresse, e quindi si dovrebbe sempre raccomandare, a seguito della diagnosi, primariamente un programma di apprendimento individuale o di gruppo per migliorare l'interazione sociale.

### *1.2.3 Gli interventi*

Anche solo sfogliando sommariamente le banche dati delle ricerche in tema di terapie legate all'autismo è facile notare come non sia possibile individuare un singolo intervento esclusivo e specifico per il disturbo, a causa essenzialmente della complessità estremamente varia dei sintomi ai quali si cerca di rispondere. E' altresì evidente come il percorso della terapia debba evolversi nel tempo, adattandosi alle diverse evoluzioni della sindrome, modulandosi nei cambiamenti in itinere.

Per illustrare la varietà delle possibili terapie utilizzate nel trattamento dell'autismo, vale la pena esaminare una serie di studi che coprono diverse modalità terapeutiche. Ad esempio, uno studio condotto da Kashefimehr e collaboratori nel 2018 ha indagato gli effetti della Terapia di Integrazione Sensoriale (Sensory Integration Therapy, SIT) su vari aspetti delle performance occupazionali nei bambini autistici. Si tratta di un approccio che mira a migliorare la capacità del bambino di elaborare le informazioni sensoriali, il che a sua volta può aiutare a migliorare le abilità motorie, comportamentali e sociali. Questo tipo di terapia può includere una varietà di attività progettate per stimolare i sensi, come giochi che coinvolgono il tatto, l'equilibrio, il movimento e la coordinazione.

Lo studio di Kashefimehr ha esaminato gli effetti della SIT utilizzando due misure standardizzate, la Short Sensory Profile (SP) e la Sensory Processing Measure (SPM), o come viene indicato nel testo, SCOPE. La SP è una misura delle risposte sensoriali del bambino, mentre la SPM (o SCOPE) valuta la percezione sensoriale del bambino in vari contesti, tra cui la casa e la scuola.

Nel corso dello studio, si è osservato un miglioramento significativo in tutti i domini della SPM e della SP, suggerendo che la SIT può avere effetti positivi su una serie di aree di funzionamento. Tuttavia, non sono stati osservati miglioramenti significativi nei domini "reazioni emotive" e "risposte emotive/sociali", indicando che la SIT potrebbe non essere altrettanto efficace nel trattare le difficoltà emotive e sociali dei bambini autistici.

Questi risultati dimostrano l'importanza di un approccio terapeutico personalizzato e multi-dimensionale per il trattamento dell'autismo. Mentre la SIT può essere efficace nel migliorare alcuni aspetti delle funzioni sensoriali e motorie, possono essere necessari altri interventi terapeutici per affrontare le sfide sociali ed emotive che molti bambini autistici affrontano. Questo può includere, ad esempio, terapie comportamentali, di gioco, o terapie basate sulle abilità sociali, a seconda delle esigenze individuali del bambino (Kashefimehr, & al., 2018). 3

Il percorso terapeutico di parent training, con l'attivazione di una serie di interventi finalizzati ad arricchire l'interazione sociale, anche con il coinvolgimento attivo dei genitori e il continuo adattamento al contesto ambientale più conosciuto dai bambini, dà soddisfazione al nucleo familiare, empowerment e benessere emotivo, ma soprattutto incide a livello comunicativo (Ijaz, & al., 2021).

La musicoterapia, cioè il trattamento che prevede il consapevole utilizzo degli interventi melodici per ottenere miglioramenti clinici, stimolando entrambi gli emisferi del cervello, è divenuta una applicazione terapeutica fondamentale dell'autismo, con i professionisti che veicolano le informazioni tramite specifiche particolari, per permettere un giusto apprendimento e miglioramento. I soggetti con disturbi dello spettro autistico hanno molta sensibilità per le variazioni melodiche, e stimolando il rilascio della dopamina, la musica consente di rinforzare i loro comportamenti positivi. La musicoterapia consente anche di mantenere alto il tasso di concentrazione dei bambini, procurando loro maggiori informazioni (Sharda, 2019).

Non esiste validazione specifica dell'uso di farmaci per combattere i disturbi dello spettro dell'autismo, anche se talvolta può emergere la necessità di ricorrere a una terapia per affrontare diversi casi sintomatici (Sharma, & al., 2018)<sup>17</sup>. Ne sono un esempio i disturbi psichiatrici che spesso accompagnano tale condizione, come ansia o depressione, per i quali l'utilizzo di terapia farmacologica può essere necessario ma porta con sé effetti indesiderati come aumento di peso, problemi al cuore, tremori; oppure, altro esempio può essere l'epilessia o altri effetti neurologici che richiedono una terapia farmacologica (Lang, & al., 2010).

Per la maggior parte dei disturbi psichiatrici, attualmente, la prima scelta a livello terapeutico è un approccio cognitivo-comportamentale o socio comportamentale (Sharma, & al., 2018)<sup>18</sup>. Gli interventi di tipo psicologico ed educativo per i disturbi dello spettro autistico, fanno riferimento a una cornice teorica di questo stampo ed

---

<sup>17</sup> I trattamenti farmacologici comprendono psicostimolanti, antipsicotici atipici, antidepressivi e agonisti dei recettori alfa-2 adrenergici. Questi farmaci forniscono un sollievo sintomatico parziale dei sintomi principali dell'ASD o gestiscono i sintomi delle condizioni di comorbidità.

<sup>18</sup> Ciò risulta anche da una analisi delle Practice Guidelines dell'A.P.A. secondo l'Evidence Based Medicine, e delle Linee Guida sull'autismo del SSN.

hanno il fine di tentare di modificare il comportamento generale per renderlo funzionale ai compiti primari della vita giornaliera, riducendo al minimo i comportamenti fortemente disfunzionali (White, 2004; Sofronoff et al. al., 2007). La grande maggioranza di tali interventi si basa sulla tecnica ABA per l'autismo (Applied Behavioural Analysis). Il metodo ABA per l'autismo interviene sulle competenze cognitive, linguistiche e di adattabilità (James, & al., 2017). Un altro tipo di intervento si basa sul Denver Model, soprattutto nella sua declinazione relativa ai bambini, Early Start Denver Model (ESDM); tale modello individua, nelle caratteristiche peculiari di ogni bambino, e nelle sue preferenze, la leva per creare il progetto riabilitativo. Una revisione degli studi di Fuller (et al., 2020) è stata condotta per esaminare l'efficacia del Modello di Intervento Precoce per i Disturbi dello Spettro Autistico (Early Start Denver Model, ESDM). Questa è un'approccio terapeutico completo per bambini molto giovani con disturbi dello spettro autistico che incorpora metodi da diversi approcci terapeutici, con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo cognitivo e sociale. Il termine "g" nel contesto di questo studio si riferisce alla grandezza dell'effetto, un termine statistico che descrive la forza o l'importanza di una particolare variabile o intervento. Un valore di "g" più elevato indica un effetto più forte. In questo caso, un "g" di 0,412 per la cognizione e un "g" di 0,408 per il linguaggio suggeriscono che l'ESDM ha avuto un impatto positivo su queste aree di sviluppo.

Tuttavia, lo studio non ha riscontrato effetti significativi dell'ESDM sulla sintomatologia dell'autismo, sul comportamento adattivo, sulla comunicazione sociale o sui comportamenti restrittivi e ripetitivi. Questo indica che, sebbene l'ESDM possa migliorare alcuni aspetti dello sviluppo cognitivo e linguistico, potrebbe non essere efficace nel trattare tutti i sintomi o le caratteristiche associate all'autismo.



L'ESDM è stato trovato particolarmente utile per i casi di autismo lieve, come la sindrome di Asperger o l'autismo ad alto funzionamento. Inoltre, si è dimostrato efficace per il trattamento di problemi collaterali, come la rabbia e i disturbi d'ansia e dell'umore. Questo suggerisce che l'ESDM può essere una componente preziosa di un approccio terapeutico più ampio per l'autismo, in particolare per coloro con sintomi lievi o specifici problemi di comportamento o emotivi. Infatti, tale terapia è particolarmente indicata anche per il trattamento della rabbia e per i disturbi d'ansia e dell'umore, nel senso che si possono trattare anche questi, perché possono presentarsi in comorbilità all'autismo.

La ricerca di Fuller e colleghi sottolinea l'importanza di personalizzare le terapie in base alle esigenze specifiche di ciascun individuo con autismo. Mentre l'ESDM può essere efficace per migliorare alcuni aspetti dello sviluppo, potrebbero essere necessarie altre terapie o interventi per affrontare i sintomi o i problemi specifici di ciascun individuo. La loro ricerca sottolinea l'importanza della continua ricerca e innovazione nell'ambito delle terapie per l'autismo (Wood, & al., 2020).

Un intervento cognitivo-comportamentale o socio-comportamentale, più atto alla stimolazione dei corretti rapporti con il prossimo, si può dividere in diverse parti:

- la valutazione del grado del disturbo;
- l'educazione emotiva;
- la ristrutturazione cognitiva;
- la gestione dello stress;
- l'automonitoraggio;
- la programmazione delle attività per esercitarsi e mettere in pratica le nuove strategie e abilità cognitive (Ferri, & al., 2020).

Una parte essenziale della terapia consta nell'insegnamento delle abilità di comportamento, delle competenze cognitive, delle procedure di comprensione e gestione delle proprie emozioni, anche al fine di modificare i pensieri e i comportamenti che causano stati emotivi negativi come quelli precedentemente spiegati (Ferri, & al., 2020).

### 1.3 Teorie interpretative della sindrome autistica

Attualmente esistono cinque principali teorie riguardo alle possibili cause alla base del disturbo dello spettro autistico.

- **Teoria della coerenza centrale debole:** formulata da Frith<sup>19</sup> e colleghi nel 1994, in seguito ad uno studio su famiglie con un figlio con diagnosi di disturbo dello spettro autistico, dislessia o nessuna diagnosi<sup>20</sup>. Con il termine *coerenza centrale* ci si riferisce alla capacità di analizzare in modo coerente, coeso, logico e ricco di significato il mondo circostante e

---

<sup>19</sup> Uta Frith è Professoressa Emerita di Sviluppo Cognitivo presso l'UCL Institute of Cognitive Neuroscience, e Professoressa associata presso l'Università di Aarhus, Danimarca; Francesca Happé è Professoressa di Neuroscienze Cognitive presso il MRC Social, Genetic and Developmental Psychiatry Center presso l'Istituto di psichiatria del King's College, London. Ha studiato psicologia sperimentale a Oxford e ha conseguito il dottorato di ricerca sull'autismo all'UCL (però Happé non è citata nel testo)

<sup>20</sup> Prima di effettuare l'esperimento i ricercatori hanno verificato con le scale WISH-III e WAIS-R che non vi fossero differenze significative nel livello di quoziente intellettivo dei genitori e fratelli dei soggetti con autismo e dislessia. Partendo da questa certezza, lo studio ha utilizzato poi quattro diversi test (disegno con cubi segmentati e non segmentati, test delle figure incorporate EFT, illusioni visive e completamento di frasi) per verificare la coerenza centrale sia nei soggetti con diagnosi che nei loro parenti stretti.

gli stimoli da esso provenienti. Ciò che risulta dall'analisi dei dati ricavati nell'esperimento è che nei genitori dei bambini con autismo si riscontra un approccio diverso nell'affrontare compiti cognitivi; la differenza principale è stata trovata nei padri. Nel lavoro di disegno con cubi non segmentati essi hanno mostrato una performance migliore dei padri di figli con dislessia e di quelli del gruppo di controllo, ma nel lavoro con cubi segmentati il risultato si è rivelato diverso, e ciò mostra che non si trae alcun vantaggio nella segmentazione prioritaria dei cubi. L'importanza di questa primaria suddivisione nasce dal fatto che essa testa la capacità visuo-motoria dei soggetti analizzando la loro abilità nel passaggio da un'immagine bidimensionale ad una tridimensionale, capacità alla base della flessibilità cognitiva che contraddistingue i soggetti neurotipici. Anche nel compito di riconoscimento di figure nascoste, i padri di figli con autismo hanno mostrato tempi di reazione significativamente inferiori agli altri due gruppi. Interessante notare come tale attitudine sia stata rivelata di vitale importanza in un ulteriore studio di Lee e colleghi del 2007; in esso è stata trovata un'attivazione neurale diversa nei bambini con autismo rispetto al gruppo di controllo durante l'esecuzione del compito, di riconoscimento di figure nascoste: nei bambini del gruppo di controllo le attivazioni riguardavano le regioni premotorie dorso laterale, mediale e dorsale di sinistra, diversamente dai bambini con autismo in cui si riscontrava un'attivazione solo nella regione premotoria dorsale. Per ciò che concerne il compito delle illusioni visive si è trovato che i padri del gruppo autismo commettevano

meno errori degli altri gruppi e nel compito di completamento di frasi entrambi i genitori dei bambini con autismo avevano una performance scarsa, definita tale in base ad errori nel completamento che rendevano la frase poco coerente e in base al tempo necessario per lo svolgimento del compito. La performance mostrata nei quattro compiti dai genitori, specialmente dai padri, dei soggetti con disturbo dello spettro autistico, sono tutti indici di una debole coerenza centrale.

- ***Teoria del Modello di Aumento Percettivo:***

La teoria del Modello di Aumento Percettivo è stata formulata come risposta alle incongruenze e alle mancanze di dati precisi che si trovavano nella precedente teoria della Coerenza Centrale Debole. Questa ultima teoria, studiata da Mottron in numerosi lavori del 2003 e da Ozonoff nel 2006, proponeva che esistesse un deficit nell'elaborazione globale delle informazioni. Secondo la Teoria del Modello di Aumento Percettivo, invece, non si tratta di un deficit nell'elaborazione globale, ma piuttosto di una preferenza per l'elaborazione locale delle informazioni, ovvero una tendenza a concentrarsi sui dettagli invece che sulla "grande immagine". Questa teoria sostiene che, quando viene richiesta un'azione o un compito specifico, la capacità di elaborare globalmente non risulta compromessa. Questa teoria ha ricevuto sostegno da vari studi successivi, come quelli di Mottron et al. (2006), Wang et al. (2007) e Etherton et al. (2011). Inoltre, la teoria del Modello di Aumento Percettivo pone una particolare enfasi sulla capacità di rilevare schemi nell'ambiente. In altre parole, si sostiene che l'individuo ha una

particolare abilità nel notare modelli o schemi che potrebbero essere trascurati in un'elaborazione più globale o generale delle informazioni. Questo può portare a una maggiore comprensione di particolari aspetti o dettagli dell'ambiente circostante. Tale teoria riconosce l'aspetto atipico dei processi cognitivi e percettivi di questi soggetti, sottolineando il potenziamento di alcuni livelli e non gli aspetti di essi che si rivelano maggiormente deficitari (Rollo, 2020).

- **Teoria del deficit della teoria della mente (TOM):** il termine è stato coniato da Woodruff e Premack nel 1979 col significato di “*continua attività di attribuzione agli altri di stati mentali come credenze, desideri, inganni, scopi e così via, nonché la capacità di intendere, spiegare e predire il comportamento altrui come governato da tali stati intenzionali*” (Ballerini et al. 2006). La teoria della mente procede secondo una chiara sequenza evolutiva fino a divenire completa intorno ai sette anni d'età: a due anni si ha uno stadio di *psicologia del desiderio* per cui i bambini hanno una comprensione della mente incentrata per lo più sui desideri; a tre anni si passa ad uno stadio di *psicologia del desiderio/credenza* (Wellman & Bartsch, 1994) in cui il bambino inizia ad avere delle credenze ed opinioni sul mondo reale e comprende che le azioni derivano da queste ultime; a quattro anni si arriva allo stadio di *falsa credenza di primo ordine* (Wimmer & Perner, 1983) per cui il bambino capisce che i comportamenti delle altre persone possono fondarsi su credenze sbagliate rispetto alla realtà; l'ultimo stadio prende il nome di *falsa credenza di secondo ordine* (Wimmer, & Perner, 1985) e

si riferisce ad “[...] *un pensiero ricorsivo più complesso e sofisticato in cui una metarappresentazione è inclusa in un'altra*” (Castelli, Lecciso & Pezzotta, 2003). Bambini che non rispettano questi stadi evolutivi della TOM possono essere a sviluppo atipico. Il paradigma sperimentale con cui si indaga la presenza di eventuali deficit teoria della mente è il *compito di falsa credenza dello spostamento inatteso*. Messo a punto da Wimmer e Perner nel 1983 è ora uno dei principali paradigmi sperimentali nell'ambito dei disturbi del neurosviluppo. Il testo del compito propone due personaggi, un bambino di nome Maxi e la sua mamma. Al soggetto sperimentale viene raccontata una breve fiaba il cui contenuto fa riferimento al fatto che Maxi, mentre la mamma lo guarda, colloca un pezzo di cioccolato all'interno di un mobile in cucina e poi si allontana. Mentre Maxi non guarda, la mamma prende il pezzo di cioccolato e lo sposta in un altro mobile. Poi Maxi torna. Naturalmente Maxi non sa che il cioccolato è stato spostato e dunque lo cercherà dove lo aveva messo l'ultima volta. È proprio questa la domanda che viene posta al soggetto sperimentale: “Maxi dove cercherà la cioccolata?”. All'età di quattro anni circa più della metà dei soggetti sperimentali riescono a rispondere correttamente alla domanda. L'ipotesi di Baron-Cohen<sup>21</sup>, formulata nel 1985, sostiene che bambini con diagnosi di disturbo dello spettro autistico non riescano a risolvere adeguatamente il

---

<sup>21</sup> Simon Baron-Cohen (1958) è uno psicologo britannico, professore di psicopatologia dello sviluppo presso il dipartimento di psichiatria e psicologia sperimentale e direttore del Centro di ricerca sull'autismo dell'Università di Cambridge. E' inoltre membro del Trinity College (questo pezzo di testo deve stare nella pagina precedente)

compito di falsa credenza dello spostamento inatteso, e denominano tale deficit come *cecità mentale*. Questi bambini saranno propensi a rispondere che Maxi cercherà il cioccolato dove loro hanno visto che è realmente, mostrando di non saper attribuire al personaggio della storia un pensiero coerente. Baron-Cohen e Uta Frith idearono un nuovo compito di falsa credenza dal nome “Sally and Anna task” (citaz.). In questo nuovo compito la narrazione parlata veniva accompagnata da una piccola messa in scena con l’utilizzo di bambole. Anche in questa nuova versione del compito i bambini di quattro anni con autismo, rispetto ai bambini a sviluppo tipico, non riuscivano a rispondere correttamente. Come affermano nel loro articolo Christopher Donald Frith e Uta Frith *“le conseguenze di un fallimento della mentalizzazione sono gravi e si manifestano in una mancanza di socialità e difficoltà di comunicazione”* (Frith & Frith, 1999). Secondo tali autori sarebbe proprio un deficit nella teoria della mente e nei suoi precursori alla base del disturbo dello spettro autistico.

- ***Teoria del deficit delle funzioni esecutive:*** le funzioni esecutive riguardano la capacità di *“[...] pianificazione, controllo, monitoraggio, coordinamento ed esecuzione di azioni e di sequenze di azioni finalizzate. Processi che richiedono un’integrità funzionale dei lobi frontali”* (Ballerini et al. 2006). Secondo il modello delle funzioni esecutive di Miyake e colleghi, del 2000, queste ultime sono suddivisibili in flessibilità cognitiva, inibizione delle risposte inadeguate e revisione continua delle informazioni all’interno della memoria di lavoro. Nei

soggetti con autismo le tre funzioni sopra citate sono deficitarie<sup>22</sup>: essi hanno una difficoltà estrema nel far fronte ai cambiamenti, tale per cui anche una piccola variazione nella routine quotidiana può essere per loro fonte di grande disagio. Questo è un chiaro segnale di una scarsa flessibilità cognitiva e di una incapacità ad adattarsi a nuovi contesti. Per quanto concerne l'inibizione di stimoli irrilevanti o di risposte inadeguate, i soggetti con autismo hanno scarse abilità nell'autocontrollo: non è raro che riscontrino grandi difficoltà nel mantenimento dell'attenzione sul compito principale o sul target dell'attenzione condivisa. La loro attenzione è spesso catturata da stimoli inusuali e altrettanto frequentemente accade che non siano in grado di inibire risposte o comportamenti inadeguati alla situazione. Come spiega Sally Ozonoff (1995), gli stessi deficit trovati in soggetti con autismo sono stati riscontrati anche in persone che hanno riportato una lesione ai lobi frontali. Uno dei primi studi sulla relazione tra funzioni esecutive ed autismo è quello compiuto da Rumsey e colleghi nel 1985: egli somministrò il WCST (Wisconsin Card Sorting Test) ad uomini adulti con autismo e ad un gruppo di controllo. Il test è stato messo a punto per indagare la capacità di ragionamento astratto e la flessibilità nel cambiare le strategie cognitive in base alle richieste esterne ed al contesto e viene considerato una buona misura delle funzioni esecutive. Ciò che Rumsey

---

<sup>22</sup> Proprio la funzione strategica e adattiva delle funzioni esecutive le pone alla base della flessibilità cognitiva dei soggetti, permettendo la correzione e l'interruzione di sequenze di azioni già avviate, arricchendo il patrimonio comportamentale dei soggetti che altrimenti si ridurrebbe ad azioni stereotipate e ripetitive.



osservò fu che la performance del gruppo di soli uomini con autismo si rivelò fortemente inferiore a quella del gruppo di controllo a causa di un rigido perseverare delle medesime strategie cognitive in contesti differenti. In studi successivi egli trovò che anche la performance in un compito di pianificazione e svolgimento di un'azione era inferiore nel gruppo autismo rispetto al gruppo di controllo. Altri studi sono stati fatti su soggetti con età inferiore: Prior e Hoffman (cit.) furono i primi a studiare le funzioni esecutive in bambini con autismo. Oltre al Wisconsin Card Sorting Test, essi somministrarono ai bambini anche il Maze test, ovvero un compito non verbale che indaga la capacità di pianificazione e avvedutezza dei soggetti. I risultati mostrarono deficit nella pianificazione e nell'uso del feedback in modo flessibile; i soggetti autistici avevano difficoltà ad apprendere dagli errori e perseveravano nell'utilizzo di strategie sbagliate o disadattive molto a lungo (Ozonoff, 1995).

- ***Teoria del deficit del sistema dei neuroni specchio:*** i neuroni specchio sono stati scoperti da un team di scienziati italiani dell'Università di Parma alla fine degli anni '90 su una specie di primati, il macaco, che è una specie sociale. La proprietà principale di questi neuroni consiste nell'attivarsi sia quando la scimmia esegue un atto motorio sia quando osserva lo stesso atto svolto da un altro individuo (Di Pellegrino et al. 1992; Gallese et al. 1996). E' stato proposto che il meccanismo codificato da questi neuroni sia alla base della comprensione automatica delle azioni degli altri. I neuroni "specchio" sono stati identificati in

diverse regioni del cervello e sembrano avere un ruolo significativo non solo nella comprensione delle azioni altrui, ma anche nell'apprendimento per imitazione e nella comprensione delle intenzioni e delle emozioni altrui. Nel 2001, Williams et al. hanno avanzato un'ipotesi interessante che cerca di spiegare le fondamenta della sindrome autistica. Secondo loro, la problematica fondamentale potrebbe risiedere in una difficoltà nell'imitazione, che a sua volta potrebbe derivare da un'anomalia del sistema specchio. Se la teoria di Williams et al. fosse corretta, un malfunzionamento del sistema specchio potrebbe contribuire a molte delle caratteristiche comuni dell'autismo, come le difficoltà nella comunicazione sociale, la mancanza apparente di empatia, la resistenza al cambiamento e le difficoltà nell'apprendimento attraverso l'imitazione<sup>23</sup>. I deficit sociali, che sono caratteristici dell'autismo, potrebbero essere ricondotti ad un ipofunzionamento del sistema specchio, che non permetterebbe all'individuo di rispecchiarsi nell'altro e di avere così una chiara comprensione (anche e soprattutto a livello di risposta temporalmente immediata) esperienziale delle azioni altrui, privandolo così della possibilità di arrivare alla consapevolezza e alla creazione di un senso per il proprio mondo; tale teoria è detta *teoria degli specchi infranti* (Ramachandran). In accordo con la teoria di Williams et al., studi successivi hanno mostrato anomalie nel sistema specchio nelle persone autistiche, anche se il ruolo esatto di queste anomalie e la loro relazione con i sintomi dell'autismo rimangono oggetto di intenso

---

<sup>23</sup> Williams JH, Waite GD, Gilchrist A, et al. Neural mechanisms of imitation and "mirror neuron" functioning in autistic spectrum disorder. *Neuropsychologia* 2006;44:610-21

dibattito scientifico. Secondo la teoria di Williams et al., un intervento terapeutico efficace si potrebbe concentrare sul rafforzamento delle capacità imitative attraverso l'uso di tecniche specifiche che mirano a stimolare l'attività del sistema specchio. Questo potrebbe coinvolgere terapie che utilizzano l'imitazione come mezzo principale di apprendimento, oppure approcci più diretti come la terapia occupazionale per migliorare la coordinazione motoria e le abilità sociali attraverso la messa in atto di un supporto per l'individuo a migliorare le abilità funzionali necessarie per la vita quotidiana. Questo può includere il miglioramento delle abilità motorie, il perfezionamento delle abilità sociali e la gestione dei comportamenti sensoriali problematici. Attraverso una serie di esercizi personalizzati e attività pratiche, la terapia occupazionale mira a promuovere l'indipendenza e la qualità di vita, facilitando l'adattamento e l'integrazione sociale del soggetto. È importante notare, tuttavia, che l'autismo è una condizione complessa e probabilmente multifattoriale, e la teoria del sistema specchio è solo una delle molte che cercano di spiegare le sue cause e manifestazioni. Nonostante ciò, l'ipotesi avanzata da Williams et al. ha aperto nuove prospettive di ricerca che potrebbero portare a una migliore comprensione dell'autismo e a nuovi approcci terapeutici.

## **2. Il sistema specchio**

### **2.1 La scoperta nei primati**

La scoperta dei neuroni specchio è stata opera di un gruppo di neuroscienziati attivi presso l'Università degli Studi di Parma durante il periodo compreso tra gli anni '80 e '90 del secolo scorso. La scoperta, avvenuta in modo casuale, si è verificata mentre questi ricercatori stavano conducendo indagini approfondite sulla corteccia motoria delle scimmie.

Durante la realizzazione di questi esperimenti, i neuroscienziati notarono che i neuroni della corteccia premotoria ventrale si attivavano quando la scimmia effettuava un'azione o manipolava un oggetto. In un'avvincente svolta che ha deviato significativamente dagli obiettivi originali, i ricercatori del gruppo si accorsero che la medesima regione cerebrale mostrava segnali di attivazione non solo quando la scimmia era protagonista di un'azione, ma anche quando questa stessa scimmia era semplice osservatrice. Più precisamente, quando la scimmia osservava uno degli sperimentatori nell'atto di eseguire un'azione concreta, come afferrare cibo per mangiarlo, l'area cerebrale precedentemente citata diveniva inaspettatamente attiva. Questo fenomeno suggerì ai ricercatori di una possibile correlazione tra le funzioni motorie e percettive (Gallese, Migone, Eagle, 2006). In vero, è corretto affermare che la relazione tra il sistema motorio e quello percettivo non è stata esclusivamente rivelata dalla scoperta dei neuroni specchio. Infatti, la comprensione di tale interconnessione era già presente in letteratura scientifica grazie a scoperte precedenti. I neuroni canonici e quelli bimodali di F4

rappresentano due esempi significativi che hanno sottolineato la relazione tra percezione e azione prima della scoperta del sistema dei neuroni specchio.

I neuroni canonici, scoperti nelle aree premotorie del cervello, si attivano sia quando un individuo esegue un'azione sia quando osserva un oggetto associato a quella specifica azione. Questo ha aperto la strada all'idea che la percezione e l'azione potrebbero essere strettamente interconnesse in un circuito neurale unificato.

Similmente, i neuroni bimodali della regione F4 del cervello si attivano sia in risposta a stimoli sensoriali che durante l'esecuzione di specifiche azioni motorie, fornendo un ulteriore collegamento tra il sistema motorio e quello percettivo.

La scoperta del sistema dei neuroni specchio ha certamente validato ed esteso queste precedenti scoperte. I neuroni specchio si attivano sia quando un individuo esegue un'azione sia quando osserva un altro individuo eseguire la stessa azione, fornendo così un meccanismo neurale per la comprensione delle azioni e intenzioni altrui. Tuttavia, è importante riconoscere che essi hanno ampliato e approfondito il concetto piuttosto che averlo introdotto ex novo. Hanno aggiunto una dimensione sociale alla comprensione della relazione tra sistema motorio e percettivo, enfatizzando l'importanza di tale relazione non solo per l'interazione con gli oggetti, ma anche per l'interazione e la comprensione degli altri esseri umani.

In conclusione, mentre il sistema dei neuroni specchio ha avuto un impatto significativo sul nostro modo di concepire la relazione tra percezione e azione, non è stato il primo a introdurre questa idea. Piuttosto, ha costruito su un corpo di lavoro esistente, confermando e arricchendo le teorie precedenti.

Attraverso una serie di esperimenti meticolosi, conclusero che esistono particolari tipi di neuroni, denominati da loro stessi neuroni specchio, che fungono da ponte tra la descrizione visiva delle azioni biologiche e la corrispondente rappresentazione motoria.

Questa scoperta costituisce un traguardo fondamentale nella storia delle neuroscienze, nonostante il fatto che, come tutte le scoperte innovative, sia stata e continuerà ad essere oggetto di analisi critiche. Nonostante ciò, l'esistenza e il funzionamento dei neuroni specchio hanno aperto nuovi orizzonti nella comprensione di numerose funzioni cognitivo-sociali (Rizzolatti, & Craighero, 2004).

Nel campo delle neuroscienze, i neuroni specchio sono stati riconosciuti per una funzione cruciale: la capacità di decodificare intuitivamente, bypassando processi razionali complessi, le intenzioni e le azioni di altri individui: il nostro sistema nervoso è in grado di riconoscere e interpretare i comportamenti altrui basandosi sugli schemi motori precedentemente acquisiti e memorizzati nel nostro cervello

Un esempio di questo fenomeno può essere illustrato con l'azione di prendere una tazzina di caffè per berne il contenuto. Quando ci proponiamo di compiere tale azione, parallelamente al pensiero di voler bere il caffè, il nostro sistema motorio si attiva: prepara e coordina i movimenti necessari per raggiungere e afferrare la tazzina. Questo avviene prima ancora che la nostra mano abbia effettivamente iniziato a muoversi verso l'oggetto. In termini più specifici, il nostro sistema nervoso centrale, guidato dai neuroni specchio, organizza l'azione di preprensione, predisponendo la nostra mano a conformarsi alla forma e alla dimensione della tazzina, ancor prima che la mano stessa entri in contatto fisico con l'oggetto. Questa

anticipazione del movimento, che si svolge simultaneamente ai nostri pensieri, rappresenta una manifestazione eloquente della capacità dei neuroni specchio di sincronizzare le funzioni motorie e cognitive.

Questa descrizione, tuttavia, sembra maggiormente riferita al ruolo dei neuroni canonici. I neuroni canonici, che si trovano principalmente nell'area F5 del cervello dei primati non umani, si attivano sia quando l'individuo sta eseguendo un'azione come afferrare un oggetto, sia quando osserva un oggetto che può essere afferrato. In questo modo, essi svolgono un ruolo cruciale nella programmazione motoria della prensione e nell'adattamento delle azioni motorie in base alle proprietà degli oggetti. Tuttavia, i neuroni canonici non si attivano generalmente quando si osservano altre persone che eseguono azioni. I neuroni specchio, d'altro canto, si attivano sia quando un individuo esegue un'azione, sia quando osserva un altro individuo eseguire la stessa o una simile azione. Questo li rende interessanti per lo studio della cognizione sociale, poiché suggeriscono un meccanismo neurale che potrebbe sottendere la comprensione delle azioni e delle intenzioni altrui. Tuttavia, come hai osservato, il ruolo esatto della componente motoria dei neuroni specchio nell'esecuzione delle azioni non è ancora completamente chiaro. In effetti, mentre la scoperta dei neuroni specchio ha sollevato domande intriganti sull'imitazione, l'apprendimento sociale e persino la teoria della mente, il loro ruolo preciso in queste funzioni, così come nella programmazione e nell'esecuzione delle azioni, è ancora oggetto di ricerca e dibattito.

L'attività neurale dei lobi frontali del cervello supporta le attività di coordinazione motoria sia nella specie umana che nei primati non umani. All'inizio degli studi sui

neuroni specchio, il gruppo di Parma esaminò minuziosamente il ruolo della corteccia premotoria nelle scimmie macaco, una regione cerebrale situata anteriormente nella corteccia agranulare, dimostrando che quest' area detiene un ruolo cruciale non solo nel controllo motorio, ma anche in una serie di processi cognitivi. In dettaglio, emerse che la corteccia premotoria è fondamentale per la percezione spaziale e per la rappresentazione pragmatica degli oggetti (Jeannerod et al. 1995; Fogassi et al. 1992, 1996; Murata et al. 1997; Rizzolatti, Luppino and Matelli 1998). Questi studi permisero di elaborare l'idea che grazie alle rappresentazioni motorie contenute nella corteccia agranulare è possibile dare un significato motorio al mondo esterno. Questo concetto ha favorito l'interpretazione dell'attività dei neuroni specchio, che utilizzano la codifica motoria per dare significato alle azioni degli altri.

Per essere stimolati da elementi visivi, i neuroni specchio necessitano di una interazione tra un elemento biologico (come una mano o una bocca) e un oggetto. La semplice vista di un oggetto, la pantomima di un'azione da parte di un agente, o l'esecuzione di gesti intransitivi (cioè non diretti verso un oggetto) da parte di un altro individuo, non riescono ad attivare efficacemente questi neuroni. Inoltre, l'importanza o il significato dell'oggetto per la scimmia non sembra influire significativamente sull'attivazione dei neuroni specchio. Ad esempio, l'atto di afferrare un pezzo di cibo o un solido geometrico provoca risposte neuronali di intensità simile (Rizzolatti & Craighero, 2004; v. tuttavia lo studio successivo di Caggiano et al. 2013).

I neuroni specchio dimostrano un notevole grado di generalizzazione. Sono capaci di rispondere a stimoli visivi molto diversi tra loro, purché rappresentino la stessa



azione. Ad esempio, lo stesso neurone specchio che risponde alla vista di una mano umana che afferra un oggetto, risponderà anche se la mano che afferra è quella di una scimmia. Inoltre, la distanza da cui l'azione viene compiuta, vicina o lontana, non influenza la risposta del neurone specchio, nonostante le dimensioni apparenti della mano osservata siano naturalmente diverse nelle due situazioni.

Si è anche osservato che la maggior parte dei neuroni specchio non differenzia tra la mano destra o sinistra che afferra un oggetto, e la risposta non risulta influenzata dalla distanza alla quale viene eseguita l'azione rispetto alla scimmia.

Un aspetto cruciale dei neuroni specchio è la correlazione tra la risposta visiva e quella motoria. Praticamente tutti i neuroni specchio mostrano una congruenza tra le azioni osservate che determinano la risposta visiva del neurone e la risposta motoria che esso codifica. A seconda del tipo di congruenza manifestata, i neuroni specchio sono stati classificati in "congruenti in senso stretto" e "congruenti in senso lato" (Gallese et al., 1996).

I neuroni specchio che esibiscono una stretta congruenza sono quelli in cui le azioni osservate e le azioni eseguite coincidono sia in termini di obiettivo (per esempio, l'atto di afferrare) che di modalità con cui raggiungere l'obiettivo (come una presa di precisione). Questi neuroni costituiscono circa un terzo del totale dei neuroni specchio in F5. Al contrario, i neuroni specchio "congruenti in senso lato" non necessitano dell'osservazione di un'azione esattamente identica a quella che codificano a livello motorio per essere attivati. Questi rappresentano circa i due terzi dei neuroni specchio in F5. Questa classificazione evidenzia la varietà di risposte dei neuroni specchio a differenti stimoli visivi e motori.

Le caratteristiche finora delineate rafforzano considerevolmente l'ipotesi che i neuroni specchio possano costituire il pilastro della nostra abilità di riconoscere e comprendere automaticamente le azioni manuali. Tuttavia, già nei primi studi sulla corteccia premotoria ventrale sono stati identificati neuroni specchio che si attivavano selettivamente quando la scimmia svolgeva e osservava azioni oro-facciali ingestive, come mordere, succhiare o leccare. In una serie di esperimenti più recenti è stato dimostrato che alcuni di questi neuroni, oltre a mostrare risposte motorie quando la scimmia eseguiva movimenti con la bocca, venivano anche attivati quando essa osservava azioni con una valenza comunicativa, come ad esempio lo schiocco delle labbra, che per i macachi ha un significato affiliativo (Ferrari et al. 2005). Anche se è molto complicato dal punto di vista sperimentale studiare le risposte neuronali mentre la scimmia esprime spontaneamente gesti comunicativi oro-facciali, nei casi in cui ciò è stato possibile la selettività visiva e motoria dei neuroni specchio osservati è risultata la stessa. Questo dato rafforza l'idea che la comprensione dei gesti comunicativi, come quella delle azioni dirette verso gli oggetti, sia associata all'attivazione degli stessi substrati neuronali coinvolti nella loro produzione motoria. Inoltre, il fatto che i neuroni specchio comunicativi presentino frequentemente anche risposte motorie di tipo ingestivo suggerisce che la capacità di decodificare il significato dei gesti possa essere evoluta, nel corso della filogenesi, dalla ritualizzazione di una competenza più antica come quella relativa all'ingestione del cibo.

Studi più recenti hanno indagato se i neuroni specchio potessero veicolare informazioni che superano la semplice identificazione e comprensione di movimenti motori o gesti elementari. Nell'ambiente naturale in cui vivono molti animali e tutti i

primati, incluso l'essere umano, non è sufficiente solo essere in grado di eseguire e comprendere singoli gesti motori finalizzati (Bonini, 2009).

In realtà, la maggior parte delle azioni quotidiane più comuni sono composte da sequenze di atti motori, organizzati secondo i loro singoli obiettivi immediati (come raggiungere, afferrare, portare, ecc.) per creare azioni più complesse (per esempio, prendere una mela). Queste azioni più complesse sono caratterizzate da un obiettivo finale globale (come mangiare la mela). Questo obiettivo finale identifica il motivo per cui un'azione viene eseguita, cioè per quale fine ultimo i singoli atti motori vengono coordinati. In questo contesto, l'obiettivo finale di un'azione coincide con l'intenzione motoria dell'individuo che compie l'azione.

Nelle corteccie parietale e premotoria delle scimmie sono stati individuati neuroni motori che, nonostante codificassero tutti l'atto di afferrare (come prendere un pezzo di cibo), si attivavano in modo diverso a seconda dell'intenzione motoria della scimmia: alcuni rispondevano quando la scimmia afferrava un pezzo di cibo per portarlo alla bocca e mangiarlo, altri invece erano più attivi durante l'atto di afferrare lo stesso pezzo di cibo quando la scimmia poi lo depositava in un contenitore (Fogassi et al. 2005; Bonini et al. 2010). Molti di questi neuroni possedevano caratteristiche dei neuroni specchio, attivandosi quindi anche quando la scimmia osservava uno sperimentatore eseguire azioni simili. E la maggior parte di essi dimostrava una selettività visiva che era congruente con la loro selettività motoria: i neuroni "prendere-per-mangiare", per esempio, erano più attivi in questa condizione rispetto a quando la scimmia osservava lo sperimentatore prendere un oggetto per poi collocarlo da qualche parte, mentre i neuroni "prendere-per-piazzare" mostravano la selettività opposta. Questa caratteristica della risposta visiva è

particolarmente interessante. Infatti, se durante l'azione motoria la scimmia sa cosa sta per fare ben prima di iniziare il movimento, come può 'sapere' quali sono le intenzioni dell'agente osservato prima che l'azione sia completata? Elementi contestuali, come il tipo di oggetto afferrato (un pezzo di cibo o un oggetto metallico) o la presenza o l'assenza del contenitore in cui piazzare l'oggetto, sono certamente fattori decisivi per suggerire quale azione sarà eseguita. Tuttavia, la risposta differenziale di questi neuroni motori, che si manifesta ben prima del raggiungimento dello scopo finale (mangiare o piazzare), fornisce la prova dell'esistenza di una rappresentazione motoria interna predittiva dello scopo dell'azione dell'individuo osservato. In altre parole, questi neuroni non solo contribuiscono all'organizzazione di azioni intenzionali quando è la scimmia a eseguirle attivamente, ma consentono anche di prevedere le intenzioni motorie degli altri quando la scimmia osserva qualcuno eseguire azioni analoghe in un contesto familiare (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006).

Un meccanismo di tale complessità, dotato della capacità di coordinare e interpretare obiettivi motori immediati e intenzioni, potrebbe svolgere un ruolo cruciale nella decodifica del comportamento altrui, finalizzato a guidare l'interazione sociale. Questa considerazione diventa ancor più significativa se si tiene conto dell'immensa complessità della struttura gerarchica e dei rapporti sociali presenti in molti gruppi di primati.

Uno studio recente, condotto in Germania, ha esaminato la risposta visiva dei neuroni specchio premotori in due diverse condizioni fondamentali: in una, la scimmia osservava l'atto di afferrare un oggetto posto all'interno dello spazio vicino al suo corpo, noto come "spazio peripersonale"; nell'altra, l'oggetto afferrato era

posizionato a una distanza maggiore dalla scimmia, nel cosiddetto "spazio extrapersonale". La metà dei neuroni registrati mostrava una differente attivazione a seconda dello spazio in cui veniva eseguita l'azione osservata dalla scimmia: alcuni erano più attivi quando l'azione avveniva nello spazio peripersonale, altri quando avveniva nello spazio extrapersonale.

Questa differenza potrebbe sembrare sorprendente, dato che le informazioni relative allo spazio non sono di per sé cruciali per comprendere lo scopo di azioni o atti motori. Tuttavia, diventano di vitale importanza quando si tratta di definire le possibili interazioni con l'individuo osservato: se quest'ultimo agisce nello spazio peripersonale, l'interazione con lui può avvenire immediatamente, mentre se agisce nello spazio extrapersonale, potrebbero essere necessari diversi passaggi intermedi prima di poter interagire con lui, come avvicinarsi o rimuovere un ostacolo.

Per verificare l'ipotesi che queste differenze di attivazione neuronale codificassero uno "spazio per l'interazione", e non semplicemente uno spazio metrico astratto, i ricercatori hanno studiato la risposta neuronale quando una barriera separava la scimmia dallo spazio vicino.

Grazie all'introduzione di una barriera, lo spazio peripersonale diventava equivalente a uno spazio motorio distante, poiché la possibilità di raggiungere gli oggetti al suo interno, e di conseguenza di interagire con chi agiva in questo spazio, veniva impedita. Questo rendeva lo spazio peripersonale vicino da un punto di vista cartesiano, ma al contempo inaccessibile. In tali circostanze, i neuroni che in assenza di una barriera rispondevano selettivamente ad azioni eseguite nello spazio extrapersonale, iniziavano ad attivarsi anche in risposta a azioni svolte nello spazio peripersonale, ora reso inaccessibile dalla barriera. Al contrario, i neuroni che

rispondevano all'osservazione di azioni nello spazio peripersonale, cessavano di attivarsi. Questo dimostra che l'attivazione di questi neuroni rappresenta l'azione di un altro individuo in relazione allo spazio di interazione dell'animale osservatore.

Questo risultato estende il ruolo dei neuroni specchio ben oltre la comprensione degli scopi motori, dei gesti comunicativi e delle intenzioni, includendo anche la selezione di possibili risposte comportamentali in risposta alle azioni di altri individui (Caggiano, et al., 2009).

Approfondendo ulteriormente l'investigazione sui neuroni specchio, uno studio illuminante, condotto da Kohler e colleghi nel 2002, ha esplorato le interazioni tra questi neuroni e i sistemi sensoriali uditivi. La ricerca ha dimostrato che i neuroni specchio non si limitano a rispondere alla pura osservazione visiva delle azioni, ma possono anche essere attivati da stimoli sonori che sono associati all'azione stessa.

Nello specifico, il team di ricerca ha osservato neuroni che dimostravano un'attività distinta sia quando la scimmia eseguiva un'azione specifica, sia quando ascoltava i suoni correlati a tale azione. Questo implica che l'attività dei neuroni specchio non è strettamente legata al contesto visivo o motorio, ma può essere innescata anche da segnali uditivi che richiamino il significato motorio.

Per illustrare la complessità e la versatilità dei neuroni specchio, immaginiamo una situazione in cui una scimmia sta rompendo una nocciolina. Secondo le ricerche condotte da Kohler e i suoi colleghi nel 2002, i neuroni specchio della scimmia si attiverrebbero non solo quando essa compie l'azione di rompere la nocciolina, ma anche quando sente solamente il suono associato all'atto di rompere la nocciolina, senza eseguire fisicamente l'azione. Questo dimostra che i neuroni specchio sono

sensibili non solo agli stimoli visivi dell'azione, ma anche agli stimoli uditivi, indipendentemente dall'effettiva esecuzione dell'azione da parte della scimmia.

Questi risultati forniscono una preziosa intuizione sulla complessità e sulla multidimensionalità dei neuroni specchio, evidenziando come essi rappresentino un collegamento importante tra la percezione e l'azione, sia a livello visivo che uditivo.

Questa scoperta amplia ulteriormente la comprensione riguardo la funzionalità dei neuroni specchio, suggerendo un ruolo chiave nella comprensione delle azioni altrui attraverso molteplici canali sensoriali e non solo mediante la visione.

Sulla base di queste scoperte, i neuroni specchio possono essere distinti per due caratteristiche fondamentali. La prima è la loro risposta alla visione o all'ascolto di azioni cariche di significato; la seconda è la loro attivazione durante l'esecuzione delle stesse azioni che l'individuo osserva o ascolta. Queste caratteristiche delineano un profilo unico e specifico per i neuroni specchio, confermando la loro centralità nel nostro modo di percepire e interagire con il mondo.

## **2.2 Gli studi sull'uomo e le scoperte successive**

I promettenti risultati emersi dalle ricerche condotte su scimmie hanno alimentato la speculazione che un meccanismo equivalente dei neuroni specchio possa essere operativo anche all'interno del cervello umano. Tuttavia, a causa delle limitazioni etiche e pratiche, non è fattibile condurre sull'uomo lo stesso tipo di studi invasivi che hanno portato alla scoperta dei neuroni specchio nelle scimmie.

Fortunatamente, l'avanzamento tecnologico ha prodotto una serie di strumenti capaci di rivelare l'attività cerebrale umana in vivo e in modo totalmente non invasivo. Questi strumenti possono essere utilizzati per esplorare la neurofisiologia umana

senza i rischi associati alla ricerca invasiva. Ciononostante, nessuna di queste tecniche dispone della potenza o della precisione sufficiente per registrare l'attività di singoli neuroni. Di conseguenza, l'uso di modelli animali rimane una necessità indiscutibile per comprendere i meccanismi fondamentali del sistema nervoso (Bonini, 2009).

Malgrado queste limitazioni, le tecniche di neuroimaging applicate negli studi sull'uomo hanno fornito dati che, sebbene indiretti, sostengono con relativa sicurezza l'esistenza di meccanismi specchio nel cervello umano. Questi studi hanno evidenziato che diverse regioni corticali con funzioni motorie, come la corteccia motoria e premotoria e il lobulo parietale inferiore, non sono esclusivamente dedite alla generazione dell'azione. Infatti, queste regioni si attivano anche quando i soggetti osservano un altro individuo eseguire azioni manuali. Queste regioni occupano delle porzioni della corteccia parietale e frontale, e corrispondono precisamente a quelle regioni che nella scimmia contengono i neuroni specchio.

Questa scoperta, pur nella sua natura indiretta, indica un coinvolgimento delle regioni corticali motorie non solo nella pianificazione ed esecuzione di azioni, ma anche nella percezione e comprensione delle azioni altrui, suggerendo la presenza di un sistema di neuroni specchio analogo a quello riscontrato nelle scimmie. Inoltre, regioni del sistema motorio corticale vengono attivati durante l'osservazione di azioni eseguite con effettori diversi, come bocca, mani e piedi. Questo evidenzia che, anche nel cervello umano, le regioni motorie svolgono un ruolo chiave nella rappresentazione di elementi dell'informazione visiva. Tali elementi possono agevolare il riconoscimento e la comprensione automatica delle azioni osservate,



suggerendo un meccanismo simile a quello dei neuroni specchio studiato nelle scimmie.

La funzione del sistema dei neuroni specchio negli esseri umani rimane un argomento di grande interesse e di molte ipotesi: fino a oggi, non sono stati proposti modelli neurali o computazionali universalmente accettati che possano descrivere in modo adeguato come l'attività dei neuroni specchio possa supportare le funzioni cognitive. Di conseguenza, la questione dei neuroni specchio continua a alimentare un intenso dibattito nel campo della ricerca neuroscientifica. Inoltre, si è cercato di comprendere come reagiscono le regioni cerebrali umane, in particolare quelle del cosiddetto "sistema specchio", quando l'azione osservata è chiaramente riconoscibile, ma viene eseguita da un animale di una specie diversa. Per rispondere a queste domande, è stato condotto un esperimento utilizzando la risonanza magnetica funzionale (fMRI). In questo esperimento, ai partecipanti è stato chiesto di osservare un uomo, una scimmia e un cane che eseguivano un gesto ingestivo, in particolare, l'atto del mordere, o un gesto comunicativo - come parlare per l'uomo, schiacciare le labbra per la scimmia, o abbaiare per il cane. Nonostante le differenze visive significative dovute alle caratteristiche fisiognomiche peculiari di ogni specie, l'atto del mordere - un gesto universalmente riconoscibile - ha indotto un'attivazione sorprendentemente simile nelle aree del sistema specchio umano, a prescindere dalla specie osservata (Buccino, et al., 2004).

Al contrario, osservare un gesto comunicativo - che è notevolmente più specie-specifico rispetto al gesto ingestivo - ha prodotto attivazioni cerebrali molto diverse nei partecipanti. In particolare, le aree del sistema specchio, soprattutto nell'emisfero sinistro, mostravano un'attività molto più intensa durante l'osservazione di un uomo

che parla rispetto a una scimmia che schiocca le labbra. Più sorprendente ancora, queste aree risultavano praticamente silenti quando i partecipanti osservavano un cane abbaire.

Nello specifico, osservare una persona parlare induceva l'attivazione della parte premotoria della regione di Broca, mentre osservare il lipsmacking della scimmia induceva l'attivazione della stessa regione ma in modo molto più ristretto. Infine, osservare il cane abbaire, induceva soltanto l'attivazione delle aree visive. Sicuramente, quindi, osservare le azioni comunicative che appartengono all'uomo, o comunque che non si discostano troppo dal suo stile comunicativo, come quello delle scimmie, induce nell'osservatore un'attivazione delle regioni del sistema motorio che mediano l'esecuzione delle stesse. Invece le azioni comunicative che non fanno parte del repertorio comportamentale umano, come l'abbaire, vengono mappate e classificate sulla base delle loro proprietà percettive visive, senza scatenare alcuna forma di risonanza motoria nel cervello dell'osservatore. Questo suggerisce che la rappresentazione di tali azioni avviene principalmente attraverso i canali percettivi, senza il coinvolgimento diretto del sistema motorio.

Come ulteriore supporto a questo punto, uno studio condotto da Watkins et al. (2003) utilizzando la stimolazione magnetica transcranica (TMS) ha dimostrato che l'osservazione silenziosa di un filmato che mostra movimenti labiali associati alla parola incrementa l'eccitabilità dei medesimi muscoli nell'osservatore, i quali sarebbero normalmente coinvolti nell'esecuzione di tali movimenti labiali. Questo ci fornisce un'indicazione chiara che la comprensione di tali azioni comunicative è accompagnata da una simulazione motoria delle stesse azioni all'interno del sistema nervoso dell'osservatore. In altre parole, quando osserviamo qualcuno eseguire

un'azione comunicativa che è parte del nostro repertorio motorio, il nostro cervello "simula" l'esecuzione di quella stessa azione, facilitandone così la comprensione.

Questa scoperta mette in evidenza un aspetto cruciale del funzionamento del sistema specchio umano: la "comprensione immediata" o "esperienziale" di un'azione osservata, mediata dall'attivazione del nostro repertorio motorio, è possibile solo se tale azione fa effettivamente parte del nostro repertorio. Questo vale indipendentemente dal fatto che l'azione venga eseguita da un individuo della nostra stessa specie o da un rappresentante di una specie differente.

Ciò non nega affatto la possibilità di comprendere a livello percettivo stimoli visivi come un cane che abbaia o una scimmia che schiocca le labbra. Infatti, altre regioni cerebrali con funzioni visive vengono fortemente attivate durante l'osservazione di questi stimoli, garantendo un riconoscimento accurato a livello percettivo. Tuttavia, il tipo di comprensione mediata dal sistema specchio è qualitativamente diversa: è un'esperienza viscerale, quasi come se l'osservatore stesse eseguendo l'azione osservata.

In conclusione, il sistema specchio umano ci permette di "sentire" le azioni degli altri come se fossero le nostre, ma solo quando tali azioni sono effettivamente parte del nostro repertorio motorio. Questo rappresenta un tipo unico di comprensione, distinto e complementare al riconoscimento puramente percettivo delle azioni altrui. E, come le ricerche indicano, tale comprensione esperienziale non si limita solo ai gesti e alle azioni motorie.

### 2.3 Il linguaggio e i neuroni specchio

«Il discorso» scrive Merleau Ponty (1960, p.89) «è paragonabile a un gesto perché ciò che esso è incaricato di esprimere sarà nella stessa relazione con esso come lo è l'obiettivo per il gesto che lo intende». Questo passaggio dell'opera dell'autore si riferisce alla sua teoria della percezione e dell'espressione. Secondo Merleau-Ponty, la parola o il discorso non sono semplici veicoli di idee o concetti preesistenti, ma piuttosto gesti che esprimono un'intenzione. In altre parole, la parola è un atto, una sorta di gesto che mira a un obiettivo o a un fine. Nel contesto di un gesto, come alzare la mano, l'obiettivo (ad esempio, attirare l'attenzione di qualcuno) è intrinsecamente legato al gesto stesso. Allo stesso modo, nel discorso, quello che si intende esprimere non è separato dalle parole usate per esprimerlo. Ciò che viene detto (il discorso o le parole) e ciò che si intende dire (l'intenzione) sono inseparabili.

La comprensione approfondita della natura intrinseca del linguaggio e del processo evolutivo che lo ha forgiato rimane, tuttavia, oggetto di un'indagine alquanto complessa e insidiosa. Questa sfuggente qualità deriva dalla complessità straordinaria e dalla caratteristica multidimensionale del linguaggio stesso. Barrett et al. (cit.), hanno sostenuto che l'apparente complessità cognitiva nel dominio sociale deriva da un'interazione armoniosa tra cervello, corpo e mondo. Non è, dunque, soltanto un'emanazione della complessità cognitiva intrinseca che caratterizza le specie di primati.

In particolare, il sistema dei neuroni specchio sembra svolgere un ruolo fondamentale nella cognizione sociale, e quindi appare come un potenziale meccanismo alla base della natura sociale del linguaggio.

Come sopra esposto in merito all'area di Broca, è risaputo che essa ha un ruolo primario nella produzione del linguaggio ma, a differenza dei primi studi che la identificavano come area esclusivamente linguistica del cervello, si è compreso che essa ospita anche altri tipi di neuroni, i quali vengono attivati durante l'esecuzione, l'osservazione e l'imitazione di gesti orofacciali e manuali. Ciò dimostra che questa regione è parte del sistema dei neuroni specchio, come sostenuto da vari studi (Nishitani, et al., 2005).

Un esperimento rivelatore condotto da Fadiga, Craighero, Buccino e Rizzolatti (2002), utilizzando la stimolazione magnetica transcranica (TMS), ha mostrato che l'ascolto di fonemi - unità sonore del linguaggio - induce un incremento dell'ampiezza dei potenziali evocati motori (MEP), registrati dai muscoli della lingua coinvolti nella loro articolazione. Questi risultati sono stati interpretati come la manifestazione di un meccanismo di risonanza motoria a livello fonologico.

Queste scoperte sono state ulteriormente corroborate da un altro studio TMS condotto da Watkins, Strafella e Paus (2003), in cui è stato dimostrato che l'ascolto e la visualizzazione di gesti vocali causavano un incremento dell'ampiezza dei MEP registrati dai muscoli delle labbra.

Un ulteriore studio effettuato mediante risonanza magnetica funzionale (fMRI) ha evidenziato l'attivazione delle aree motorie coinvolte nella produzione vocale durante l'ascolto passivo di fonemi (Wilson, et al, 2004). Infine, Watkins e Paus (2004) hanno mostrato una correlazione tra l'aumento dell'ampiezza dei MEP,

ottenuti con la TMS sull'area del viso della corteccia motoria primaria, e l'aumento del flusso sanguigno cerebrale nell'area di Broca durante la percezione uditiva del parlato.

Tutto ciò suggerisce che l'attivazione del sistema nervoso centrale per i gesti facciali nella corteccia premotoria facilita l'uscita della corteccia motoria primaria ai muscoli facciali, come evocato dalla TMS. Questo conferma l'intima connessione tra la percezione del linguaggio e l'attivazione di specifiche aree motorie del cervello, suggerendo un ruolo centrale della simulazione incarnata nella percezione e produzione del linguaggio.

Non solo l'ascolto, ma anche la produzione del linguaggio parlato attiva il sistema motorio. McGuigan e Dollins (1989) hanno evidenziato tramite l'elettromiografia (EMG) che i muscoli della lingua e delle labbra si attivano non solo quando si parla, ma anche quando si pensa di parlare, per cui non è necessario il discorso ad alta voce per l'attivazione di queste aree.

Inoltre, uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI) condotto da Wildgruber e collaboratori (1996) ha mostrato un'attivazione della corteccia motoria primaria durante il discorso nascosto, quindi durante il pensiero del discorso. Lo studio di Cattaneo, Rochat e Rizzolatti (2005) ha dimostrato un arresto del discorso nascosto quando la corteccia motoria primaria sinistra e la corteccia premotoria sinistra sono temporaneamente inattivate mediante stimolazione magnetica transcranica (TMS).

Il fatto che la regione di Broca contenga rappresentazioni motorie sia delle mani che della bocca non solo aiuta a capire l'evoluzione del linguaggio ma fornisce anche una chiave di lettura per comprendere come si sviluppa il linguaggio nell'individuo.

È stato documentato più volte come nello sviluppo dei bambini esista un legame stretto tra lo sviluppo delle abilità motorie manuali e orali. Goldin-Meadow (1999) ha proposto che la produzione del linguaggio e i gesti delle mani correlati al parlato possano essere considerati come due manifestazioni dello stesso processo. Emerge un quadro affascinante quando si osservano i primi stadi del linguaggio nei bambini. Ad esempio, si è riscontrato che i movimenti ritmici delle mani accompagnano il balbettio nei bambini di 6-8 mesi (Masakata, 2001 in Gallese, 2007).

Un fenomeno ancor più intrigante si osserva nei bambini udenti nati da genitori sordi: questi piccoli mostrano gesti manuali che hanno un ritmo sorprendentemente simile al balbettio, evidenziando un potenziale legame tra lo sviluppo del linguaggio verbale e quello dei gesti.

Ma non si tratta solo di una coincidenza temporale: i gesti manuali sembrano avere un ruolo anticipatorio nello sviluppo linguistico dei bambini. Sono stati infatti osservati come precursori di un precoce sviluppo del linguaggio e, in alcuni contesti, si è addirittura notato che essi possono prevedere l'abilità di un bambino di costruire frasi di due parole (Iverson & Goldin-Meadow, 2005). Questi indizi suggeriscono un ruolo più ampio dei gesti manuali nello sviluppo del linguaggio. Ciò suggerisce che il sistema coinvolto nella produzione vocale condivide il circuito premotorio neurale coinvolto nel controllo del movimento mano/braccio. In un altro studio correlato, Gentilucci et al. (2004) ha dimostrato che diverse azioni osservate influenzano la cinematica delle labbra e le formanti vocali dell'osservatore. L'osservazione dell'afferrare influenza la prima formante, che è legata all'apertura della bocca, mentre l'osservazione del portare un oggetto alla bocca influenza la seconda

formante dello spettro vocale, legata alla posizione della lingua. Tutti questi effetti sono maggiori nei bambini rispetto agli adulti. Quando si osserva la mano, l'osservatore attiva l'atto motorio successivo, cioè l'afferrare con la bocca. Quando si osserva il portare alla bocca, si attiva la masticazione. Gentilucci et al. (2004b) hanno proposto un'interessante teoria riguardo l'evoluzione della comunicazione umana. Secondo questi autori, un meccanismo che lega insieme l'esecuzione e l'osservazione di gesti delle braccia e la produzione vocale potrebbe aver giocato un ruolo fondamentale nel farci passare da un sistema di comunicazione basato su gesti primitivi a uno basato sul linguaggio orale.

I dettagli di come parliamo, noti come aspetti fonoarticolatori, sembrano inizialmente distanti dal significato delle parole stesse. Si potrebbe pensare che come formiamo i suoni con la nostra bocca non abbia nulla a che fare con ciò che quei suoni significano. Tuttavia, la ricerca di Gentilucci (2004) suggerisce il contrario. Infatti, gli aspetti fonoarticolatori del linguaggio mostrano connessioni sorprendenti con l'esecuzione e l'osservazione di gesti motori delle braccia che sono socialmente significativi. In altre parole, le azioni che facciamo con le nostre braccia - e come osserviamo gli altri fare queste azioni - possono influenzare come formiamo i suoni quando parliamo. Questa scoperta suggerisce che il nostro linguaggio potrebbe essere più strettamente legato al nostro comportamento motorio di quanto pensavamo in precedenza. Questo potrebbe avere avuto implicazioni significative per come il linguaggio si è sviluppato nel corso dell'evoluzione umana. La scoperta dei neuroni specchio ha rafforzato in maniera significativa la teoria gestuale riguardante l'origine del linguaggio. I neuroni specchio stabiliscono una



connessione diretta tra l'individuo che compie un'azione (il mittente del messaggio) e l'individuo che osserva quell'azione (il destinatario del messaggio).

Questa connessione si basa sul principio di 'rispecchiamento': le azioni compiute da un individuo diventano messaggi che vengono automaticamente compresi da un osservatore. Questo avviene senza la necessità di un ulteriore processo cognitivo di interpretazione.

Per esempio, quando vediamo qualcuno afferrare una mela, comprendiamo immediatamente l'azione perché evoca la stessa rappresentazione motoria nel nostro sistema speculare parieto-frontale. In pratica, il nostro cervello 'rispecchia' l'azione, permettendoci di comprenderla senza doverla tradurre in termini verbali.

Nello stesso modo, quando osserviamo un'espressione facciale di disgusto, comprendiamo immediatamente l'emozione grazie all'attivazione di una rappresentazione simile nell'insula, la parte del nostro cervello che ci dà la consapevolezza delle esperienze emotive. In sostanza, il nostro sistema specchio ci consente di 'sentire' le emozioni degli altri come se fossero le nostre, permettendoci di comprendere intuitivamente le loro esperienze (Gallese et al., 2004).

Questa proprietà di "rispecchiamento ha portato Rizzolatti e Arbib a proporre che il meccanismo specchio potrebbe essere la base da cui è evoluto il linguaggio. In effetti, il meccanismo dello specchio avrebbe potuto risolvere due problemi cruciali di comunicazione nelle prime fasi dell'evoluzione del linguaggio: la parità e la comprensione diretta.

Per parità si intende il principio secondo cui ciò che è rilevante per il mittente del messaggio è altrettanto rilevante per il destinatario. I neuroni specchio semplificano questo processo eliminando la necessità di simboli arbitrari per la comunicazione.

La comprensione diretta, invece, si riferisce al concetto che l'atto di comprensione è intrinseco all'organizzazione neurale degli individui. Quando vediamo qualcuno compiere un'azione, i nostri neuroni specchio si attivano "rispecchiando" quella stessa azione, il che ci consente di comprenderla immediatamente, senza la necessità di interpretazioni o traduzioni cognitive aggiuntive.

Una critica a questo punto di vista si basa sul fatto che il sistema dei neuroni specchio delle scimmie è costituito da neuroni che codificano le azioni dirette all'oggetto. Pertanto, il sistema dei neuroni specchio della scimmia forma un sistema chiuso, che per definizione non sembra essere particolarmente adatto alla comunicazione intenzionale. Tuttavia, se questo è vero per il mondo dei primati, non lo è per il sistema umano. Gli studi di stimolazione magnetica transcranica (TMS) e di imaging cerebrale hanno permesso di ampliare la nostra comprensione del funzionamento del sistema dei neuroni specchio. In particolare, questi studi hanno evidenziato che l'attivazione del sistema specchio può avvenire in risposta non solo ad azioni che hanno uno scopo diretto, ma anche in risposta ad azioni intransitive e alla pantomima.

Per azioni intransitive si intendono quelle azioni che non sono dirette verso un oggetto o un fine specifico. Ad esempio, muovere la mano senza un intento specifico è un'azione intransitiva. Studi condotti da Fadiga et al. (1995) e Maeda et al. (2002) hanno dimostrato che la presentazione di tali azioni può attivare il sistema dei neuroni specchio.

La pantomima, ovvero l'imitazione di azioni senza l'uso di oggetti reali, è un'altra situazione che può attivare il sistema dei neuroni specchio. Gli studi di Buccino et

al. (2001) e Grèzes et al. (2003) hanno mostrato che l'osservazione di pantomime può stimolare l'attività dei neuroni specchio.

Questi risultati sono particolarmente interessanti perché indicano che il sistema dei neuroni specchio può rispondere non solo alle azioni che vediamo eseguire direttamente, ma anche a quelle che sono mimate o rappresentate, ampliando così la nostra comprensione di come possiamo percepire e comprendere le azioni e le intenzioni degli altri. È sicuramente difficile specificare in che modo sia avvenuto il passaggio da un sistema chiuso, come quello delle scimmie, a un sistema aperto, intenzionalmente comunicativo, come nell'uomo. L'idea che le nostre azioni comunicative abbiano avuto origine da un sistema di gesti non comunicativi, più antico, non è una novità. Un esempio di questa concezione è stato presentato da Van Hoof nel 1967. Egli ha proposto che molti dei gesti comunicativi più diffusi tra le scimmie, come lo schiocco delle labbra, sono in realtà ritualizzazioni di azioni ingestive, o relative all'alimentazione, che le scimmie utilizzano per stabilire legami sociali.

Questo concetto trova una certa base neurofisiologica nel funzionamento dei neuroni specchio. Gli studi hanno mostrato che i neuroni specchio della bocca reagiscono sia all'osservazione di azioni comunicative, come lo schiocco delle labbra, sia durante l'esecuzione di azioni ingestive (Ferrari et al. 2003). Questo sembra suggerire che queste due tipologie di azioni potrebbero essere collegate a un livello neurologico, confermando l'ipotesi avanzata da Van Hoof. Questi risultati forniscono un interessante spunto per approfondire ulteriormente le nostre comprensioni del sistema specchio nelle scimmie e, potenzialmente, del suo ruolo nell'evoluzione della comunicazione. In un certo senso, queste ricerche neuroscientifiche riprendono

i principali lavori di Vygostij svolti sul linguaggio. Egli aveva suggerito, proprio in tal senso, che le azioni intransitive derivano nei bambini da azioni transitive dirette all'oggetto. Per esempio, quando gli oggetti si trovano vicino a un bambino, il bambino li afferra. Quando sono lontani, il bambino allunga le mani per afferrarli. Poiché la madre capisce questo gesto, il bambino lo usa di nuovo e, alla fine, i tentativi di raggiungere gli oggetti diventano gesti comunicativi. Quindi, il passaggio da un gesto diretto all'oggetto a un gesto comunicativo intenzionale può essere accolto dall'ipotesi dei neuroni specchio e il loro ruolo nell'evoluzione del linguaggio.

### *2.3.1 Linguaggio, segni ed evoluzione*

È poco probabile che le comunicazioni gestuali dei nostri antenati abbiano raggiunto la complessità delle moderne lingue dei segni. Come suggerito da Arbib nel 2005, è molto più plausibile che i gesti comunicativi fossero inizialmente associati a suoni e che lo sviluppo del linguaggio abbia inibito l'evoluzione di una lingua dei segni completa.

La questione fondamentale in questa evoluzione è comprendere come i suoni, inizialmente senza un significato specifico, siano stati associati a gesti che trasmettevano significati precisi. Alcuni suggeriscono che ciò potrebbe essere avvenuto attraverso l'onomatopea, cioè la somiglianza tra il suono di una parola e il rumore associato a un evento naturale specifico. Un'altra possibilità potrebbe essere l'uso di interiezioni emesse dagli individui in certe circostanze. Tuttavia, entrambe queste teorie possono spiegare solo un numero molto limitato di parole, quindi

mancono di generalità per spiegare la maggior parte dei collegamenti tra suoni e significati.

Una teoria alternativa, proposta da Piaget nel 1930, nota come "schematopea", suggerisce che la comunicazione umana sia iniziata con gesti manuali. Questa teoria offre un'ipotesi intrigante per esplorare ulteriormente come si sia sviluppato il legame tra suoni e significati nel linguaggio umano. Questi gesti erano accompagnati da movimenti involontari, ma analoghi, di lingua, labbra e mascella. In seguito, gli individui gesticolanti scoprirono che l'espiazione dell'aria attraverso le cavità orali produceva gesti udibili. Questo fu l'inizio del linguaggio vocale secondo le tesi piagetiane. La teoria della schematopoeia è ovviamente molto speculativa. La sua idea centrale, tuttavia, che esista un legame fondamentale e naturale tra gesti delle mani/del corpo e gesti del linguaggio, è molto interessante. Essa suggerisce un indizio su come un sistema gestuale opaco, come quello orolaringeo, potrebbe trasmettere messaggi comprensibili, grazie alla stretta corrispondenza tra gesti delle mani/del corpo, intrinsecamente conosciuti dagli osservatori, e gesti orolaringei. Inoltre, questa teoria ha una chiara previsione neurofisiologica: se i gesti delle mani/del braccio e quelli del linguaggio sono strettamente collegati, devono avere, di conseguenza, un substrato neurale comune.

Una serie di recenti studi supporta questa previsione. Esperimenti TMS hanno mostrato che l'eccitabilità motoria della mano destra aumenta durante la lettura e durante il discorso spontaneo, mentre nessun effetto legato al linguaggio è stato trovato in queste condizioni nell'area motoria della mano sinistra o nelle rappresentazioni della gamba di entrambi gli emisferi (Meister et al., 2003). Meister et al. (2003) hanno sottolineato che l'aumento dell'eccitabilità della corteccia

motoria della mano non può essere attribuito all'articolazione delle parole, poiché l'articolazione delle parole coinvolge la corteccia motoria bilateralmente, ma l'attivazione osservata era strettamente limitata all'emisfero sinistro.

Prove di un collegamento tra gestualità e linguaggio provengono anche da studi clinici. Hanlon et al. (1990) hanno dimostrato che, nei pazienti afasici, puntare con la mano destra su uno schermo in cui sono presentati degli oggetti facilita la denominazione degli oggetti stessi.

Allo stesso modo, Hadar et al. (1998) hanno scoperto che il recupero delle parole è facilitato attraverso i gesti nei pazienti con lesioni cerebrali. Chiaramente, gli esperimenti esaminati non dimostrano la teoria della schematopoeia. Tuttavia, indicano che la teoria non è così bizzarra come si potrebbe pensare e che esiste un collegamento tra i gesti delle mani e il sistema del linguaggio nell'*Homo sapiens* moderno. Il sistema dei neuroni specchio, in accordo con questa logica, sembra aver avuto un'evoluzione parallela all'umanità e si è perfezionato nel riconoscimento sia degli eventi fisici che dei suoni prodotti. Pertanto, è plausibile che si sia sviluppata una variante specifica dei neuroni specchio audio-visivi per rispondere ai suoni emessi dall'uomo attraverso il tratto oro-laringeo. Questo sofisticato adattamento dei neuroni specchio alla percezione dei suoni legati al linguaggio sarebbe stato cruciale nell'evoluzione della comunicazione verbale e della capacità di comprendere e rispondere ai segnali acustici elaborati dalla nostra specie. Grazie a questa evoluzione, l'uomo ha potuto sviluppare una forma di comunicazione sempre più complessa e sofisticata, rendendo possibile l'espressione e la comprensione di concetti e idee attraverso il linguaggio parlato.

È interessante notare che questa connessione tra gesti, suoni e comunicazione verbale non solo ha fornito un vantaggio adattativo all'umanità, ma ha anche contribuito alla formazione e alla diffusione di culture e società complesse. Infatti, il linguaggio parlato ha consentito lo sviluppo di narrativa, arte, scienza e filosofia, sostenendo la trasmissione delle conoscenze attraverso le generazioni e facilitando la cooperazione sociale e la creazione di comunità coese.

In sintesi, l'evoluzione dei neuroni specchio, insieme all'elaborazione dei suoni attraverso il tratto oro-laringeo, ha gettato le basi per lo sviluppo del linguaggio parlato e ha rappresentato un passo fondamentale nell'affermazione della specie umana come essere socialmente avanzato e culturalmente ricco.

#### **2.4 Neuroni specchio, l'intenzione altrui e lo sviluppo empatico**

Oltre al ruolo fondamentale dei neuroni specchio nell'evoluzione e nello sviluppo del linguaggio, essi svolgono un altro aspetto cruciale nell'adattamento dell'uomo: la comprensione delle intenzioni degli altri.

Attraverso l'attivazione dei neuroni specchio, il cervello è in grado di simulare internamente ciò che l'altra persona sta facendo, provando in qualche misura le stesse sensazioni e intenzioni.

La comprensione delle intenzioni degli altri è cruciale in situazioni sociali complesse, come nell'interpretazione delle espressioni facciali, dei gesti, del tono di voce e del comportamento non verbale. Ciò ci consente di cogliere le emozioni, le necessità e le intenzioni delle persone che ci circondano, favorendo l'interazione sociale e la comunicazione non verbale

Decifrare l'intenzione dietro un'azione, come per esempio afferrare una tazza, può essere paragonato a prevedere lo scopo del successivo atto non ancora intrapreso, come bere dalla tazza. Uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI) svolto da Iacoboni et al. (2005) ha tentato di esaminare proprio questi aspetti legati al funzionamento dei neuroni specchio.

Nell'esperimento, i partecipanti hanno osservato tre tipi di sequenze video. Nel primo video veniva presentato un contesto, cioè due scenari con oggetti posizionati su un tavolo, che suggerivano l'ambiente di una colazione da iniziare o già terminata; Nel secondo video, i partecipanti guardavano le azioni di afferrare una tazza senza alcun contesto di riferimento; e, infine, nell'ultimo video guardavano l'azione di afferrare una tazza inserita nei due diversi contesti presentati nel primo video, che suggerivano differenti intenzioni associate all'atto di afferrare la tazza (cioè, bere o ripulire il tavolo).

I risultati hanno mostrato che l'osservazione di azioni all'interno del loro contesto, rispetto alle altre due condizioni, causava un aumento significativo dell'attività nella parte posteriore del giro frontale inferiore e nell'area adiacente della corteccia premotoria ventrale dell'emisfero destro. Ciò suggerisce che le aree premotorie, che hanno proprietà simili a quelle dei neuroni specchio - ossia si attivano sia durante l'esecuzione che durante l'osservazione di un'azione - sono coinvolte anche nella comprensione dello scopo finale di un'azione, cioè l'intenzione che la motiva (Iacoboni, et al., 2005). Un altro aspetto fondamentale emerso da questo studio è l'irrelevanza dell'istruzione esplicita nel determinare l'intenzione delle azioni osservate, almeno per quanto riguarda l'attivazione dei neuroni specchio. In altre parole, l'esperimento ha dimostrato che non importa se agli osservatori veniva o



meno richiesto di interpretare esplicitamente l'intenzione dietro l'azione che stavano osservando; il sistema specchio si attivava nello stesso modo.

Questo implica che per azioni semplici, come quelle analizzate in questo studio, l'attribuzione delle intenzioni avviene in maniera automatica e si attiva probabilmente attraverso un meccanismo di simulazione incarnato. La simulazione incarnata si riferisce al concetto secondo il quale comprendiamo le azioni degli altri non solo a livello intellettuale, ma anche a livello fisico, "incarnando" l'azione nel nostro stesso sistema motorio. In pratica, quando osserviamo un'azione, il nostro cervello "simula" automaticamente il processo motorio per eseguire quella stessa azione, contribuendo così alla nostra comprensione dell'intenzione dell'azione osservata.

Il meccanismo neurofisiologico che regola la correlazione tra la previsione del fine di un'azione e l'attribuzione delle intenzioni è stato recentemente chiarito dagli studi precedentemente descritti sulla scimmia da Fogassi et al. (2005). Brevemente, lo studio ha mostrato che il lobo parietale inferiore del primate contiene neuroni specchio che si attivano in risposta agli atti motori del primate, come afferrare un oggetto con la mano, solo quando questi atti sono componenti di un'azione più complessa orientata verso un obiettivo distante e specifico, come portare l'oggetto alla bocca o collocarlo all'interno di un recipiente. In altre parole, un singolo neurone si attiva quando il primate afferra un oggetto solo se la stessa azione è finalizzata a portare l'oggetto alla bocca, e non quando l'intento è di metterlo in una tazza, o viceversa. Ciò suggerisce che questi neuroni specchio non solo riconoscono l'atto motorio in sé, ma sono anche sensibili al contesto più ampio e al fine ultimo

dell'azione. Questo suggerisce che i neuroni specchio sono coinvolti nell'abilità di predire l'intenzione complessiva delle azioni degli altri individui.

Questa prospettiva evidenzia il fatto che la comprensione delle intenzioni altrui e l'attribuzione delle stesse sono fenomeni strettamente collegati, entrambi rientranti nello stesso meccanismo funzionale dei neuroni specchio. Ciò contrasta con la visione tradizionale dei domini cognitivi distinti, come proposto dai primi studi del cognitivismo, che consideravano la comprensione delle intenzioni come un processo separato dalla percezione delle azioni altrui.

Il coinvolgimento dei neuroni specchio nella comprensione delle intenzioni apre interessanti prospettive riguardo alla capacità dell'uomo di interpretare e anticipare le azioni degli altri. Questo meccanismo neurale ci permette di metterci nei panni degli altri individui, di percepire le loro intenzioni e di prevedere le loro prossime azioni, il che è fondamentale per il nostro comportamento sociale e per la cooperazione all'interno dei gruppi.

Queste evidenze conducono verso una visione più integrata della mente umana, dove la percezione, l'azione e la comprensione delle intenzioni degli altri sono collegati da un sistema neurale comune. Questo aiuta a comprendere meglio come la comunicazione sociale e la comprensione delle intenzioni degli altri siano processi interconnessi e come l'evoluzione dei neuroni specchio abbia contribuito in modo significativo alla complessa adattabilità sociale dell'essere umano.

Inoltre, è essenziale sottolineare come alcuni contributi teorici abbiano messo in relazione il funzionamento dei neuroni specchio con lo sviluppo delle abilità empatiche. Il gruppo di ricerca guidato da Marco Iacoboni presso l'Università di Los Angeles, insieme al gruppo di Parma, ha svolto un ruolo fondamentale nello studio

del coinvolgimento dei neuroni specchio nei processi emotivi e nella comprensione delle emozioni altrui. L'empatia, in termini letterali, implica la capacità di comprendere lo stato d'animo degli altri; questa capacità consente di avvicinarsi all'altro individuo attraverso la percezione delle sue emozioni e delle sue esperienze. Prima ancora delle evidenze sperimentali riguardanti il ruolo dei neuroni specchio nei processi emotivi, diversi studi di psicologia sociale avevano già dimostrato il legame tra il rispecchiamento e l'empatia. Un esperimento condotto alla New York University da Martin L. Hoffman rivelò che un bambino di appena un anno, di fronte a un altro bambino in lacrime, si avvicinava alla madre per chiedere aiuto a favore del suo piccolo compagno. I bambini mostravano anche una tendenza a imitare la sofferenza altrui, presumibilmente per comprendere meglio le esperienze dell'altro. È frequente osservare che se un bambino si fa male e prova dolore, un altro bambino presente sulla scena compie un gesto simile, quasi a cercare di cogliere l'esperienza emotiva corrispondente (Hoffman, 2008).

Il concetto di "empatia" sembra strettamente collegato al concetto di "mimetismo motorio", introdotto per la prima volta Titchener all'inizio del secolo scorso. Secondo Titchener (1909: in Rovatti, 2020), l'empatia nasce da una sorta di imitazione fisica della sofferenza fisica altrui, che poi suscita sentimenti simili nell'imitatore. Con il passare del tempo e il progredire della crescita, tale mimetismo tende a declinare progressivamente, poiché il bambino sviluppa una maggiore capacità di discernere tra le proprie emozioni e quelle degli altri. Questo processo di differenziazione emotiva consente al bambino di acquisire una maggiore consapevolezza delle proprie esperienze interiori e di distinguere tra i suoi stati emotivi personali e quelli delle persone che lo circondano.

Questo processo di differenziazione è essenziale per la crescita psicologica del bambino, poiché gli permette di sviluppare una comprensione più profonda delle proprie emozioni e di sviluppare una percezione più accurata delle emozioni degli altri. Questa consapevolezza emotiva crescente contribuisce al miglioramento delle abilità sociali e delle capacità empatiche del bambino, permettendogli di stabilire relazioni interpersonali più mature e significative.

Inoltre, il processo di differenziazione emotiva è fortemente influenzato dall'ambiente sociale e dalle interazioni con gli adulti significativi, come i genitori o i caregiver. Attraverso l'esempio e l'orientamento forniti dagli adulti, i bambini imparano a comprendere meglio le loro emozioni e ad affinare le loro abilità di interpretare le emozioni altrui.

Studi di psicologia evolutiva hanno, infatti, analizzato il legame tra lo sviluppo tipico e atipico dell'empatia e stili educativi genitoriali. Tra gli studi più noti, vi sono le ricerche condotte da Radke-Yarrow e Zahn-Waxler (1990) presso il *National Institute of Mental Health*. Questi studi hanno indagato come la relazione genitore-bambino possa influenzare le capacità di sintonizzarsi sulle emozioni altrui. Quando il rimprovero o il richiamo dei genitori è finalizzato non solo a imporre regole normative, ma anche a far comprendere al bambino come l'altro possa aver vissuto il suo comportamento, si favorisce un "rispecchiamento" tra sé e gli altri che aiuta a sviluppare le capacità empatiche e a costruire il bagaglio sociale e comportamentale (Waxler, Radke-Yarrow, 1990 in Rovatti, 2020).

Un'ipotesi innovativa è stata suggerita da Iacoboni (2008), il quale ha supposto che la mimica facciale possa influenzare la capacità di riconoscere le emozioni. Secondo la sua teoria, i neuroni specchio sarebbero responsabili di un processo di

"imitazione interna" delle espressioni facciali osservate negli altri. In parallelo, tali neuroni stabilirebbero una comunicazione con i centri emozionali localizzati nel sistema limbico. Questa attività sincronizzata permetterebbe, alla fine, di esperire le emozioni associate alle espressioni facciali osservate e, successivamente, di riconoscerle.

Per verificare questa ipotesi, Iacoboni (2008) ha focalizzato la sua attenzione su una specifica regione cerebrale chiamata insula, la quale presenta connessioni sia con i neuroni specchio sia con le aree limbiche. Al fine di esplorare le interazioni tra queste regioni cerebrali nel processo empatico, Iacoboni ha realizzato una serie di esperimenti di neuroimaging volti a chiarire il ruolo dei neuroni specchio, dell'insula e del sistema limbico nel riconoscimento emotivo e nell'empatia.

In uno di questi esperimenti (Carr et al.), un gruppo di volontari è stato esposto a fotografie ricche di carica emotiva, raffiguranti volti che esprimevano paura, tristezza, rabbia, felicità, sorpresa e disgusto. Successivamente, ai partecipanti è stato chiesto di imitare le espressioni facciali osservate. L'ipotesi di ricerca presuppose che, se esistesse una comunicazione tra i neuroni specchio e il sistema limbico tramite l'insula, si dovrebbe osservare un'attivazione dei neuroni specchio, dell'insula e del sistema limbico, nel momento in cui i volontari osservavano le emozioni espresse dai volti delle fotografie. Iacoboni avanzò anche l'idea di una potenziale amplificazione dell'attività cerebrale nei soggetti che, oltre a osservare i volti, si cimentavano nell'imitarli.

I risultati sperimentali confermarono l'ipotesi formulata da Iacoboni, poiché si riscontrò un'attivazione significativa del sistema specchio parieto-frontale, dell'insula e del sistema limbico. Secondo quanto enunciato da Iacoboni nel suo

lavoro del 2008, l'attivazione dei neuroni specchio avviene quando osserviamo gli altri esprimere le proprie emozioni, dando quasi l'impressione che stessimo noi stessi mettendo in atto tali espressioni facciali. Questo processo di attivazione neurale costituisce un fondamentale meccanismo che consente ai neuroni di inviare segnali ai centri cerebrali emozionali, situati nel sistema limbico. Grazie a questa interazione neurale, siamo in grado di sperimentare, in un certo senso, ciò che provano le persone che abbiamo di fronte.

In altre parole, quando vediamo qualcun altro esprimere una determinata emozione, i nostri neuroni specchio si "rispecchiano" in quella situazione, creando una sorta di imitazione interna dell'emozione osservata. Questo fenomeno ci consente di avvicinarci emotivamente alla prospettiva dell'altro individuo, acquisendo una comprensione più profonda delle sue emozioni e del suo stato mentale.

Grazie a questa "condivisione neurale" tra noi e gli altri, possiamo provare una sorta di empatia che ci permette di sentire, almeno in parte, ciò che le persone intorno a noi stanno provando. I segnali trasmessi ai centri emozionali nel sistema limbico giocano un ruolo fondamentale nell'attivazione delle nostre stesse emozioni, consentendoci di afferrare e rispondere all'esperienza emotiva dell'altro.

Questo complesso sistema neurale ha implicazioni profonde per la nostra capacità di comprendere, interpretare e connetterci con gli altri a livello emotivo. Esso costituisce un fondamentale pilastro della nostra capacità di sperimentare l'empatia, di stabilire legami sociali significativi e di costruire rapporti di reciproca comprensione e sostegno emotivo.

### **3. Autismo e neuroni specchio**

#### **3.1 I Neuroni specchio nell'autismo**

L'associazione tra disturbo dello spettro autistico (DSA) e l'alterazione della capacità imitativa è ormai ampiamente riconosciuta (Williams, et al., 2004). Questa correlazione è di fondamentale importanza poiché l'imitazione potrebbe rappresentare un processo cognitivo centrale necessario per lo sviluppo delle capacità cognitive sociali. È stato ipotizzato (Williams, 2006) che un deficit nelle abilità imitative durante l'infanzia possa indicare un'anomalia neurologica sottostante alle sindromi autistiche.

Sulla base del sofisticato modello di sviluppo intersoggettivo proposto da Stern (1985), Rogers e Pennington (1991) hanno avanzato l'idea che una specifica anomalia a livello neurologico potrebbe avere profonde ripercussioni sulle capacità di un individuo di collegare le proprie azioni osservate con le relative rappresentazioni cognitive interne. Questa potenziale incongruenza potrebbe, a loro avviso, tradursi in una difficoltà nel coordinare e integrare la percezione di sé con quella degli altri, una caratteristica che potrebbe rappresentare un fondamento per lo sviluppo di disturbi come lo spettro dell'autismo.

Whiten e Brown (1999) hanno condotto studi approfonditi su come le capacità imitative si sovrappongano e si interconnettano con i meccanismi sottostanti alla "teoria della mente" (ToM). Quest'ultima, in sintesi, si riferisce alla capacità cognitiva di attribuire stati mentali (come pensieri, desideri, intenzioni) a sé stessi e agli altri. L'integrazione di queste idee suggerisce che sia l'imitazione, sia la ToM, in termini di funzionamento cognitivo, potrebbero implicare un processo nel quale l'osservatore si immerge attivamente nella prospettiva dell'altro, "ri-rappresentando"

e internalizzando il punto di vista dell'individuo osservato attraverso la decodifica delle sue manifestazioni comportamentali.

In tal modo, queste ricerche aprono la porta a una comprensione più profonda della complessità delle interazioni sociali e di come le anomalie in questi meccanismi potrebbero gettare le basi per condizioni come lo spettro autistico. Queste considerazioni offrono anche spunti intriganti per futuri percorsi di ricerca, che potrebbero concentrarsi su come rafforzare o sviluppare ulteriormente queste capacità di "ri-rappresentazione" in individui affetti da autismo.

Williams e collaboratori (2001) hanno avanzato l'idea che sia la ToM che le capacità di imitazione potrebbero essere influenzate da una disfunzione del sistema dei neuroni specchio, producendo il complesso dei sintomi che caratterizzano l'autismo. I neuroni specchio, attivati sia dalla osservazione di un'azione sia dall'esecuzione della stessa o di un'azione simile, rappresentano una peculiarità del sistema neurologico umano essenziale per la comprensione delle azioni altrui.

Questi neuroni sono stati proposti anche come parte di un sistema che serve appunto per l'imitazione delle azioni. Meltzoff e Decety (2003), sulla stessa scia, sostengono che i neuroni specchio sono fondamentali per l'imitazione e che la pratica dell'imitazione può essere la base per la ToM. Il substrato neurale dell'imitazione nelle persone con spettro autistico è di grande interesse scientifico. Ad oggi, infatti, si sta cercando di determinare se gli individui con autismo utilizzino in modo diverso o compromesso il sistema dei neuroni specchio durante l'imitazione, o se altre strutture neurali coinvolte nell'imitazione siano alterate. Se l'imitazione gioca un ruolo centrale nello sviluppo delle capacità cognitive sociali, queste ricerche potrebbero illuminare la natura del deficit cognitivo sociale nell'autismo.



Il capitolo qui presentato si prefigge un compito ambizioso e cruciale nell'ambito della ricerca sull'autismo. L'obiettivo principale perseguito è di sondare in profondità, mediante una analisi della letteratura scientifica disponibile, le possibili anomalie nei sistemi neurali che governano il processo di imitazione nelle persone con autismo, in particolare sul sistema specchio.

Evidenze recenti suggeriscono che il sistema di corrispondenza tra esecuzione e osservazione dei neuroni specchio possa essersi evoluto insieme ad altre reti per permettere funzioni più complesse negli esseri umani(Perkins, 2010).

Nell'ambito dello studio delle neuroscienze, ci sono diverse aree di interesse legate all'interazione e alla comprensione degli altri. L'imitazione, ad esempio, rappresenta il processo mediante il quale un individuo replica un'azione osservata. Questa capacità è intimamente collegata con l'empatia, intesa come l'abilità di riconoscere, comprendere e sintonizzarsi con lo stato emotivo degli altri. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che imitazione ed empatia, pur strettamente correlate, sono due fenomeni distinti: mentre la prima riguarda la replica di un comportamento, la seconda ha a che fare con la condivisione di sentimenti e emozioni. Baron-Cohen (2012) ha evidenziato che l'empatia risulta compromessa in individui con autismo.

Studi anatomici hanno identificato una connessione tra l'area disgranulare dell'insula e le regioni frontali e parietali, zone cerebrali associate ai neuroni specchio. Tali neuroni sono coinvolti nel processo di imitazione e potrebbero avere un ruolo nella capacità empatica. Tuttavia, sebbene le ricerche mostrino un'attività cerebrale evocativa dell'azione dei neuroni specchio durante specifici compiti, è necessario

procedere con cautela prima di affermare con certezza il loro effettivo coinvolgimento (Perkins, 2010).

L'ipotesi più di base che collega il sistema specchio con l'autismo suggerisce che vi sia una mancanza o una anomalia nello sviluppo del sistema dei neuroni specchio. Ciò potrebbe essere dovuto a cause genetiche o altre cause endogene, a condizioni esterne avverse al funzionamento dei neuroni specchio o a una qualche interazione tra queste (Perkins, 2010). Tali fattori potrebbero influenzare tutti i gruppi di neuroni specchio o essere limitati solo a certi gruppi, come quelli presenti nella corteccia parietale. Non è necessariamente implicato un malfunzionamento completo di tale sistema ; potrebbe esserci, scrive Perkins (2010), anche un semplice ritardo dello sviluppo o un'incompletezza nello stesso.

Considerando gli elementi discussi nelle sezioni precedenti, tale disfunzione potrebbe impedire o interferire con l'imitazione o, forse più fondamentalmente, portare alla "formazione/coordinazione alterata di specifiche rappresentazioni di sé e degli altri" (Perkins, 2010, p.2), proposta come causa fondamentale della serie di problemi cognitivi e affettivi che affliggono la popolazione autistica. Ciò potrebbe a sua volta spiegare l'incapacità di sviluppare capacità sociali e relazionali, comprese attenzione condivisa/congiunta, riconoscimento gestuale e linguaggio (in particolare gli aspetti sociali/pragmatici che, come sottolineato da Rogers e Pennington, sono i più colpiti), oltre alle difficoltà nello sviluppo dell'empatia e di una completa teoria della mente.

L'autismo è una condizione complessa, con una serie di manifestazioni che variano notevolmente tra gli individui. La teoria dei neuroni specchio ha proposto una spiegazione potenziale per alcune delle difficoltà sociali e comunicative riscontrate

nelle persone con autismo. Tuttavia, basare la comprensione dell'autismo esclusivamente sulla "disfunzione dei neuroni specchio e della funzione imitativa" (Perkins, 2010) potrebbe essere riduttivo.

Se da un lato i neuroni specchio sono coinvolti nella capacità di imitazione, e questa capacità potrebbe essere alterata in alcuni individui con autismo, non si può tralasciare il fatto che molte persone con autismo mostrano comportamenti ripetitivi, inflessibili e stereotipati. Questi comportamenti, pur avendo un'apparente natura "imitativa", sono distinti dalla semplice imitazione di azioni e comportamenti degli altri. Ad esempio, il linguaggio ripetitivo o l'adesione rigida a routine quotidiane non sono necessariamente legati a un deficit di imitazione.

Questo suggerisce che, mentre la disfunzione dei neuroni specchio potrebbe giocare un ruolo in alcune delle difficoltà sociali e comunicative riscontrate nell'autismo, esistono altri meccanismi neurali e comportamentali che contribuiscono all'ampio spettro di manifestazioni associate a questa condizione. Dunque, è essenziale adottare un approccio olistico e multidimensionale nella ricerca e nella comprensione dell'autismo, integrando varie teorie e modelli per avere una visione completa e accurata della condizione.

Si potrebbe suggerire che, in realtà, queste ultime caratteristiche sono una testimonianza dei problemi di collegamento percezione-azione che si verificano nell'autismo.

Queste idee sono coerenti con l'ipotesi che, nell'autismo, il sistema dei neuroni specchio nel suo complesso non funzioni correttamente. In questi casi, il sistema potrebbe manifestare una modulazione inadatta. Si ricordi che è stato suggerito che un sistema inibitorio controllato è essenziale per permettere ai neuroni specchio di

operare "off-line" affinché la simulazione e la teoria della mente funzionino e si sviluppino. Se il danno si estende a tali componenti inibitorie, allora potrebbero verificarsi certe forme di imitazione, che ovviamente sono anomale (Catmur & Walsh, 2006).

In sintesi, dallo studio proposto da Perkins (2010) emerge che vi sono prove che suggeriscono che determinate regioni cerebrali, ritenute sede dei neuroni specchio, mostrano anomalie sia dal punto di vista strutturale che funzionale nelle persone con autismo. Nonostante l'esiguità delle ricerche attuali, le evidenze indicano che tali anomalie dei MN diventano particolarmente evidenti quando si tratta di informazioni di natura sociale ed emotiva, o quando è necessaria una discriminazione tra diversi stimoli, come movimenti o espressioni facciali. È stato evidenziato, quindi, un collegamento tra queste anomalie e i deficit sociali presenti nell'autismo (Catmur & Walsh, 2006).

Recentemente, è stata avanzata l'ipotesi che l'autismo possa essere caratterizzato da problemi di connettività tra diverse regioni del cervello. In particolare, sembra esservi una ridotta connettività tra i lobi frontale e parietale, aree in cui si ritiene risieda il sistema dei neuroni specchio. Questo deficit di connettività potrebbe spiegare le disfunzioni del suddetto sistema presenti in alcuni pazienti autistici, offrendo una chiave interpretativa dei risultati contrastanti emersi in diverse ricerche sul ruolo dei neuroni specchio nell'autismo (Perkins, 2010).

Questa alterazione di connettività potrebbe portare a difficoltà nel comprendere e interpretare le azioni e le emozioni degli altri, una caratteristica spesso associata all'autismo.

Il grado di disconnessione tra queste aree cerebrali però potrebbe variare da individuo a individuo, portando a una gamma di sintomi e capacità differenziati.

In questo contesto, la ricerca citata (Perkins, 2010) sembra suggerire che il ruolo dei neuroni specchio nell'autismo possa essere meglio compreso considerando la connettività globale del cervello, piuttosto che focalizzarsi esclusivamente sul sistema specchio.

Del resto, è importante sottolineare che la letteratura globalmente non ritiene che i neuroni specchio siano l'unico fattore alla base dell'autismo, ma che, invece, potrebbero rappresentare un importante indicatore neurofisiologico del disturbo.

I deficit identificati nel sistema dei neuroni specchio (MN) rappresentano un campo di ricerca promettente, in quanto potrebbero emergere come il primo marker neuroanatomico affidabile associato all'autismo. Questa scoperta potrebbe rappresentare un punto di svolta nel panorama delle neuroscienze e nella comprensione dell'autismo, aprendo la via a strategie terapeutiche innovative e specificamente mirate.

Nel contesto di individui neurotipici, si è notato che il funzionamento dei neuroni specchio può essere rafforzato e modulato attraverso particolari esercizi sensorimotori. Questa plasticità intrinseca del sistema dei MN suggerisce che, con le giuste strategie di intervento, si potrebbero ottenere buoni risultati anche in soggetti con autismo che presentano deficit in tale sistema.

In particolare sono emersi studi che mostrano come determinati interventi, concentrati sull'imitazione, possano avere un impatto positivo nello sviluppo di diverse competenze nei bambini autistici. Tali interventi sembrano portare a miglioramenti tangibili in ambiti chiave come il linguaggio, la capacità di stabilire

contatti oculari, l'interazione sociale e la comprensione delle emozioni altrui. Questi progressi, anche se iniziali, offrono una speranza concreta per le famiglie e i professionisti che lavorano con individui affetti da autismo, suggerendo che la comprensione e l'utilizzo dei MN potrebbero giocare un ruolo cruciale nelle future terapie e strategie di riabilitazione (Kennedy & Courchesne, 2008).

Infine, pur riconoscendo l'importanza dei MN, è essenziale sottolineare che essi probabilmente non spiegano tutti i sintomi dell'autismo. Una comprensione più profonda delle reti cerebrali a cui i MN appartengono potrebbe rivelare che il deficit dei MN è solo una parte di un quadro clinico più ampio nell'autismo.

Resta anche un mistero se i neuroni specchio siano danneggiati o colpiti in tutti i pazienti autistici o solo in alcuni, per cui si ritiene che una completa conoscenza della neuropatofisiologia possa aiutare la ricerca a comprendere e a trovare alcune risposte alle domande ancora aperte sull'argomento.

Secondo Saffrin & Tohid (2016) numerose ricerche supportano l'idea che i neuroni specchio comunicano attraverso reti neurali. Sorprendentemente, queste reti sono state trovate danneggiate nell'autismo suggerendo una possibile connessione nella patofisiologia dei neuroni specchio con l'autismo. Alcuni studi di neuroimaging hanno osservato una mancanza di attività nel suddetto sistema in individui con autismo. Tuttavia, ci sono state anche ricerche che non hanno trovato significative differenze tra i cervelli di individui autistici e quelli neurotipici per cui si assiste, secondo gli autori, a risultati ancora contrastanti che andrebbero chiariti con l'incremento della ricerca sul campo (Saffrin & Tohid, 2016).

La discussione degli autori sopra citati ha riguardato soprattutto l'importanza della teoria dei neuroni specchio come teoria neurobiologica dominante per l'autismo,

nonostante le incongruenze e le discrepanze presenti negli studi da loro raccolti per la realizzazione della review che si è voluto riportare in tale elaborato. Gli autori hanno evidenziato come i neuroni specchio operino in una rete più ampia piuttosto che in aree concentrate e hanno, altresì, osservato che negli esseri umani hanno una funzione più di tipo sociale rispetto a quanto scoperto nel mondo dei primati. In altre parole, negli umani, i neuroni specchio non sono solo coinvolti nel semplice atto di replicare o "specchiare" un'azione vista, ma contribuiscono anche alla nostra capacità di comprendere le intenzioni, le emozioni e i comportamenti degli altri, svolgendo quindi un ruolo fondamentale nelle nostre interazioni sociali.

Ad esempio, quando vediamo qualcuno che alza la mano, i neuroni specchio potrebbero non solo aiutarci a riconoscere quell'azione, ma anche a intuire se quella persona sta cercando di fare un saluto, di attirare l'attenzione o di fare un gesto specifico. Questo va oltre la mera imitazione dell'azione e si addentra nel campo della comprensione delle intenzioni dietro quell'azione. Quando vediamo qualcuno che piange, ad esempio, possiamo sentire tristezza o empatia per quella persona, e ciò è in parte mediato dall'attività dei neuroni specchio nel nostro cervello.

Pertanto, la presenza e l'attività dei neuroni specchio nel cervello umano svolgono un ruolo fondamentale non solo nella nostra capacità di replicare le azioni, ma anche nel modo in cui comprendiamo, interpretiamo e interagiamo con gli altri nel nostro ambiente sociale. Questa intricata rete neurale rappresenta una base biologica fondamentale per le nostre interazioni sociali, la nostra empatia e la nostra capacità di leggere e rispondere alle intenzioni e alle emozioni degli altri.

Gli studi che Saffrin & Tahid (2016) hanno raccolto nella loro review hanno mostrato che i neonati iniziano a rispondere al loro ambiente sociale fin dai primi

giorni di vita. Secondo il loro punto di vista, queste primarie interazioni sociali testimoniano quanto sia coinvolto il sistema specchio nello sviluppo sociale e relazionale (Saffrin & Tahid, 2016).

Il processo di mappatura cerebrale, in inglese *brain mapping* oppure *brain map* (Saffrin & Tahid, 2016) è essenziale per il comportamento sociale reciproco, permettendo di interpretare azioni e intenzioni e di comunicare attraverso diverse modalità. Questo sistema di mappatura aiuta non solo a comunicare con gli altri ma anche a interpretare gli stimoli interni, integrando questi comportamenti con un significato sociale anche di tipo simbolico.

Nelle persone con sviluppo neurotipico, i neuroni specchio svolgono un ruolo cruciale durante le tappe evolutive in cui i bambini sviluppano capacità motorie, sociali e linguistiche. Questi neuroni sono particolarmente attivi quando un bambino impara ad imitare e a comprendere le azioni e le intenzioni altrui, formando così le basi della comunicazione e dell'empatia.

Con l'avanzare delle ricerche, è probabile che in futuro si delinei un quadro più dettagliato di come le mappe cerebrali, in particolare quelle sensoriali-motorie, siano correlate all'autismo. In questo contesto, per comprendere appieno la relazione tra i neuroni specchio e la patofisiologia dell'autismo, è essenziale distinguere accuratamente questi neuroni da un altro gruppo noto come "neuroni canonici" (Saffrin & Tohid, 2016).

I neuroni specchio, come evidenziato in precedenti analisi, si attivano non solo quando un individuo esegue un'azione, ma anche quando la osserva. Questa duplice attivazione è la caratteristica distintiva di tali neuroni e rappresenta la base della loro importanza nella comprensione e nell'imitazione delle azioni altrui (Saffrin & Tohid,



2016). D'altro canto, i neuroni canonici hanno una funzione diversa: si attivano principalmente quando si osserva un oggetto che può essere afferrato, indipendentemente dal fatto che l'azione di afferrare venga poi eseguita o meno.

Molti studi che utilizzano la risonanza magnetica funzionale (fMRI) hanno investigato le attività legate ai neuroni specchio focalizzandosi o sull'osservazione o sull'esecuzione di un'azione, ma raramente su entrambe simultaneamente. Questo approccio parziale potrebbe non catturare pienamente l'essenza dei neuroni specchio e potrebbe creare delle confusioni interpretative.

In conclusione, per comprendere meglio l'eventuale ruolo dei neuroni specchio nell'autismo, è fondamentale adottare metodi di ricerca che considerino la specificità funzionale di questi neuroni e che li differenzino chiaramente dai neuroni canonici.

Di conseguenza, risulta fondamentale una maggiore ricerca sui neuroni specchio e il loro legame con l'autismo. Al momento, le evidenze suggeriscono che le aree del cervello colpite dall'autismo sono anche sedi di attività dei neuroni specchio, e questo potrebbe essere un ottimo indice che testimonia il collegamento di cui si sta discutendo. Gli studi di neuroimaging evidenziano specifiche aree cerebrali che sono colpite in pazienti autistici. Queste aree comprendono, tra le altre, il cervelletto, l'ippocampo e l'amigdala (Braadbaart, et al., 2013).

Il cervelletto, noto per la sua funzione nella coordinazione motoria, è emergente come un'area potenzialmente ricca di neuroni specchio. Questa scoperta potrebbe essere rivoluzionaria, poiché tradizionalmente il cervelletto non era considerato parte del sistema dei neuroni specchio e quindi non è stato preso in considerazione negli studi che hanno studiato la relazione tra neuroni specchio e autismo (Mukamel, et al., 2010).

L'ippocampo e l'amigdala, strutture cerebrali fondamentali per la memoria e le risposte emotive, presentano alterazioni strutturali e funzionali in individui con autismo.

Curiosamente, come riporta Foster (2015), è stata evidenziata negli animali l'esistenza di neuroni specchio all'interno di queste stesse regioni cerebrali (Foster, 2015). Questi dati suggeriscono che vi potrebbe essere una connessione tra le anomalie riscontrate nell'ippocampo e nell'amigdala delle persone autistiche e un malfunzionamento del sistema dei neuroni specchio in tali aree (Foster et al, 2015).

Gli studi sul cervello dei pazienti autistici hanno, inoltre, rilevato anomalie nelle dimensioni dei lobi cerebrali, notando un aumento delle dimensioni in presenza di autismo (Marshall, et al., 2011). In letteratura (Saffrin & Tohid, 2016) è stato confermato che i neuroni specchio si trovano nelle corteccie parietale e frontale, con la corteccia premotoria e il lobo parietale collegati all'osservazione delle azioni. È stato riscontrato che certe aree dorsali rispondono di più all'osservazione di movimenti dei piedi rispetto a quelli di mani e braccia (Foster et al, 2015).

Un aspetto particolarmente interessante di questi studi riguarda l'attivazione della corteccia somatosensoriale secondaria. È stato osservato che questa area del cervello si attiva non solo quando un individuo viene toccato, ma anche quando osserva un altro essere toccato. Questo suggerisce una profonda interconnessione tra l'esperienza personale e l'osservazione dell'esperienza altrui. In termini semplici, il nostro cervello "sente" il tocco osservato come se lo stesso sperimentando direttamente (Foster et al, 2015).

Nel contesto dell'autismo, questi risultati assumono una particolare rilevanza. Molti individui autistici presentano difficoltà nelle interazioni sociali e nella comprensione

delle emozioni e delle intenzioni altrui. Se il sistema dei neuroni specchio, e in particolare aree come la corteccia somatosensoriale secondaria, non funziona correttamente o in modo ottimale, potrebbe portare a un deficit nella capacità di "riflettere" e "sentire" le esperienze altrui, proprio come avviene nell'autismo ed è per questo che tale compromissione potrebbe in parte spiegare alcune delle difficoltà sociali e empatiche manifestate da individui con tale diagnosi.

Potrebbe dunque essere possibile che, se un individuo autistico ha un malfunzionamento o una differente attivazione dei neuroni specchio o della corteccia somatosensoriale secondaria, ciò influenzi la sua capacità di percepire, interpretare e rispondere alle emozioni degli altri. Ciò potrebbe manifestarsi come una ridotta reattività o comprensione delle emozioni altrui, o come difficoltà nell'interpretare le intenzioni che sono a monte delle azioni osservate (Oberman, 2007).

Nel cervello dei pazienti autistici sono state anche descritte alterazioni nei ventricoli cerebrali. Queste alterazioni si riscontrano anche in altre patologie psichiatriche, come la schizofrenia.

Anomalie sono state osservate anche in settori dei gangli della base, come il putamen e il nucleo caudato. Inoltre, si è notato che i pazienti con disturbo dello spettro autistico presentano variazioni nella materia grigia in diverse aree del cervello (Oberman, 2007).

Oltre ai cambiamenti strutturali evidenti in alcune aree del cervello, come l'ipertrofia dei ventricoli cerebrali o le variazioni nel volume di certe aree cerebrali, recenti studi hanno iniziato a esaminare le variazioni metaboliche nel cervello dei pazienti con autismo. In particolare, l'analisi metabolica può offrire spunti sui processi

cellulari e molecolari che potrebbero essere alterati nell'autismo (Brambilla et al., 2003).

Una delle scoperte riguarda il nucleo caudato, una parte dei gangli della base nel cervello che svolge un ruolo cruciale in molte funzioni, tra cui il movimento, l'apprendimento e la memoria. Studi recenti hanno evidenziato che il nucleo caudato ha una funzione specifica nell'elaborazione delle informazioni sociali e potrebbe contribuire alle difficoltà di interazione sociale riscontrate nei pazienti autistici (Leming, et al., 2020).

Le variazioni metaboliche osservate nel nucleo caudato dei pazienti autistici suggeriscono un'alterazione del funzionamento normale di questa regione cerebrale. Per esempio, alcuni studi hanno rilevato livelli elevati di glutammato, un neurotrasmettitore chiave, nel nucleo caudato dei pazienti con autismo. Il glutammato è coinvolto in molte funzioni cerebrali, compresi l'apprendimento, la memoria e la neuroplasticità. Un equilibrio alterato di questo neurotrasmettitore potrebbe perturbare il normale funzionamento del nucleo caudato, portando a difficoltà nelle elaborazioni sociali.

Ulteriori ricerche sul nucleo caudato hanno evidenziato anche ipoattivazione di questa regione durante specifiche attività che richiedono anticipazione e elaborazione di stimoli sociali negativi. Questo suggerisce che il nucleo caudato potrebbe avere un ruolo nell'elaborazione delle informazioni sociali negative e, quando non funziona correttamente, potrebbe contribuire ai comportamenti autistici.

### *3.1.1 Antitesi e lo specchio infranto*

La questione del coinvolgimento dei neuroni specchio nell'autismo è di grande interesse e dibattito nel mondo scientifico. Mentre una vasta letteratura sostiene l'idea di un'anomalia nei neuroni specchio come una possibile causa delle caratteristiche dell'autismo, è essenziale menzionare anche quelle ricerche che propongono un quadro differente.

Keller e collaboratori (2011), analizzando vari studi, hanno notato alcune incongruenze nella tesi dei neuroni specchio "infranti" nell'autismo. Sebbene diverse ricerche abbiano identificato anomalie nella regione del giro frontale inferiore, che fa parte del sistema dei neuroni specchio e che è fondamentale coinvolta nel riconoscimento dell'intento o della finalità delle azioni, non tutti i risultati sono coerenti con questa teoria.

In particolare, molte persone con autismo, anche in presenza di anomalie in queste aree cerebrali, sembrano non avere difficoltà nel riconoscere e comprendere la finalità delle azioni che osservano, in particolare se tali azioni sono di natura semplice o quotidiana. Inoltre, molte persone con autismo dimostrano capacità di emulazione, ovvero la capacità di replicare l'obiettivo o il risultato di un'azione osservata, anche se attraverso un comportamento o una strategia leggermente diversa da quella mostrata dal modello.

Questi dati suggeriscono che la capacità di comprendere e replicare le azioni altrui potrebbe non essere esclusivamente legata ai neuroni specchio o, almeno, che non vi sia un deficit univoco e uniforme in tutte le persone con autismo. Invece, potrebbe esistere una varietà di meccanismi e vie neurali che contribuiscono a queste

capacità, e i neuroni specchio potrebbero essere solo una parte del puzzle. È quindi fondamentale che gli studiosi rimangano aperti e critici, considerando tutte le possibili interpretazioni e i meccanismi coinvolti nell'autismo.

Il ruolo del sistema dei neuroni specchio nell'autismo è stata una questione centrale per molti ricercatori, con evidenze a volte contrastanti. Un esempio significativo proviene dallo studio di neuroimaging condotto da Hatt (2009). In questa ricerca, la risposta del giro frontale inferiore - una regione chiave associata ai neuroni specchio - è stata esaminata sia in individui autistici che in quelli neurotipici con l'uso di strumenti quali fMRI. Sorprendentemente, non sono state rilevate differenze sostanziali nell'attivazione di questa regione tra i due gruppi, mettendo in dubbio la teoria di un deficit universale dei neuroni specchio nell'autismo.

Ulteriori approfondimenti provengono da Oberman, il quale ha osservato che il sistema dei neuroni specchio negli individui autistici sembra funzionare normalmente quando interagiscono con individui a loro familiari, come parenti o educatori. Questo suggerisce che la familiarità potrebbe avere un ruolo chiave nell'attivazione dei neuroni specchio in queste persone. Questi risultati sono stati riportati dallo studio di Keller, che tuttavia non ha fornito ulteriori dettagli su come questi studi siano stati condotti.

Ancora, Colombi (2009) ha evidenziato un risultato interessante: piuttosto che avere una ridotta attivazione del sistema dei neuroni specchio, un gruppo di individui con autismo ha mostrato un'attivazione superiore rispetto ai controlli, con EEG e fMRI. Questo suggerisce che, in certe circostanze, il sistema dei neuroni specchio potrebbe essere iperattivo.

In una direzione simile, Dinstein (2010) ha analizzato l'attività cerebrale dei neuroni specchio utilizzando la fMRI, in un contesto in cui i partecipanti osservavano o eseguivano movimenti manuali. I risultati hanno dimostrato che la risposta corticale degli individui autistici era in linea con quella dei soggetti neurotipici, sia nell'osservazione che nell'esecuzione dei movimenti. Questi dati suggeriscono che il sistema dei neuroni specchio negli individui con autismo può essere funzionalmente integro e operare in maniera selettiva e specifica, mettendo in discussione l'idea di un deficit universale in questo sistema.

Le recenti ricerche nel campo dell'autismo e dei neuroni specchio presentano uno scenario complesso e multifaccettato. La reattività del sistema dei neuroni specchio in individui con autismo, come delineato da Keller (2011) e il suo gruppo di ricerca, sfida alcune teorie consolidate. Mentre una significativa porzione della letteratura scientifica suggerisce che ci possa essere un malfunzionamento o una anomalia nel funzionamento dei neuroni specchio negli individui con autismo, Keller e i suoi colleghi hanno rilevato un quadro diverso.

Avendo osservato che la reattività del sistema dei neuroni specchio negli individui autistici non differisce sostanzialmente da quella degli individui neurotipici. Un altro interessante contributo in questo contesto proviene dallo studio di Rosenbaum sulle abilità di pianificazione motoria (1990). Questo studio ha rivelato che i bambini autistici sono in grado di eseguire azioni con un'efficacia comparabile a quella dei bambini neurotipici, a condizione che venga mostrata loro l'azione corretta in anticipo. Questa scoperta suggerisce che la capacità di apprendimento e imitazione motoria potrebbe essere preservata in individui con autismo.

Ancora più sorprendente è il fatto che, in test progettati per valutare la comprensione dei gesti, i pazienti autistici non solo hanno dimostrato di essere all'altezza dei soggetti di controllo, ma li hanno addirittura superati. Questo risultato sottolinea che, in certe condizioni, gli individui autistici possono dimostrare capacità superiori rispetto ai loro coetanei neurotipici (Keller, et al., 2011)

In esperimenti condotti da due differenti gruppi di ricerca, i bambini autistici hanno dimostrato di essere in grado di comprendere e replicare l'obiettivo di un'azione mostrata da un adulto (come riportato da Keller, et al., 2011), anche se quest'ultimo non aveva avuto successo nel completare l'azione. Questa capacità di emulare lo scopo dell'azione era paragonabile a quella dei bambini neurotipici. Oltre a ciò, gli individui con autismo hanno dimostrato di essere abili nell'imitare azioni che coinvolgono oggetti, soprattutto quando ricevono un feedback non di tipo sociale, come un suono o una luce. Hanno mostrato competenza nell'eseguire azioni significative e hanno ottenuto buoni risultati in compiti di imitazione esplicita. E ciò è rilevante perché queste funzioni sono strettamente correlate al sistema dei neuroni specchio e secondo questo gruppo di ricerca tali funzioni sembrano conservate nella patologia in analisi.

Nell'ambito della ricerca sull'autismo, l'uso di tecniche avanzate di neuroimaging come la risonanza magnetica funzionale (fMRI) ha permesso di ottenere intuizioni fondamentali sul funzionamento del cervello degli individui autistici durante specifiche attività cognitive. Uno degli aspetti più importanti che emerge da queste indagini riguarda la capacità degli adulti autistici di comprendere e rappresentare mentalmente la finalità delle azioni eseguite da altri.



Secondo un influente studio di Sebanz et al. (2005), gli adulti con autismo, quando osservano azioni che hanno un chiaro obiettivo o scopo, mostrano attivazioni neurali sorprendentemente simili a quelle di individui neurotipici. Questa scoperta smentisce l'idea prevalente che gli individui autistici possano avere intrinseche difficoltà nel comprendere o rappresentare la finalità delle azioni degli altri.

In particolare, le aree cerebrali tradizionalmente associate alla percezione delle azioni, come il giro frontale inferiore e il lobo parietale superiore, si sono dimostrati attivi in maniera simile sia negli individui autistici sia in quelli neurotipici durante l'osservazione di tali azioni. Questo suggerisce che, almeno in determinate circostanze o con determinate tipologie di azioni, gli individui autistici possono effettivamente "entrare nella mente" degli altri, riconoscendo e comprendendo le intenzioni altrui.

La "teoria degli specchi infranti" ha, per un certo periodo, dominato il discorso accademico e clinico riguardante l'autismo, postulando una chiara e diretta disfunzione nel sistema dei neuroni specchio come causa centrale dei sintomi autistici. Questa teoria suggerisce che, poiché i neuroni specchio sono coinvolti nell'imitazione e nella comprensione delle intenzioni altrui, una loro disfunzione potrebbe spiegare le caratteristiche sociali e comunicative associate all'autismo.

Tuttavia, un corpus crescente di ricerche sta sfidando questa ipotesi. Numerosi studi, infatti, non solo sottolineano che molti individui con autismo non mostrano alcun deficit in specifici compiti legati ai neuroni specchio, ma rivelano anche che, in determinate condizioni, le persone con autismo possono dimostrare abilità imitative al pari o addirittura superiori a quelle dei soggetti neurotipici. Queste scoperte

suggeriscono che la relazione tra autismo e neuroni specchio potrebbe essere molto più complessa e sfaccettata di quanto precedentemente ipotizzato.

Tali ricerche ribadiscono la necessità di un approccio più olistico e differenziato nella valutazione delle capacità e dei deficit degli individui con autismo. Invece di concentrarsi esclusivamente sulla disfunzione dei neuroni specchio, potrebbe essere più produttivo esplorare una gamma più ampia di processi neurali e cognitivi, al fine di sviluppare una comprensione più matriciale e integrata dell'autismo.

In conclusione, mentre la "teoria degli specchi infranti" ha fornito una prospettiva iniziale utile e innovativa, la crescente mole di evidenze suggerisce che dovremmo essere cauti nel fare affermazioni definitive riguardo al ruolo dei neuroni specchio nell'autismo. È essenziale che la ricerca prosegua, approfondendo e diversificando le indagini, per garantire una comprensione più sfumata e accurata di questa complessa condizione neurologica.

Tuttavia, sebbene la "teoria degli specchi infranti" possa presentare lacune e limitazioni, rimane una prospettiva significativa che offre una possibile spiegazione di alcune caratteristiche dell'autismo. L'idea che un disfunzionamento del sistema dei neuroni specchio possa essere alla base di alcuni deficit dell'autismo, specialmente in relazione alla capacità di empatia e interazione con gli altri, fornisce una lente attraverso cui comprendere meglio la difficoltà di questi individui nel campo delle relazioni sociali (Keller et al., 2011).

### *3.1.2 Modello integrato EP-M e STORM*

Oltre all'approccio denominato ipotesi dello "specchio rotto", sono stati formulati due modelli alternativi: il modello EP-M e il modello di modulazione della risposta

sociale dall'alto verso il basso (STORM). Anche questi modelli suggeriscono una sorta di disfunzione riguardo al sistema dei neuroni specchio nello spettro autistico, sia che si tratti del sistema dei neuroni specchio stesso o dei sistemi che intervengono nella sua regolazione. Yates & Hobson (2020) suggeriscono una revisione della letteratura, che è stata svolta confrontando questi tre modelli alla luce delle recenti indagini neuroscientifiche. La revisione conclude che non c'è un sostegno sufficiente per l'ipotesi dello specchio rotto, ma le prove convergenti supporterebbero un modello integrato tra EP-M e STORM (Yates & Hamilton, 2020).

Nel modello EP-M, si suggerisce che non esista un problema generale nel Sistema dei Neuroni Specchio (MNS, da "Mirror Neuron System"). Questo modello propone che esistano due principali percorsi nel cervello coinvolti nell'imitazione. Per esempio, quando un individuo osserva qualcuno compiere un'azione con uno scopo, come afferrare una tazza per bere, quest'azione passa attraverso una serie di zone del cervello: inizia nel Giro Temporale Medio (MTG), poi prosegue nell'area IPL, e infine arriva all'area IFG, dove viene pianificata la nostra azione imitativa. Invece, quando l'azione osservata non ha uno scopo preciso, come quando si vede qualcuno muovere semplicemente la mano, questa viene elaborata direttamente tra il MTG e l'IFG. Questo modello suggerisce che le persone con autismo possano avere difficoltà principalmente nel secondo percorso (Yates & Hamilton, 2020).

Il modello STORM, invece, focalizza l'attenzione non direttamente sul sistema dei neuroni specchio, ma sul modo in cui viene regolato. In persone "neurotipiche" (NT), quando si osserva un'azione, il sistema specchio elabora le caratteristiche motorie di quest'azione. Tuttavia, la Corteccia Prefrontale Mediale (mPFC) aiuta a

comprendere il contesto sociale di quell'azione. Ad esempio, alzare un braccio in una lezione ha un significato diverso rispetto al farlo in un supermercato. Il modello STORM suggerisce che nelle persone con autismo ci sia una difficoltà nella regolazione di questa interpretazione del contesto sociale. Infine, alcune ricerche suggeriscono che queste due teorie possano in realtà essere collegate: le difficoltà di imitazione dell'autismo potrebbero derivare da un problema nella regolazione del sistema specchio (Bishop, 2017).

Tuttavia, sia il modello EP-M che il modello STORM differiscono notevolmente dall'ipotesi dello specchio rotto, che sostiene che le difficoltà riscontrate nelle persone con autismo siano il risultato di un malfunzionamento generale del Sistema dei Neuroni Specchio (MNS). In altre parole, mentre le prime due teorie identificano specifiche aree o percorsi problematici, l'ipotesi dello specchio rotto suggerisce che l'intero sistema dei neuroni specchio non funzioni correttamente nelle persone con autismo (Yates & Hobson, 2020).

### **3.2 Valutazione del ritmo $\mu$ nella EEG**

La registrazione EEG permette di studiare le variazioni dell'attività bioelettrica spontanea del cervello. Nei soggetti adulti, a riposo e con gli occhi chiusi, prevale solitamente il ritmo alfa con una frequenza tra 8 e 12 Hz, localizzato principalmente nelle regioni cerebrali posteriori, e ritmi ad alta frequenza beta nelle aree anteriori. Si osserva anche un ritmo con frequenza dominante tra 8-13 Hz chiamato "ritmo mu", registrato nelle derivazioni EEG rolandiche o centrali C3, C4 e Cz, posizionate sulla circonvoluzione precentrale. Questo ritmo è più frequente, ma non esclusivamente, nella popolazione giovane. Le caratteristiche del ritmo mu furono

descritte per la prima volta da Gastaut (1952). L'autore insieme ai suoi collaboratori coniarono il termine "*rythme rolandique en arceau*", riferendosi alla forma ad arco dell'onda.

Il ritmo mu è strettamente correlato all'attività motoria. Quando il sistema motorio è a riposo, il ritmo mu è presente e ciò indica che non si sta eseguendo alcun movimento volontario. In questo stato, le cellule nervose nella corteccia sensorimotoria del cervello sono sincronizzate, ovvero lavorano insieme in modo armonico e producono l'onda elettrica chiamata appunto ritmo mu.

Quando si verifica un movimento, il ritmo mu "si blocca" o si attenua. Ciò significa che c'è stata una sorta di interruzione o riduzione nell'attività delle onde mu. Questo può accadere quando si esegue un movimento (attivo o volontario), quando il proprio corpo viene mosso passivamente (movimento passivo), o anche quando il corpo risponde con un movimento riflesso (ad esempio, la gamba che scatta in avanti quando il medico colpisce delicatamente il ginocchio del paziente con un martelletto).

Quando il sistema motorio è attivato, i neuroni nella corteccia sensorimotoria non lavorano più insieme in modo sincronizzato. Sono "desincronizzati", e questo stato di desincronizzazione si riflette nell'attenuazione o scomparsa del ritmo mu sull'EEG (Bishop, 2017), che viene sostituito da un ritmo a più alta frequenza e minore ampiezza.

Durante un esame EEG di routine, i medici possono chiedere al paziente di chiudere il pugno. Quando ciò accade, il ritmo mu sull'EEG dovrebbe attenuarsi o scomparire.

Il ritmo mu tende ad essere presente in modo alternato e unilaterale, il che significa che può manifestarsi in un emisfero del cervello alla volta. Quindi, quando si chiude

il pugno con la mano destra (che è controllata dall'emisfero sinistro del cervello), il ritmo mu nell'emisfero sinistro dovrebbe attenuarsi o scomparire e viceversa (Baduell et al., 2011).

In generale, una desincronizzazione EEG avviene a causa di una stimolazione talamocorticale ed è correlata a una rete neurale eccitata o ad aree corticali attivate, mentre una sincronizzazione EEG è correlata ad aree corticali disattivate. Il blocco del ritmo alfa occipitale registrato con gli occhi aperti, così come il blocco mu registrato durante un movimento, sono esempi di questo fenomeno di desincronizzazione (Baduell et al., 2011).

Gli studi elettroencefalografici sui soggetti con disturbi dello spettro autistico (TEA) forniscono evidenze sugli aspetti funzionali del cervello in questa patologia grazie agli studi del ritmo mu che hanno evidenziato il pattern di risposta, a livello di corteccia motoria, dei soggetti autistici. Questi ultimi, secondo Baduell e collaboratori (2011), mostrano una significativa soppressione del ritmo mu durante i propri movimenti, ma non quando osservano movimenti compiuti da altre persone. Questi risultati sostengono l'ipotesi di un sistema di neuroni specchio disfunzionale. Inoltre, come già argomentato precedentemente, la disfunzione dei neuroni specchio potrebbe essere correlata alle alterazioni sociali e comunicative, ai deficit cognitivi e alle alterazioni delle capacità di imitazione associate all'autismo.

La relazione tra il ritmo mu e l'attività dei neuroni specchio fu suggerita per la prima volta da Altschuler e altri (citaz.) e successivamente è stata confermata da diversi ricercatori. Ora costituisce un importante ambito di ricerca. Le fonti del ritmo mu sono state identificate nelle aree corticali sensorimotorie, che hanno molte interconnessioni con le aree premotorie ventrali, dove si trovano i neuroni specchio

(che sembrano modulare il ritmo mu). Quando i soggetti osservano un'azione, i neuroni della corteccia sensorimotoria si desincronizzano a causa dell'input proveniente dai neuroni specchio delle aree premotorie e l'ampiezza del ritmo mu diminuisce (soppressione del ritmo mu). Studi pubblicati dopo il 1954 hanno rilevato che il ritmo mu risponde specificamente ad azioni eseguite, osservate e immaginate dal soggetto. Inoltre, rispondono solo a movimenti biologici e reagiscono di più ad azioni dirette verso un obiettivo piuttosto che ad azioni senza un obiettivo specifico. Il monitoraggio dei livelli di soppressione del ritmo mu attraverso l'analisi EEG può quindi essere utilizzato come una dimostrazione indiretta del funzionamento dei neuroni specchio (Baduell et al., 2011). Questa affermazione è confermata da studi con risonanza magnetica funzionale e prove anatomofisiologiche di connessioni cortico-corticali tra la corteccia premotoria ventrale (che contiene neuroni specchio) e la corteccia sensorimotoria primaria, dove viene generato il ritmo mu. La corrispondenza tra i risultati EEG e della RMf rafforza l'idea che la soppressione mu sia valida come riflesso dell'attività dei neuroni specchio.

Studi recenti, che hanno combinato tecniche di elettroencefalogramma (EEG) con risonanza magnetica funzionale (fMRI), hanno evidenziato che la soppressione del ritmo mu è correlata con segnali rilevati nel lobulo parietale inferiore, nella corteccia premotoria dorsale e nella zona BA2 della regione somatosensoriale. È interessante notare che non sono state rilevate correlazioni con la BA44, come invece si supponeva in precedenza (Hamilton, 2013).

La zona BA2, in particolare, sembra essere la principale responsabile della generazione del ritmo mu, come sottolineato da uno studio di Salmelin e Hari

(1994). Allo stesso tempo, è importante notare che il lobulo parietale inferiore è considerato parte del Sistema dei Neuroni Specchio perché si tratta di un'area attivata durante l'esecuzione e l'osservazione di azioni, mentre la corteccia premotoria dorsale e la zona BA2 sono ritenute appartenere ad un'estesa del MNS, come evidenziato da un'indagine di Caspers e collaboratori <sup>24</sup>(2010).

---

<sup>24</sup> Molti ricercatori hanno usato strumenti come la risonanza magnetica funzionale (fMRI) per mappare queste aree nel cervello umano e determinare il loro ruolo nelle funzioni motorie e cognitive. In uno studio condotto da Cattaneo et al. (2008) è stata analizzata l'attività elettromiografica del muscolo miloioideo in bambini con sviluppo tipico e bambini con autismo. Il muscolo miloioideo è un muscolo sottile e piatto situato nel pavimento della bocca, sotto la lingua. Si estende dalla mandibola, in particolare dall'area chiamata linea miloioidea sulla superficie interna della mandibola, fino all'osso ioide. A forma di ventaglio, funge da sottile diaframma che separa la cavità orale dal collo e partecipa attivamente ai processi di deglutizione e di produzione verbale ed è stato studiato, nel corso degli ultimi anni, nel contesto dell'autismo.

Ai partecipanti allo studio è stato chiesto di replicare due azioni specifiche, simili a quelle utilizzate in uno studio precedente su scimmie: afferrare un oggetto per mangiarlo e afferrare un oggetto per posizionarlo in un contenitore.

Nel gruppo di bambini con sviluppo tipico, si è riscontrata un'intensa attivazione del muscolo miloioideo ancor prima del completamento dell'azione di afferramento, quando l'azione aveva come finalità il mangiare (Cattaneo et al., 2008). Ciò suggerisce una programmazione motoria anticipata, dove l'atto finale dell'azione



---

(mangiare) è già programmato durante le fasi iniziali dell'azione. Questo evidenzia una concatenazione degli eventi motori in funzione dell'obiettivo finale dell'azione.

Tuttavia, nei bambini con autismo, l'attivazione del muscolo miloioideo si manifestava solo dopo l'azione di afferrare, specificatamente quando dopo che l'oggetto veniva afferrato e stava per essere portato alla bocca. Questa osservazione suggerisce che nei bambini autistici l'azione potrebbe non essere organizzata in funzione di un obiettivo finale, ma piuttosto eseguita in segmenti separati, con ogni segmento programmato in base al feedback ricevuto dalla fase precedente (Cattaneo, et al., 2008).

Un ulteriore esperimento svolto all'interno dello stesso studio ha rivelato ulteriori differenze tra il gruppo dei bambini autistici e quello dei bambini sani. Ai partecipanti è stato chiesto di osservare un individuo mentre eseguiva le medesime azioni eseguite nel compito motorio. Ancora una volta, nei bambini con sviluppo tipico, si è osservata un'attivazione precoce del muscolo miloioideo, prima che l'azione relativa all'afferrare fosse completata dall'attore. In contrasto, nel gruppo di bambini autistici, non è stata rilevata alcuna attivazione del muscolo durante l'osservazione (Cattaneo et al., 2008).

Tenendo conto che gli studi neurofisiologici sulla codifica delle azioni intenzionali hanno mostrato che le azioni sono codificate da catene neuronali che codificano sequenze di atti motori, si può concludere, dai risultati di Cattaneo et al., che verosimilmente nei bambini con spettro autistico, questo tipo di organizzazione motoria, a livello cerebrale, è malfunzionante, e di conseguenza non riescono a decodificare neanche le intenzioni degli altri.

In sintesi, mentre il legame tra il ritmo mu e il Sistema dei Neuron Specchio appare fondato, è anche vero che il ritmo mu da solo potrebbe non fornire una rappresentazione esatta della funzionalità completa dei neuroni specchio, specialmente quelli localizzati nella zona frontale BA44.

### **3.3 Codifica intenzionale deficitaria nell'autismo**

---

Lo studio di Cattaneo e colleghi ha messo in evidenza differenze nel comportamento motorio dei bambini con autismo, in particolare riguardo all'attivazione del muscolo miloioideo durante l'esecuzione di azioni specifiche. Queste differenze motorie possono essere collegate alle anomalie strutturali del cervello identificate da Hadjikhani et al. (2006). Tali anomalie riguardano regioni appartenenti al sistema specchio, come la corteccia parietale inferiore e il giro frontale inferiore e la corteccia del solco temporale superiore. Se si considera il sistema specchio come un legame tra percezione e azione, le anomalie in queste aree cerebrali potrebbero influenzare non solo la capacità di comprendere e imitare le azioni altrui ma anche l'organizzazione delle stesse azioni. La STS, in particolare, è conosciuta per la sua funzione nella percezione della direzione dello sguardo, come sottolineato da Vivanti (2010). Inoltre, Rizzolatti e collaboratori (2014) hanno evidenziato come la STS sia considerata una fonte primaria di informazioni visive per il sistema specchio. Pertanto, gli scopi e i risultati di questo studio sottolineano l'importanza di ulteriori ricerche sulle anomalie strutturali nel cervello delle persone con ASD e il loro possibile impatto sulle loro capacità di socializzazione.

## Conclusioni

A partire dagli studi citati durante il corso dell'elaborato si può concludere che ci sono evidenti differenze nelle funzioni motorie e nelle strutture cerebrali delle persone con Disturbi dello Spettro Autistico. Si è cercato di comprendere il legame che intercorre tra i neuroni specchio e l'autismo, ma sono ancora troppo contrastanti i risultati a cui è pervenuta la ricerca, la quale per un verso ha messo in discussione la teoria dello specchio infranto, a favore di teorie quali l'EP-M e il modello STORM. Sicuramente questo rende l'argomento ancora controverso e particolarmente rilevante nell'ambito scientifico, soprattutto per la sua portata clinica. Risulta, quindi, essenziale esplorare ulteriormente la relazione tra le anomalie strutturali del cervello e le differenze motorie osservate, ma anche la relazione tra sistema specchio e autismo. Con l'avanzamento della tecnologia, in particolare nelle tecniche di imaging cerebrale, potremo ottenere una visione più dettagliata delle strutture cerebrali e di come queste si correlano con i comportamenti motori e sociali. Una comprensione più approfondita delle specifiche aree cerebrali e delle funzioni motorie interessate potrebbe portare allo sviluppo di terapie più mirate per le persone con ASD, focalizzate sul potenziamento delle aree cerebrali sottoutilizzate o sull'addestramento di specifici muscoli o gruppi muscolari. Infine, la collaborazione tra neuroscienziati, terapisti motori e specialisti in disturbi dello spettro autistico potrebbe fornire una prospettiva integrata che potrebbe condurre a nuove scoperte e interventi capaci di migliorare la qualità di vita dei soggetti con autismo, per cui si auspicano nuove indagini che possano ulteriormente arricchire le questioni lasciate ancora aperte.



## Bibliografia

- Altschuler EL, et al (1997). Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells. *Abstr Soc Neuroscience*, 23: 1848.
- American Psychiatric Association. In Nicolò, G. Pompili, E. (Eds.). (2013). DSM-5-TR. Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali - Text Revision, Milano: Raffaello Cortina.
- Anderson, G. M., Horne, W. C., Chatterjee, D., & Cohen, D. J. (1990). The hyperserotonemia of autism. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Asperger, H. (1944). Die autistischen Psychopaten im Kindesalter. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 117, 76-136.
- Aziz-Zadeh, L., Cattaneo, L., Rochat, M., & Rizzolatti, G. (2005). Covert speech arrest induced by rTMS over both motor and nonmotor left hemisphere frontal sites. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 928938.
- Aziz-Zadeh, L., Cattaneo, L., Rochat, M., & Rizzolatti, G. (2005). Covert speech arrest induced by rTMS over both motor and nonmotor left hemisphere frontal sites. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 928938.
- Baduell, M., et al. (2013). Contributo dell'elettroencefalogramma nell'autismo. *Giornale di Neurologia*, 56 (Suppl 1), S35-43.
- Bailey, A., Le Couteur, A., Gottesman, I., Bolton, P., Simonoff, E., Yuzda, E., & Rutter, M. (1995). Autism as a strongly genetic disorder: evidence from a British

twin study. *Psychological medicine*, 25(1), 63–77.  
<https://doi.org/10.1017/s0033291700028099>.

- Baird, G., Cass, H., & Slonims, V. (2003). Diagnosis of autism. *BMJ (Clinical research ed.)*, 327(7413), 488–493. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7413.488>.
- Ballerini, A., Barale, F., Gallese, V., Uccelli, S. (2006). In Mistura, S. (Ed.) (2006). *Autismo. L'umanità nascosta*. Torino: Einaudi.
- Bhat, S., Acharya, U. R., Adeli, H., Bairy, G. M., & Adeli, A. (2014). Autism: cause factors, early diagnosis and therapies. *Reviews in the neurosciences*, 25(6), 841–850. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2014-0056>.
- Bishop, D. V. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662.
- Bonini L., I neuroni specchio, *Pianeta Galileo*, 2009.
- Bonini L., I neuroni specchio, *Pianeta Galileo*, 2009.
- Bonini, L., & Ferrari, P. F. (2011) Evolution of mirror systems: a simple mechanism for complex cognitive functions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1225:166–75. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06002.x>.
- Bonini, L., Rotunno, C., Arcuri, E., & Gallese, V. (2022). Mirror neurons 30 years later: implications and applications. *Trends in cognitive sciences*, 26(9), 767–781. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.003>.
- Braadbaart L, Williams JH, Waiter GD. (2013). Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? *Int J Psychophysiol*, 89 :99-105.

- Brambilla T. et al., (2003). Anomalie dell'anatomia e dello sviluppo cerebrale dell'autismo. Le evidenze provenienti dagli studi con risonanza magnetica nucleare. *Noos. Aggiornamenti in Psichiatria*, 9(4), 289-298.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink., G. R., Fadiga, L., Fogassi., L., & al. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neurosci*, 13, 400-404.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to actionrelated sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24, 355363.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to actionrelated sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24, 355363.
- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P., Casile, A., (2005). Mirror neurons differentially encode the peripersonal and extrapersonal space of monkeys, *Science*, 324 (5925), pp. 403-406
- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P., Casile, A., (2005). Mirror neurons differentially encode the peripersonal and extrapersonal space of monkeys, *Science*, 324 (5925), pp. 403-406
- Caspers, S., et al., (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage* 50(3), 1148–1167.

- Castelli, I., Lecciso, F., & Pezzotta, C. (2003). *Il certificato di acquisizione della teoria della mente. I compiti di falsa credenza nello studio dello sviluppo tipico e atipico*. Milano: EduCatt Università Cattolica.
- Catmur C, Walsh V, Heyes C. (2007). Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Curr Biology*, 17:1527–31.
- Cattaneo L, et al. (2008). Impairment of actions chains in autism and its possible role in intention understanding. *Proc Nat Acad Science*, 104:17825-30.
- Chaste, P., & Leboyer, M. (2012). Autism risk factors: genes, environment, and gene-environment interactions. *Dialogues in clinical neuroscience*, 14(3), 281–292. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2012.14.3/pchaste>.
- Cocco, A. (2020). L'Autismo nel DSM 5: il concetto di spettro autistico e la diagnosi dimensionale. *Diagnosi di autismo e caratteristiche dello spettro*, 20 (3), 3-9.
- Colombi C, et al. (2009). Mirror neuron system activation in autism in response to transitive and intransitive actions. *Paper presented at the International Meeting for Autism Research*, May 7-9, 2009.
- Cook, R., Bird, G., Catmur, C., Press, C., & Heyes, C. (2014). Mirror neurons: from origin to function. *The Behavioral and brain sciences*, 37(2), 177–192. <https://doi.org/10.1017/S0140525X13000903>.
- Cornelio-Nieto, JO (2009). Autismo infantile e neuroni specchio. *Giornale di Neurologia* , 48 (2), 27-29.
- Cornelio-Nieto, JO (2009). Autismo infantile e neuroni specchio. *Giornale di Neurologia* , 48 (2), 27-29.



- Costa, V. (2006). *Esperire e parlare. Interpretazione di Heidegger*. Milano, Italy: JACA Book.
- Costa, V. (2006). *Esperire e parlare. Interpretazione di Heidegger*. Milano, Italy: JACA Book.
- Dinstein I, et al. (2010). Normal Movement Selectivity in Autism. *Neuron*, 66:461-9.
- Dinstein, I., Thomas, C., Behrmann, M., & Heeger, D. J. (2008). A mirror up to nature. *Current biology: CB*, 18(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.11.004>.
- Etherton, M., Földy, C., Sharma, M., Tabuchi, K., Liu, X., Shamloo, M., & Südhof, T. C. (2011). Autism-linked neuroligin-3 R451C mutation differentially alters hippocampal and cortical synaptic function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(33), 13764-13769.
- Ferrari P.F., Maiolini C., Addessi E., Fogassi L. & Visalberghi E. (2005). The observation and hearing of eating actions activates motor programs related to eating in macaque monkeys. *Behaviour Brain Research*, 161, pp.95-101
- Ferrari P.F., Maiolini C., Addessi E., Fogassi L. & Visalberghi E. (2005). The observation and hearing of eating actions activates motor programs related to eating in macaque monkeys. *Behaviour Brain Research*, 161, pp.95-101
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *The European Journal of Neuroscience*. 17 (8): 1703–1714. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02601.x>

- Foster NE, et al. (2015). Structural Gray Matter Differences During Childhood Development in Autism Spectrum Disorder: A Multimetric Approach. *Pediatr Neurology*, 53: 350-359.
- Frith, U., & Mira, M. (1992). Autism and Asperger syndrome. *Focus on Autistic Behavior*, 7(3), 13-15.
- Frith, U., Happé, F. (1994). Autism: beyond “theory of mind”. *Cognition*, 50(94), 115-132. ‘.
- Fuller, E. A., Oliver, K., Vejnaska, S. F., & Rogers, S. J. (2020). The Effects of the Early Start Denver Model for Children with Autism Spectrum Disorder: A Meta-Analysis. *Brain sciences*, 10(6), 368. <https://doi.org/10.3390/brainsci10060368>.
- Gallese V., Migone P., Eagle M., (2006). La simulazione incarnata. I neuroni specchio. Le basi neurofisiologiche dell’intersoggettività e alcune implicazioni per la psicoanalisi, *Psicoterapia e scienze umane*, 3(1), pp. 1-38.
- Gallese V., Migone P., Eagle M., (2006). La simulazione incarnata. I neuroni specchio. Le basi neurofisiologiche dell’intersoggettività e alcune implicazioni per la psicoanalisi, *Psicoterapia e scienze umane*, 3(1), pp. 1-38.
- Gastaut H, Terzian H, Gastaut Y. (1952), Study of a little electroencephalographic activity: rolandic arched rhythm. *Mars Medicine*, 89: 296-310.
- Gazzola, V., Keysers, C. (2009). The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cerebral Cortex*. 19 (6): 1239–1255. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn181>.

- Gentilucci, M., Stefanini, S., Roy, A. C., & Santunione, P. (2004). Action observation and speech production: study on children and adults. *Neuropsychologia*, 42, 1554-1567.
- Gentilucci, M., Stefanini, S., Roy, A. C., & Santunione, P. (2004). Action observation and speech production: study on children and adults. *Neuropsychologia*, 42, 1554-1567.
- Goldin Meadow S., (1999). The role of gesture in communication and thinking *trends in cognitive science*, 3, pp.419-29
- Goldin Meadow S., (1999). The role of gesture in communication and thinking *trends in cognitive science*, 3, pp.419-29
- Hadar, U., Wenkert-Olenik, D., Krauss, R., and Soroker, N. (1998) Gesture and the processing of speech: neuropsychological evidence. *Brain and Language*, 62: 107–126.
- Hadar, U., Wenkert-Olenik, D., Krauss, R., and Soroker, N. (1998) Gesture and the processing of speech: neuropsychological evidence. *Brain and Language*, 62: 107–126.
- Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Snyder, J., & Tager-Flusberg, H. (2006). Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in autism. *Cerebral Cortex*, 16(9), 1276–1282.
- Hamilton, A. F. D. C. (2013). Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories. *Developmental cognitive neuroscience*, 3, 91-105.
- Hanlon, R. E., Brown, J. W., and Gerstman, L. J. (1990) Enhancement of naming in nonfluent aphasia through gesture. *Brain and Language*, 38: 298–314.

- Hanlon, R. E., Brown, J. W., and Gerstman, L. J. (1990) Enhancement of naming in nonfluent aphasia through gesture. *Brain and Language*, 38: 298–314.
- Hatt N, et al. (2009). *Neural basis of action and intention understanding in autism and typical development*. Paper presented at the International Meeting for Autism Research, May 7-9,.
- Heidegger M., (1998). *Tempo ed essere*. Milano, Guida.
- Heidegger M., (1998). *Tempo ed essere*. Milano, Guida.
- Heyes, C., & Catmur, C. (2022). What Happened to Mirror Neurons?. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, 17(1), 153–168. <https://doi.org/10.1177/1745691621990638>.
- Hickok G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of cognitive neuroscience*, 21(7), 1229–1243. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21189>.
- Hoffman, M. (2008). *Empatia e sviluppo morale*. Bologna, Il Mulino.
- Hoffman, M. (2008). *Empatia e sviluppo morale*. Bologna, Il Mulino.
- Iacoboni M., et al., (2008) Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9, 28-30.
- Iacoboni M., et al., (2008) Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9, 28-30.

- Iacoboni M., Molnar-Szakacs I., Gallese V., Buccino G., Mazziotta J. & Rizzolatti G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLOS Biology*, 3(1), 529-535.
- Iacoboni M., Molnar-Szakacs I., Gallese V., Buccino G., Mazziotta J. & Rizzolatti G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLOS Biology*, 3(1), 529-535.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286 (5449), 2526–2528. <https://doi.org/10.1126/science.286.5449.2526>.
- Ijaz, S., Razaq, F., & Haider, S. I. (2021). Parent training for Autism Spectrum Disorder. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 71(1(A)), 31–36. <https://doi.org/10.47391/JPMA.127>.
- Iverson, J. M., & Goldin-Meadow, S. (2005). Gesture paves the way for language development. *Psychology Science*, 16, 367371
- Iverson, J. M., & Goldin-Meadow, S. (2005). Gesture paves the way for language development. *Psychology Science*, 16, 367371
- James, R. J., & Tunney, R. J. (2017). The need for a behavioural analysis of behavioural addictions. *Clinical psychology review*, 52, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.11.010>.
- Kashefimehr, B., Kayihan, H., & Huri, M. (2018). The Effect of Sensory Integration Therapy on Occupational Performance in Children With Autism. *OTJR: occupation, participation and health*, 38(2), 75–83. <https://doi.org/10.1177/1539449217743456>.

- Keller, R., Bulgiani, S., Fantin, P., & Pirfo, E. (2011). Mirror neurons and autism. *Giornale italiano di psicopatologia*, 7, 404-412.
- Keller, R., et al., (2011). Neuroni specchio e autismo. *Giorn Ital Psicopat*, 17, 404-412.
- Kemper, T. L., & Bauman, M. L. (1993). The contribution of neuropathologic studies to the understanding of autism. *Neurologic clinics*, 11(1), 175-187.
- Kennedy D, Courchesne E. (2008). Functional abnormalities of the default network during self- and other-reflection in autism. *Soc Cogn Affect Neuroscience*, 3(2), 177–90.
- Keysers, C. (2009). Mirror neurons. *Current Biology*. 19 (21): 971–973. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.08.026>.
- Kodak, T., & Bergmann, S. (2020). Autism Spectrum Disorder: Characteristics, Associated Behaviors, and Early Intervention. *Pediatric clinics of North America*, 67(3), 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2020.02.007>.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons. *Science*, 297(5582), 846-848. <https://doi.org/10.1126/science.1070311>.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846–848
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846–848

- Kosonogov, V. (2012). Why the Mirror Neurons Cannot Support Action Understanding. *Neurophysiology*, 44, 499–502. <https://doi.org/10.1007/s11062-012-9327-4>
- Lai, M. C., Lombardo, M. V., & Baron-Cohen, S. (2014). Autism. *Lancet (London, England)*, 383(9920), 896–910. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61539-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61539-1).
- Lang, R., Regeher, A., & al. (2010), Treatment of anxiety in autism spectrum disorders using cognitive behaviour therapy: A systematic review. *Dev Neurorehabil*, 13(1):53-63.
- Lee, P.S., Foss-Feig, J.H., Henderson, J.G., Kenworthy, L.E., Gilotty, L., Gaillard, W.D., & Vaidya, C.J. (2007). Atypical neural substrates of Embedded Figures Task performance in children with Autism Spectrum Disorder. *NeuroImage*, 38, 184-193.
- Leming, M., et al., (2020). Ensemble deep learning on large, mixed-site fMRI datasets in autism and other tasks. *International journal of neural systems*, 30(07), 2050012.
- Linee Guida Internazionali e Linea Guida Italiana: Il trattamento dei disturbi dello spettro autistico nei bambini e negli adolescenti per la diagnosi e trattamento dei bambini e adolescenti con disturbi dello spettro autistico. *SNLG* 21, 2011.
- Lord, C., McGee, P. (Eds.) (2001) *National Research Council. Educating Children with Autism. Committee on Educational Interventions for Children with Autism*. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academy Press.

- Marshall PJ, Meltzoff AN. (2011). Neural mirroring systems: exploring the EEG  $\mu$  rhythm in human infancy. *Dev Cogn Neuroscience*, 1(2), 110-123.
- McGuigan, F. J., & Dollins, A. B. (1989). Patterns of covert speech behavior and phonetic coding. *Pavlovian Journal of Biological Science*, 24, 1926.
- McGuigan, F. J., & Dollins, A. B. (1989). Patterns of covert speech behavior and phonetic coding. *Pavlovian Journal of Biological Science*, 24, 1926.
- Meister, I. G., Boroojerdi, B., Foltys, H., Sparing, R., Huber, W., and Topper, R. (2003) Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language. *Neuropsychologia*, 41, 401–406
- Meister, I. G., Boroojerdi, B., Foltys, H., Sparing, R., Huber, W., and Topper, R. (2003) Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language. *Neuropsychologia*, 41, 401–406
- Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2003). What imitation tells us about social cognition: A rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431), 491–500.
- Migone, P. (2013). Aspettando il DSM-5. *Il Ruolo Terapeutico*, 122, 69-78.
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattinglay, J. R. (2009). Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 7, 975-980. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.03.010>.
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattinglay, J. R. (2012). Brain regions with mirror properties: A meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience &*



*Biobehavioral Reviews*, 36 (1), 341-349. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.07.004>.

- Muhle, R., Trentacoste, S. V., & Rapin, I. (2004). The genetics of autism. *Pediatrics*, 113(5), e472–e486. <https://doi.org/10.1542/peds.113.5.e472>.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current biology: CB*, 20(8), 750–756. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.045>.
- Muthukumaraswamy, S.D., et al., (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 19(2), 195–201.
- Nakano, H., & Kodama, T. (2017). Understanding Neural Mechanisms of Action Observation for Improving Human Motor Skill Acquisition. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69266>.
- Nishitani, N., Schurmann, M., Amunts, K., & Hari, R. (2005). Broca's region: From action to language. *Physiology*, 20, 6069.
- Nishitani, N., Schurmann, M., Amunts, K., & Hari, R. (2005). Broca's region: From action to language. *Physiology*, 20, 6069.
- Oberman LM, (2008). Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorder in
- Oberman LM, Ramachandran VS. (2007). The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychol Bulletin*, 133: 310-227.

- Perkins, T., Stokes, M., McGillivray, J., & Bittar, R. (2010). Mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Journal of clinical neuroscience*, 17(10), 1239-1243.
- Prather, J., Peters, S., Nowicki, S., & al. (2008). Precise auditory–vocal mirroring in neurons for learned vocal communication. *Nature* 451, 305–310. <https://doi.org/10.1038/nature06492>.
- response to familiar or unfamiliar stimuli: the mirror neuron Hypothesis. *Neuropsychologia* 46:1558-65.
- Rizzolati G., Craighero L., (2004). The Mirror Neuron System, *Annual Review Neuroscience*, 27(2), pp.169-92.
- Rizzolati G., Craighero L., (2004). The Mirror Neuron System, *Annual Review Neuroscience*, 27(2), pp.169-92.
- Rizzolatti, G., & Bonini, L. (2014). Mirror Neuron activation prior to action observation in a predictable context. *The Journal of Neuroscience*, 34(45), 14827–14832.
- Rizzolatti, G., Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*. 27 (1): 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>.
- Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M. Mirror neurons: from discovery to autism. *Experimental Brain Research* 200 (3-4), 223–237. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2002-3>.
- Rizzolatti, G., Gallese, V., Fadiga, L., & Fogassi, L. (1996). Action recognition in the premotor cortex, *Brain*, 119 (2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>.

- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C., (2006). *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Milano, Raffaello Cortina.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C., (2006). *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Milano, Raffaello Cortina.
- Rogers, S. J., & Pennington, B. F. (1991). A theoretical approach to the deficits in infantile autism. *Development and Psychopathology*, 3, 137–162.
- Rollo, D. (2020). *Disturbi dello spettro autistico e intersoggettività. Strategie per potenziare le capacità comunicative*. Milano: Franco Angeli.
- Rosenbaum DA, et al (1990). *Constraints for action selection: overhand versus underhand grips*. In: Jeannerod M, editor. *Attention and performance 13: motor representation and control*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rovatti F., (2020). Il ruolo dei neuroni specchio nell'empatia, *Formazione e insegnamento*, 18(4), pp.35-40.
- Rovatti F., (2020). Il ruolo dei neuroni specchio nell'empatia, *Formazione e insegnamento*, 18(4), pp.35-40.
- Saffin, J. M., & Tohid, H. (2016). Walk like me, talk like me: The connection between mirror neurons and autism spectrum disorder. *Neurosciences Journal*, 21(2), 108-119.
- Salmelin R, Hari R. (1994). Spatiotemporal characteristics of sensorimotor neuromagnetic rhythms related to thumb movement. *Neuroscience*, 60: 537-50.
- Saygin, A. P. (2007). Superior temporal and premotor brain areas necessary for biological motion perception. *Brain*. 130 (9), 2452–2461. <https://doi.org/10.1093/brain/awm162>.

- Sharda, M., Silani, G., Specht, K., Tillmann, J., Nater, U., & Gold, C. (2019). Music therapy for children with autism: investigating social behaviour through music. *The Lancet. Child & adolescent health*, 3(11), 759–761. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30265-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30265-2).
- Sharma, S. R., Gonda, X., & Tarazi, F. I. (2018). Autism Spectrum Disorder: Classification, diagnosis and therapy. *Pharmacology & therapeutics*, 190, 91–104. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2018.05.007>.
- Stern, D. N. (1985). The interpersonal world of the human infant. New York: Basic Books.
- Tranel, D., Kemmerer, D., Adolphs, R., Damasio, H., Damasio, A. R. (2003). Neural correlates of conceptual knowledge for actions. *Cognitive Neuropsychology*, 20 (3), 409–432. <https://doi.org/10.1080/02643290244000248>.
- Valkanova, V., Rhodes, F., & Allan, C. L. (2013). Diagnosis and management of autism in adults. *The Practitioner*, 257(1761), 13–3.
- Vivanti, G. (2010). *La mente autistica. Le risposte della ricerca scientifica al mistero dell'autismo*, Milano. Omega Edizioni.
- Watkins K.E., Strafella A.P. & Paus T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, 41(8), pp.989-994.
- Watkins K.E., Strafella A.P. & Paus T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, 41(8), pp.989-994.

- Watkins, K. E., & Paus, T. (2004). Modulation of motor excitability during speech perception: the role of Broca's area. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 978987
- Watkins, K. E., & Paus, T. (2004). Modulation of motor excitability during speech perception: the role of Broca's area. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 978987
- Watkins, K. E., Strafella, A. P., & Paus, T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, 41(8), 989994
- Watkins, K. E., Strafella, A. P., & Paus, T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, 41(8), 989994
- Whiten, A., & Brown, J. (1999). Imitation and the reading of other minds: Perspectives from the study of autism, normal children and non-human primates. In S. Braten (Ed.), *Intersubjective communication and emotion in ontogeny: A sourcebook* (pp. 260–280). Cambridge: Cambridge University Press
- Wildgruber, D., Ackermann, H., Klose, U., Kardatzki, B., & Grodd, W. (1996). Functional lateralization of speech production at primary motor cortex: An fMRI study. *Neuroreport*, 7, 27912795.
- Wildgruber, D., Ackermann, H., Klose, U., Kardatzki, B., & Grodd, W. (1996). Functional lateralization of speech production at primary motor cortex: An fMRI study. *Neuroreport*, 7, 27912795.

- Williams, J. H., Whiten, A., Suddendorf, T., & Perrett, D. I. (2001). Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25, 287–295.
- Wilson, S. M., Saygin, A. P., Sereno, M. I., & Iacoboni, M. (2004). Listening to speech activates motor areas involved in speech production. *Nature Neuroscience*, 7, 701702
- Wilson, S. M., Saygin, A. P., Sereno, M. I., & Iacoboni, M. (2004). Listening to speech activates motor areas involved in speech production. *Nature Neuroscience*, 7, 701702
- Wing, L., & Gould, J. (1979). Severe impairments of social interaction and associated abnormalities in children: Epidemiology and classification. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 9(1), 11–29. <https://doi.org/10.1007/BF01531288>.
- Wood, J. J., Kendall, P. C., Wood, K. S., Kerns, C. M., Seltzer, M., Small, B. J., Lewin, A. B., & Storch, E. A. (2020). Cognitive Behavioral Treatments for Anxiety in Children With Autism Spectrum Disorder: A Randomized Clinical Trial. *JAMA psychiatry*, 77(5), 474–483. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2019.4160>.
- Yates, L., & Hobson, H. (2020). Continuing to look in the mirror: A review of neuroscientific evidence for the broken mirror hypothesis, EP-M model and STORM model of autism spectrum conditions. *Autism*, 24(8), 1945-1959.



## Sitografia

- American Psychological Association. (2012). Intimate Partner Violence, 3. Retrieved febbraio, 10, 2023, da <https://www.apa.org/topics/physical-abuse-violence/intimate-partner>.
- Cocco, A. (2020). Diagnosi di autismo, la storia dei criteri diagnostici spiegata. Retrieved marzo, 21, 2023, da <https://www.divisioneautismocastelmonte.it/diagnosi-di-autismo-la-storia-dei-criteri-diagnostici-spiegata/>.
- Ferri, M., Candria, L., Mezzaluna, L. (2020). Disturbi dello spettro autistico: dopo la diagnosi? Prospettive d'intervento in un progetto di vita. Retrieved marzo, 25, 2023, da <https://www.stateofmind.it/2020/02/autismo-intervento-cbt/>.
- Haraway, M., Geffner, R., Ivey, D., Koss, M. P., Cody Murphy, B., Scott Mio, J., O'Neil, J. M. (2002). Intimate Partner Abuse and Relationship Violence. *Committee on Divisions/APA Relations (CODAPAR)*, 4-5, giugno 24, 2002. Retrieved febbraio, 01, 2022, da <https://www.apa.org/about/division/activities/partner-abuse.pdf>.