

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI VERONA

DIPARTIMENTO DI NEUROSCIENZE, BIOMEDICINA E SCIENZE MOTORIE

SCUOLA DI DOTTORATO DI SCIENZE DELLA VITA

DOTTORATO DI RICERCA IN  
NEUROSCIENZE, SCIENZE PSICOLOGICHE E PSICHIATRICHE

XXIX CICLO

## IL SENSO DELL'AZIONE E DELL'APPARTENENZA CORPOREA NEI DISTURBI FUNZIONALI DEL MOVIMENTO

S. S. D. M-EDF/01

Coordinatore: Prof. Leonardo Chelazzi

Firma \_\_\_\_\_

Tutor: Prof. Federico Schena

Firma \_\_\_\_\_

Co-Tutor: Prof.ssa Mirta Fiorio Firma \_\_\_\_\_




Prof. Michele Tinazzi Firma \_\_\_\_\_

Dottorando: Dott./ssa Federica Bombieri

Firma \_\_\_\_\_

Quest' opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione – non commerciale  
Non opere derivate 3.0 Italia . Per leggere una copia della licenza visita il sito web:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/it/>

-  **Attribuzione** Devi riconoscere una menzione di paternità adeguata, fornire un link alla licenza e indicare se sono state effettuate delle modifiche. Puoi fare ciò in qualsiasi
-  maniera ragionevole possibile, ma non con modalità tali da suggerire che il licenziante
-  avalli te o il tuo utilizzo del materiale.

**Non Commerciale** Non puoi usare il materiale per scopi commerciali.

**Non opere derivate** - Se remixi, trasformi il materiale o ti basi su di esso, non puoi distribuire il materiale così modificato.

*“Il senso dell’azione e dell’appartenenza corporea  
nei disturbi funzionali del movimento”*

Federica Bombieri

Tesi di Dottorato

Verona,

ISBN

*Pensi di avere un limite, così provi a TOCCARE questo limite.  
Accade qualcosa. E immediatamente riesci a correre un po' più forte,  
grazie al potere della tua mente, alla tua determinazione,  
al tuo istinto e grazie all'esperienza.*

*PUOI volare molto in alto*

*(Ayrton Senna)*

...

*Perché ...*

*Ciò che è difficile attrae,  
l'impossibile seduce,  
ciò che è complicato spaventa,  
ciò che è estremamente complicato innamora*

*(Paulo Coelho)*



*Con l'amore nel cuore ... alla mia famiglia*



## ABSTRACT

**SSD:** MEDF/01

**Coordinator:** Prof. L. Chelazzi

**Tutor:** Prof. F. Schena

Functional Movement Disorders (FMD) are part of the spectrum of functional neurological disorders. Recent research findings implicate three key processes in the pathophysiology of FMD: abnormal attentional focus; abnormal beliefs and expectations; and abnormalities in *sense of agency (SoA)*. These three processes have been combined in a recent neurobiological model of FMD, suggesting that abnormal predictions related to movement are triggered by abnormally focused attention; the resulting movement is generated without the normal sense of agency that accompanies voluntary movement, being the FMD itself felt as involuntary. This gap might be related to altered self-recognition of bodily actions that consists of two fundamental components: the sense of agency (SoA), that is the subjective experience of being in control of own actions and the sense of body ownership (SoBo), that is the feeling of the body as part of the self. Here we investigated whether SoA, SoBo and their relationship are altered in FMD. Differently from previous studies on the implicit component of SoA, we focused on the explicit component of SoA, which more closely resembles the clinically described lack of explicit control of the motor symptom in FMD. With the use of an ad-hoc paradigm (Kalchert e Ehrsson, 2012), based on the rubber hand illusion (RHI). To this purpose, the first step was to build up a suitable task and test it in.

**Experiment 1:** 13 young participants. We applied three different conditions: active synchronous condition, passive congruent condition and control condition. Namely, subjects gave higher scores to ownership and agency after synchronous than asynchronous movements in the active condition. Moreover we found higher scores of agency after active compared to passive movements. With regards to the proprioceptive drift, however, the data were not clear. Moreover, we realized that there was no way to separate agency from ownership. In particular, there was no

condition in which there was only agency without ownership. We decided to add a condition in which the artificial hand was rotated 180° and therefore in an incongruent position with respect to the subject's own hand. This creates a sense of agency, but since the two hands are in an incongruent position, the sense of body ownership is not induced.

**Experiment 2:** we applying the paradigm with this additional condition to 24 healthy subjects, we confirmed the previous results and we were also able to separate agency from ownership.

**Experiment 3:** in order to test if the task could be executed also by 4 patients with essential tremor, we recruited and we found that they were able to perform the task, they appeared to have a pattern similar to controls.

**Experiment 4:** twenty-one patients with diagnosis of FMD. The results showed that: synchronous movements determined a strong sense of agency and ownership; passive movements suppressed agency but not ownership; the anatomically implausible position of the rubber hand eliminated ownership but not agency; asynchronous movements abolished both agency and ownership. This pattern of responses suggesting that FMD patients maintain an explicit sense of agency for normal voluntary movements and that the sense of body ownership is preserved. The latter finding is in line with a previous study using the static RHI.



## SOMMARIO

I disturbi del movimento funzionali (FMD) occupano un'area di confine tra la neurologia e la psichiatria in quanto in essi è presente una compresenza di sintomi neurologici e funzionali. Recenti studi hanno indagato sui tre concetti chiave all'interno della fisiopatologia degli FMD: attenzione; convinzioni; senso dell'azione (SoA). Questi tre processi sono stati combinati di recente all'interno nel modello neurobiologico degli FMD secondo il quale, le aspettative anormali di un movimento sono alterate da una anormale attenzione; ne deriva un senso dell'azione non integro che porta il soggetto a percepire un movimento volontario come involontario. Questo compromette altri due importanti aspetti della consapevolezza corporea che sono il senso di appartenenza corporea e in senso dell'azione. Con questo studio, attraverso l'utilizzo della Rubber Hand Illusion abbiamo cercato di capire se le funzioni esplicite del senso dell'azione, siano o meno integre in pazienti con disturbo funzionale del movimento.

Certi che questo studio, si inserisce in ambito della ricerca di base, riteniamo che i dati ottenuti possano essere comunque importanti per ulteriori studi futuri..



## INDICE

<b>Abstract</b>	p. 7
<b>Sommario</b>	p. 9
<b>Indice delle figure</b>	p. 15
<b>Indice delle tabelle</b>	p. 17
<u>Capitolo 1</u>	p. 19
<b>Introduzione</b>	p. 19
<u>Capitolo 2</u>	p. 23
<b>La concezione corporea</b>	p. 23
2.1 Alle radici della coscienza del sé: schema corporeo e immagine corporea	p. 24
2.2 Schema corporeo e immagine corporea in patologia	p. 28
<u>Capitolo 3</u>	p. 35
<b>Il senso dell'azione e i sottostanti meccanismi cognitivi e neuronali</b>	p. 35
3.1 Il senso dell'azione: definizioni e concetti	p. 35
<u>Capitolo 4</u>	p. 39
<b>Forward model e inverse model</b>	p. 39
4.1 Basi neuronali del senso dell'azione	
<u>Capitolo 5</u>	p. 43
<b>Processi correlati al senso dell'azione</b>	p. 43
5.1 Commenti	
<u>Capitolo 6</u>	p. 45
<b>Il senso dell'azione e la consapevolezza motoria</b>	p. 45
6.1 Funzioni implicite ed esplicite del senso dell'azione	p. 51
<u>Capitolo 7</u>	p. 55
<b>Rubber hand illusion e senso di appartenenza corporea</b>	p. 55
7.1 Il senso di appartenenza corporea	p. 57
7.2 La RHI: strumento d'indagine per studiare il senso del corpo	p. 58
7.3 Meccanismi neuronali coinvolti nell'illusione	p. 61
<u>Capitolo 8</u>	p. 65
<b>I disturbi del movimento funzionali</b>	p. 65
8.1 Definizione e storia	p. 65

8.2 Epidemiologia e fattori di rischio	p. 67
8.3 Sintomi	p. 67
8.4 La diagnosi	p. 69
8.5 Il trattamento	p. 72
<u>Capitolo 9</u>	p. 75
<b>Processi cognitivi alterati nei disturbi funzionali del movimento</b>	p. 75
9.1 L'attenzione	p. 76
9.2 Convinzioni	p. 77
9.3 Il senso dell'azione	p. 79
9.4 Il modello neurobiologico nei disturbi funzionali del movimento	p. 81
<u>Capitolo 10</u>	p. 83
<b>Il senso di appartenenza corporea negli FMD</b>	p. 83
<u>Capitolo 11</u>	p. 85
<b>Scopo della tesi: rapporto tra il senso dell'azione e dell'appartenenza corporea nei disturbi funzionali del movimento</b>	p. 85
<u>Capitolo 12</u>	p. 87
<b>Descrizione degli esperimenti</b>	p. 87
<b>12.1 Esperimento 1</b>	p. 87
Partecipanti	p. 87
Il protocollo sperimentale	p. 88
Procedura sperimentale	p. 88
Analisi dei dati	p. 95
Risultati	p. 96
Discussione	p. 96
<b>12.2 Esperimento 2</b>	p. 103
Partecipanti	p. 103
Il protocollo sperimentale	p. 103
Procedura sperimentale	p. 103
Analisi dei dati	p. 105
Risultati	p. 105
Discussione	p. 113
<b>12.3 Esperimento 3</b>	p. 103
Partecipanti	p. 103
Il protocollo sperimentale	p. 113
Procedura sperimentale	p. 113
Analisi dei dati	p. 114
Risultati	p. 114
Discussione	p. 114

Discussione generale degli studi preliminari	p. 115
<b>12.4 Esperimento 4</b>	p. 116
Partecipanti	p. 116
Il protocollo sperimentale	p. 116
Procedura sperimentale	p. 117
Analisi dei dati	p. 119
Risultati	p. 120
Discussione	p. 121
<u>Capitolo 13</u>	p. 129
<b>Discussione</b>	p. 129
<u>Capitolo 14</u>	p. 133
<b>Conclusioni</b>	p. 133
<b>Bibliografia</b>	p. 135
<b>Ringraziamenti</b>	p. 145



## INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1: Versione modificata del forward model di Haggard, 2005	p. 40
Fig. 2: Scala Likert	p. 89
Fig. 3: Setup sperimentale nella condizione sincrona attiva	p. 90
Fig. 4: Setup sperimentale nella condizione asincrona attiva vista lateralmente	p. 91
Fig. 5: Setup sperimentale nella condizione asincrona attiva vista frontalmente	p. 92
Fig. 6: Setup sperimentale nella condizione congruente passiva	p. 93
Fig. 7: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency nella condizione sincrona attiva e congruente passiva, della mano destra	p. 97
Fig. 8: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency in condizione sincrona attiva e congruente passiva, della mano destra	p. 98
Fig. 9: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency in condizioni sincrona attiva e asincrona attiva, della mano sinistra	p. 98
Fig. 10: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency in condizione sincrona attiva e congruente passiva, della mano sinistra	p. 99
Fig. 11a: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva con la mano destra	p. 100
Fig. 11b: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e congruente passiva con la mano destra	p. 101
Fig. 12a: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva con la mano sinistra	p. 101
Fig. 12b: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e congruente passiva con la mano sinistra	p. 101
Fig. 13: Setup sperimentale nella condizione incongruente attiva	p. 104
Fig. 14: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership e di agency nelle condizioni sincrona attiva e asincrona attiva relative alla mano destra	p. 106
Fig. 15: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership e agency nel confronto delle condizioni sincrona attiva e passiva mano destra	p. 106
Fig. 16: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di agency e ownership nel confronto tra posizione congruente passiva e incongruente attiva, mano destra	p. 107
Fig. 17: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership e agency nelle condizioni sincrona attiva e asincrona attiva relative alla mano sinistra	p. 107
Fig. 18: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership e agency nel confronto delle condizioni sincrona attiva e congruente passiva mano sinistra	p. 108
Fig. 19: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di agency e ownership nel confronto tra posizione congruente passiva e incongruente attiva, mano sinistra	p. 108
Fig. 20a: Drift propriocettivo mano destra nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva	p. 110

Fig. 20b: Drift propriocettivo mano destra nella posizione sincrona attiva e congruente passiva	p. 110
Fig. 21: Drift propriocettivo in condizione congruente passiva vs. incongruente attiva mano destra	p. 111
Fig. 22a: Drift propriocettivo mano sinistra nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva	p. 111
Fig. 22b: Drift propriocettivo mano sinistra nella posizione congruente attiva e passiva	p. 112
Fig. 23: Nel grafico i dati relativi al drift propriocettivo in condizione congruente passiva vs. incongruente attiva, nella mano sinistra	p. 112
Fig. 24a: Seconda analisi: confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nelle diverse condizioni sperimentali gruppo FMD	p. 122
Fig. 24b: Seconda analisi: confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nelle diverse condizioni sperimentali gruppo HC	p. 123
Fig. 25: A e B: Agency e ownership tra i gruppi	p. 125
Fig. 26: medie dei valori di ownership ed agency in tutte le condizioni del gruppo FMD e HC	p. 128



## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Nella tabella sopra sono riportati i dati riferiti alle caratteristiche di genere, età, manualità e la sequenza con la quale sono state svolte le prove dell'esperimento 1	p. 87
Tabella 2: Questionario utilizzato dal partecipante dopo ogni condizione sperimentale	p. 94
Tabella 3: Nella tabella sopra sono riportati i dati riferiti alle caratteristiche di genere, età, manualità e la sequenza con la quale sono state svolte le prove dell'esperimento 2	p. 103
Tabella 4: Caratteristiche soggetti con tremore funzionale	p. 114
Tabella 5: Caratteristiche cliniche e demografiche dei pazienti con FMDs	p. 117
Tab. 6: Wilcoxon signed rank domande sperimenti dell'ownership e dell'agency con i loro rispettivi controlli nella condizione asincrona attiva	p. 121
Tabella 7: Wilcoxon signed rank il senso di appartenenza corporea dal senso dell'azione in ogni condizione	p. 126
Tabella 8: Post-hoc Wilcoxon signed rank test confronto tra ownership ed agency nei due gruppi	p. 127
Tabella 9: Mann Whitney U Test confronto tra i punteggi di ownership ed agency nei due gruppi FMD e HC in ogni condizione	



## Capitolo 1

### **INTRODUZIONE**

Questo progetto di Dottorato nasce dal desiderio di approfondire le ancora poche esistenti conoscenze in merito ai pazienti con disturbo funzionale del movimento (functional movement disorder, FMD).

I disturbi del movimento funzionali si presentano con dei movimenti o delle posizioni anomale di una parte del proprio corpo, non riconducibili ad una malattia neurologica sottostante. Circa dieci anni fa, grazie al Professor Michele Tinazzi ho avuto modo di occuparmi di una paziente con “retrocollo” funzionale. Donna, intorno ai 60 anni che manifestava cadute in avanti e indietro varie volte al giorno. Gli episodi che si accompagnavano a disturbi dell’equilibrio e stati d’ansia importanti, venivano esasperati in situazioni di stress emotivo ed all’avvicinarsi fisico di persone al suo corpo. La paziente aveva subito numerosi ricoveri anche in strutture psichiatriche; questo aveva peggiorato ulteriormente il quadro clinico e di conseguenza lo stile di vita della paziente e dei suoi famigliari. Ricordo ancora benissimo la mia paura nel “trattare” una persona così desiderosa di risposte e nel contempo il tentare di migliorare i sintomi motori che la signora lamentava. A piccoli passi la paziente riuscì a risolvere, in dodici sedute di attività individuale in palestra, il disturbo delle cadute e della postura. La paziente comprese di non aver un disturbo organico e ricominciò a svolgere le attività della vita quotidiana serenamente.

Quel primo caso di disturbo funzionale mi affascinò moltissimo, e per questo motivo, il dottorato sul sense of agency (SoA) e sul sense of ownership (SoO) in questa patologia, mi è sembrato un argomento impegnativo ma interessante e utile al fine di un intervento riabilitativo motorio con questa tipologia di soggetti.

Esistono pochi studi in generale sui disturbi funzionali del movimento, ma le evidenze scientifiche dimostrano che i soggetti con tale alterazione possono presentare una alterazione degli aspetti espliciti correlati al controllo del movimento, come l’esperienza consapevole nell’intenzione di eseguire un certo movimento in un dato momento (Tinazzi & Morgante, 2013).

Demartini e colleghi (2015) hanno osservato che i pazienti con FMD hanno prestazioni simili ai controlli sani sia nelle funzioni esplicite (cioè, questionario) che nelle misure implicite (vale a dire, lo spostamento della mano reale attraverso la mano di gomma). Questo studio suggerisce che l'elaborazione multisensoriale di informazioni visive, propriocettive e tattili alla base del senso di appartenenza corpo è efficiente nei pazienti con FMD.

Tale ricerca, quindi, ha lo scopo di comprendere se ci possano essere alterazioni nel senso di appartenenza corporea e nel senso dell'azione in pazienti affetti da FMD e se questi aspetti possano influenzare l'elaborazione e il controllo dei movimenti e della postura che in questi soggetti sono selettivamente compromessi.

Nel primo capitolo della tesi verrà discusso il tema della concezione corporea, chiarendo la differenza tra il concetto di schema corporeo e di immagine corporea; l'esponente maggiore di questa distinzione è stato Paul Schilder. Analizzerò poi alcune patologie in cui questi due concetti sono alterati. Successivamente spiegherò in modo dettagliato il senso dell'appartenenza corporea e il senso dell'azione, facendo riferimento ad alcuni studi, come quello di Botvinick & Cohen (1998) e Kalckert & Ehrsson (2012). Il capitolo centrale è dedicato ai disturbi funzionali che spiegherò dal punto di vista clinico, analizzandone i sintomi, la diagnosi e i possibili trattamenti. Mi soffermerò in particolare sul razionale che mi ha portato a voler indagare il senso dell'azione nei FMD.

In seguito descriverò in modo dettagliato il paradigma della Rubber Hand Illusion (RHI) nella versione originale di Botvinick e Cohen (1998), spiegando le diverse fasi di sviluppo della versione modificata usata nella mia tesi. Infatti, la nostra ricerca è stata condotta attraverso l'applicazione di una versione modificata della Rubber Hand Illusion originale, grazie alla quale abbiamo cercato di indagare se nei pazienti con FMD si presente, in misura minore o maggiore, un senso illusorio dell'appartenenza corporea e dell'azione; tali dati sono stati confrontati con quelli di un gruppo di controllo. Oltre alle difficoltà nel reclutamento dei pazienti con FMD, ho dovuto svolgere diverse variazioni allo stesso paradigma della RHI, affinché fosse adeguato ai nostri scopi. La spiegazione degli argomenti sopra

citati, risulta fondamentale per comprendere ed interpretare i risultati ottenuti dalla mia ricerca.

Tale ricerca, quindi, ha lo scopo di indagare e approfondire come gli individui affetti da tali disturbi percepiscano il loro corpo e le loro azioni e, nel caso di eventuali alterazioni o distorsioni rispetto al gruppo di controllo, se queste possano essere un fattore che interviene nel controllo alterato dei movimenti e delle posture. Nella parte dei risultati esporrò sia il lavoro svolto per migliorare il paradigma stesso sia i dati ottenuti nei pazienti con disturbo funzionale.



## Capitolo 2

### **LA CONCEZIONE CORPOREA**

La ricerca empirica sul corpo e sulle azioni del corpo affronta un tema di grande interesse scientifico e filosofico. L'uomo attraverso il proprio corpo, infatti, si mette in rapporto con la realtà che lo circonda e opera in essa attraverso le azioni che intende compiere. Il corpo è il mezzo attorno al quale si svolge la vita di una persona e grazie al quale si realizzano tutte le funzioni che permettono di pensare, prendere decisioni e agire.

Nelle situazioni 'normali' gli individui costruiscono una rappresentazione di sé attraverso la continua interazione con gli altri individui e con l'ambiente che li circonda. Il corpo è dunque in contemporanea soggetto e oggetto delle nostre esperienze e funge da mediatore di tutte le interazioni tra la mente e il mondo esterno (Tessari, Tsakiris, Borghi, & Serino, 2010). L'individuo umano, per mezzo delle sue azioni e della sua percezione, costruisce il proprio sé come un'entità fisica sostenuta dall'elaborazione di segnali motori e multisensoriali. È proprio dai segnali multisensoriali che si generano i concetti di senso di appartenenza del proprio corpo e di senso delle azioni che derivano dal proprio corpo (Tsakiris, Longo, & Haggard, 2010).

Il senso di appartenenza corporea (dall'inglese "*sense of body ownership*") consiste nella certezza che le parti del corpo appartengano a sé stessi, indipendentemente dal fatto che il movimento sia volontario o involontario (Synofzik et al., 2008). Il senso di possedere un corpo può essere riferito alla sensazione specifica che esso sia l'origine di tutte le sensazioni che vengono sperimentate quotidianamente (Balconi, 2012).

Il senso dell'azione (dall'inglese "*sense of agency*"), invece, rappresenta la certezza di essere l'autore delle proprie azioni consapevoli e volontarie; questo concetto include l'idea dell'azione volontaria, ossia la sensazione di riuscire a controllare i movimenti corporei finalizzati a produrre degli eventi nell'ambiente esterno. Esso può essere riferito anche alla capacità intenzionale dell'individuo di rappresentare il proprio comportamento nella coordinazione e realizzazione dei movimenti, ossia nel saper rappresentare le componenti motorie necessarie per

realizzare l'azione (Balconi, 2012). Questi due aspetti senso di appartenenza corporea e senso dell'azione, che costituiscono la consapevolezza motoria, generalmente sono esperiti come accoppiati, specialmente nelle azioni volontarie; tuttavia, sono stati compiuti alcuni studi specifici (Kalckert & Ehrsson, 2012), come approfondirò dettagliatamente nei capitoli successivi, per esaminare come queste componenti interagiscano tra di loro e se esse possano anche essere dissociate.

Nell'essere umano la componente sensoriale della percezione del corpo è contenuta nella corteccia somatosensoriale primaria, la quale è localizzata nel lobo parietale e comprende quattro regioni distinte, note come aree 3a, 3b, 1 e 2 di Brodmann. I campi recettivi dei neuroni presenti in questa porzione della corteccia cerebrale producono una precisa mappa del corpo; ognuna di queste aree corticali contiene una distinta e completa rappresentazione del corpo. Con il termine "homunculus" si intende una mappa somatotopica del corpo nel cervello. Le dimensioni corticali correlate alle varie parti del corpo sono proporzionate alla densità delle proiezioni sensoriali afferenti e anche all'importanza degli impulsi sensoriali ricevuti dalle specifiche zone del corpo.

Osservando l'Homunculus notiamo che presenta la faccia e le mani con delle dimensioni esageratamente più grandi rispetto a quelle del tronco e delle parti prossimali degli arti; motivo di queste diverse estensioni è che le mani, la mimica facciale e la bocca hanno una notevole importanza dal punto di vista funzionale, e per poter essere governate al meglio, queste parti del corpo hanno bisogno di una maggior quantità di circuiti a livello sia centrale che periferico. In conclusione, ai segnali sensoriali in ingresso o a quelli motori in uscita, che rivestono una particolare importanza per una determinata specie (Purves et al., 2009), è associata una rappresentazione corticale relativamente più grande.

## **2.1 Alle radici della coscienza del sé: schema corporeo e immagine corporea**

Ernst Mach, filosofo austriaco, racconta in un suo famoso aneddoto: "Una volta, dopo un viaggio assai faticoso in ferrovia durante la notte, salii molto stanco su un omnibus proprio nel momento in cui vi saliva dall'altra parte un'altra persona. Che maestro di scuola mal ridotto sta salendo, pensai. Ed ero proprio io poiché



dinanzi a me si trovava un grande specchio. L'aspetto del ceto mi era dunque molto più familiare della mia fisionomia". Corpo vissuto e corpo oggetto sono due concetti che si costruiscono sulla base di informazioni di varia origine, come dichiara Bermúdez (2011) nella seguente tassonomia:

1. le informazioni corporee inconsece in prima persona comprendono le sensazioni vestibolari preposte al controllo dell'orientamento spaziale, dell'equilibrio e le sensazioni propriocettive inerenti alla posizione e ai movimenti delle membra, entrambe importanti e fondamentali per il corretto svolgimento delle azioni;
2. le informazioni conscie in prima persona si suddividono a loro volta in informazioni concettuali, che riguardano l'immagine corporea affettiva, fortemente permeata da fattori di ordine valutativo e culturale, e in informazioni non concettuali;
3. le informazioni in terza persona sono sempre conscie: quelle concettuali comprendono le conoscenze semantiche relative alla struttura del corpo e alla funzione delle sue parti, mentre quelle non concettuali coincidono col campo delle sensazioni esteroceptive (Bermudez, 2011).

I dati che derivano da queste diverse fonti servono a costituire due diversi concetti definiti schema corporeo e immagine corporea: queste funzioni tra loro integrate, rappresentano dei concetti importanti a livello cognitivo. Il concetto di *schema corporeo* nel corso dei secoli ha dovuto superare numerosi fraintendimenti ed è stato rielaborato in varie teorie. Prima tra tutte, quella di Bonnier il quale ideò e diffuse l'espressione di schema corporeo per indicare la "rappresentazione topografica e spaziale del corpo, che ne permette l'orientamento rispetto all'ambiente esterno". Secondo Bonnier, "lo schema corporeo ci fornisce sia la nozione delle parti distinte del proprio corpo, sia la consapevolezza di occupare un posto nello spazio da cui discende poi la facoltà di orientamento e di movimento oggettivo, e soggettivo, delle diverse parti del nostro corpo". Questo porta a considerare lo schema corporeo come una rappresentazione largamente automatica e inconsapevole, basata sulle afferenze somatosensoriali, prevalentemente propriocettive, finalizzata soprattutto al controllo della postura dei vari segmenti corporei, anche in assenza di input visivi. Altri autori

contribuirono allo sviluppo e alla diffusione della nozione di schema corporeo, mantenendo il criterio spaziale e topografico introdotto da Bonnier. Tra questi autori, Head (1911-1912) aggiunse la dimensione temporale e ponendo l'accento sulle percezioni che derivano dalla postura, per cui lo schema corporeo ha assunto il significato di "modello posturale", intendendo con quest'ultimo uno schema stabile ma anche continuamente in costruzione, il quale permette al soggetto di confrontare i suoi movimenti e le posizioni che esso stesso assume. Tenendo conto di tutte le molteplici e diverse sollecitazioni che giungono ai centri cerebrali superiori, Head parla di schemi corporei al plurale (posturale, tattile, visivo, cinestesico, ecc...).

Head e Holmes hanno distinto tre tipi specifici di rappresentazioni corporee:

1. *Schema posturale*: rappresentazione continuamente aggiornata relativa alla posizione delle membra e che funge da sistema di controllo per l'esecuzione dei movimenti corporei.
2. *Schema superficiale*: rappresentazione relativa alla capacità di localizzare e organizzare gli stimoli sensoriali presenti sulla superficie cutanea.
3. *Immagine corporea*: insieme di rappresentazioni cosce del corpo e delle sue parti.

Lo schema corporeo comprende in sé lo schema posturale e lo schema superficiale, che si identificano come sue sub-componenti (Fugali, 2012).

Nella letteratura più recente, Gallagher nel 2005 parla di schema motorio come di un insieme di capacità sensori-motorie che danno vita a processi utili al mantenimento posturale e finalizzati al controllo dell'azione stessa. Tsakiris in uno scritto del 2010 identifica due componenti nello schema motorio: un dispositivo di monitoraggio in tempo reale e a breve termine delle informazioni relative alla postura corporea e una struttura stabile a lungo termine. Sono dunque possibili delle modificazioni anche significative nel corso del tempo (Botvinick, 2002), anche se nella sua costituzione entrano in gioco delle componenti innate. Gallagher (2005) avanza l'ipotesi che lo schema corporeo sia un concetto innato. Tale ipotesi emerge anche negli studi di Meltzoff e Moore (Meltzoff & Moore, 1977). Totalmente integrato con l'ambiente circostante, lo schema corporeo si presenta abbastanza plastico al punto da potersi espandere fino a comprendere,

incorporare al suo interno strumenti, dispositivi protesici e avatar virtuali (Gallagher, 2005). Altra importante definizione è esposta da Paul Schilder, il quale nelle sue opere integra il piano neurologico con quello psicologico: esso, in accordo con la posizione di Head, equipara il modello posturale del corpo con la sensazione cosciente della posizione del corpo. Schilder ritiene inoltre che lo schema corporeo non si costruisce solo sulla base delle sensazioni cinestesiche, tattili e visive, ma soprattutto grazie all'integrazione di queste sensazioni con i vissuti emotivi ed esistenziali del soggetto stesso. Schilder, nell'opera "Immagine di sé e schema corporeo" (1995), definisce lo schema corporeo così: "Con l'espressione immagine del corpo umano intendiamo il quadro mentale che ci facciamo del nostro corpo, vale a dire il modo in cui il corpo appare a noi stessi". Da quanto emerge fino ad ora possiamo dire che il soggetto riceve delle sensazioni, vede parti della superficie del corpo, ottiene delle impressioni di tipo tattile, termico e doloroso, sensazioni provenienti dalla muscolatura in generale e sensazioni di origine viscerale.

Per *immagine corporea*, ci si riferisce ad una rappresentazione più consapevole della forma e della posizione delle varie parti del corpo, largamente fondata su informazioni derivanti da base visiva. L'immagine corporea consente, per esempio, di localizzare la posizione di uno stimolo sulla cute (Vallar & Papagno, 2007). Schilder nel 1995 definisce l'immagine corporea come "il quadro mentale che ci facciamo del nostro corpo, vale a dire il modo in cui il corpo appare a noi stessi", mentre dello schema corporeo scrive: "L'immagine tridimensionale che ciascuno ha di se stesso; possiamo anche definirlo immagine corporea"; quindi appare che per l'autore lo schema corporeo e l'immagine corporea sostanzialmente coincidono, come se si trattasse di un unico costrutto. Lo schema corporeo veniva identificato con l'immagine o la rappresentazione del proprio corpo che un individuo si costruisce nella propria mente e Schilder chiamò questa rappresentazione mentale sia con l'espressione di "schema corporeo" sia con quella di "immagine corporea".

Altri autori si sono occupati di questa distinzione nella rappresentazione del corpo, fino ad arrivare a Gallagher (1986), il quale propose una distinzione sistematica tra immagine corporea (body image) e schema corporeo (body

schema), in cui riscontrò almeno tre caratteristiche che possono essere utilizzare per compiere tale diversificazione (Gallagher, 2005).

L'immagine corporea presenta uno stato intenzionale, cioè una rappresentazione cosciente e un set di credenze riguardo al proprio corpo. Sebbene gli aspetti percettivi, concettuali ed emotivi non risultano sempre presenti nella consapevolezza, essi sono sempre mantenuti come un insieme di credenze e attitudini aventi come oggetto intenzionale il corpo. Lo schema corporeo è visto come un sistema procedurale capace di operare a livello subconscio, prodotto da diversi processi neurologici che giocano un ruolo attivo nel monitoraggio delle posture e dei movimenti.

Le prime ricerche ed elaborazioni scientifiche che si sono occupate della percezione e della rappresentazione mentale del proprio corpo risalgono alla metà del XIX secolo nel campo della fisiologia e della patologia neurologica che, cominciando a distaccarsi dalle concezioni filosofiche e dalla loro idea della presenza di spiriti vitali, si accostarono sempre più allo studio del cervello e del sistema nervoso, riconosciuto ormai come la sede della mente (D'Andrea, 2005). In questi studi, quando si intendeva spiegare i fenomeni psichici, si dava molta importanza alle funzioni delle afferenze nervose e alla loro integrazione a livello cerebrale. I possibili disturbi che si potevano creare a livello di percezione e conoscenza corporea venivano ricondotti a lesioni delle vie afferenti e/o di quelle aree corticali che erano considerate i centri di associazione e di integrazione delle vie stesse (Cottini & Busacchi, 1996).

## **2.2 Schema corporeo e immagine corporea in patologia**

Diversi disturbi della concezione del corpo, come per esempio il fenomeno dell'arto fantasma e l'anosognosia spinsero molti studiosi ad approfondire l'indagine della rappresentazione corporea nel cervello e ad elaborare un modello secondo cui lo schema del corpo si sviluppa per mezzo delle sensazioni corporee e cinestesiche.

Esempio di disturbo nel quale il soggetto prova la sensazione che la parte del corpo amputata sia ancora presente si ha nel fenomeno dell'arto fantasma: in questo disturbo si manifesta il persistere di sensazioni derivanti da un arto anche

dopo la sua amputazione. Questo disturbo sembra essere legato a delle modificazioni plastiche che avvengono nella corteccia somato-sensoriale e motoria dei pazienti amputati. Una possibile spiegazione è la corteccia motoria dell'arto amputato continui ad inviare segnali all'arto mancante anche dopo l'amputazione. Questi segnali vengono interpretati dalla corteccia somatosensoriale anche in assenza di un reale feedback sensoriale generando in tal modo una sensazione "fantasma" della presenza dell'arto non più presente. Ed è in questa ottica che Merleau Ponty propone la spiegazione dell'arto fantasma: "[...] il braccio fantasma è un vecchio presente che non si decide a diventare passato". Ma se questa proposizione è certamente interessante, meno condivisibile è la proposizione di Merleau Ponty circa lo schema corporeo: "Lo schema corporeo anziché essere il residuo della cinestesia, ne diviene la legge di costituzione [...] l'unità senso-motoria del corpo è per così dire di diritto, essa non si limita ai contenuti effettivamente e casualmente associati nel corso della nostra esperienza, ma in un certo modo li precede e rende appunto possibile la loro associazione".

Pick (1908, 1922) iniziò a studiare alcuni casi di pazienti affetti da disturbo nella localizzazione corporea, detto "autotopoagnosia". Questi pazienti non riuscivano ad individuare parti del proprio corpo e Pick ipotizzò l'esistenza di una rappresentazione, basata sulle afferenze sensoriali, che permette una consapevolezza topografica del corpo. Le afferenze principali alle quali ci si riferisce sono quelle cinestesiche-tattili, propriocettive, con particolare attenzione a quelle visive, tanto che Pick parlò di "immagine spaziale del corpo"; questa immagine si costruisce durante le fasi dello sviluppo e permette la continua consapevolezza topografica del proprio corpo. Nell'immagine corporea, il corpo è percepito come proprio, mentre lo schema corporeo funziona in modo sub-personale, sconosciuto e anonimo, finalizzato soprattutto al controllo dell'azione e al mantenimento della postura. Questi due concetti di schema corporeo e di immagine corporea condividono la possibilità di rappresentare il corpo nella sua totalità e complessità. Nell'arco della vita ogni persona si costruisce la propria immagine corporea sulla base dei diversi cambiamenti, delle diverse esperienze che ciascuno svolge e delle relazioni che si sviluppano con gli altri. Ruolo fondamentale in queste funzioni è la relazione che si stabilisce con i genitori, che

rappresentano un punto di riferimento nel quale il bambino cerca di identificarsi. Scrive Schilder: “Il bambino parte da un livello iniziale in cui non è in grado di avere la percezione e la coscienza di una linea di demarcazione fra il mondo esterno e il proprio corpo, ma poi giunge a livelli in cui tale linea è sempre più definita” però, anche nell’età adulta persiste “un continuo inter-scambio fra corpo e mondo” (Schilder, 1995).

Controllare e possedere il proprio corpo sembrano essere delle abilità naturali per l’individuo; avere una rappresentazione mentale del corpo consente di mantenere una conoscenza precisa della forma e della postura di esso, permettendo così di programmare i diversi movimenti o azioni nella propria vita senza creare disagi, e di riuscire a localizzare gli stimoli tattili sulla propria cute.

Come descritto precedentemente, a seguito di lesioni cerebrali si possono manifestare dei disturbi nella propria rappresentazione corporea con conseguente alterazione nella percezione e nel controllo motorio del corpo; l’integrità delle afferenze sensoriali soprattutto di tipo propriocettivo, sembra essere un elemento importante per una corretta rappresentazione corporea. La somatoparafrenia è stata definita da Gerstmann (1942) come un disturbo caratterizzato da convinzioni deliranti che riguardano le parti del corpo controlaterali alla lesione cerebrale. In questo disturbo, accade che i pazienti perdano la consapevolezza del possesso degli arti, di solito quelli superiori; tale disturbo è spesso associato a quello di anosognosia, cioè all’incapacità di riconoscere i sintomi di una malattia. Questo disturbo di consapevolezza del proprio corpo è spesso associato a deficit di natura sensoriale, infatti i pazienti con tale disturbo non riescono a riconoscere e percepire la posizione del loro corpo nello spazio senza l’aiuto della vista. Un deficit di natura propriocettiva può essere la causa di un deficit nel senso di appartenenza del corpo (sense of body ownership), il quale deriverebbe da un’integrazione sensoriale delle informazioni tattili visive e propriocettive.

Le alterazioni della rappresentazione corporea possono riguardare anche il corpo nella sua totalità, non solo singoli arti, o parti del corpo; si tratta di fenomeni definiti autoscopici: ossia di percezioni illusorie caratterizzate dall’impressione di percepire il proprio corpo duplicato che occupa simultaneamente due posizioni nello spazio: una posizione reale e una posizione di tipo virtuale. Alla base di

questo tipo di alterazione potrebbero esserci delle anomalie nell'integrazione delle informazioni sensoriali coinvolte nella rappresentazione del corpo, in particolare della forma e della posizione che occupa nello spazio. Nella gran parte dei casi, le aree cerebrali danneggiate nei pazienti che presentano queste illusioni di duplicazione corporea sono collocate nella giunzione temporo-parietale, ovvero una zona cerebrale con un ruolo importante nell'integrazione multisensoriale (Bruno et al., 2010).

Per mezzo dell'applicazione clinica dell'Illusione della mano di gomma (dall'inglese "rubber hand illusion", RHI), si possono rilevare disfunzioni sensoriali o della rappresentazione corporea negli individui affetti da lesioni o danni al cervello. In base al disturbo studiato ci possono essere delle alterazioni nelle diverse sotto-componenti del senso del corpo (senso illusorio di appartenenza corporea o spostamento propriocettivo), come mostrato da alcuni studi effettuati sui pazienti con distonia focale (Fiorio et al., 2011). La distonia è un disturbo che si presenta come un insieme di contrazioni muscolari continue che causano movimenti ripetitivi e posture anomale delle parti del corpo interessate (Albanese & Lalli, 2009). Tali disturbi si presentano anche prima dell'esecuzione del movimento, come ad esempio nella pianificazione o nell'immaginazione motoria, nell'apprendimento di alcune sequenze dei movimenti o nella simulazione mentale di un movimento. Si potrebbe ipotizzare che tali disturbi siano la conseguenza di un deficit più profondo, ossia una compromissione del senso e della consapevolezza di sé (Fiorio et al., 2011). Fiorio e collaboratori, nel loro studio, hanno voluto indagare se il senso di appartenenza corporea fosse danneggiato nei pazienti affetti da distonia, e se tale deterioramento potesse essere presente indipendentemente dalla localizzazione dei sintomi motori. Utilizzarono il paradigma della RHI in pazienti affetti da distonia focale della mano e in pazienti affetti da distonia non sulla mano (distonia cervicale e blefarospasmo), confrontandoli con un gruppo di controllo composto da partecipanti sani. I risultati nei pazienti con distonia focale della mano hanno evidenziato una dissociazione nella mano dominante (quella affetta dal disturbo) tra lo spostamento propriocettivo alterato, il quale non presentava una differenza significativa tra la stimolazione sincrona e la stimolazione asincrona, e la

sensazione illusoria di appartenenza corporea preservata. La compromissione selettiva dello spostamento propriocettivo ha fatto ipotizzare che nella distonia ci possa essere una disfunzione nei circuiti deputati proprio allo spostamento propriocettivo, come la corteccia parietale inferiore e il cervelletto. I pazienti con distonia focale presentavano un pattern di risposta uguale a quello degli altri due gruppi (soggetti sani e soggetti con distonia cervicale o blefarospasmo) per la mano non affetta dal disturbo. I sintomi motori nella distonia sono dovuti ad un deterioramento del processo di ricalibrazione dell'arto (Fiorio et al., 2011), o meglio del senso di spostamento della propria mano verso quella di gomma, dovuto ad un disturbo nell'integrazione degli input visivi - tattili, durante la stimolazione, con l'informazione propriocettiva.

In uno studio successivo è stato applicato lo stesso paradigma a un gruppo di pazienti affetti da atassia cerebellare a confronto con un gruppo di soggetti sani di pari età, e si è osservata una riduzione della sensazione illusoria di appartenenza corporea e un preservato, o addirittura aumentato, spostamento propriocettivo (Fiorio et al., 2014).

Da questi studi si può concludere che un disturbo di tipo motorio, distonia o atassia cerebellare, può compromettere anche una corretta elaborazione della rappresentazione corporea, suggerendo delle alterazioni in circuiti cerebrali specifici.

Nell'ambito della patologia si possono riscontrare alcune difficoltà anche per quanto riguarda i meccanismi neurocognitivi sottostanti all'attribuzione del senso dell'azione. Molti studi riguardano pazienti con schizofrenia, i quali presentano sintomi di deprivazione del proprio sé in azione, specificatamente in relazione alla possibilità di influenzare il corso delle proprie azioni, con confabulazioni relative al fatto che qualcuno diverso da loro le guidi e le esegua, anche nel caso in cui esse siano eseguite interamente dal soggetto stesso. In questa tipologia di pazienti il senso di appartenenza corporea, tuttavia, risulta preservato (Balconi, 2012). I pazienti schizofrenici sembrano non essere più capaci di distinguere le proprie intenzioni dalle intenzioni altrui, mostrando così una limitazione o compromissione del senso di controllo; in questi pazienti con processi deficitari di attribuzione del senso dell'azione, sembra essere alterato uno specifico sistema,



denominato sistema “*Who*” (Georgieff & Jeannerod, 1998), deputato alla consapevolezza di sé. I pazienti con una perdita di controllo delle proprie azioni sembrano essere consapevoli degli obiettivi e delle intenzioni sottostanti all’azione, tuttavia non sono consapevoli di aver iniziato loro stessi l’azione, attribuendola erroneamente così ad un controllo altrui. Frith e collaboratori scrissero: “*He is aware of his goal, of the intention to move and of the movement having occurred, but he is not aware of having initiated the movement. It is as if the movement, although intended, has been initiated by some external force*” (Frith et al., 2000).

Il processo di riconoscimento delle proprie azioni sembra operare in modo implicito e in assenza di un apparente sforzo cognitivo, dipendendo da una serie di meccanismi che implicano l’elaborazione di specifici segnali neurali, sia di origine periferica sia centrale. Le situazioni che implicano una dissociazione dei due livelli e che comportano ambiguità di decodifica, possono compromettere il senso dell’azione; tali situazioni pongono in evidenza due livelli di autoriconoscimento: un livello automatico, per l’identificazione dell’azione, e un livello consapevole e guidato, per la definizione del senso dell’azione. Il livello automatico fornisce un segnale immediato di feedback al soggetto, con lo scopo di controllare e adattare le azioni ai propri obiettivi, mentre il secondo livello fornisce informazioni circa le intenzioni, i piani e i desideri dell’agente di tali azioni. Nei soggetti affetti da schizofrenia questi due livelli sarebbero disgiunti, dal momento che il livello automatico opererebbe in modo funzionale per l’autoidentificazione, ma il senso dell’azione risulterebbe deficitario (Balconi, 2012; Jeannerod, 2009).

Per spiegare alcuni deficit nel senso dell’azione si fa riferimento al modello comparatore. Questo modello postula che le conseguenze sensoriali derivanti dalle proprie azioni sono predette sulla base di una copia efferente del comando motorio, mentre gli stimoli afferenti derivanti dal compimento dell’azione vengono costantemente confrontati con le predizioni interne, al fine di separare adeguatamente gli effetti sensoriali prodotti dall’azione del soggetto da un’eventuale azione prodotta da altri (Bays et al., 2005). Un meccanismo di confronto tra le predizioni interne e le informazioni esterne genera una corretta

attribuzione delle sensazioni autoprodotte a noi stessi e risulta quindi in un normale senso dell'azione. Una disfunzionalità nell'attribuzione del senso dell'azione nei pazienti schizofrenici sembra essere la conseguenza di una compromissione del sistema di predizioni interne, il quale opererebbe in modo disfunzionale, alterando quindi il confronto tra predizioni interne e afferenze sensoriali rilevate.

I risultati dei diversi studi ed esperimenti portano alla conclusione che il senso di appartenenza corporea e dell'azione possono essere dissociati anche in patologia, e attraverso la nostra ricerca abbiamo voluto studiare se si possono riscontrare delle dissociazioni anche nei pazienti affetti da disordini del movimento funzionali.

## Capitolo 3

### **IL SENSO DELL'AZIONE E I SOTTOSTANTI MECCANISMI COGNITIVI E NEURONALI**

Nella vita quotidiana spesso compiamo azioni dirette ad uno scopo su cui normalmente non riflettiamo, come per esempio afferrare un bicchiere d'acqua perché abbiamo sete. Alcune azioni o movimenti possono avere luogo perché un'intenzione di agire ha generato un corrispondente programma motorio allo scopo di raggiungere l'effetto desiderato. Ma come facciamo a sapere che siamo noi quelli che afferrano il bicchiere d'acqua? Nel gesto di afferrare un bicchiere, le sensazioni propriocettive e visive che otteniamo, ci consentono di percepire il braccio in movimento e contribuiscono dunque a regolare un programma motorio definito, con la consapevolezza di essere noi stessi gli esecutori di quel gesto. L'esperienza di sé quali agenti delle proprie azioni (e non delle azioni degli altri) è stata descritta come il "senso dell'azione" "sense of agency" (Gallagher, 2000) ed è un elemento essenziale delle diverse esperienze fenomeniche che costituiscono la coscienza di sé (così come definita da Newen & Vogeley, 2003; Gallagher, 2000). Al di là degli sforzi di delucidare la base funzionale del senso dell'azione esiste anche un sostanziale interesse nell'esplorarne le disfunzioni. I disturbi del senso dell'azione, potrebbero avere un profondo impatto sul funzionamento di un individuo nella società come si osserva, come accade per esempio, nella condizione patologica della schizofrenia. Ad oggi, manca una comprensione esauriente e integrale del senso dell'agire, anche in relazione agli altri processi cognitivi e ai suoi meccanismi sottostanti.

#### **3.1 Il senso dell'azione: definizioni e concetti**

Come emerge da quanto scritto fino ad ora nei capitoli precedenti, il senso dell'azione è un argomento di interesse per varie scienze, dalle scienze cognitive all'ambito filosofico, sociale o psicologico. In questo capitolo della tesi spiegherò le varie definizioni del concetto senso dell'azione per poi entrare nei meccanismi neuronali che lo regolano.

Il senso dell'azione è stato definito come “il senso per cui sono io colui che causa o genera un'azione. Ad esempio, il senso per cui sono io colui che determina il moto di qualcosa, o per cui sono io colui che genera un certo pensiero nel mio flusso di coscienza” (Gallagher, 2000). Pertanto, si riesce a distinguere le azioni che sono generate da noi stessi da quelle generate da altri, dando origine all'esperienza della distinzione sé-altri nel dominio dell'azione, contribuendo così al fenomeno soggettivo della coscienza di sé (Gallagher, 2000). Pertanto il senso dell'azione è diverso dal senso di appartenenza corporea, definito come “il senso per cui sono io colui che avverte l'esperienza per cui il mio corpo si muove, sia che il movimento sia volontario o involontario” (Gallagher, 2000). I movimenti passivi degli arti (quando ad esempio un arto è mosso da qualcun altro) ci fanno comprendere la differenza tra appartenenza e azione. Infatti, quando un arto è mosso passivamente, abbiamo la sensazione che sia parte del nostro corpo, pur non avendo la sensazione di “agire”, in quanto l'azione è stata determinata dall'esterno. Recenti sviluppi concettuali hanno distinto tra diversi livelli del senso dell'azione (Synofzik, 2007). Secondo Synofzik e colleghi, il senso dell'agire comprende un livello implicito di “*sentimento dell'azione*” contrapposto a un livello esplicito di “*giudizio dell'azione*” (Georgieff & Jeannerod, 1998). Il primo sarebbe caratterizzato da processi di livello inferiore (preriflessivi e sensorimotori), mentre il secondo è caratterizzato da processi di livello superiore (riflessivi e cognitivi). Introdurre un sentimento dell'azione di livello inferiore ha rappresentato un importante passaggio concettuale poiché di solito nella nostra quotidianità non riflettiamo sulle nostre azioni. Ciò è in accordo con l'idea di Gallagher della forma base della consapevolezza di sé, il cui contenuto non è informato da pensieri concettuali o da processi riflessivi (Gallagher, 2000). Synofzik et al. (2007) suggeriscono un modello a due passaggi: il sentimento dell'azione deve essere elaborato concettualmente perché avvenga un giudizio o un'attribuzione dell'azione. Sebbene Synofzik e colleghi (2007) non usino termini quali “conscio” versus “inconscio” o “preconscio”, i processi sensorimotori pensati come caratteristici del livello del *sentimento* possono avvenire al di fuori della consapevolezza (ma possono anche essere disponibili alla consapevolezza). Ciò è corroborato da prove empiriche che dimostrano come, ad esempio,

“violazioni” minori delle azioni volute o delle conseguenze delle azioni non entrino necessariamente nella consapevolezza (Fournieret & Jeannerod, 1998; Slachevsky et al., 2001), mentre si possono osservare le marcature neurali di tali violazioni. È importante notare tuttavia che le indagini empiriche spesso si sono concentrate sui giudizi o attribuzioni dell’azione che implicavano resoconti soggettivi ed errori dovuti a errata identificazione. Invece, gli approcci di analisi multivariata che comprendono misure implicite (ad esempio, cinematica, movimenti oculari, attività cerebrale, ecc.) possono altresì attingere al livello del sentimento dell’azione.



## Capitolo 4

### **FORWARD MODEL E INVERSE MODEL**

Sono stati proposti due modelli interni al sistema nervoso centrale (SNC) per la programmazione motoria: “Forward Model” e “Inverse Model” e il (Blakemore & al, 2002).

L’Inverse Model è deputato a fornire i comandi motori necessari per poter compiere il risultato desiderato. L’inverse Model non è accessibile alla coscienza, ricordando l’esempio utilizzato nel capitolo precedente di quando desideriamo prendere una tazza: sicuramente siamo consapevoli dell’azione che vogliamo svolgere, ma non di certo delle contrazioni dei muscoli utilizzati per l’esecuzione oppure della velocità che necessita quel movimento (Blakemore et al., 2002).

Il Forward Model, invece sembra essere quello con accesso diretto alla coscienza, esso utilizza l’*“efference copy”* per predire le informazioni sensoriali di una determinata azione da svolgere.

Due sono le predizioni che fornisce il Forward Model:

- predice il risultato finale e lo confronta con lo stato desiderato;
- predice le conseguenze sensoriali di un movimento e le compara con il feedback corrispettivo.

Le strutture adibite al confronto tra informazioni periferiche-centrali e tra stato finale desiderato rivestono sicuramente un ruolo importante, queste strutture sono i comparatori. Secondo Blakemore, Wolpert e Frith (2002) è proprio la previsione del movimento che il modello fa ad essere la base della consapevolezza motoria. Questo richiede che ogni volta che ci formiamo una previsione sensoriale relativa ad un movimento, realizziamo anche la percezione di aver effettuato quel gesto (Berti, 2007).

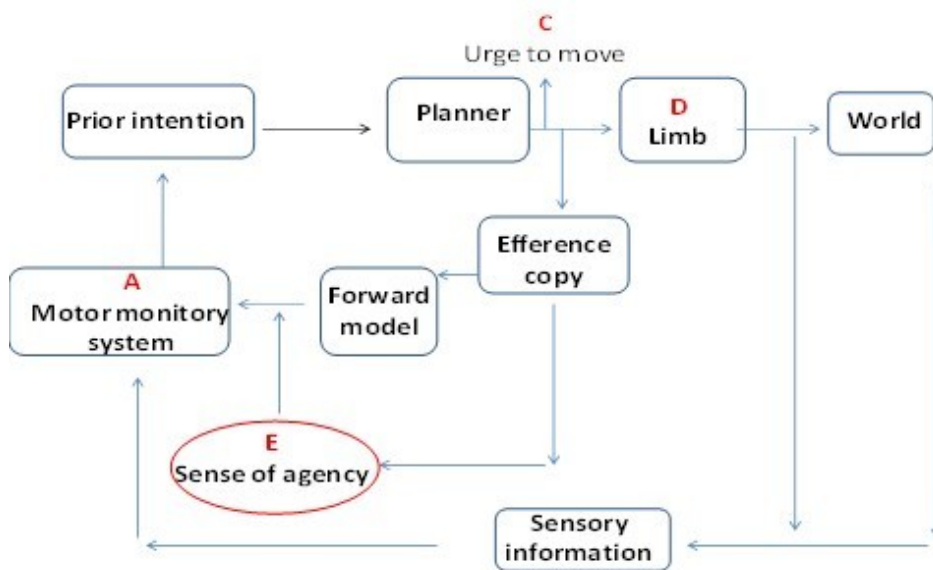


Fig.1: Versione modificata del forward model di Haggard, 2005.

#### 4.1 Basi neurali del senso dell'azione

In passato diversi studi hanno dimostrato che l'attribuzione di un'azione richiede l'attivazione di diverse aree che cambiano in base all'autore dell'azione: noi stessi o gli altri.

Farrer e Frith nel 2002 svolsero uno studio per indagare proprio tale aspetto.

I risultati del loro studio fanno emergere che:

- quando attribuiamo l'azione ad altri si attivano: il giro angolare (bilateralmente), la corteccia premotoria sinistra ed il precuneo.
- quando attribuiamo l'azione a noi stessi si attivano l'area dell'insula anteriore (bilateralmente) ed il lobo parietale (Farrer & Frith, 2002).

Gli autori hanno suggerito che probabilmente l'attivazione dell'insula anteriore e del lobo parietale, che possiamo ritenere essere le basi del senso dell'azione, siano dovute al fatto che queste aree contengono rappresentazioni del corpo. Il lobo parietale riceve afferenze corticali dalle aree sensoriali primaria e secondaria ed ha reciproche connessioni con la corteccia premotoria, cingolare e temporale superiore che permettono di elaborare il mondo esterno con le rappresentazioni interne e di conseguenza concorrono alla creazione dell'immagine del corpo nel tempo e nello spazio. L'insula anteriore sembra



essere adibita all'integrazione di informazioni visive e uditive dei segnali di movimento, quindi è un'area di integrazione multisensoriali che contribuisce alla formazione dell'immagine di sé (Farrer & Frith, 2002). Un altro studio molto interessante che ha indagato sempre questi aspetti è stato svolto da Woogul Lee e Johnmarshall Reeve (2013). Sono state analizzate le differenti aree di attivazione tra azioni auto-determinate e non auto-generate e tra azioni mosse da ragioni intrinseche o esterne.

Sedici soggetti sani sono stati reclutati e sono sottoposti ad fMRI: i soggetti ricevevano stimoli quali delle frasi che descrivevano le azioni descritte prima e delle frasi neutre. Ad ogni prova ai soggetti veniva presentata una frase in modo casuale per 4 secondi e veniva chiesto loro di dare un rating su quanto volessero impegnarsi in ogni azione descritta. I risultati evidenziano che la corteccia anteriore dell'insula, (che sappiamo essere più correlata al senso dell'azione), si attiva maggiormente durante i comportamenti auto-generati; mentre il giro angolare (associato alla perdita di senso dell'azione), si attiva di più durante i comportamenti non auto-generati. Le regioni parietali posteriori erano molto attivate quando i partecipanti immaginavano comportamenti auto-generati regolati da motivazioni estrinseche come ad esempio nel caso siano dovute all'ambiente, rispetto alla situazione in cui immaginavano comportamenti auto-generati regolati da sé stessi (Lee & Reeve, 2013), questo probabilmente è legato al ruolo che ricoprono le regioni parietali nella comprensione del comportamento sociale.

In conclusione possiamo affermare che il senso appartenenza corporea e il senso dell'azione sono collegati tra loro (Tsakiris et al., 2007), nonostante ciò rimane ancora da indagare la relazione che li lega.



## Capitolo 5

### **PROCESSI CORRELATI AL SENSO DELL’AZIONE**

In questo capitolo puntiamo a descrivere i processi cognitivi spesso menzionati e discussi in relazione al senso dell’azione, quali l’imitazione e l’assunzione della prospettiva, nonché altri processi più basilari di dominio generale quali le funzioni esecutive e l’attenzione. Ad esempio, l’imitazione e l’assunzione della prospettiva pure implicano la distinzione tra sé e gli altri. Per di più, sono stati proposti gli indizi visuospatiali specifici del punto di vista quali indicatori del senso dell’agire: *“sapere dov’è il corpo e quali strumenti o opportunità ambientali sono disponibili nell’attuale orientamento contribuisce a determinare di che cosa la persona possa essere stata artefice”* (Wegner et al., 2004).

In realtà, le azioni degli altri possono essere associate con rappresentazioni allocentriche (che codificano le relazioni tra oggetti nello spazio) anziché egocentriche (tra soggetto e oggetto) (Farrer & Frith, 2002). Al contrario, è stato suggerito che l’assunzione della prospettiva si sia evoluta da un sistema di rappresentazione dell’azione (Frith & Frith, 1999). Tali teorie ci hanno portato a indagare il senso dell’agire in relazione all’assunzione della prospettiva (David et al., 2006, 2007b). Gli schemi di attivazione in parte sovrapposti hanno confermato una parentela tra l’assunzione della prospettiva visuospatialiale e l’agire (David et al., 2006). Al contrario, e in relazione all’assunzione della prospettiva mentale (“mentalizzazione”), abbiamo trovato una dissociazione comportamentale tra la mentalizzazione e il senso dell’agire nella sindrome neurologica dell’autismo ad alto funzionamento, il che corrobora la teoria secondo la quale la mentalizzazione trae origine da o dopo la formazione di un sistema di rappresentazione dell’azione (Frith & Frith, 1999). Nello stesso campione emergono prove di una ulteriore dissociazione, ovvero tra attenzione e funzioni esecutive danneggiate e un senso dell’agire integro (David et al., 2007b; una dissociazione simile è stata rinvenuta nella schizofrenia; Turken et al., 2003). La cosa è interessante poiché l’attenzione e le funzioni esecutive quali il monitoraggio di sé sono spesso considerate fattori di confusione nei paradigmi dell’agire (ad esempio gli spostamenti dell’attenzione verso dati di ritorno sensoriali incongruenti). Le doppie dissociazioni tra un senso

dell'agire integro e attenzione e funzioni esecutive danneggiate o la mentalizzazione suggeriscono un certo grado di ortogonalità tra l'agire e tali processi.

### **5.1 Commenti**

Al di là delle diverse interpretazioni teoriche del senso dell'azione, a una retta comprensione del senso dell'azione non deve sfuggire che si tratta di un fenomeno cognitivo complesso ma non unitario. Vanno presi in esame spunti da diverse fonti, quali:

- i segnali motori centrali o efferenti;
- i segnali dei dati di ritorno dalla propriocezione;
- la vista;
- le intenzioni di agire o i precedenti pensieri attinenti all'azione;
- la conoscenza;
- gli spunti dal contesto o dall'ambiente.

*“Spesso tali indicatori di paternità dell'azione sono convergenti e complementari, a volte sono in conflitto fra loro, ma ciascuno può essere sufficiente ad avvalorare la paternità dedotta dell'azione in assenza di altri”* (Wegner & Sparrow, 2004). Ci si può chiedere in maniera critica quanti di tali paradigmi sperimentali che studiano il senso dell'agire effettivamente corrispondessero alle esperienze quotidiane. Spesso, ad esempio, sono stati studiati gli effetti indotti sugli eventi incorporei o extracorporei (vedasi esperimento dei movimenti del cursore; Farrer & Frith, 2002) con ricadute sulle situazioni del mondo reale probabilmente marginali. La validità ecologica dei paradigmi (Hunter et al., 2003) è un tema importante per qualsiasi progetto di ricerca che dimostra il dilemma che molti ricercatori hanno di fronte quando pianificano i loro esperimenti e che va preso in esame quando si interpretano i risultati e si mettono in prospettiva.

## Capitolo 6

### **IL SENSO DELL'AZIONE E LA CONSAPEVOLEZZA MOTORIA**

Da quanto emerso fino ad ora possiamo affermare che attraverso le azioni, i movimenti e le interazioni sociali con le altre persone, l'individuo costruisce una propria immagine del sé personale che permette anche una giusta distinzione di sé e delle proprie azioni diversificandole da quelle svolte dagli altri soggetti.

Riprendendo la definizione di Gallagher (2000) il quale definisce il senso dell'azione come: *“the sense that I am the initiator of the action and thus that I am causally involved in the production of that action”* esso può essere definito anche come: *“il senso dell'essere colui che genera un'azione, sia essa fisica o mentale in quanto artefice degli effetti prodotti da tale azione: in altri termini, nelle situazioni ordinarie, se un individuo compie un'azione o genera un pensiero, egli sa di essere l'individuo che agisce o pensa e, contemporaneamente, egli stesso è consapevole di aver formulato l'intenzione di produrre e di realizzare con efficacia quell'azione o quel pensiero”* (Gallagher, 2000).

Di natura diversa è la concezione di Bandura (1986), esponente di un approccio cognitivo e neuropsicologico, esponente di un approccio di natura socio-cognitiva. Bandura nei suoi esposti sostiene che gli individui “sono agenti inter-attivi con potere causale sul mondo, ovvero gli stessi individui contribuiscono alla formulazione delle proprie motivazioni e azioni” (Bandura, 1986). L'attenzione è posta principalmente sul legame esistente tra azione, dimensione causale ed esperienza personale: emerge in modo particolare la relazione esistente tra individuo e ambiente. Da quanto esposto si denota una differenza sostanziale tra le definizioni di Gallagher e Bandura in merito all'azione.

Mentre Gallagher pone l'attenzione su esso come un costrutto autoreferenziale dell'individuo che si innesta su un meccanismo naturale di tipo biologico, nella definizione di Bandura si pone come fondamentale per lo sviluppo e l'emergere dell'*agency* individuale, il ruolo del contesto e il contributo dell'interscambio tra gli individui e il proprio ambiente (Balconi, 2012).

Il soggetto agente si presenta come una causa attiva ed efficiente in grado di produrre un effetto sull'ambiente; caratteristica essenziale dell'azione è proprio la capacità di poter generare delle azioni mirate a determinati scopi.

Nelle 'dinamiche' dell'azione il meccanismo dell'autoefficacia si può definire come la possibilità per l'individuo di cimentarsi positivamente e con successo nell'agire e nell'interagire con gli altri; tale meccanismo può anche essere definito come la convinzione circa le proprie capacità di organizzare ed eseguire le sequenze di azioni necessarie per produrre determinati risultati. L'individuo grazie all'utilizzo dei sistemi sensoriale, motorio e cerebrale come strumenti per realizzare scopi e raggiunge obiettivi che danno un senso e una direzione alla sua azione (Balconi, 2012).

Oltre al meccanismo dell'autoefficacia altre componenti legate al senso dell'azione sono l'intenzionalità, la coscienza e il contributo delle componenti percettive, come il feedback visivo correlato all'azione.

L'intenzionalità e la pro positività: due proprietà distintive del senso dell'azione, esse vengono utilizzate per distinguere un'azione da un semplice movimento corporeo. Intenzionalità e azione sono spesso legate in un unico concetto, tuttavia esse possono anche essere dissociate, questo accade ad esempio nel caso in cui un soggetto non si ricordi il perché abbia compiuto tale azione senza per questo negare che sia stato lui a fare l'azione stessa. Spesso può capitare che non si ricordano le intenzioni iniziali, tuttavia il ruolo di agente viene in ogni caso riconosciuto dal momento che la consapevolezza che si sta compiendo un'azione viene mantenuta.

Altri due aspetti importanti affinché ci possa essere un senso dell'azione, sono la coscienza e la consapevolezza: quando viene eseguita un'azione si è anche consapevoli di quello che si sta facendo e delle conseguenze derivanti dall'azione stessa; tuttavia nella nostra quotidianità si possono verificare condizioni in cui non vi è una piena consapevolezza della fenomenologia del proprio agire, senza per questo perdere il proprio senso dell'azione.

L'attenzione alle proprietà che caratterizzano la natura intrinseca dell'autoconsapevolezza corporea si è analizzata attraverso studi che hanno cercato di fornire delle evidenze a favore o contro la necessità di una piena

coscienza delle proprie azioni affinché esse possano essere attribuite a sé, studiando i correlati neurali della consapevolezza degli obiettivi e delle intenzioni sottostanti all'agire e i correlati dei movimenti legati alla loro generazione. Obiettivo di tali studi è stato inoltre quello di indagare se la consapevolezza delle azioni volontarie coincida con l'azione stessa, oppure sia anticipata o posticipata. Tale coscienza dei movimenti, finalizzati a realizzare un'azione motoria, è necessaria affinché si possa generare un senso dell'azione (Balconi, 2012). Tra i primi studi che hanno portato l'attenzione alle proprietà che caratterizzano la natura intrinseca dell'autoconsapevolezza corporea risalgono ai primi anni '80 troviamo lo studio di Libet, nel 1983.

Nell'esperimento di Libet et al. in cui sono stati approfonditi gli stati psicologici associati con le azioni volontarie endogene. I partecipanti si trovavano seduti di fronte ad un orologio che ruotava ad un intervallo di tempo di 2.56 s: il loro compito era quello di fissare il suo movimento. I partecipanti a loro scelta, dovevano eseguire un rapido movimento flettendo il polso della mano destra: da ciò ne conseguiva che, la lancetta dell'orologio si fermava in un punto casuale ed i soggetti dovevano riferire la posizione della stessa nel momento in cui avevano scelto di compiere il movimento. L'attività elettrica cerebrale di ogni partecipante veniva registrata, durante l'esecuzione del compito, mediante l'applicazione di elettrodi sullo scalpo per esaminare l'organizzazione della pianificazione motoria. In seguito per rilevare i cambiamenti di potenziale elettrico che precedevano la decisione dei partecipanti a compiere il movimento, veniva esaminato l'elettroencefalogramma (EEG). Il potenziale (readiness potential, RP) registrato dalle cortecce motorie e premotorie attraverso l'uso degli elettrodi indicava l'intenzione di dare inizio al movimento volontario in anticipo rispetto alla produzione reale del movimento.

Alla mano del partecipante, per risalire all'istante in cui egli compiva il movimento volontario, venivano applicati degli altri elettrodi per consentire di registrare i potenziali generati dall'attività muscolare, l'elettromiografia (EMG). Con l'esperimento ideato da Libet le due componenti esaminate erano il giudizio W (da "will", volontà), ossia il momento esatto in cui i partecipanti provavano l'intenzione di effettuare il movimento, e il giudizio M (da "movement",

movimento), cioè il momento in cui il partecipante diventava consapevole che il suo movimento era iniziato. Queste due componenti venivano messe a confronto con l'inizio dell'attività cerebrale. I risultati ottenuti dalle registrazioni EEG, Libet e i suoi colleghi constatarono che l'attività cerebrale precede, anticipa l'intenzionalità di muoversi, riportando che gli RP precedevano di molto il momento della consapevolezza dei partecipanti in cui intendevano eseguire il movimento, ovvero tra i 500 e i 1000 ms prima del movimento effettivo. Al contempo, l'inizio di un'azione coinvolge un insieme di processi neurali inconsci, dai quali deriva un'intenzione del movimento. L'intenzione consapevole (W) di voler agire sorgerà 206 ms prima della contrazione muscolare. Si ritiene che la contrazione muscolare possa essere considerata come il risultato dell'attività cerebrale (RP), piuttosto che la causa. Il giudizio M precede l'inizio effettivo del movimento di circa 86 ms, quindi la coscienza del movimento giunge prima dell'inizio del movimento stesso (Libet et al., 1983; Libet, 2007). Da tale studio emerge che la consapevolezza motoria delle nostre azioni si forma anticipatamente rispetto al movimento stesso. Anche se la propriocezione e la visione sono importanti per poter giudicare un movimento, la consapevolezza motoria non può essere basata solamente sui feedback sensoriali poiché è un segnale che si forma in anticipo rispetto al movimento stesso (Haggard & Magno, 1999). In linea con i risultati di Libet et al. (1983) è stato riscontrato da studi più recenti come quelli di Haggard & Clark (2003) i quali, evidenziarono un accordo sull'ipotesi che la coscienza dell'azione sia associata alle fasi di organizzazione e di preparazione del movimento, piuttosto che di esecuzione dello stesso. Questo risultato è stato raggiunto attraverso l'utilizzo della stimolazione magnetica transcranica (TMS). I due autori (Haggard & Clark, 2003) idearono un esperimento utilizzando come modello di riferimento il paradigma di Libet; i partecipanti dovevano guardare un orologio che ruotava ad un intervallo di tempo di 2.56 s, e, in un momento a piacere, dovevano muovere il loro dito indice destro il quale era collegato ad un dispositivo che emetteva un suono. Il movimento poteva essere causato dall'intenzionalità, dunque di tipo volontario, oppure involontario, ossia attraverso l'applicazione della TMS. Veniva infatti indotto uno stimolo magnetico sulla corteccia motoria sinistra. Attraverso questa procedura gli



autori intendevano misurare il giudizio relativo al movimento intenzionale, o involontario, e il giudizio relativo al momento in cui si verificava il suono a seguito del movimento stesso. I soggetti dovevano rimettere la posizione della lancetta nel momento in cui diventavano consapevoli del movimento, volontariamente o involontariamente, e il momento in cui percepivano il suono. Haggard & Clark riscontrarono che la consapevolezza delle azioni volontarie era in ritardo mentre la percezione del suono avveniva in anticipo, rispetto al movimento che veniva eseguito; nelle condizioni involontarie si verificava il contrario, ossia la consapevolezza dell'azione avveniva in anticipo mentre la percezione del suono avveniva in ritardo.

Da tali studi possiamo concludere che, affinché in un individuo ci sia un senso dell'agire ci deve essere anche un certo grado di consapevolezza nei movimenti e nelle azioni che si compiono: consapevolezza che avviene molto anticipatamente rispetto all'azione stessa.

Inoltre l'insieme di tutte le componenti percettive è importante per il riconoscimento dell'autorevolezza delle proprie azioni. I feedback motori, propriocettivi e visivi contribuiscono dunque alla rappresentazione del proprio senso dell'azione, il quale è basato su una corrispondenza tra l'azione che si vuole compiere e le sue conseguenze sensoriali (Jeannerod, 2003).

Nel loro studio Farrer e collaboratori del 2003 si sono occupati di esaminare questo aspetto dell'agency partendo dall'ipotesi secondo cui i processi alla base del senso dell'azione sono basati su un continuo monitoraggio dei diversi segnali legati all'azione in sé. Questi segnali sono quelli sensoriali cinestesici e visivi e quelli legati al comando motorio.

*“We conjectured that processes underlying the sense of agency or consciousness of action should not be all or none states, but should rather be continuous being based on monitoring of the different action-related signals, from sensory (kinesthetic, visual) and central (motor command) origin”* (Farrer, 2003).

L'esperimento svolto per verificare tale ipotesi, si è realizzato attraverso una situazione sperimentale in cui i partecipanti avevano un joystick nella loro mano destra per mezzo del quale dovevano compiere dei movimenti casuali. I movimenti erano compiuti ad una velocità costante; il feedback visivo fornito ai

partecipanti poteva essere congruente o totalmente distorto rispetto al loro movimento effettivo. L'esperimento prevedeva quattro condizioni sperimentali; nella prima i partecipanti avevano il controllo completo dei movimenti della mano virtuale, nella seconda i movimenti della mano virtuale apparivano ruotati di 25° gradi rispetto ai movimenti svolti dai soggetti, nella terza i movimenti della mano virtuale si presentavano ruotati di 50° e, nell'ultima condizione i movimenti della mano virtuale erano controllati direttamente dallo sperimentatore e dunque non corrispondevano ai movimenti dei partecipanti. Alla conclusione di ogni condizione i soggetti indicavano se i movimenti visualizzati corrispondevano esattamente a quelli eseguiti da loro, se erano distorti o se erano eseguiti dallo sperimentatore. In accordo con altri studi precedenti (Fink et al., 1999) anche dai risultati dell'appena sopra descritto studio dimostrano che una minor sensazione di controllo a causa di un maggior grado di distorsione è associata ad un aumento dell'attività del lobulo parietale inferiore destro. Un graduale attivazione di questa regione cerebrale è legata ad un maggior grado di discordanza tra i segnali centrali derivanti dal comando motorio e da quelli visivi e cinestesici causati dall'esecuzione del movimento stesso. Una discordanza tra la propria intenzione e le conseguenze percepite dell'azione, faceva sì che i soggetti attribuissero ad un'altra persona il movimento visualizzato sullo schermo, non vivendo più come autori dell'azione che avevano eseguito. Maggiore era il grado di distorsione del feedback visivo, più era alta la probabilità di indicare un'altra persona come agente del movimento stesso.

Si può affermare che il senso dell'azione si costruisce dall'integrazione di molteplici aspetti quali l'intenzionalità, la coscienza e i feedback motori, propriocettivi, e visivi del controllo motorio conscio, cioè dalla presenza di un certo grado di consapevolezza motoria nell'individuo: sulla base dei diversi segnali inviati alle strutture cerebrali responsabili della percezione e della postura di un dato movimento, si forma una previsione delle conseguenze sensoriali del movimento stesso. La previsione delle conseguenze sensoriali del movimento è considerata la base della consapevolezza motoria e generalmente viene confrontata con i feedback sensoriali. Torna dunque necessario riproporre la definizione di sistema comparatore, una sorta di sistema di monitoraggio il quale

controlla che ci sia una congruenza tra la consapevolezza del movimento intenzionato e la rappresentazione attuale del sistema. La consapevolezza motoria è costruita a partire dall'integrazione dei segnali relativi alla predizione delle conseguenze sensoriali di un'azione motoria e al monitoraggio di una corrispondenza tra le previsioni e le conseguenze effettive dell'azione stessa.

Sebbene il senso dell'azione possa apparire come un processo centrale e uniforme, esso in realtà viene rappresentato come un fenomeno complesso costituito da livelli funzionali e rappresentazionali eterogenei, ossia da un livello relativo al giudizio del senso dell'azione e da un livello relativo alla percezione. Il livello del giudizio del senso dell'azione include il significato dell'autopercezione e della consapevolezza dell'azione come un processo esplicito, e tale meccanismo rappresenta la presenza consapevole del ruolo del proprio agire nell'esecuzione di un'azione. Questo livello può essere tradotto come una sorta di "concettualizzazione del proprio sé in azione", ed è formato da alcuni indicatori cognitivi come le intenzioni, i pensieri, gli indizi sociali e quelli contestuali.

Il livello della percezione dell'azione si presenta come un processo di basso livello, pre-riflessivo e legato ad alcune coordinate sensorimotorie, il quale appartiene al piano non concettuale del sentire ciò che siamo e cosa facciamo quando compiamo una determinata azione. Generalmente questo livello percettivo deriva da alcune rappresentazioni che risiedono al di fuori della coscienza, come ad esempio i segnali anticipatori, la propriocezione e i feedback sensoriali, che in seguito possono divenire consapevoli in base alle necessità dell'individuo. Nelle condizioni normali, questi due livelli interagiscono costantemente mediante processi sia di tipo bottom-up che top-down (Balconi, 2012).

### **6.1 Funzioni implicite ed esplicite del senso dell'azione**

Iniziamo con un esempio: immaginate di salire su un autobus di linea e di stare viaggiando per le vie della vostra città. All'improvviso un semaforo davanti al mezzo scatta sul rosso e voi, vedendolo, vi preparate ad affrontare la prossima frenata aggiustando la postura e anticipando gli effetti della frenata. L'autista si accorge del semaforo un po' più tardi rispetto a voi e, per rimediare, frena in modo più brusco di quanto previsto. Tutti i passeggeri vengono spinti in avanti. Si

pone dunque la questione di capire se c'è differenza tra lo spostamento che avete attuato preventivamente e quello che avete subito. Sicuramente in entrambi i casi si percepisce il corpo in movimento in quanto è il nostro corpo, siamo proprio noi a fare l'esperienza dello spostamento (senso di ownership o di appartenenza corporea), ma solo nel primo caso siete consapevoli di essere voi l'origine e la causa del movimento, sperimentando un senso dell'azione. Ritornando all'esempio della frenata sull'autobus, oltre ad anticipare la frenata - e magari approfittare di qualche appiglio facendo tesoro delle esperienze precedenti possiamo attuare comportamenti diversi analizzando la situazione a un livello di complessità superiore.

Ad esempio, vedendo un'anziana signora in piedi senza la possibilità di afferrare alcun sostegno (l'ambiente in tutta la sua realistica complessità), potreste prepararvi a sostenerla nel caso in cui perdesse l'equilibrio, un'attesa creata in base a conoscenze personali circa la condizione fisica dell'anziano medio e sostenuta dalla motivazione ad aderire a norme sociali di supporto.

Le scienze cognitive, la filosofia della mente, definiscono il senso dell'azione come sensazione di essere colui che genera un'azione, fisica o mentale, e tutti gli effetti ad essa correlati, che si differenzia dalla sensazione di essere coinvolti in un'esperienza (Gallagher, 2000).

Ma il discorso a questo punto si può fare più articolato e le diverse discipline che si occupano dell'argomento cercano di 'amalgamarne' i diversi aspetti.

Possiamo ritrovare tale molteplicità di livelli nella cornice della teoria socio-cognitiva. Il concetto di emergent interactive agency esposto da Bandura, 1986 estende la portata del costrutto di azione ponendo attenzione su come l'individuo non sia né un agente autonomo e isolato né un mero ricevitore d'influenze esogene in grado di produrre stati mentali. L'individuo è presentato come elemento inter-attivo in grado di esercitare potere causale nel sistema complesso composto da azione (nell'esempio, il sorreggere l'anziana signora), persona (compresi fattori individuali come credenze, attese e valori) e ambiente (come il nostro autobus).

Le riflessioni sull'azione hanno in passato assunto principalmente un punto di vista soggettivo, prendendo in considerazione l'individuo stesso. Con una visione

più di tipo ecologica e realista, l'essere umano è, però, essenzialmente un individuo inter-agente, coinvolto principalmente in scambi con altri attori in grado di influenzare l'ambiente e il nostro comportamento in un contesto dinamico e responsivo. In interazione, gli agenti coinvolti agiscono insieme, collaborando o competendo, per raggiungere uno scopo comune, più o meno condiviso. La capacità di generare azioni collettive e di riconoscerle tali, di individuare il proprio contributo come proprio e di agire in modo coordinato con l'inter-agente può essere definita *inter-agency* (Balconi, 2010). Il senso di inter-agentività è definibile come sensazione che noi - io insieme all'altro siamo coloro che hanno generato un'azione e i suoi effetti.

I costrutti di *agency* e *inter-agency* condividono l'ancoraggio al contesto e all'azione incarnata con la sostanziale differenza che mentre il primo caratterizza scambi monodirezionali in contesti strumentali, come nell'utilizzo di oggetti, il secondo è caratterizzato da chiari richiami al contesto interattivo e al dominio della socialità (come accade, ad esempio, agli scambi comunicativi). Azione e inter-azione chiamano in causa processi cognitivi di percezione delle informazioni endogene ed esogene basate su creazione di attese e previsioni senso-motorie, differenziazione sé-altro, pianificazione e implementazione di azioni e monitoraggio di sé e del contesto.



## Capitolo 7

### **RUBBER HAND ILLUSION**

#### **E SENSO DI APPARTENENZA CORPOREA**

##### **7.1 Il senso di appartenenza corporea**

L'individuo per distinguere sé stesso dagli altri utilizza lo schema corporeo, il senso dell'azione del quale ho già esposto le varie componenti e il senso di appartenenza corporea.

Il senso di appartenenza corporea può essere definito come: *“La sensazione specifica circa il fatto che il proprio corpo sia l'origine della molteplicità di sensazioni che sperimentiamo quotidianamente”* (Balconi, 2012). Una corretta rappresentazione del corpo è composta dal concetto che quando si compie un'azione è il proprio corpo a esperire tale azione, e dall'idea che nel caso sia l'individuo stesso a compiere l'azione, egli sarà anche l'autore della stessa.

Una corretta rappresentazione ed esperienza di possesso del proprio corpo è un aspetto necessario per le interazioni quotidiane con il mondo esterno e rappresenta un aspetto fondamentale per la consapevolezza di sé (Ehrsson et al., 2004).

Tale sensazione è sempre presente indipendentemente dal fatto che le azioni siano eseguite in modo volontario o involontario questo accade in assenza di disturbi che danneggiano le aree cerebrali coinvolte nella rappresentazione corporea. La consapevolezza del proprio corpo fa riferimento a una consapevolezza di tipo propriocettiva: esperienza cosciente della posizione nello spazio di una parte specifica del corpo.

Senso di appartenenza corporea e senso dell'azione sono sempre presenti nell'individuo durante le azioni di tipo volontario, poiché è quest'ultimo che ha deciso di compiere un'azione ed è il suo corpo a esperire tutte le sensazioni ricevute dall'azione stessa.

Durante le azioni involontarie invece, queste due componenti si possono dissociare tra loro; infatti, il senso di possedere un corpo è presente anche nelle condizioni passive o in tutte quelle condizioni in cui non si è autori delle proprie azioni, mentre il senso dell'azione non è presente (Balconi, 2012). Questa dissociazione succede ad esempio potrebbe quando si muove il dito indice ad un

soggetto (come nell'esperimento della rubber hand illusion utilizzato per questa ricerca); in questo caso il senso di Ownership è presente poiché il soggetto che sta svolgendo il paradigma è consapevole che il dito è parte del suo corpo, mentre il senso dell'azione è assente dal momento che non è il soggetto stesso ad aver causato tale movimento.

Il paradigma sperimentale più noto per studiare il senso di consapevolezza soggettiva del corpo è la Rubber Hand Illusion (Illusione della mano di gomma) di Botvinick e Cohen (1998), ossia una procedura sperimentale in cui avviene un'errata attribuzione delle sensazioni tattili che vengono riferite ad una mano di gomma; il paradigma consiste in un'illusione percettiva in cui i partecipanti esperiscono un modello di mano artificiale come parte del proprio corpo. Gli ideatori della RHI (Botvinick & Cohen, 1998) ipotizzarono che l'illusione del senso di appartenenza avviene a seguito di un conflitto multisensoriale tra la visione, propriocezione e tatto, in cui la visione sembra sovrastare il tatto, causando così una alterata consapevolezza del proprio corpo e quindi anche un'incorporazione della mano di gomma.

Tsakiris e Haggard (2005) hanno svolto altri studi sul senso di appartenenza corporea: questi studiosi ipotizzarono che per avere un senso illusorio della propria appartenenza corporea, come dimostrato da Botvinick e Cohen, è necessario il coinvolgimento di due principali componenti: un processo bottom-up che integra le percezioni visive e tattili, e un cambiamento fenomenologico persistente della rappresentazione del proprio corpo. La RHI, quindi, coinvolge un'interazione tra la rappresentazione dello schema corporeo e l'integrazione degli stimoli visivi e tattili.

Ancora Tsakiris e Haggard hanno svolto esperimenti per studiare le possibili condizioni in cui si può creare o meno l'illusione del proprio corpo. In uno di questi, gli autori hanno voluto manipolare due variabili: la posizione della mano di gomma e l'identità dell'oggetto visto. I partecipanti dovevano discriminare degli stimoli vibro-tattili che venivano sottoposti sul dito indice o sul pollice della loro mano reale la quale veniva nascosta. I soggetti potevano vedere una mano artificiale la 'mano di gomma' in posizione congrua alla loro, in posizione non



congrua (-90°) oppure, al posto della stessa, un bastoncino di legno posizionato dagli sperimentatori.

Dai risultati emerge come l'illusione (RHI) fosse presente solo quando la mano artificiale era posta in posizione congruente, uguale alla propria mano reale; emerge inoltre che la semplice correlazione di stimoli visivi e tattili tra la propria mano e un oggetto neutro, come il bastoncino di legno al posto della mano, non sono condizione sufficiente per poter creare l'illusione (Tsakiris & Haggard, 2005).

Per poter scaturire l'illusione della mano di gomma (RHI) è necessaria la presenza di una mano di gomma e non di un oggetto neutrale come il bastoncino di legno, che essa venga posizionata in modalità congrua rispetto alla mano reale del soggetto e infine, che sia il più possibile uguale alla mano reale.

Il senso di appartenenza corporea e il senso dell'azione, possono essere scomposti in due livelli di rappresentazione del proprio corpo, ossia un livello di tipo sensoriale e uno di tipo concettuale basato sul giudizio.

Secondo il livello percettivo l'individuo si costruisce una rappresentazione di tipo non concettuale del proprio corpo in risposta a sistemi di feedback propriocettivi, visivi, e sulla base della concezione del proprio schema corporeo. Il soggetto può avere accesso ai propri stati corporei tramite alcuni processi focalizzati sulla costruzione consapevole di mappe rappresentazionali delle informazioni propriocettive che provengono dalle singole parti che compongono il corpo di ciascun soggetto (Balconi, 2012). Sempre secondo Balconi, 2012 il libello concettuale è basato su un giudizio consapevole e intenzionale e prevede la presenza di alcuni indicatori cognitivi, come le intenzioni, i pensieri, le credenze, le informazioni contestuali, che concorrono alla rappresentazione di possedere un corpo come una realtà oggettiva e osservabile.

La capacità di possesso ed esperienza del proprio corpo sembrano essere scontate e naturali per l'individuo; la comparsa di determinate condizioni patologiche può determinare un'incapacità di identificare i propri arti come appartenenti a sé stesso (Ehrsson et al., 2004).

## **7.2 La RHI: strumento d'indagine per studiare il senso del corpo**

Botvinick e Cohen nel 1998 per poter studiare l'interazione tra visione, tatto e propriocezione, hanno ideato il paradigma dell'illusione della mano di gomma (Rubber Hand Illusion, RHI). Nell'esperimento di Botvinick e Cohen (1998) sono stati testati dieci soggetti. Ogni soggetto era seduto con la mano sinistra appoggiata sul tavolo in posizione prona e la mano destra appoggiata sulla propria coscia; veniva poi posizionato un modello in gomma di una mano a grandezza naturale e realistica ad una distanza fissa dalla mano reale del soggetto. Al partecipante era visibile solo la mano di gomma, in quanto la mano reale testata veniva nascosta dietro ad uno schermo verticale opaco; l'attenzione e lo sguardo del soggetto erano sulla mano artificiale. Due piccoli pennelli erano utilizzati dallo sperimentatore per stimolare la mano del soggetto e la mano di gomma in modalità sincrona e asincrona, in sessioni separate. Trascorsi dieci minuti dalla stimolazione, veniva somministrato un questionario per valutare la loro esperienza soggettiva della sensazione di possesso della mano artificiale, in cui i partecipanti dovevano rispondere a 9 domande alle quali dovevano affermare o meno la loro esperienza di alcuni effetti percettivi provocati dalla stimolazione. Il grado di accordo o disaccordo era espresso dai partecipanti attraverso l'utilizzo della scala Likert (da -3 a +3). I valori di questa scala vanno da un punteggio negativo di -3 a uno positivo di +3. Le risposte fornite evidenziano che i partecipanti percepivano il tocco del pennello quando lo vedevano sulla mano artificiale, mentre quando era stimolata la loro mano reale, inducendo così una falsa attribuzione e incorporazione della mano di gomma, come se quest'ultima fosse la loro mano e gli appartenesse (Botvinick & Cohen, 1998). Questa illusione prevede dunque il dislocamento della mano reale del soggetto dalla posizione in cui il partecipante crede sia collocata nella direzione della mano artificiale (Balconi, 2012).

Per misurare la distanza tra la posizione reale del dito indice e la posizione stimata (spostamento propriocettivo), i partecipanti dovevano giudicare la posizione della loro mano reale indicandola su un metro posto di fronte a loro. La sensazione soggettiva illusoria così forte sembra essere presente nella modalità sincrona ma non scaturisce in modalità asincrona svolta con un gruppo di controllo; infatti in

quest'ultima modalità l'illusione della mano artificiale era presente in misura minore, come pure lo spostamento propriocettivo.

Emerge dunque che l'utilizzo della mano artificiale nel contesto sperimentale può riuscire ad evocare almeno tre illusioni distinte tra loro:

1. Sensazioni tattili riferite ad un arto di gomma: una cattura visiva del tatto verso una posizione dalla quale non dovrebbe derivare alcuna sensazione tattile.
2. Ricalibrazione della posizione percepita del corpo nello spazio: una cattura visiva della propriocezione verso una posizione nella quale non è presente nessuna parte corporea.
3. La sensazione di percepire l'arto di gomma come appartenente a se stessi (Bruno et al., 2010).

Ai partecipanti dello studio di Botvinick e Cohen (1998) era ben chiaro che l'arto artificiale non appartenesse al loro corpo, e nonostante ciò alla domanda "Avevi la sensazione che l'arto di gomma fosse la tua mano?", la maggior parte di essi dava una risposta affermativa. La risposta affermativa confermava la presenza dell'illusione della mano di gomma. Un esperimento di Tastevin (1937) fa emergere che l'illusione può presentarsi anche senza una stimolazione simultanea, ad esempio attraverso la sola e semplice osservazione dell'arto finto; i partecipanti, infatti, tendevano ad attribuire sensazioni propriocettive a un dito artificiale a cui dovevano portare la loro attenzione, mentre la propria parte del corpo non era visibile (Holmes et al., 2004). L'illusione tende a diminuire o a scomparire quando lo sperimentatore stimola le due mani in maniera asincrona, come riportato da Botvinick e Cohe e confermato dall'esperimento di Tsakiris e Haggard (2005), che hanno confrontato l'illusione nella stimolazione sincrona rispetto a quella asincrona, riportando una minor illusione in quest'ultima. In questo caso i partecipanti percepivano la loro mano più vicina a quella di gomma. Nella stimolazione sincrona l'illusione era maggiore e lo spostamento propriocettivo era rapido, specialmente durante i primi due minuti dell'esperimento; nella condizione asincrona invece, l'illusione e lo spostamento propriocettivo verso la mano di gomma era in gran parte ridotto, o addirittura non presente (Tsakiris & Haggard, 2005).

Welch, & Warren (1980) definiscono questa differenza determinata dal tipo di stimolazione condotta, sincrona o asincrona, con il termine assunto di unitarietà un fenomeno secondo cui nella mente umana gli eventi multisensoriali a livello temporale sincroni vengono ricondotti ad un'origine comune, mentre quelli temporalmente disgiunti ad origini distinte (Bruno et al., 2010).

*“We hypothesized that this illusion involves a constraint-satisfaction process operating between vision, touch and proprioception - a process structured by the correlations normally holding among these modalities. Specifically, a connectionist model suggested that the illusion's spurious reconciliation of visual and tactile inputs relies upon a distortion of position sense”*, Botvinick & Cohen, (1998) definirono così l'illusione.

Questo risultato si può spiegare pensando a un processo di sovrapposizione dell'input propriocettivo da parte di quello visivo, dunque come risultante del feedback sensoriale visivo che restituisce al soggetto la consapevolezza della posizione spaziale delle specifiche parti corporee. I correlati sensoriali di vista e tatto sembrano indurre una falsa consapevolezza del proprio corpo, si ha dunque che in cui la stimolazione visiva sembra sovrastare quella tattile, risultante nell'incorporazione della mano di gomma (Balconi, 2012).

L'illusione sembra essere il risultato di un conflitto multisensoriale tra il sistema visivo e quello propriocettivo, in cui quest'ultimo pare avere una maggiore influenza rispetto al primo (Makin et al., 2008).

Affinché l'illusione possa essere creata, è necessario un modello di mano artificiale il più possibile simile alla mano reale e posizionata in modalità congrua: l'illusione non si verifica con qualsiasi oggetto dell'ambiente, anche se le sensazioni tattili e visive sono correlate temporalmente. Tsakiris e Haggard hanno compiuto degli esperimenti in cui manipolavano la variabile della posizione della mano di gomma e l'identità dell'oggetto visto. I partecipanti dovevano discriminare degli stimoli vibro-tattili sottoposti al dito indice o al pollice della loro mano reale, la quale era nascosta. Gli autori hanno concluso il loro esperimento riportando che l'illusione era presente solo se la mano artificiale assomigliava alla mano reale del partecipante e se era posizionata in modalità congrua; in presenza di una rotazione della mano artificiale o di un bastoncino di

legno, tale illusione non si riscontrava nei partecipanti (Tsakiris & Haggard, 2005).

Nello studio svolto da Pavani e Zampini si indaga sulla dimensione della mano visualizzata dai partecipanti; in questo studio veniva fatta appoggiare ai partecipanti la loro mano sinistra su un pannello di polistirolo e quest'ultima veniva esclusa dalla loro vista. Su uno schermo affianco veniva proiettata la mano del partecipante con dimensioni diverse. La mano si presentava con grandezza ridotta di -3 cm, reale, oppure ingrandita +3 cm. Obiettivo di tale ricerca era quello di osservare se l'illusione della mano si creava o meno in tutte e tre le condizioni; dai risultati emerge che le dimensioni della mano visualizzata modulavano l'illusione, la quale si verificava nelle condizioni in cui la dimensione della mano era veritiera oppure ingrandita. Non si manifestava illusione quando la dimensione della mano visualizzata veniva ridotta (Pavani & Zampini, 2007).

Dagli studi citati (Pavani et al., 2000; Tsakiris & Haggard, 2005) si comprende che l'illusione è soggetta ad alcuni vincoli, che possibilmente hanno a che fare con ciò che la mente di un individuo è disposta ad accettare come immagine plausibile del corpo. Si evince inoltre che la rappresentazione multisensoriale del corpo si costruisce sulla base delle informazioni in ingresso, ma è anche limitata dalle rappresentazioni del corpo che la mente di un individuo già possiede (Bruno et al., 2010).

### **7.3 Meccanismi neuronali coinvolti nell'Illusione**

In letteratura neuropsicologica e di neuroimaging, diversi studi hanno indagato i correlati neurali coinvolti nell'attribuzione di un'azione a sè stessi o agli altri individui (senso dell'azione). Farrer e Frith nel 2002 hanno creato un esperimento con due diverse condizioni sperimentali nelle quali era previsto lo stesso tipo di compito e gli stessi stimoli visivi, ma i due esperimenti differivano tra loro solo nel compito di attribuzione dell'azione. I soggetti partecipanti tenevano in mano un joystick con il quale dovevano guidare un cerchio lungo un percorso a forma di T ed erano informati che il cerchio poteva essere guidato da loro stessi o dallo sperimentatore. Attraverso l'uso della fMRI (risonanza magnetica funzionale), gli autori avevano lo scopo di osservare le attivazioni cerebrali nei partecipanti

quando questi attribuivano l'azione a sé stessi e quando l'attribuivano ad un altro individuo (lo sperimentatore). Le aree cerebrali che presentavano un incremento del segnale BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) durante le condizioni sperimentali in cui i partecipanti dovevano attribuire l'azione a sé stessi, erano l'insula anteriore bilaterale e il lobo parietale destro. Nella fase in cui i partecipanti attribuivano l'azione allo sperimentatore (in tale condizione sperimentale i partecipanti erano a conoscenza che il cerchio sarebbe stato guidato dallo sperimentatore) si presentava un aumento del segnale BOLD nel giro angolare bilaterale, nella corteccia premotoria laterale sinistra e nel precuneo (Farrer & Frith, 2002). Secondo gli autori esiste un rapporto diretto tra l'aumento dell'attività dell'insula e la diminuzione del grado di incongruenza, portando alla conclusione che l'attivazione di tale area possa rappresentare il grado di consapevolezza del senso dell'azione in risposta all'aumentare del senso di causalità percepita dall'azione.

Alcuni studi hanno dimostrato che c'è un aumento dell'attività cerebrale nella corteccia parietale inferiore destra e nel cervelletto in merito al compito di monitoraggio di una corrispondenza tra le azioni che si vogliono compiere, tra le intenzioni sottostanti, e tra i feedback sensoriali e visivi derivanti dall'esecuzione dell'azione stessa (Blakemore et al., 2001; Farrer et al., 2003).

Ogni azione motoria di tipo volontario prevede la presenza di un'intenzione sottostante, una delle componenti fondamentali dell'azione; la rappresentazione di quest'ultima prevede l'attività nell'area pre-supplementare motoria (pre-SMA) o dell'area motoria cingolata rostrale (CMAr) (Haggard & Passingham, 2004).

Come per il senso dell'azione, anche per il senso di appartenenza corporea sono coinvolte diverse aree cerebrali, tra cui la corteccia premotoria ventrale, la corteccia intraparietale e il putamen; queste aree si presentano come dei nodi corticali per l'integrazione delle informazioni visive, tattili e propriocettive provenienti dal corpo, dallo spazio immediatamente circostante al corpo e dalle coordinate centrate sulle parti di quest'ultimo (Kalckert & Ehrsson, 2012).

La fMRI è stata utilizzata per indagare i meccanismi cerebrali coinvolti nel senso di ownership, in un esperimento in cui i soggetti dopo un breve periodo di stimolazione sincrona esperivano la mano di gomma come propria (Ehrsson et al.,

2004). Gli autori nel loro articolo scrissero: *“The ventral premotor cortex is an ideal candidate for the multisensory representation of one’s own body. It is anatomically connected to visual and somatosensory areas in the posterior parietal cortex and to frontal motor areas. [...] Thus, the premotor activity could reflect the matching of the visual and somatic signals, in line with the hypothesis that self-attribution is mediated by multisensory correlations”*.

Gli autori hanno sottolineato che la corteccia premotoria ventrale sembra essere associata principalmente al sentimento di appartenenza corporea; infatti, attraverso le afferenze che riceve dalle sue connessioni multisensoriali, ossia dalla corteccia parietale posteriore e dal lobo prefrontale, la corteccia premotoria compie un’integrazione multisensoriale delle informazioni visive, tattili e propriocettive.

La corteccia intraparietale e il putamen, insieme alla corteccia premotoria ventrale, sembrano essere coinvolti nell’attribuzione di parti individuali del corpo attraverso l’integrazione delle informazioni sensoriali. Le attivazioni in queste regioni cerebrali sembrano rispecchiare i nodi principali dei processi multisensoriali nel cervello degli individui, portando alla conclusione che tali processi risiedono alla base del senso di appartenenza dell’intero corpo (Petkova, Björnsdotter & Ehrsson, 2011).

I partecipanti, durante l’esperimento con la rubber hand illusion, mostravano anche un aumento dell’attività del lobulo parietale inferiore (IPL) e del cervelletto, in riferimento allo spostamento propriocettivo della propria mano verso quella finta (Ehrsson et al., 2004; Kammers et al., 2009). Si può dunque concludere che la RHI si manifesta attraverso due componenti principali, una componente soggettiva/cognitiva che modula il senso di appartenenza corporea (sense of ownership) e una componente oggettiva/sensoriale che modula lo spostamento propriocettivo (Botvinick & Cohen, 1998; Tsakiris & Haggard, 2005).





## Capitolo 8

### **I DISTURBI FUNZIONALI DEL MOVIMENTO**

#### **8.1 Definizione e storia**

I disturbi del movimento funzionali occupano un'area di confine tra la neurologia e la psichiatria in quanto in essi è presente una compresenza di sintomi neurologici e funzionali; essi rientrano nella più ampia categoria dei disturbi neurologici funzionali. Dare una definizione a questo disturbo risulta complicato in quanto tuttora non vi è una definizione universalmente accettata e la stessa loro diagnosi e trattamento risultano di difficile approccio. I pazienti affetti da questi disturbi possono manifestare un livello di disabilità e una compromissione della qualità di vita comparabili a quelli dei pazienti con una malattia organica sottostante, quale ad esempio la Malattia di Parkinson. I pazienti con disordini funzionali non presentano un danno o una malattia chiara alla base del sistema nervoso centrale questo comporta la difficoltà da parte del neurologo nel comprendere il meccanismo di produzione di questi sintomi riportati dai pazienti (Tinazzi & Morgante 2013). I disturbi di origine funzionale sono dovuti a un problema reversibile di funzionamento del sistema nervoso stesso; ciò significa che un disturbo del movimento funzionale può migliorare o anche scomparire totalmente anche autonomamente. Hallet li ha definiti “*a crisis for neurology*” (Hallet, 2006). La loro definizione è da anni oggetto di controversie; le precedenti definizioni (disturbi psicogeni, da conversione, da somatizzazione, isteria, etc.) suggeriscono che la causa dei sintomi fisici abbia un'origine di tipo psicologico. Gli studi fino ad oggi presenti in letteratura, non fanno però emergere la presenza consistente di tale fattore scatenante (Espay et al., 2009; Stone & Edwards 2011). Altre definizioni come “*medically unexplained*” risultano poco chiare, indicando semplicemente che non abbiamo ancora una spiegazione “organica del disturbo” (Edwards & Bhatia, 2012). Inoltre, i pazienti non gradiscono l'etichetta che viene data dal clinico. A questo riguardo Stone et al. (2002) hanno dimostrato come alcuni termini come “isteria” o “disordine psicosomatico” lasciano il paziente con il sospetto che il medico ritenga che i loro sintomi non siano reali, veritieri. Il termine “funzionale” risulta in questa casistica quello più accettabile. Fino a

qualche anno fa questi disordini venivano definiti “psicogeni” ma il termine reca con sé una connotazione negativa legata all’attribuire ad una causa psicologica i sintomi fisici (Espay et al., 2009).

Da non dimenticare che la spiegazione storica di sintomi generati da traumi emozionali, è attualmente ampiamente messa in discussione. Il termine “funzionale”, invece, vuole indicare un disturbo di una funzione neurologica da una causa non ancora identificata (Trimble, 1982) e rimane libero da assunzioni eziologiche. Tale definizione permette di concentrarsi sul fatto che questi pazienti hanno segni e sintomi positivi che non sono ravvisabili in altri disordini del movimento. Un esempio è la cessazione del tremore con manovre di distrazione o la forte risposta al placebo (Edwards et al., 2014). Ancora il neurologo Edwards ritiene che il termine “funzionale” rimanga il più accettabile per definire questi disturbi, in quanto consente di non alludere alla poco chiara psicopatologia, e soprattutto consente di concentrarsi sul “come” i sintomi insorgono piuttosto che sul “perché”. La diagnosi di disturbo funzionale non può essere posta con sicurezza in base alla presenza o meno dell’elemento psicologico (Starcevic, 2006). È proprio su questo concetto che si basa la nuova classificazione di questi disturbi nel DSM V (*Diagnostic and Statistical Manual of mental Health Disorders V*). Rispetto alla sua precedente edizione, American Psychiatric Association, 2013 in cui i disturbi da conversione sono stati categorizzati come “disordini con sintomi neurologici funzionali” in questo cambiamento emerge che la presenza di uno *stressor* psicologico precedente l’insorgenza dei sintomi non è più necessaria. Con questi nuovi criteri si pone attenzione sull’enfatizzare la necessità di sintomi e segni fisici “positivi” (Stone et al., 2011), percepiti dal soggetto come involontari ma caratterizzati da “inconsistenza” e “incongruenza”. Per inconsistenza si intende una variabilità anamnestica e clinica, documentata tramite una riduzione o risoluzione del disturbo con la distrazione e peggioramento quando l’attenzione è focalizzata sui sintomi, per incongruenza ci si riferisce al fatto che il quadro clinico bizzarro è incongruente con qualsiasi altro disturbo organico conosciuto (Fahn & Williams, 1988; Gupta & Lang, 2009). I termini utilizzati per definire tale disturbo, sono importanti anche nella parte di trattamento del paziente e strettamente legata a un miglior out come, il termine

“psicogeno” implica che l’unico livello sul quale i sintomi vengono generati e quello psicologico. L’accento ai meccanismi psicologici dovrebbe comunque essere un secondo step nella comunicazione della diagnosi (Edwards et al., 2014).

## **8.2 Epidemiologia e fattori di rischio**

I Disordini del movimento di origine funzionale costituiscono circa l’1,5% di tutti i pazienti visitati in clinica neurologica. I disturbi funzionali in generale rappresentano circa il 16% dei pazienti ambulatoriali (Stone et al., 2010) ed una percentuale variabile dal 2% al 20% dei pazienti afferenti agli ambulatori dei disordini del movimento (Factor et al., 1995). Il disturbo è maggiormente frequentemente nelle donne e l’età media di insorgenza varia dai 37 ai 50 anni. È stato dimostrato che tali disturbi possono insorgere nei 29 bambini e negli anziani. A oggi non ci sono studi che stimano il carico economico di questi pazienti, ma considerato il livello di disabilità riportato da questi pazienti nel lungo termine, tali costi non sono indifferenti se pensiamo che il 50% dei pazienti con sintomi neurologici funzionali in generale, valutati a un anno di follow-up da Carson et al. (2011) hanno smesso di lavorare e più di un quarto ricevono assegni statali legati all’invalidità. Non ci sono dati sulla distribuzione razziale nella ricerca pubblicata, comunque un trans - culturale il confronto tra i pazienti con questi disturbi negli Stati Uniti, in Spagna e in Brasile ha mostrato caratteristiche demografiche e cliniche essenzialmente simili origine etnica (Munhoz et al., 2010). Quasi il 15% dei pazienti con FMD presenta anche un disturbo del movimento organico sottostante (Ranawaya et al., 1990).

I fattori di rischio per questi disturbi comprendono: storia di abuso sessuale o stupro, trauma fisico, precedente intervento chirurgico, esperienze di vita stressanti (Williams et al., 2005). Molti pazienti con sintomi neurologici funzionali riportano disabilità fisica quanto pazienti con malattia neurologica.

## **8.3 Sintomi**

Clinicamente tra i sintomi motori più comuni dei disturbi funzionali del movimento troviamo alterazioni della coordinazione e dell’equilibrio, paralisi o astenia localizzate ad uno o più arti, tremore e movimenti involontari, disturbi

gastrointestinali, afonia, difficoltà a deglutire, ritenzione urinaria, convulsioni, e altri disturbi presenti tra i disturbi di origine organica.

Il 2-20% dei pazienti seguiti presso gli ambulatori dedicati ai disturbi del movimento sono affetti da disturbi funzionali; essi sono più frequenti nelle donne e l'età media di esordio è compresa tra i 37 e i 50 anni, anche se possono essere presenti nei bambini e negli anziani.

La forma più comune di questi disturbi è il **tremore** funzionale, seguito dalla distonia, dal mioclono e dai disturbi della deambulazione.

Il tremore è la forma più comune tra i disturbi del movimento funzionali (50% dei casi) e si differenzia dal tremore organico per il suo esordio acuto ed improvviso con remissioni spontanee, una storia familiare negativa, la breve durata, la suggestionabilità e la distraibilità. Tale disturbo presenta una variabilità della parte del corpo affetta, ma le mani e le braccia sono quelle maggiormente colpite; inoltre presenta una triplice componente (a riposo, posturale, intenzionale), un pattern inusuale nei tremori organici.

La distraibilità (cambiamento della frequenza e dell'ampiezza) è la caratteristica principale del tremore funzionale ed essa può essere evidenziata durante la raccolta dell'anamnesi, attraverso l'esecuzione di compiti mentali o motori. Una caratteristica nota che può aiutare a differenziare il tremore funzionale dal tremore essenziale è rappresentata dai cambiamenti del primo in base al livello di attenzione nei confronti dell'arto affetto.

La **distonia funzionale** rappresenta il secondo più comune disturbo del movimento funzionale, più frequente nelle giovani donne. Questo disturbo è rappresentato da contrazioni muscolari involontarie che causano movimenti lenti e ripetitivi o posture anomale che sono spesso alquanto dolorose. Rispetto alla distonia organica, quella funzionale è generalmente fissa e spesso associata al componente del dolore. La distonia funzionale presenta alcune analogie elettrofisiologiche con la distonia organica, tra cui le analoghe alterazioni dei circuiti inibitori motori a livello corticale e spinale, sia nelle parti corporee affette dalla distonia sia in quelle non affette; inoltre, ci sono delle alterazioni simili nell'elaborazione temporale degli stimoli tattili (Tinazzi & Morgante, 2013).

Il **mioclono funzionale** rappresenta circa il 20% dei casi di disturbi del movimento funzionali. Questo disturbo si riferisce ad improvvise e involontarie contrazioni muscolari o spasmi di un muscolo o di un gruppo di muscoli causate da una condizione psicologica. Il movimento si presenta come semplice e veloce; nel caso della mioclonia funzionale, questi movimenti si presentano più lunghi, più complessi e si possono presentare sia spontaneamente che da un'azione o da un riflesso.

La distraibilità è difficile da dimostrare all'esame clinico, ma alcuni test elettrofisiologici sono di ausilio diagnostico: si pensi alla registrazione EMG che può essere utilizzata per documentare la durata del burst: una durata inferiore ai 75 Msec non è compatibile con una origine funzionale. I metodi neurofisiologici sono particolarmente utili nella distinzione tra strappi volontari e corticali o strappi del tronco encefalico (Brown & Thomson, 2001).

I **disturbi della deambulazione** (disturbi della marcia funzionali) si possono osservare in forma isolata nel 6% dei casi, e spesso in associazione con altri disturbi del movimento funzionali. Si possono riscontrare alcune caratteristiche fenomenologiche quale l'assenza di cadute all'anamnesi, nonostante sia riportato un disturbo dell'equilibrio, la difficoltà a stare in piedi e a camminare nonostante la forza segmentaria sia normale, e l'assunzione di posture che paradossalmente rendono più difficoltoso il mantenimento dell'equilibrio.

Altro sintomo di origine funzionale è il **Parkinsonismo funzionale** che rappresenta il 10% degli FMD (Dallochio, 2011). In questo caso il tremore atipico si associa a movimenti lenti accompagnati a sospiri e smorfie. Nel parkinsonismo di tipo funzionale generalmente sono assenti sintomi quali la rigidità assiale (Benaderette et al., 2006). Per differenziare il tremore funzionale da altri tipi di tremore studi di elettrofisiologia e sulle neuro-immagini funzionali possono essere un valido supporto (Dallochio, 2011).

#### **8.4 La diagnosi**

La diagnosi di FMD rimane un dilemma affascinante e stimolante sia in clinica neurologia che psichiatria. Essa non deve essere considerato come una diagnosi di esclusione ma dovrebbe essere stabilita sulla base di criteri clinici positivi per

determinare se i movimenti anormali sono prodotti da malattie organiche, disturbi psichiatrici, o entrambi (Jankovic & Thomas, 2006). Per facilitare il processo diagnostico sono stati ideati tre serie di criteri:

- Fahn-Williams, 1988;
- Shill-Gerber, 2006;
- Gupta-Lang, 2009.

Questi criteri hanno in comune vari gradi di certezza della diagnosi: ad esempio nei criteri di Fahn e Williams la diagnosi può essere documentata, stabilita clinicamente, probabile e possibile.

I criteri Fahn-Williams specificano i livelli di certezza diagnostica con i seguenti gradi: possibile, probabile e clinicamente definita. Si basano sull'inconsistenza ed incongruenza del disturbo, considerando la risposta al placebo ed alla psicoterapia.

Nei criteri di Gupta-Lang le categorie “documentata” e “stabilita clinicamente” sono state unite in un'unica categoria “clinicamente definita”. La categoria “possibile” è stata sostituita dalla categoria “diagnosi supportata da indagini di laboratorio” qualora fosse avvalorata da alcuni test di laboratorio suggeriti dagli autori stessi (es. come l'analisi di frequenza per il tremore funzionale o l'EEG-EMG back averaging per il mioclono funzionale).

I criteri di Shill-Gerber si basano su elementi clinici che suggeriscono l'inconsistenza con altre malattie organiche. Il livello di certezza diagnostica è basato su fattori non-fenomenologici come eccessivo dolore o fatica, guadagno secondario o esposizione ad un modello di malattia “disease modelling”. Numerose le critiche volte a questi ultimi criteri ritenuti molto pesati sulle informazioni anamnestiche che sono molto incentrate sulla nozione del “disease modelling”, secondo il quale l'esperienza di una malattia in un membro della famiglia, o comunque la conoscenza della stessa, costituisce un modello per il paziente che gli permetta di produrre il sintomo funzionale. Recentemente i Criteri Fahn-Williams e Shill-Gerber sono stati sottoposti a valutazione della loro “*inter-rater reliability*” (Morgante et al., 2012). Gli esiti di questa valutazione hanno riscontrato scarsa affidabilità per i criteri di Shill-Gerber e moderata affidabilità

per Fahn-Williams in merito alle categorie probabile e possibile, con buon accordo per la categoria “clinicamente definita”.

Nel DSM V grande importanza si riferisce ai dati dell’esame obiettivo durante l’esame obiettivo, anche la presenza di un fattore psicologico, richiesta nella versione precedente, è stata eliminata, in quanto spesso non evidente. In questa tipologia di pazienti anche nel caso in cui lo stressor psicologico sia presente la relazione con il sintomo può essere difficile da stabilire. È stato rimosso inoltre il criterio per cui va dimostrato che il paziente “non finga”, da momento che è impossibile esserne certi.

Potenziati problemi che potrebbero insorgere con i criteri del DSM V sono dovuti al fatto di porre la diagnosi ancora all’interno di una classificazione psichiatrica, mentre i sintomi si collocano in un’interfaccia tra neurologia e psichiatria (Stone & Carson, 2015).

I test diagnostici devono essere utilizzati in primo luogo per dare maggiore supporto a un sottostante sospetto clinico che il disturbo sia di origine funzionale. Ulteriori indagini cliniche quali gli esame del sangue di routine compresi ematologia, funzionalità tiroidea, la funzione renale e del fegato, e la valutazione per la malattia di Wilson possono essere utili.

La risonanza magnetica supporta lo specialista nell’escludere un fondo strutturale, vascolare o demielinizzanti lesioni, in particolare se il movimento anormale è unilaterale o asimmetrico. Studi di neurofisiologia per valutare tremore e mioclono possono aiutare nella diagnosi di FMD. La SPECT per il trasportatore della dopamina (DAT) o la PET con fluorodopa (18F-dopa) si rendono molto utili nel diagnosticare un parkinsonismo psicogeno da distinguere dal Morbo di Parkinson o dal tremore essenziale (Kagi et al., 2010; Czarnecki et al., 2011). Il ruolo dello psichiatra è di interpretare la psicopatologia presente, accertare la sua rilevanza per i sintomi che presentano FMD e stabilire un rapporto positivo con il paziente. Se questo sembra fattibile, lo psichiatra inizierà il ciclo di trattamento, con un adeguato sostegno collaborativo del neurologo (Williams et al., 2005). In breve, l’esame psichiatrico comprende la ricerca di significativi eventi traumatici, nonché un completa delineazione multi assiale di psicopatologia secondo il

sistema di classificazione psichiatrica, come il Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi.

### **8.5 Trattamento**

Come già accennato, la fisiopatologia di questi disturbi è ancora abbastanza vaga e imprecisa, infatti si stanno conducendo ancora molte ricerche per approfondire quali meccanismi cerebrali o quali cause psicologiche siano coinvolte nella manifestazione di tali disturbi funzionali; per tale motivo, rimane una classe di disordini in cui si possono riscontrare parecchie difficoltà nel loro trattamento.

Il trattamento di tali disturbi ha inizio con la comunicazione della diagnosi al paziente e ai suoi familiari e si sviluppa attraverso delle visite di follow-up; si è notato che la comunicazione il più precoce possibile della diagnosi influenza in maniera significativa la prognosi del paziente (Tinazzi & Morgante, 2013). La comprensione del fenomeno è di fondamentale importanza al momento del trattamento terapeutico. All'interno dei disturbi neurologici funzionali, sono da seguire delle importanti indicazioni in base al sintomo presente, o ai sintomi che presenta il paziente. Se i disturbi sono prettamente di origine motoria (disturbo del cammino e instabilità) sarà fondamentale iniziare il trattamento riabilitativo mirato, con terapisti debitamente formati per occuparsi di FMD.

Da non dimenticare che i pazienti con FMDs spesso sono certi che il loro disturbo sia di tipo motorio, e che non abbia nulla a che vedere con un disturbo di tipo psicologico. Proprio per tale motivo, il trattamento psicologico non sempre è accettato.

Non ci sono molte evidenze a supporto dell'ipotesi di un trattamento farmacologico, come invece viene riscontrato nei pazienti con disturbi organici; tuttavia si è dimostrata l'utilità degli approcci non farmacologici rappresentati da interventi psicologici o da tecniche di psicoterapia psicodinamica o di psicoterapia cognitivo comportamentale. Queste tecniche sono risultate efficaci per quei pazienti che accettano un intervento psicologico o comportamentale come validi metodi di trattamento per curare i loro sintomi fisici (Edwards & Bhatia, 2012). Lo scopo della terapia cognitivo-comportamentale è far sì che il paziente possa cambiare il suo modo di pensare e di comportarsi in relazione ai sintomi. Altre



tecniche utilizzate possono essere la TENS, la TMS o l'agopuntura (Tinazzi & Morgante, 2013). La TENS (Stimolazione Elettrica Transcutanea Nervosa) è una tecnica di elettroterapia utilizzata con finalità analgesico-antalgiche, e presenta un'estrema efficacia per il trattamento di molte patologie neuronali.

Stimolando le fibre nervose con degli impulsi a frequenza appropriata si possono neutralizzare gli impulsi del dolore, i quali non giungendo al nostro cervello non verranno percepiti. Allo stesso tempo, questi impulsi comandano al nostro corpo di produrre sostanze fisiologiche che hanno gli stessi effetti della morfina e in tal modo si completa l'azione analgesica con la totale scomparsa del dolore. La TMS (Stimolazione Magnetica Transcranica) è uno strumento d'indagine efficace che permette la localizzazione delle funzioni cognitive e la possibilità di studiare le proprietà plastiche delle aree responsabili di tali funzioni; una tecnica che permette di stimolare o inibire la corteccia cerebrale in modo non invasivo.

Tale tecnica consiste nel creare un campo magnetico transitorio su una regione del cuoio capelluto facendo passare una forte corrente elettrica attraverso un insieme di bobine; tale campo magnetico varia rapidamente nelle bobine stesse inducendo così un campo elettrico transitorio nel tessuto cerebrale sottostante. Il flusso di corrente risultante compromette temporaneamente l'elaborazione neurale locale, creando una "lesione" cerebrale reversibile, limitata a quell'area sottostante e causando così una temporanea disgregazione dell'elaborazione cognitiva in quella regione cerebrale.

L'agopuntura, diversamente, è una pratica terapeutica in cui vengono utilizzati degli aghi diversi, a seconda dell'effetto che si vuole raggiungere (eccitante o sedativo), i quali vengono infissi in alcuni specifici punti, che sembrano essere delle zone preferenziali dal punto di vista sensitivo. Tale tecnica stimola una risposta endogena basata sul sistema nervoso, e l'effetto si mantiene per lungo tempo dopo la fine delle sedute. Un altro tipo di trattamento per questi disturbi potrebbe essere rappresentato dall'utilizzo dell'effetto placebo, però non ci sono evidenze di benefici a lungo termine e ci sono dei dibattiti in ragione al discorso etico di tali trattamenti (Shamy, 2010).

In ultimo ma non perché di minore importanza è l'intervento riabilitativo motorio. Anche in questo caso i tre processi chiave del modello neurobiologico svolgono

un ruolo importante. In base al sintomo motorio, esistono delle indicazioni sul processo riabilitativo da seguire. Distrazione piuttosto che concentrazione sono le basi per riprogrammare il corretto schema motorio alterato e soprattutto far comprendere al paziente che il movimento corretto risulta possibile. Nel caso un soggetto soffra di disturbo funzionale di motorio, distonia, disturbo del cammino, alterazioni dell'equilibrio, ma anche alterata propriocezione, il trattamento motorio viene subito consigliato dal neurologo.

## Capitolo 9

### **PROCESSI COGNITIVI ALTERATI NEI FMD**

La Dicotomia tra una malattia a origine strutturale/neurochimica e patologie psicologiche/psichiatriche suggerisce una compartimerizzazione tra mente e cervello; questo concetto non è più supportato dalle ricerche recenti. Il modo in cui i FMD differiscono dalla controparte organica costringe a riflettere sui modelli neurobiologici (Edwards et al., 2013). Tre sono i concetti chiave all'interno del modello neurobiologico che tenta di spiegare l'origine del disturbo (Edwards et al., 2013). Anche i moderni criteri diagnostici per gli FMDs hanno contribuito alla scoperta dei tre concetti chiave importanti per la comprensione di tali così complessi disturbi.

I tre concetti chiave sono:

- attenzione;
- convinzioni;
- senso dell'agire.

Il primo è l'attenzione: i sintomi degli FMD, infatti, richiedono attenzione per manifestarsi. Quando il soggetto è distratto, c'è una riduzione o una scomparsa totale del movimento. Durante la visita con lo specialista il movimento anomalo è eseguito con forte attenzione visiva (Gupta & Lang, 2009).

Il secondo concetto chiave è la convinzione/aspettativa correlata al sintomo. Ciò include, oltre la convinzione conscia legata al movimento, anche le aspettative. Nel setting di "inferenza attiva" del cervello. L'"inferenza attiva" indica una teoria neurobiologica che implica che il cervello predica in modo attivo e cerchi di categorizzare l'input sensoriale, sulla base delle esperienze passate: sarebbe a dire un modello interno del mondo utilizzato per interagire con il mondo stesso (Friston, 2009). L'interazione tra informazioni sensitive ('*bottom-up*') e ciò che il cervello prevede ed elabora ('*top-down*') riguardo quella informazione avviene secondo una gerarchia che si traduce nella percezione del movimento.

Terzo concetto è rappresentato dal senso dell'agire. L'agire rappresenta un aspetto fondamentale della consapevolezza di se stessi. Possiamo infatti esprimere giudizi sulle azioni che compiamo con il corpo, e possediamo un senso di controllo sulle

nostre azioni (Haggard & Chambon, 2012). I movimenti anomali dei soggetti affetti da FMD sembrano movimenti prodotti deliberatamente dal paziente in quanto è richiesta attenzione affinché si manifestino, e il movimento in questione non è congruente con le basi neuro anatomiche e fisiologiche delle malattie organiche. Sulla base di quanto fino ad ora esposto verrebbe da pensare che questi movimenti dovrebbero essere associati ad un forte senso dell'”agire”, in realtà il paziente riferisce che questi movimenti non sono sotto il suo controllo, e questo implica che ci sia una rottura di questi meccanismi nei pazienti affetti da FMD.

### **9.1 L'attenzione**

Il primo di questi processi chiave riguarda l'attenzione che in questa tipologia di pazienti risulta attratta involontariamente verso il sintomo stesso. Recenti studi hanno esplorato il miglioramento dei sintomi con la distrazione ed il conseguente aggravarsi o manifestarsi quando l'attenzione del paziente si focalizza sulla parte del corpo che presenta il disturbo (Edwards et al., 2013). La chiave dell'attenzione è utilizzata anche per consentire la diagnosi di FMD. Il livello di attenzione ad esempio è stato una componente chiave per differenziare il tremore funzionale da quello organico. Il tremore funzionale, peggiora se il paziente guarda l'arto che trema; sono state ideate delle manovre specifiche come ad esempio dei task cognitivi, per consentire al soggetto di distrarsi ed al clinico, di osservare una eventuale diminuzione del tremore. Parees et al. (2013) ad esempio, hanno studiato il tempo di reazione e di movimento in un gruppo di pazienti con FMD in paradigmi studiati per manipolare il grado di prevedibilità del movimento e quindi la capacità di pianificare il movimento stesso. Le performance consisteva in un *task* in cui i soggetti dovevano muovere un cursore verso un target visto in un trial precedente già svolto, utile per allenare i soggetti all'esperimento vero e proprio i risultati erano anormali nei pazienti con FMD. Le Performance di questi soggetti erano inoltre anomale quando uno pre-stimolo prediceva accuratamente la natura dello stimolo e del movimento conseguentemente richiesto. In entrambi questi comandi il movimento richiesto era altamente prevedibile, e ciò rendeva le performance anormali. Invece, quando un pre-stimolo era soltanto parzialmente predittivo dello stimolo, le performance erano normali. Inoltre, il grado di deficit

di questi pazienti (rallentamento del tempo di reazione) è risultato molto inferiore rispetto quello riportato in pazienti con disturbi fittizi (Willison & Tombaugh, 2006). Ciò implica che nei soggetti con FMD quando è eseguito un movimento che è molto prevedibile, c'è l'opportunità che l'attenzione regoli il movimento prodotto; ciò non succede nei soggetti sani (Jueptner et al., 1997). I risultati di questo lavoro sono in linea a risultati precedenti riscontrati in pazienti con ipostenia funzionale: quando il movimento è innescato da un "cue" percepito consciamente, il movimento risulta deficitario; quando il movimento è innescato da un "cue" inconscio, il movimento ottenuto è normale. In un recente lavoro in cui veniva confrontato il *Regional Cerebral Blood Flow* ottenuto tramite PET in un gruppo di pazienti con distonia "fissa" funzionale, con distonia primaria geneticamente determinata e in controlli sani (Schrag et al., 2013). Entrambi i gruppi di pazienti mostravano un aumento del flusso durante il movimento nella Corteccia Dorso laterale Prefrontale (DLPFC) di destra. I pazienti con distonia funzionale presentavano inoltre una riduzione del flusso nella corteccia motoria primaria e un aumento del flusso nei nuclei della base e nel cervelletto con un pattern opposto a quello visto in pazienti con distonia geneticamente determinata. Nonostante l'attivazione della corteccia Prefrontale, questo risultato può essere frutto dell'attenzione correlata al movimento; l'attivazione sottocorticale anomala nei pazienti funzionali potrebbe riflettere un problema di attenzione/monitoraggio "self directed", correlata ai circuiti frontosottocorticali che mediano l'attenzione motoria, oppure potrebbe riflettere un contributo al processo attentivo da parte di strutture limbiche.

## **9.2 Convinzioni**

Il secondo concetto della neurobiologia nei Disturbi funzionali del movimento riguarda le credenze e le aspettative che risultano in qualche modo alterate. Essendo il tremore funzionale il sintomo più comune di disturbo funzionale spesso gli studi presenti riguardano proprio questa tipologia di pazienti. In uno studio di Pareés e collaboratori pubblicato nel 2012 sono stati presi in esame due gruppi di pazienti con tremore: 10 pazienti con tremore funzionale e 8 con tremore organico. L'obiettivo di questo studio era di capire se i soggetti con tremore

funzionale avessero o meno la giusta percezione della durata del sintomo stesso. I 10 soggetti con tremore funzionale sono stati reclutati nella clinica del National Hospital for Neurology and Neurosurgery di Londra. I pazienti tutti con età maggiore ai 18 anni avevano diagnosi di tremore funzionale secondo i criteri Fahn e Williams ed il tremore interessava uno o entrambi gli arti superiori o inferiori. Un orologio modello 'Actiwatch' è stato fatto indossare ai due gruppi di pazienti con lo scopo di registrare grazie ad un accelerometro monoassiale, contenuto nell'orologio, la percentuale di tempo in cui hanno avvertito il tremore. A tutti i pazienti veniva spiegato chiaramente lo scopo dello studio e veniva fatto compilare un questionario con le seguenti domande: "Perché pensi di aver indossato un orologio? Secondo te, mentre lo indossavi, per quanto tempo l'orologio era funzionante?". Durante i 5 giorni ai pazienti è stato dato un diario in cui scrivere le percezioni riferite al loro tremore. Solo due soggetti non hanno concluso lo studio.

I pazienti con tremore funzionale hanno indicato riferito sul diario che la durata del tremore era significativamente più alta nei pazienti con tremore organico ( $83.5 \pm 14.0\%$  rispetto a  $58.0 \pm 19.8\%$ ) questo avvalora l'idea di una alterazione a livello di aspettativa. Anche la misurazione dell'actigrafo è diversa. Risulta molto più bassa nel gruppo di pazienti con tremore funzionale ( $3.9 \pm 3.7\%$ ;  $31.1 \pm 30.7$  minuti) rispetto ai pazienti con tremore organico ( $24.8 \pm 7.7\%$ ;  $240.0 \pm 70.1$  minuti). In questo studio Pareés 2012, come detto precedentemente si voleva indagare anche l'intensità e la durata del tremore con particolare attenzione ai 30 minuti che precedevano il coricarsi serale dei pazienti (questo in quanto si riteneva un momento con maggiore regolarità nell'arco della giornata). I risultati del gruppo di pazienti con tremore funzionale vs organico, non ha verificato alcun aumento. Si sono invece notate delle differenze circa la durata del tremore tra i due gruppi. Il gruppo con tremore funzionale ha ottenuto un rapporto di 1.7 (indica aumento di dolore nei 30 min prima di andare a letto), mentre il gruppo con tremore organico ha dato un valore di 0.7 (diminuzione del tremore).

Riassumendo i dati di questo studio pubblicato nel 2012 in qui si valutano durata e intensità di tremore in un gruppo di soggetti con tremore funzionale verso un gruppo con tremore organico, i risultati durante i 5 gg di esperimento evidenziano

che i soggetti con il sintomo di origine funzionale sovrastimano la durata del sintomo e l'intensità durante i giorni di acquisizione dati. I risultati emersi sono in linea con il modello neurobiologico in cui si dichiara che le aspettative potrebbero distorcere la percezione reale.

### **9.3 Il Senso dell'azione**

Come già esposto precedentemente una caratteristica che distingue i disturbi funzionali da quelli organici è che il movimento disfunzionale richiede che l'attenzione sia indirizzata verso l'arto interessato, mentre la distrazione migliora o fa scomparire il sintomo stesso. I sintomi di tipo funzionali vengono percepiti come di origine involontaria, pur essendo di origine volontaria. La percezione del movimento come involontario è chiara in questi soggetti nonostante il movimento generato dagli stessi network delle azioni volontarie (Hallet, 2010).

Perché si verifica tale alterazione di percezione del movimento? Perché il volontario sembra involontario? Le risposte a tali quesiti si sono cercate nel meccanismo dell'alterazione sensoriale.

Cosa si intende per alterazione sensoriale? L'alterazione sensoriale è un fenomeno a causa del quale l'intensità di una sensazione auto-generata è ridotta. Questa riduzione si può interpretare come una sottostima del guadagno delle conseguenze sensoriali che derivano dalle proprie azioni. L'esperienza di attenuazione sensoriale è un fenomeno importante nell'etichettatura di movimenti definiti auto-generati e inoltre una perdita di attenuazione sensoriale si associa ad una perdita di agilità nel movimento (Blakemore et al., 2002 ; Pareés et al., 2014).

Un esperimento condotto da Pareés e colleghi nel 2014 ha cercato di indagare l'aspetto dell'attenuazione sensoriale in pazienti con FMDs. Sono stati reclutati 14 pazienti con FMDs e 14 soggetti in buono stato di salute: i due gruppi erano omogenei per sesso età e manualità (Pareés et al., 2014). Ogni partecipante ha svolto una singola sessione che era costituita da sue differenti tests (self-condition o con robot). Lo studio prevedeva di chiedere ai soggetti di quantificare una forza che agiva sul loro dito (self-condition), o premendo sul proprio dito con l'altra mano oppure azionando un joystick il quale avrebbe a sua volta attivato un robot (condizione esterna) che con il proprio braccio avrebbe premuto il dito del

soggetto. Cinque diverse forze venivano sottoposte ai due gruppi di soggetti reclutati: le forze subivano un incremento di 0,50 Newton e venivano sottomesse ai soggetti in modo casuale.

Da tale studio è emerso che i soggetti sani hanno riprodotto più forza di quanto richiesto quando premevano direttamente sul loro dito rispetto a quando utilizzavano il joystick. I risultati di questo studio hanno rivelato che i pazienti con FMD mostravano meno attenuazione sensoriale dei soggetti sani nella self - condition ma non ha evidenziato alcuna differenza statisticamente significativa nelle condizioni esterne. Analizzando i risultati delle due condizioni nel gruppo pazienti, nessuna condizione porta a differenza significative; il gruppo di sani ha sovrastimato in modo significativo la forza richiesta nella self - condition.

Un altro interessante studio (Voon et al., 2010a) ha dimostrato che i pazienti con FMD hanno una ipoattività della SMA. Questo potrebbe spiegare perchè la previsione del movimento è danneggiata in questi pazienti. Questo fatto si ricollega all'alterazione del senso dell'azione. È stata anche dimostrata un'aumentata connettività funzionale tra l'amigdala e la SMA durante stimoli eccitanti in pazienti con FMD: questo suggerisce che stimoli con valore emozionale potrebbero interferire con le funzioni della SMA (Voon et al., 2010a, 2011). Gli stessi autori hanno analizzato un gruppo di pazienti con tremore funzionale.

Sono state fatte delle ricerche riguardo al senso dell'azione nei pazienti affetti da tali disturbi, specialmente in pazienti con tremore funzionale, e questi, spesso, riportarono un loro movimento volontario come involontario; l'alterazione del senso dell'azione sembra essere legata ad una ipoattività della giunzione temporo parietale.

Voon e collaboratori (Voon, et al., 2010) in un loro studio hanno cercato di comprendere quali sono le basi neurobiologiche sottostanti il senso dell'azione in pazienti con tremore funzionale, attraverso l'uso dell'fMRI. Questi pazienti venivano sottoposti a scanning durante il loro tremore abituale e durante l'imitazione dello stesso. I risultati di tale studio hanno dimostrato una ridotta ipoattivazione della giunzione temporo - parietale solo quando i pazienti venivano sottoposti a scanning durante il loro tremore abituale e non quando producevano



l'imitazione di tale tremore (Tinazzi & Morgante, 2013). La giunzione temporo - parietale è coinvolta nell'integrazione multisensoriale, e i pazienti durante il loro tremore funzionale abituale presentavano una minore connettività funzionale della giunzione temporo - parietale con le regioni senso motorie e quelle limbiche. I risultati di Voon e collaboratori suggerirono che una minor attivazione della giunzione temporo - parietale riflette una perdita del senso di agency; il meccanismo sottostante a quest'ultimo richiede un contributo consistente del ruolo della giunzione temporo - parietale destra, la quale svolge la funzione di comparatore delle previsioni sensoriali interne e dei feedback sensoriali delle azioni (Voon et al., 2010).

E' stato quindi ipotizzato che questa area sia uno snodo cruciale nel *network* sottostante la separazione tra sensazioni generate esternamente ed internamente, e quindi molto rilevante per i processi sottostanti al "senso dell'agire". Quest'area costituisce un comparatore dei *feedback* sensoriali attuali ed attesi. I ricercatori hanno proposto che questa aberrazione possa rappresentare una incapacità in questi pazienti nel discernere tra i feedback attuali e previsti, generando la sensazione che il movimento sia involontario.

#### **9.4 Il Modello neurobiologico nei FMD**

Un Modello che tenti di spiegare l'origine dei FMD dovrebbe poter integrare i tre concetti chiave, sopra esposti, con il ruolo dei fattori di rischio o precipitanti, ed essere abbastanza ampio da abbracciare la presenza di diversi sintomi concomitanti nello stesso paziente (Edwards et al., 2013). Un modello in cui il concetto chiave è la Cosiddetta "*previously mapped conversion motor representation*", è stato definito da Voon et al. (2011). Quello modello si identifica come un pattern di movimento stabilito e sviluppato verosimilmente da un evento *trigger* quale ad esempio potrebbe essere un fattore fisico precipitante come un trauma improvviso o un incidente. Il carico emozionale spesso riportato per questi eventi sicuramente aumenta la salienza delle informazioni sensoriali percepite durante il *trigger* fisico e facilita questo processo, questo è comprovato dall'aumento della connettività tra le strutture limbiche e la SMA. La "*conversion motor representation*" potrebbe essere attivata in parte per l'anomala connettività

tra le strutture limbiche e la SMA, e non può essere inibita a causa della disconnessione tra la SMA e le aree che generalmente inibiscono le azioni non volute. Il risultato di questo processo è un movimento che insorge senza che siano previste le conseguenze sensoriali e quindi viene interpretato dal paziente come privo di senso dell'azione e non da esso stesso generato (Voon et al., 2011). Sfrutta la teoria Bayesiana delle funzioni cerebrali il modello proposto da Edwards et al. (2012) basato sulla istigazione di una "aspettativa anomala" o "convinzione" del movimento che risiede ad un livello intermedio della gerarchia corticale (come la SMA per i sintomi motori). Fattori fisici precipitanti, background culturali riguardo la malattia, disordini dell'affettività, possono essere rilevanti per la formazione di questa aspettativa. L'attenzione auto diretta, aumenta il peso dato alle "aspettative anomale" su altri dati sensoriali afferenti, generando movimenti o sensazioni che siano consoni all'aspettativa. Dal momento che le regioni corticali di livello più alto, le prefrontali, che mediano l'attenzione *self-directed* non è in grado di fornire alcun controllo sul contenuto dell'aspettativa, il movimento risultante è percepito come un fenomeno non voluto, e razionalmente attribuito al sintomo di una malattia. La conseguente risposta motoria non è "prevista" dai network di livello maggiore che rimane "dissociato". Questo modello suggerisce quindi che vi è una errata interpretazione o una errata attribuzione dell'azione a cause esterne, quindi una incapacità a realizzare che il movimento è stato voluto.

## Capitolo 10

### **IL SENSO DI APPARTENENZA CORPOREA NEI FMDs**

I pazienti con sintomi neurologici funzionali sono comunemente visti nella normale pratica neurologica. Tuttavia la loro eziopatogenesi rimane come detto nel capitolo precedente, ancora poco chiara. Il senso di appartenenza del corpo si è ipotizzato potesse essere alla base dell'origine degli FMDs. Demartini e colleghi (2015) si sono occupati di indagare il senso di appartenenza corporea, attraverso l'utilizzo della RHI in questa tipologia di pazienti, mettendoli a confronto con un gruppo controllo di soggetti sani. Il gruppo di soggetti con FMS era costituito da 16 pazienti; il gruppo di controllo (HC) era formato da 18 soggetti sani. Tutti i partecipanti hanno svolto il paradigma della rubber hand illusion ed inoltre hanno risposto al questionario dell'illusione. Tra le varie condizioni del paradigma (sincrona attiva, congruente passiva e asincrona attiva) si è svolto il drift propriocettivo. I partecipanti sono stati seduti comodamente su una sedia di fronte a un tavolo; è stato chiesto di indossare un paio di guanti chirurgici; una scatola di legno è stata posta a circa 15 cm davanti al tronco dei soggetti. La spalla, l'avambraccio sinistro del partecipante e la mano sono stati posti nella scatola utile per l'esperimento. Un telo nero impediva che il paziente vedesse la mano artificiale e quella propria. Ai pazienti è stato chiesto di rispondere alle domande sperimentali sul senso di appartenenza corporea del questionario e di riferire la sensazione che percepivano quando un pennello toccava la loro mano, piuttosto che la mano di gomma. In questo paradigma, l'illusorio senso di appartenenza corporea della mano artificiale è indotto dall'accarezzare simultaneamente una mano di gomma visibile, e la mano nascosta del partecipante (Botvinick e Cohen, 1998). Demartini e colleghi (2015) hanno osservato che i pazienti FMD hanno prestazioni simili ai controlli sani, sia nelle funzioni esplicite (questionario) che nelle misure implicite (lo spostamento della mano reale attraverso la mano di gomma) dell'illusione. Questo studio suggerisce che l'elaborazione multisensoriale di informazioni visive, tattili e propriocettive alla base del senso di appartenenza corporea è integra negli FMD.



## Capitolo 11

### **SCOPO DELLA TESI**

### **RAPPORTO TRA IL SENSO DELL’AZIONE E DELL’APPARTENENZA CORPOREA NEI DISTURBI FUNZIONALI DEL MOVIMENTO**

Come esposto nei capitoli precedenti, uno dei processi chiave della neurobiologia dei disturbi funzionali del movimento riguarda anomalie nel senso dell’azione. Nei pazienti con FMD il movimento viene generato senza il normale senso dell’azione che accompagna i movimenti volontari. Lo scopo della ricerca descritta in questa tesi è quello di comprendere se ci possano essere delle alterazioni a funzioni cognitive di ordine superiore, come al senso di appartenenza corporea (Sense of Ownership) e al senso dell’azione (Sense of Agency), nei pazienti affetti da disturbi del movimento funzionale; inoltre, si vuole studiare se eventuali alterazioni nei due aspetti precedenti, possano contribuire all’elaborazione e al controllo dei movimenti e delle posture che in questi soggetti sono selettivamente compromessi.

Per raggiungere tale obiettivo abbiamo sottoposto ai partecipanti una versione modificata della Rubber Hand Illusion proposta da Kalckert & Ehrsson (2012); tale paradigma ci permette di evidenziare eventuali dissociazioni tra la componente di appartenenza corporea e quella dell’azione, suggerendo così l’ipotesi che tali componenti siano rappresentate da processi cognitivi distinti (Kalckert & Ehrsson, 2012; Kalckert & Ehrsson, 2014).

La ricerca che abbiamo compiuto è basata sull’idea che una corretta elaborazione del corpo e dell’azione permetta un’adeguata programmazione motoria e che quindi un’alterazione a carico del senso del proprio corpo possa compromettere il controllo e l’esecuzione corretta del movimento.

Nelle pagine successive esporrò le varie fasi che hanno condotto alla definizione del paradigma sperimentale finale. In particolare, esporrò gli studi preliminari composti di tre esperimenti in cui di volta in volta il paradigma è stato perfezionato per poter essere utilizzato nei pazienti con FMD.

### **11.1 Studi preliminari**

Prima di riuscire a definire un paradigma sperimentale utile per essere applicato a pazienti con FMD, abbiamo condotto una serie di indagini preliminari con tre esperimenti consecutivi che ci hanno poi permesso di arrivare alla realizzazione del protocollo più adatto.

Il primo esperimento (Esperimento 1) aveva lo scopo di verificare la validità del paradigma, alla luce degli studi presenti in letteratura (Kalckert & Ehrsson, 2012). In particolare, volevamo capire se con un singolo paradigma sperimentale si potesse disambiguare il senso di appartenenza corporea dal senso dell'azione in soggetti giovani e sani.

Il secondo esperimento (Esperimento 2) aveva lo scopo di verificare la fattibilità dello studio in soggetti con età più avanzata, prima di poter applicare lo studio ai pazienti.

Il terzo esperimento (Esperimento 3) è stato indirizzato a pazienti con tremore di natura organica, per verificare la fattibilità del nostro compito in presenza di tremore.

Infine, abbiamo condotto l'esperimento vero e proprio (Esperimento 4) in cui, dopo i primi esperimenti racchiusi nella fase preliminare del mio progetto, ho potuto testare il paradigma m RHI in pazienti con FMD.

## Capitolo 12

### DESCRIZIONE DEGLI ESPERIMENTI

#### 12.1 ESPERIMENTO 1

##### *Partecipanti*

Per questo esperimento, abbiamo reclutato 13 soggetti (età media  $28.2 \pm 7.6$  SD). I soggetti sono stati reclutati tra gli studenti della sezione di Scienze motorie dell'Università di Verona. Il livello di scolarità era dunque la laurea magistrale e la dominanza manuale era destra. Tale ricerca è stata approvata dal Comitato Etico Indipendente presso il Dipartimento di Scienze neurologiche e del movimento e dal Comitato Etico dell'Azienda ospedaliera universitaria integrata di Verona.

<b>Genere</b>	<b>Età</b>	<b>Manualità</b>	<b>Sequenza</b>
<b>F</b>	27	DX	SX: AA, SA, CP - DX: AA, SA, CP
<b>M</b>	27	DX	DX: CP, SA, AA - SX: CP, SA, AA
<b>M</b>	29	DX	SX: SA, CP, AA - DX: SA, CP, AA
<b>M</b>	32	DX	DX: SA, AA, CP - SX: SA, AA, CP
<b>F</b>	33	DX	SX: AA, SA, CP - DX: AA, SA, CP
<b>M</b>	30	DX	DX: CP, SA, AA - SX: CP, SA, AA
<b>M</b>	24	DX	SX: AA, SA, CP - DX: AA, SA, CP
<b>F</b>	24	DX	DX: CP, AA, SA - SX: CP, SA, AA
<b>F</b>	24	ambi	SX: SA, CP, AA - DX: SA, CP, AA
<b>M</b>	24	DX	DX: AA, CP, SA - SX: AA, CP, SA
<b>M</b>	23	DX	SX: SA, AA, CP - DX: SA, AA, CP
<b>F</b>	23	SX	SX: AA, SA, CP - DX: AA, SA, CP
<b>F</b>	24	DX	DX: CP, SA, AA - SX: CP, SA, AA

*Tab. 1. Nella tabella sopra sono riportati i dati riferiti alle caratteristiche di genere, età, manualità e la sequenza con la quale sono state svolte le prove dell'esperimento 1 (SX: sinistra, DX: destra; AA asincrona attiva; SA sincrona attiva; CP congruente passiva).*

### ***Il protocollo sperimentale***

Per l'esperimento abbiamo utilizzato una versione modificata della rubber hand illusion originariamente descritta da Botvinick e Cohen (1998) facendo riferimento al modello proposto da Kalckert e Ehrsson (2012). Il paradigma utilizzato è la "movement Rubber Hand Illusion" (m RHI).

E' stata appositamente costruita una scatola di legno (35 cm x 25 cm x 12 cm) con al centro un foro che serviva per collegare la mano di gomma con quella del partecipante attraverso l'uso di un'asticella di legno. Una mano di gomma, realizzata con un guanto in gomma riempito di cotone per far in modo che assomigliasse il più possibile ad una mano reale, era incollata su un pannello di legno (25 cm x 13 cm x 0.5 cm) anch'esso forato in corrispondenza del dito indice. Il dito indice non essendo stato incollato, era libero di muoversi durante le varie condizioni svolte nell'esperimento. La mano di gomma era poi posizionata sulla scatola facendo combaciare i due fori. A lato della scatola in cui veniva inserita la mano del partecipante, in posizione centrale e verticale, veniva posizionato un pannello di legno (32 cm x 24 cm x 0.5 cm) sul quale si attaccava il foglio millimetrato utilizzato per misurare il drift propriocettivo. Sopra la scatola si sistemava verticalmente un altro pannello di legno (35 cm x 82 cm x 0.5 cm) in modo che il partecipante non potesse vedere quando lo sperimentatore muoveva entrambe le dita o solo quello della mano di gomma.

### ***Procedura sperimentale***

I partecipanti erano seduti ad un tavolo e dovevano appoggiare una mano all'interno della scatola di legno posizionata di fronte a loro e veniva fatto indossare un guanto di gomma; un anello di plastica veniva messo all'estremità del dito indice e poi, in base alle condizioni sperimentali, tramite un'astina di legno veniva collegato o meno al corrispondente dito del modello posizionato sopra la scatola. La mano doveva essere esclusa dalla vista del partecipante ed un telo era posto sulla parte superiore del corpo per coprire lo spazio tra l'apparato e il partecipante stesso.

Il compito del partecipante era quello di muovere il proprio dito indice ad un ritmo irregolare focalizzando la sua attenzione sul movimento del dito indice della



mano di gomma. Prima di iniziare l'esperimento al soggetto veniva fatto ascoltare con il metronomo un ritmo regolare. Il soggetto prima di iniziare l'esperimento doveva compiere, seguendo il ritmo impartito dal metronomo, un breve training utile a memorizzare il ritmo utile durante lo svolgimento delle varie condizioni.

Sul lato della scatola dove c'era la mano non testata veniva posizionato verticalmente un pannello con un foglio di carta millimetrata sul quale i partecipanti, prima e dopo ogni condizione sperimentale, dovevano indicare per tre volte dove percepivano il loro dito indice all'interno della scatola (movimento di *pointing*); questo compito forniva una misura oggettiva per valutare la differenza di percezione del proprio dito indice all'interno della scatola rispetto al dito della mano di gomma.

Per ottenere una misura soggettiva delle sensazioni dopo ogni condizione sperimentale veniva somministrato al soggetto un questionario composto da 16 domande presentate in maniera randomizzata; per ogni domanda il partecipante doveva indicare il suo grado di accordo o disaccordo su una scala Likert composta da 7 valori in cui il valore -3 indicava il completo disaccordo rispetto all'affermazione letta dallo sperimentatore, +3 indicava il completo accordo, mentre il valore 0 indicava incertezza. Ogni condizione durava 120''; le condizioni sperimentali e l'ordine delle mani erano randomizzati tra i vari partecipanti.

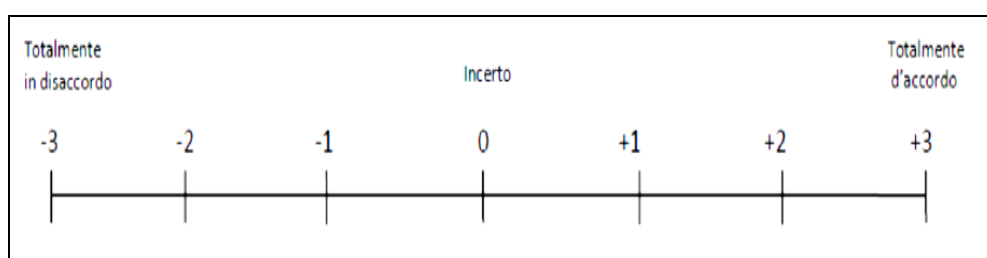


Fig. 2: Scala Likert.

Le tre condizioni sperimentali sopra citate erano:

1. Condizione sincrona attiva;
2. Condizione asincrona attiva;
3. Condizione congruente passiva.

Descrivo di seguito le vari condizioni:

1. Condizione SINCRONA ATTIVA: il dito indice del partecipante era collegato al dito della mano di gomma; il partecipante doveva muovere il suo dito indice a ritmo regolare, ricordando il ritmo del metronomo ascoltato durante il training, inducendo un movimento sincrono della mano artificiale. Dopo 90 secondi di questo movimento, i partecipanti hanno l'illusione di causa la mano di gomma e anche un forte senso di agenzia su di esso.

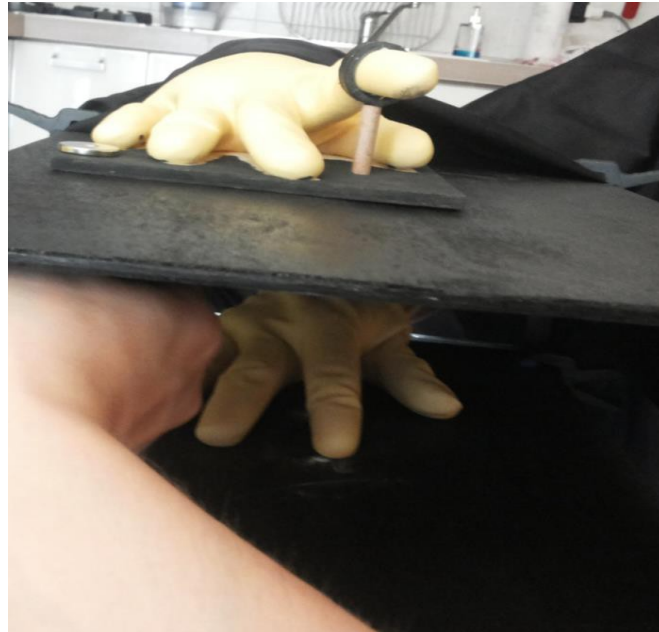


*Fig. 3: Setup sperimentale nella condizione sincrona attiva.*

2. Condizione ASINCRONA ATTIVA: il dito indice del partecipante non era legato al dito della mano di gomma; il partecipante muoveva il suo dito seguendo il ritmo regolare, mentre lo sperimentatore muoveva il dito della mano artificiale con un ritardo di circa 500 ms attraverso l'uso di un'astina di legno. Il partecipante non vedeva lo sperimentatore grazie ad un pannello di legno che ne impediva la vista. Infine, questa condizione di controllo abbiamo applicato una condizione di controllo, non evoca il senso di appartenenza corporea o il senso dell'azione sulla mano di gomma.



*Fig. 4: Setup sperimentale nella condizione asincrona attiva, vista lateralmente.*



*Fig. 5: Setup sperimentale nella condizione asincrona attiva, vista frontalmente.*

3. Condizione CONGRUENTE PASSIVA: il dito indice del partecipante e il dito della mano di gomma erano collegati dall'astina di legno; il dito del soggetto è passivamente spostato insieme con le dita della mano di gomma dallo sperimentatore. Anche se il movimento è con modalità sincrona, questa condizione non dovrebbe indurre un senso di agenzia, perché il movimento è provocato dallo sperimentatore. Tuttavia, di solito un forte senso di appartenenza alla mano di gomma si pone ancora.



*Fig. 6: Setup sperimentale nella condizione congruente passiva.*

## QUESTIONARIO

APPARTENENZA CORPOREA	1. Mi sentivo come se stessi guardando la mia mano
	2. Mi sentivo come se la mano di gomma fosse parte del mio corpo
	3. Sembrava come se sentissi il movimento del mio dito nel punto in cui si muoveva il dito della mano di gomma
	4. Mi sentivo come se la mano di gomma fosse la mia mano
CONTROLLO APPARTENENZA CORPOREA	5. Mi sentivo come se la mia mano reale stesse diventando di gomma
	6. Sembrava come se io avessi più di una mano destra/sinistra
	7. Sembrava come se la mano di gomma si spostasse verso la mia mano reale
	8. Mi sentivo come se non avessi più la mano destra/sinistra, come se la mia mano destra fosse scomparsa
SENSO DELL'AZIONE	9. La mano di gomma si muoveva proprio come volevo, come se stesse obbedendo alla mia volontà
	10. Mi sentivo come se stessi controllando i movimenti della mano di gomma
	11. Mi sentivo come se io stessi causando il movimento che vedevo
	12. Ogni volta che muovevo il mio dito mi aspettavo che il dito di gomma si muovesse nello stesso modo
CONTROLLO SENSO DELL'AZIONE	13. Mi sentivo come se la mano di gomma stesse controllando la mia volontà
	14. Mi sentivo come se la mano di gomma stesse controllando i miei movimenti
	15. Mi è sembrato di percepire il movimento da qualche parte tra la mia mano e la mano di gomma
	16. Sembrava come se la mano di gomma avesse una volontà propria

*Tab. 2: Questionario utilizzato dal partecipante dopo ogni condizione sperimentale (tratto da: Kalckert & Ehrsson, 2012).*

### *Analisi dei dati*

Per ognuna delle tre condizioni sperimentali (sincrona attiva, asincrona attiva, e congruente passiva) abbiamo misurato il giudizio propriocettivo relativo alla posizione della mano reale, tre volte prima (giudizio iniziale) e tre volte dopo (giudizio finale). La differenza tra il giudizio finale e quello iniziale (post-pre) ci fornisce la misura dello spostamento propriocettivo, ossia una misura oggettiva che permette di valutare la differenza di percezione del proprio dito indice all'interno della scatola rispetto al dito della mano di gomma; tale spostamento è considerato un indicatore implicito della presenza dell'illusione (Tsakiris & Haggard, 2005).

Questo spostamento della propria mano verso quella di gomma era atteso dopo la condizione sincrona attiva e congruente passiva (Kalckert & Ehrsson, 2012). Oltre al drift propriocettivo, abbiamo anche analizzato le risposte al questionario (Kalckert & Ehrsson, 2012), dopo la stimolazione sincrona attiva, asincrona attiva, e congruente passiva, sia per la mano destra sia per la mano sinistra.

Le risposte alle affermazioni contenute nel questionario sono state raggruppate in quattro categorie:

- ownership: media delle domande sperimentali relative all'appartenenza;
- ownership controllo: media delle domande di controllo per l'appartenenza;
- agency: media delle domande sperimentali relative all'azione;
- agency controllo: media delle domande di controllo per l'azione.

I dati raccolti sono stati sottoposti ad un'analisi di normalità utilizzando il test di Shapiro-Wilck. I risultati di queste analisi preliminari hanno evidenziato che la maggior parte dei dati non erano distribuiti normalmente ( $p < 0.05$ ). Per questo motivo, le analisi principali sono state condotte utilizzando test non-parametrici. I dati del questionario e il proprioceptive drift sono stati analizzati separatamente.

Per quel che concerne i dati del questionario, il test di Wilcoxon è stato utilizzato per eseguire dei confronti a coppie, finalizzati a rispondere quattro principali obiettivi:

1. *verificare l'attendibilità della mRHI*. A questo proposito, abbiamo confrontato le variabili di ownership ed agency con i loro rispettivi controlli, separatamente per ciascuna mano e condizione;

2. *valutare eventuali effetti di lateralità.* Per questo scopo, abbiamo confrontato i punteggi delle variabili di agency, ownership e rispettivi controlli relativi alla mano destra con quelli relativi alla mano sinistra;
3. *definire eventuali differenze tra agency ed ownership in ciascuna condizione.* A tal proposito, sono state confrontati i punteggi ai soli item sperimentali di agency e ownership in ciascuna condizione;
4. *definire eventuali differenze tra condizioni nell'evocare agency ed ownership.* Anche in questo caso sono stati presi in considerazione solo gli item sperimentali di agency e ownership, rispetto ai quali sono state confrontate le diverse condizioni.

Per il proprioceptive drift è stato utilizzato un piano di analisi simile. Più precisamente, abbiamo utilizzato il test di Wilcoxon per analizzare le differenze tra condizioni e tra mani rispetto al proprioceptive drift. Valori di  $P < 0.050$  sono stati considerati come statisticamente significativi.

## ***Risultati***

### *Questionario*

#### *Attendibilità della mRHI*

Confrontando gli item sperimentali con quelli di controllo è emerso che, per entrambi le mani testate, i partecipanti attribuivano punteggi più alti alle domande sperimentali rispetto a quelle di controllo, sia per il senso dell'azione che per il senso di appartenenza corporea nella condizione sincrona (per tutti i confronti,  $Z < -2.62$ ;  $P < 0.009$ ) (Fig. 7: grafico con gli item sperimentali e di controllo, mano destra e sinistra, tutte le condizioni). Nella condizione asincrona, invece, i partecipanti tendevano ad attribuire punteggi maggiori solo agli item sperimentali relativi all'ownership rispetto ai rispettivi controlli ( $Z = -2.05$ ,  $P = 0.04$ ) per la mano destra. Gli altri confronti non sono risultati significativi. Per quanto riguarda la condizione congruente passiva i partecipanti hanno attribuito punteggi maggiori agli item sperimentali riguardanti l'appartenenza corporea rispetto a quelli di controllo sia per la mano destra che per quella sinistra ( $Z > -2.36$ ,  $P > 0.02$ ) relativamente all'agency i partecipanti attribuivano punteggi maggiori agli item di controllo rispetto a quelli sperimentali solo per la mano sinistra ( $Z = -2.05$ ,  $P =$



0.04). Da notarsi tuttavia che sia per quanto riguarda gli item sperimentali che di controllo la media dei punteggi era comunque inferiore a zero (agency, media  $\pm$  deviazione standard,  $-1.90 \pm 1.66$ ; agency controllo,  $-0.17 \pm 2.00$ ) indicativa di un generale disaccordo con le affermazioni proposte. Non sono emerse ulteriori differenze significative tra item sperimentali e di controllo.

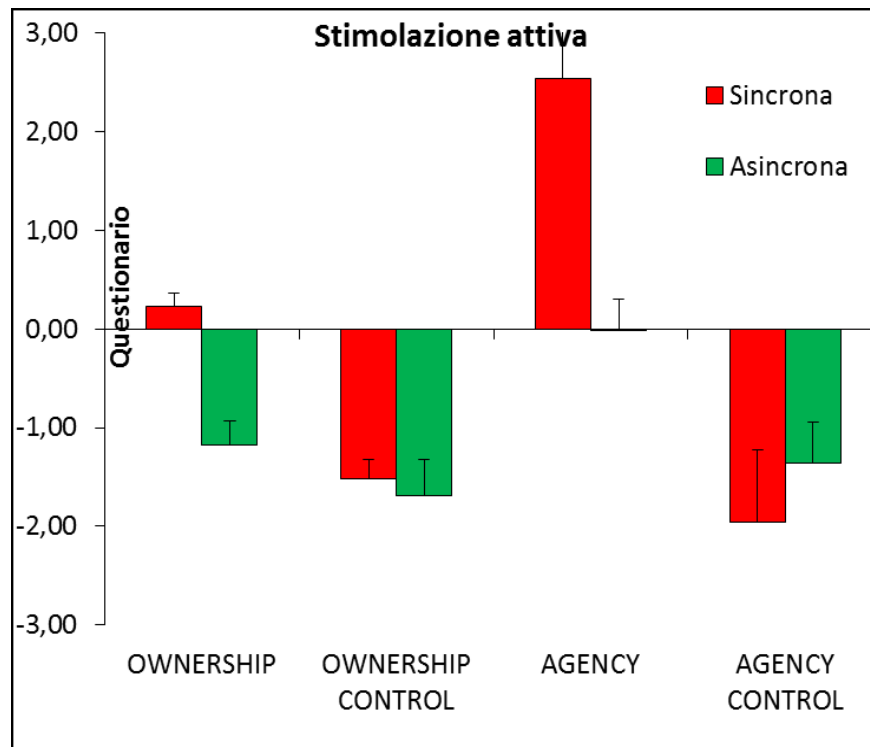


Fig. 7: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva, della mano destra.

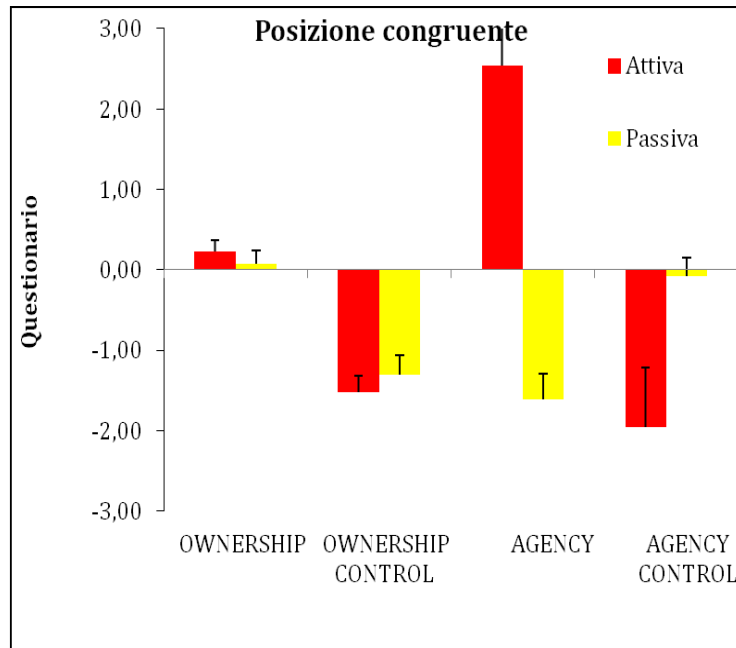


Fig. 8: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency nella condizione sincrona attiva e congruente passiva, della mano destra.

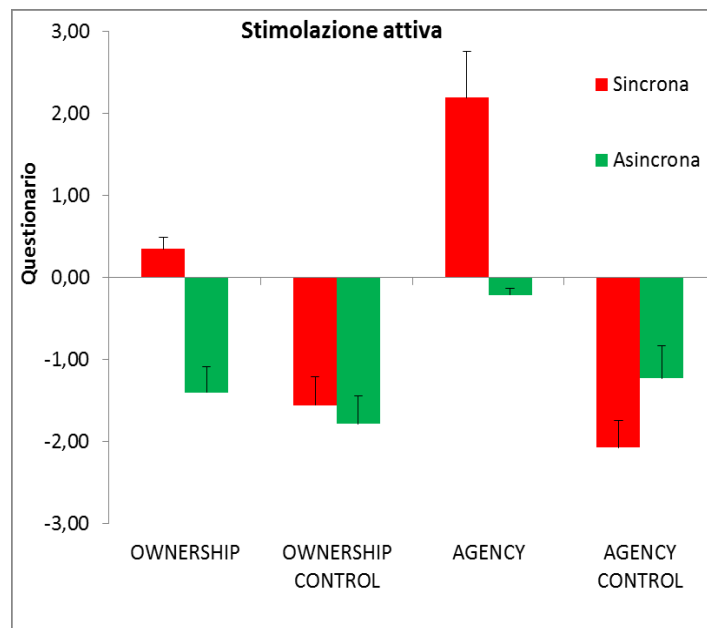


Fig. 9: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency in condizioni sincrona attiva e asincrona attiva, della mano sinistra.

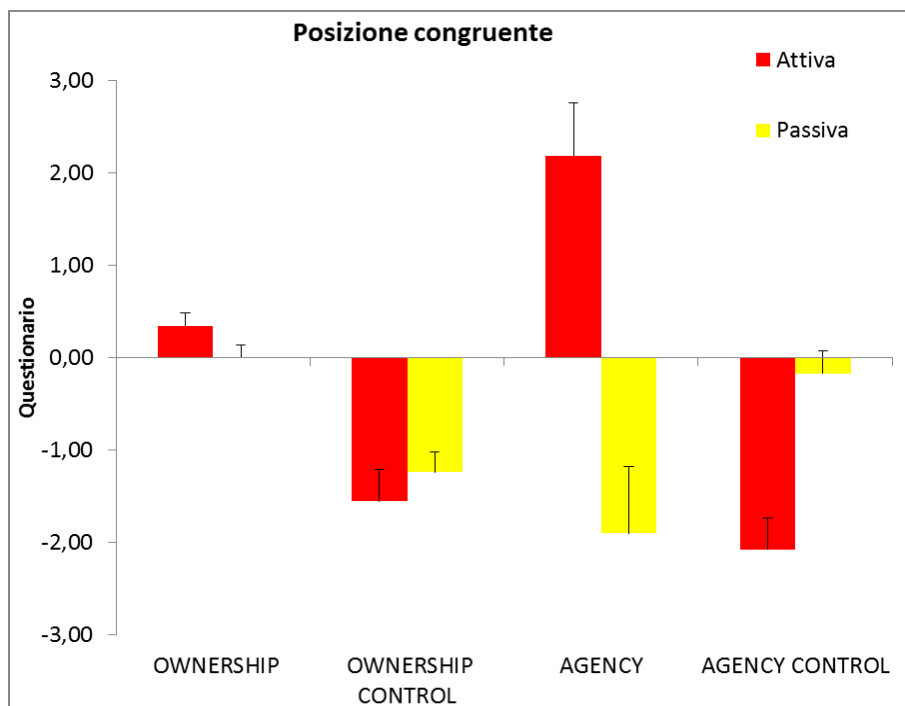


Fig. 10: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di ownership ed agency in condizione sincrona attiva e congruente passiva, della mano sinistra.

#### *Effetti di lateralità*

Non sono emerse differenze significative tra mano destra e sinistra sia per quanto riguarda gli item sperimentali che quelli di controllo.

#### *Differenze tra agency ed ownership in ciascuna condizione*

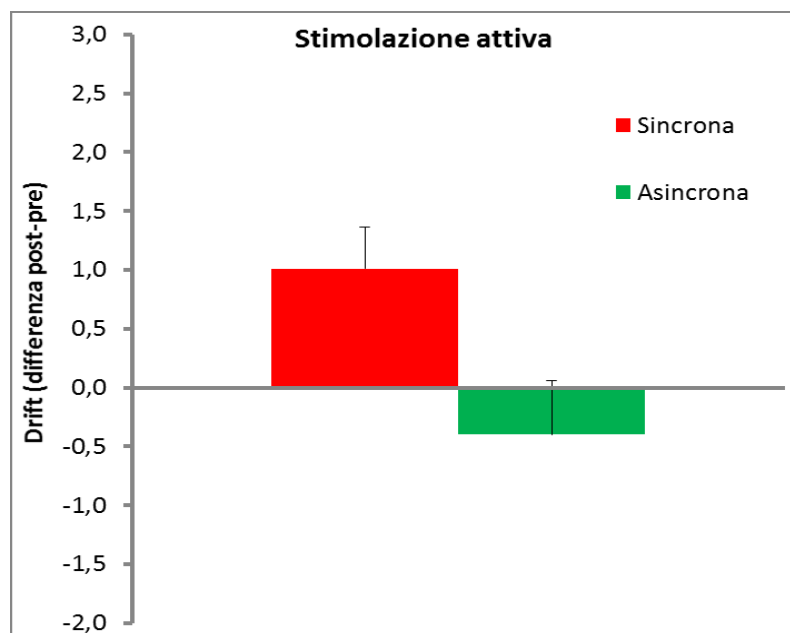
Confrontando i punteggi del senso dell'azione e del senso di appartenenza corporea in ciascuna condizione è emerso che, indipendentemente dalla mano testata, i partecipanti attribuivano punteggi maggiori alle domande relative all'agency, rispetto che a quelle relative all'ownership nelle condizioni sincrona ( $Z < -2.94$ ,  $P < 0.003$ ) e asincrona ( $Z < -2.32$ ,  $P < 0.21$ ). Al contrario, nella condizione congruente passiva, i partecipanti tendevano ad attribuire punteggi maggiori alle domande riguardanti l'ownership rispetto all'agency ( $Z < -2.36$ ,  $P < 0.003$ ). Da questi risultati si evince che il senso di appartenenza e quello di azione sono dissociati. In altre parole, il primo non implica necessariamente che ci sia il secondo.

### *Differenze tra condizioni nell'evocare SoA e SoO*

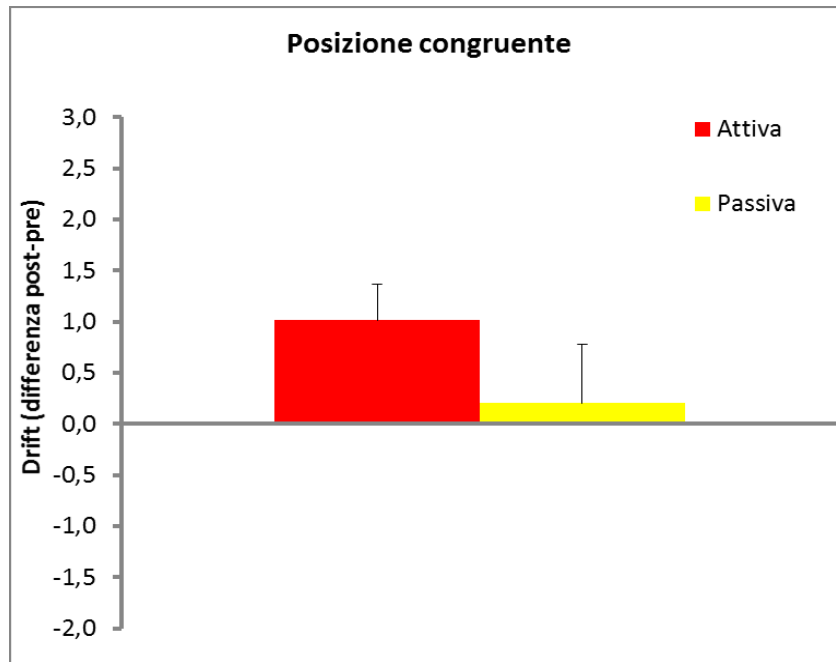
Dal confronto tra condizioni in relazione al SoO è emerso che i punteggi relativi all'appartenenza corporea erano maggiori nelle condizioni sincrona e congruente passiva rispetto alla condizione asincrona sia per la mano destra che per quella sinistra ( $Z < -2.04$ ,  $P < 0.41$ ). Per quanto riguarda l'azione, i partecipanti riportavano punteggi maggiori nella condizione sincrona rispetto alle condizioni asincrona e congruente passiva sia per la mano destra che per la mano sinistra ( $Z < -2.02$ ,  $P < 0.43$ ).

### *Proprioceptive drift*

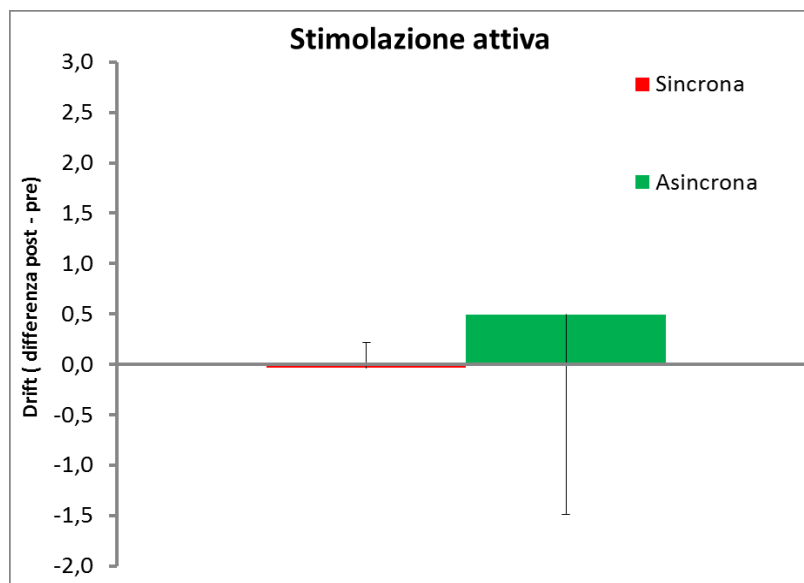
Riguardo al proprioceptive drift, non sono emerse differenze significative tra le condizioni (per tutti i confronti,  $P > 0.075$ ), sia per la mano destra che per quella sinistra. Si è riscontrato un effetto lateralità per quanto riguarda la condizione sincrona dove è emerso un più elevato drift proprioceptivo per la mano destra rispetto alla mano sinistra.



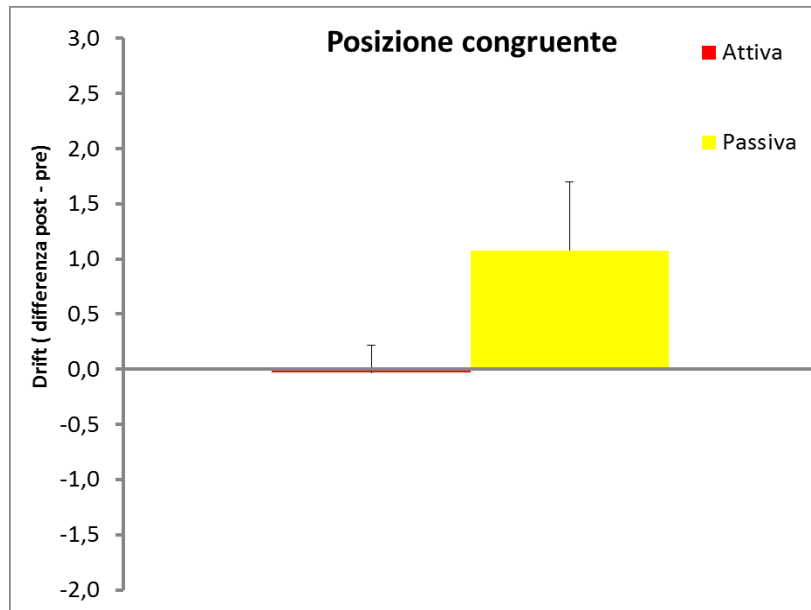
*Fig. 11a: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento proprioceptivo nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva con la mano destra.*



*Fig. 11b: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e congruente passiva con la mano destra.*



*Fig. 12a: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva con la mano sinistra.*



*Fig. 12b: Nel grafico sopra sono riportate le medie dei valori dello spostamento propriocettivo nella condizione sincrona attiva e congruente passiva con la mano sinistra.*

### ***Discussione***

Questo primo esperimento è servito per verificare la fattibilità del paradigma stesso e per cercare di trovare eventuali criticità da correggere in previsione dei pazienti con FMD. Abbiamo osservato che non c'era alcuna condizione in cui si potesse stimolare solo senso di agenzia.

Per ovviare a tale problema si è deciso di aggiungere una condizione in cui la mano artificiale è stata ruotata di 180° e quindi in una posizione incongruente rispetto alla mano del soggetto.

Quando la mano del soggetto veniva attivamente mossa, questo movimento creava un movimento sincrono della mano artificiale visibile. Questo condizione, incongruente attiva, crea un senso di agenzia, ma dato che le due mani sono in posizione incongruente, il senso di proprietà corpo non viene indotto. Nell'esperimento 2, che molto in seguito abbiamo dunque mantenuto l'esercizio sia per la mano destra che per la sinistra, abbiamo svolto il drift propriocettivo ed inoltre aggiunto la condizione incongruente attiva.

## 12.2 ESPERIMENTO 2

### *Partecipanti*

24 soggetti sani (12 femmine, età media  $60,5 \pm 10,85$  SD) in questo secondo esperimento i soggetti sono stati reclutati tramite utenti di vari progetti di attività motoria presenti presso da sezione di Scienze motorie Verona.

Genere	Età	Manualità	Sequenza
F	65	Dx	DX: SA, CP, AA - SX: SA, CP, AA
M	71	DX	Sx: Sa, AA, Cp, Ia - Dx: IA, CP, SA, AA
F	65	SX	Dx: CP; AA; SA; IA - SX: IA;SA;AA;CP
F	71	Dx	SX:SA, AA, CP, IA - DX: AA, SA, IA, CP
F	65	DX	DX: SA, AA, CP, IA - SX: AA, SA, IA, CP
M	65	DX	SX: Sa, AA, Cp, Ia - Dx: AA, SA, IA, CP
M	61	Dx	DX: SA, AA, CP, IA - SX: AA, SA, IA, CP
M	72	DX	DX: SA, CP, AA, IA - SX: AA, IA, CP, SA
F	64	DX	SX: SA,AA, CP, IA - DX: IA, CP,SA, AA
M	65	DX	SX:SA, AA, CP, IA - DX: AA, SA, IA, CP
F	64	DX	DX: SA, CP, AA, IA - SX: AA, IA, CP, SA
M	65	DX	Sx: Sa, AA, Cp, Ia - Dx: IA, CP, SA, AA
M	65	DX	DX: SA, CP, AA, IA - SX: AA, IA, CP, SA
M	74	DX	SX: SA, AA, CP, IA - DX: IA, CP, SA, AA
M	76	DX	DX: SA, AA, CP, IA - SX: AA, SA, IA, CP
F	63	DX	Sx: Sa, AA, Cp, Ia - Dx: IA, CP, SA, AA
F	50	DX	SX: SA, AA, CP, IA - DX: AA, SA, IA, CP
F	52	DX	DX: SA, CP, AA, IA - SX: AA, IA, CP, SA
M	44	DX	DX: CP, AA, SA, IA - SX: IA, SA, AA, CP
F	60	DX	SX: SA, AA, CP, IA - DX: IA, CP, SA, AA
F	35	DX	DX: SA, AA, CP IA - SX: AA, SA, IA, CP
M	47	DX	SX: SA, AA, CP, IA - DX: AA, SA, IA, CP
M	53	DX	DX: SA, AA, CP IA - SX: AA, SA, IA, CP
F	40	DX	DX: CP, AA, SA, IA - SX: IA, SA, AA, CP

*Tab. 3: Nella tabella sopra sono riportati i dati riferiti alle caratteristiche di genere, età, manualità e la sequenza con la quale sono state svolte le prove dell'esperimento 2.*

### *Procedura sperimentale*

Per le ragioni esposte sopra, questo esperimento includeva tutte le tre condizioni descritte nell'esperimento 1. Abbiamo notato che non c'era modo di separare il senso di agenzia dal senso di appartenenza corporea. In particolare, non vi era alcuna

condizione in cui c'era solo senso di agenzia. Abbiamo dunque aggiunto una condizione in cui la mano artificiale è stata ruotata di 180° e quindi in una posizione incongruente rispetto la mano del soggetto. Quando la mano del soggetto è attivamente mossa, questo esercizio creava un movimento sincrono della mano artificiale visibile. Questa condizione, incongruente attiva, crea un senso di agenzia ma, dato che le due mani sono in posizione incongruente, il senso di proprietà corpo non è indotto. Mentre nelle condizioni precedenti i cambiamenti tecnici utili per cambiare il bastoncino non richiedevano procedure particolari, in quanto passaggi molto veloci che si svolgevano da dietro il pannello interposto tra sperimentatore e partecipante, per svolgere il cambio della posizione della mano, ossia per girarla di 180° serviva qualche minuto di tempo. Veniva dunque chiesto al soggetto testato di chiudere gli occhi in modo che non vedesse nessun movimento della mano di gomma.



*Fig. 13: Setup sperimentale nella condizione incongruente attiva.*



### ***Analisi dei dati***

I dati raccolti in questo secondo studio sono stati analizzati seguendo lo stesso piano di analisi utilizzato per l'esperimento 1. Abbiamo dunque anche in questo caso effettuato un'analisi preliminare volta a verificare che i dati fossero distribuiti normalmente. Come per lo studio precedente abbiamo applicato delle statistiche non parametriche, dato che la maggior parte delle variabili non erano distribuite normalmente (Shapiro- Wilck,  $P > 0.05$ ).

Per le analisi principali, abbiamo eseguito dei confronti a coppie utilizzando il test di Wilcoxon al fine di valutare: 1) *Attendibilità della mRHI*; 2) *effetti di lateralità*; 3) *differenze tra agency e ownership nelle diverse condizioni*; 4) *differenze tra condizioni nell'evocare agency e ownership*.

### ***Risultati***

#### *Attendibilità della mRHI*

Confrontando gli item sperimentali con quelli di controllo è emerso che, per entrambi le mani testate, i partecipanti attribuivano punteggi più alti alle domande sperimentali rispetto a quelle di controllo, sia per l'azione che per l'appartenenza corporea nella condizione sincrona, nella condizione asincrona e nella condizione incongruente attiva ( $Z < -2.06$ ,  $P < 0.04$ ). Per quanto riguarda la condizione congruente passiva i partecipanti attribuivano punteggi maggiori all'appartenenza rispetto ai relativi controlli sia per la mano destra che per la mano sinistra ( $Z < -3.34$ ,  $p < 0.001$ ), mentre non sono emerse differenze tra item sperimentali e di controllo relativi all'azione.

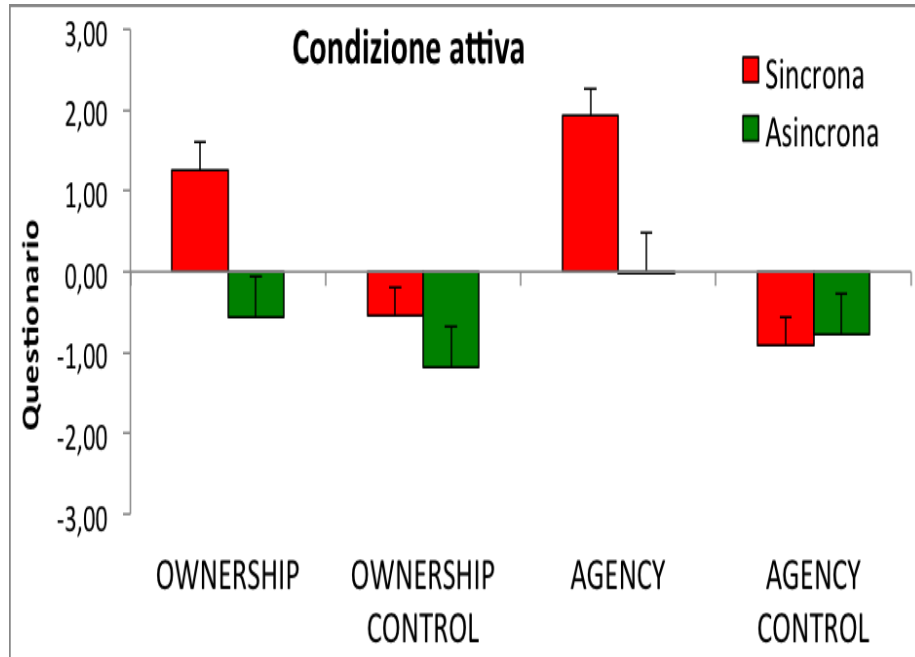


Fig. 14: Nel grafico sono riportate le medie dei valori delle risposte al questionario nel confronto delle condizioni sperimentali sincrona attiva e asincrona attiva, riferite alla mano destra.

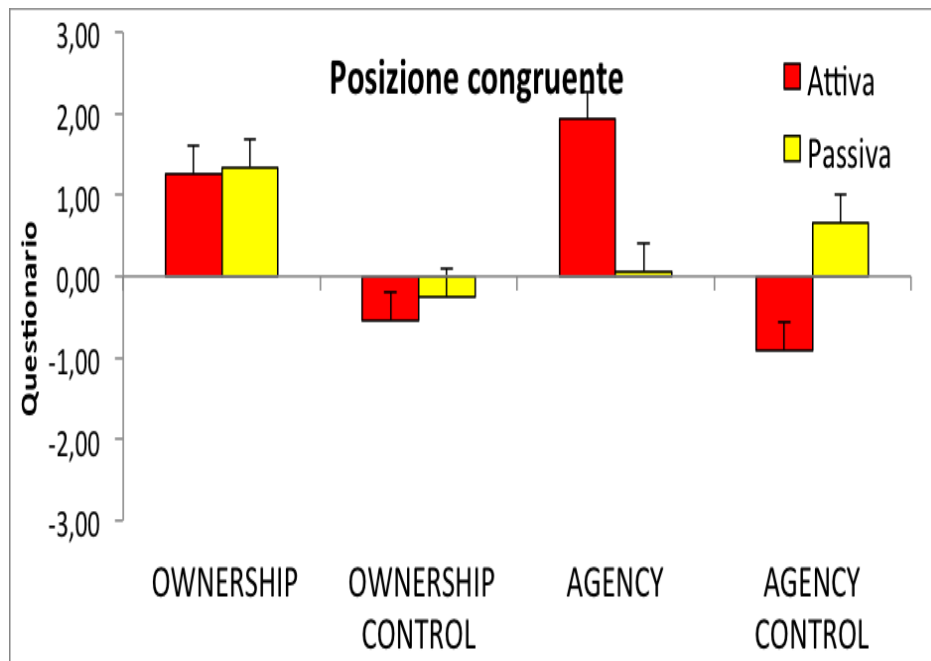


Fig. 15: Nel grafico sono riportate le medie dei valori delle risposte al questionario nel confronto delle condizioni sperimentali sincrona attiva e congruente passiva, riferite alla mano destra.

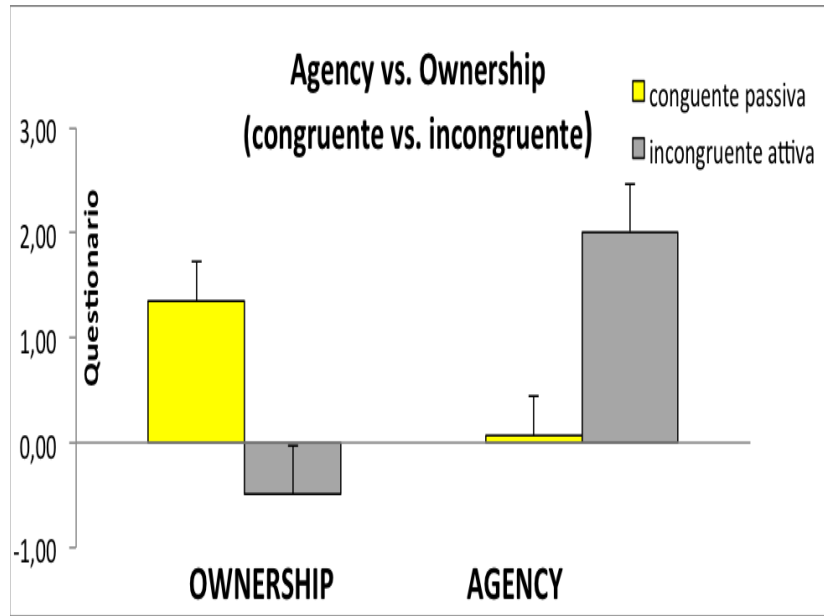


Fig. 16: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di agency e ownership nel confronto tra posizione congruente passiva e incongruente attiva, mano destra.

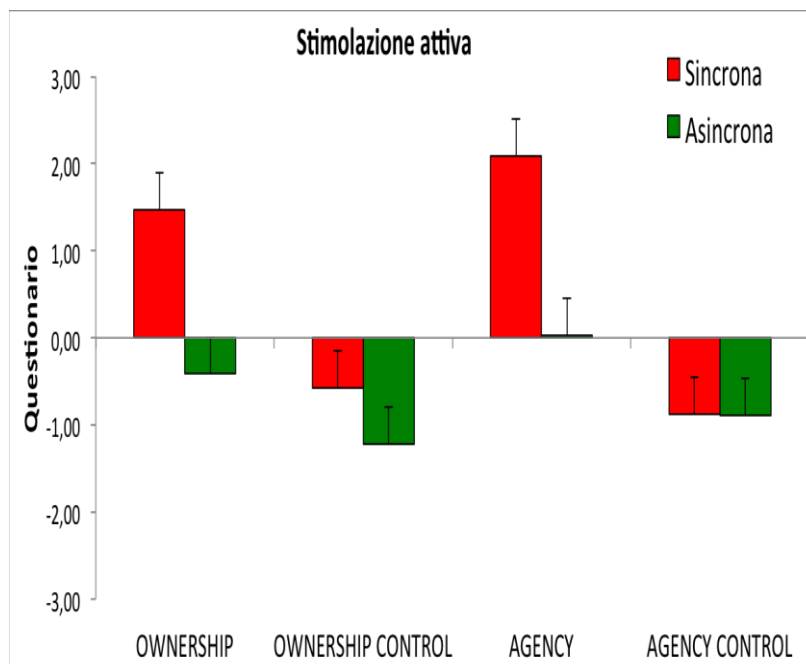
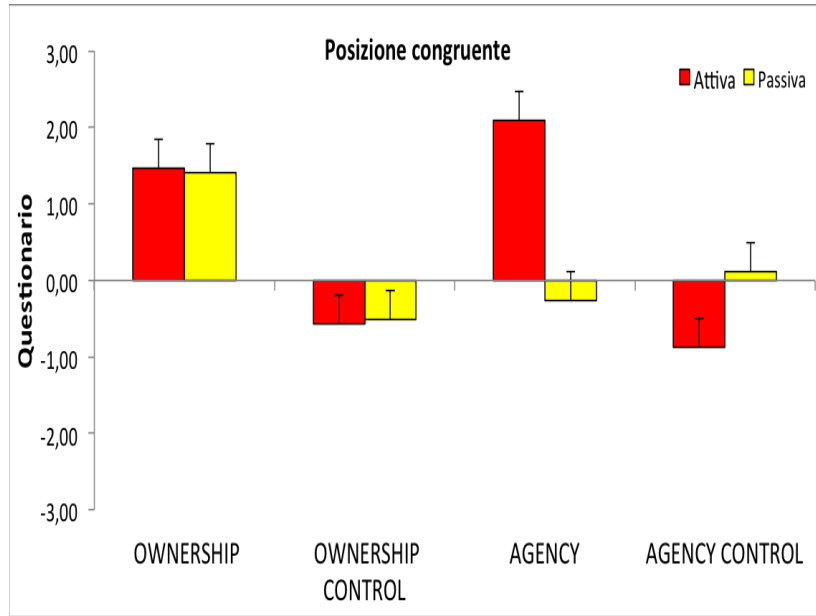
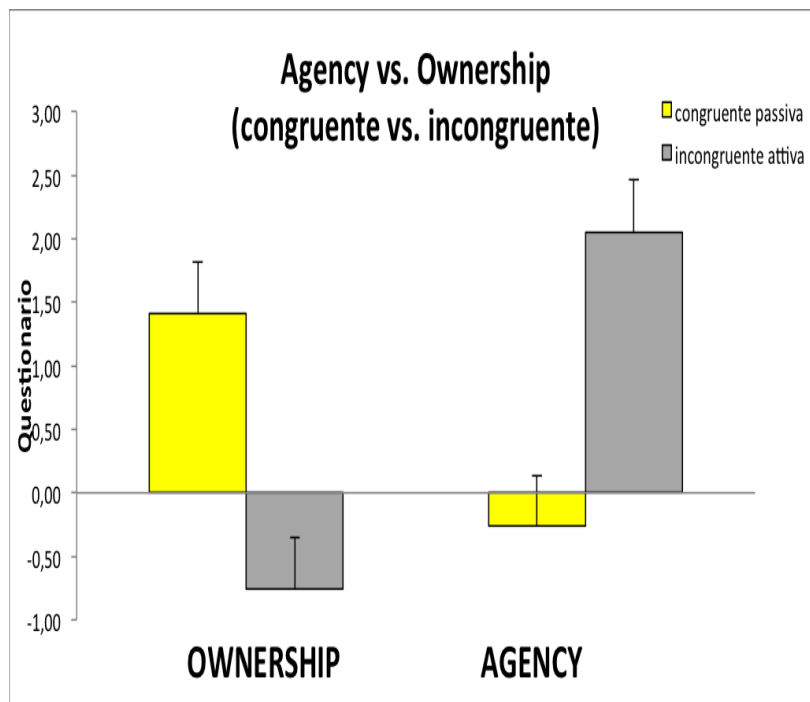


Fig. 17. Nel grafico sono riportate le medie dei valori delle risposte al questionario nel confronto delle condizioni sperimentali sincrona attiva e asincrona attiva, riferite alla mano sinistra.



*Fig. 18: Nel grafico sono riportate le medie dei valori delle risposte al questionario nel confronto delle condizioni sperimentali sincrona attiva e congruente passiva, riferite alla mano destra sinistra.*



*Fig. 19: Nel grafico sono riportate le medie dei valori di agency e ownership nel confronto tra posizione congruente passiva e incongruente attiva, mano sinistra.*

### *Effetti di lateralità*

In tutte le condizioni, non sono emerse differenze significative tra mano destra e sinistra sia per quanto riguarda gli item sperimentali che quelli di controllo.

### *Differenze tra agency ed ownership in ciascuna condizione*

Confrontando i punteggi di agency ed ownership in ciascuna condizione è emerso che, indipendentemente dalla mano testata, i partecipanti attribuivano punteggi maggiori alle domande relative all'agency, rispetto che a quelle relative all'ownership nelle condizioni sincrona ( $Z < -1.99$ ,  $P < 0.046$ ) e incongruente attiva ( $Z < -3.74$ ,  $P < 0.00$ ). Al contrario, nella condizione congruente passiva, i partecipanti tendevano ad attribuire punteggi maggiori alle domande riguardanti l'ownership rispetto all'agency sia per la mano destra che per la mano sinistra ( $Z < -2.24$ ,  $P < 0.025$ ). Non sono emerse differenze significative tra agency e ownership nella condizione asincrona attiva.

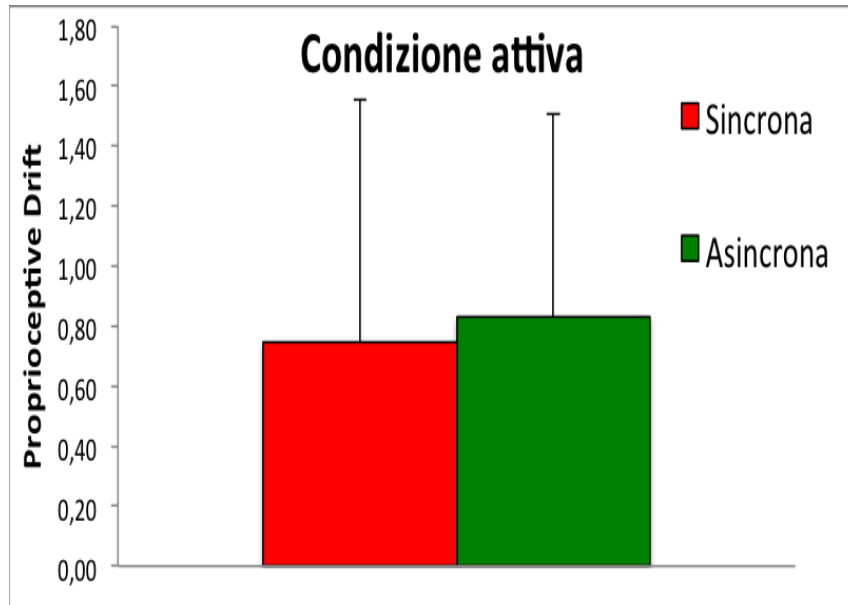
Questi risultati insieme a quelli dell'esperimento 1 dimostrano una doppia dissociazione tra agency ed ownership. In particolare nella condizione congruente, in cui era lo sperimentatore a muovere il dito del partecipante, i soggetti percepivano il senso di appartenenza corporea sulla mano artificiale ma non un senso di controllo sui movimenti della stessa. Al contrario, nella condizione incongruente attiva, in cui i partecipanti muovevano il proprio dito ma osservavano la mano in posizione incongruente rispetto al proprio corpo, i soggetti percepivano il senso di controllo sul movimento ma non il senso di appartenenza sulla mano artificiale. Attraverso questo paradigma è dunque possibile osservare e misurare la doppia dissociazione tra agency e ownership.

### *Differenze tra condizioni nell'evocare agency ed ownership*

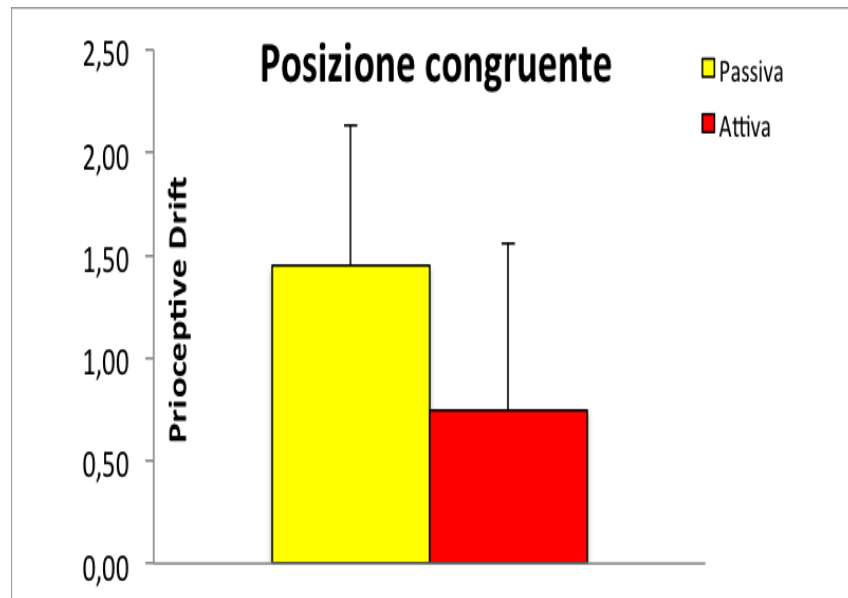
Dal confronto tra condizioni, in relazione all'ownership abbiamo riscontrato, sia per la mano destra che per la mano sinistra, punteggi maggiori nelle condizioni sincrona e congruente passiva rispetto alla condizione asincrona ( $Z < -3.11$ ,  $P < 0.002$ ) e alla condizione incongruente attiva ( $Z < -3.08$ ,  $P < 0.002$ ). Riguardo all'agency, per entrambe le mani, i partecipanti riportavano punteggi maggiori nella condizione sincrona e incongruente attiva rispetto alle condizioni asincrona ( $Z < -3.30$ ,  $p < 0.001$ ) e congruente passiva ( $Z < -2.52$ ,  $P < 0.12$ ).

### *Proprioceptive drift*

Riguardo al proprioceptive drift, non sono emerse differenze significative tra le condizioni (per tutti i confronti,  $P > 0.075$ ), né tra mano destra e mano sinistra ( $P > 0.137$ ).



*Fig. 20a: Drift propriocettivo mano destra nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva.*



*Fig. 20b: Drift propriocettivo mano destra nella posizione sincrona attiva e passiva.*

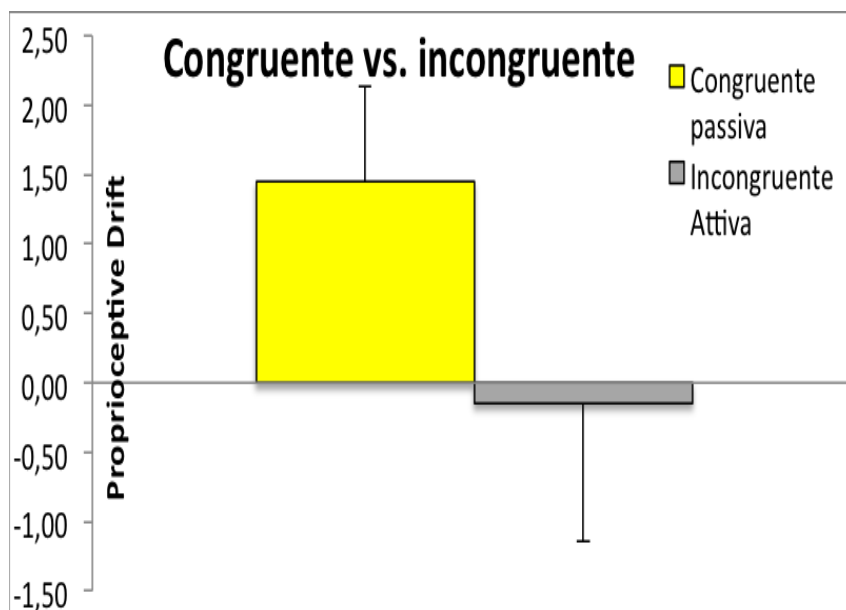


Fig. 21: Nel grafico i dati relativi al drift propriocettivo in condizione congruente passiva vs. incongruente attiva, nella mano destra.

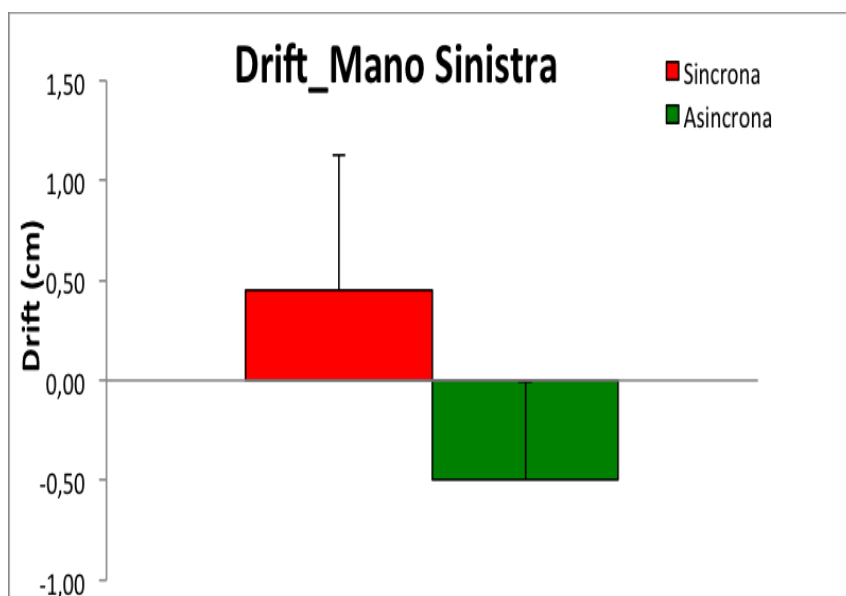
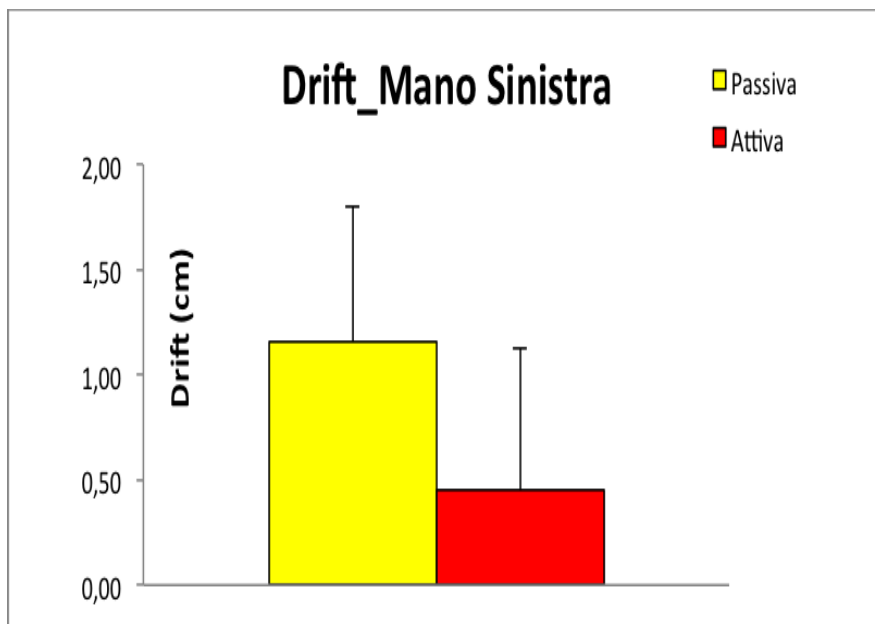
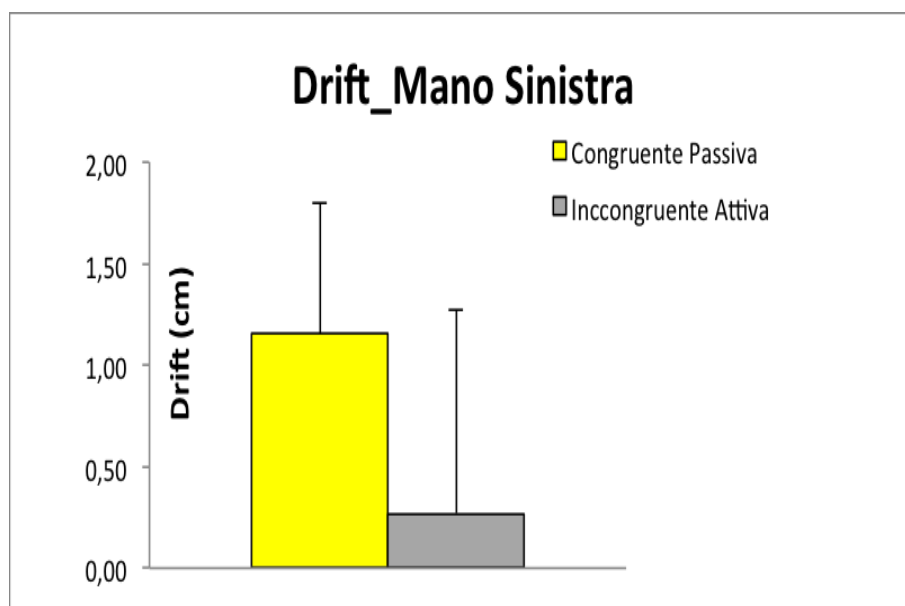


Fig. 22a: Drift propriocettivo mano sinistra nella condizione sincrona attiva e asincrona attiva.



*Fig. 22 b: Nel grafico i dati relativi al drift propriocettivo mano sinistra nella posizione congruente attiva e passiva.*



*Fig. 23: Nel grafico i dati relativi al drift propriocettivo in condizione congruente passiva vs. incongruente attiva, nella mano sinistra.*



### ***Discussione***

L'esperimento 2 è servito per capire se ci fosse la possibilità di disambiguare il senso dell'azione dal senso di appartenenza corporea. Il paradigma ha reso possibile questo, mantenendo però inalterati i risultati sulla mano destra e la sinistra e sui dati del drift propriocettivo.

Ancora una volta i dati tra le varie condizioni non hanno evidenziato valori significativi tra le due mani e i risultati del drift sono rimasti poco chiari. In seguito a questo esperimento 2 in cui i soggetti si differenziavano dal gruppo del primo studio per età (nell'esperimento 1 i soggetti erano giovani, mentre nell'esperimento 2 adulti) si è compreso che il risultato non varia in funzione dell'età dei soggetti. Questo risultato ci ha permesso, successivamente, di rivolgere la nostra indagine a pazienti di età diversa.

Prima di procedere ad applicare il test ai pazienti con FMD, che hanno un tremore con movimenti anomali, abbiamo voluto vedere se il compito potesse essere eseguito da pazienti con tremore essenziale possano svolgere il paradigma. Il movimento necessario per l'esperimento richiede che il soggetto svolga un gesto molto semplice, ma ben definito per consentire alla mano di gomma di muoversi in modo fluido. Il movimento della mano di gomma deriva logicamente dalla mano del soggetto che svolge l'esperimento; quindi se il soggetto non riesce ad eseguire questo semplice movimento, non si riesce ad eseguire l'esperimento stesso. Ci siamo dunque chiesti se soggetti con tremore essenziale fossero in grado di svolgere il paradigma della mRHI.

Nell'esperimento 3 esporrò questa ulteriore variazione.

## **12.3 ESPERIMENTO 3**

### ***Partecipanti***

Al fine di verificare se l'operazione possa essere eseguita anche dai pazienti con tremore, abbiamo reclutato quattro pazienti con tremore essenziale (2 femmine, età media:  $60.5 \pm 5.7$ ). Non essendo il nostro obiettivo quello di studiare il tremore essenziale, ma solo di provare la fattibilità del compito in presenza di tremore, ci siamo limitati a osservare qualitativamente la prestazione al compito in

un ridotto numero di soggetti. I pazienti sono stati reclutati presso l'ambulatorio dei Disturbi del movimento dell'Ospedale civile di Borgo Trento, Verona.

<b>GENERE</b>	<b>ETÀ</b>	<b>DOMINANZA MANUALE</b>	<b>LATO AFFETTO</b>
<b>F</b>	64	dx	sinistra-destra
<b>F</b>	62	dx	destra
<b>M</b>	64	dx	destra
<b>M</b>	52	dx	sinistra-destra

*Tab.4: Caratteristiche dei soggetti con tremore funzionale.*

In questo esperimento, il numero ridotto di partecipanti è sicuramente un punto critico, ma l'omogeneità del sintomo del tremore era la componente di nostro interesse.

#### ***Procedura sperimentale***

Abbiamo applicato lo stesso protocollo descritto precedentemente nell'esperimento 2.

#### ***Risultati***

Abbiamo notato che, nonostante il tremore, i soggetti erano in grado di svolgere il compito e, per quanto riguarda i punteggi soggettivi al questionario avevano un andamento simile al gruppo di soggetti sani reclutati nei precedenti esperimenti.

Tuttavia, ancora una volta la misura del drift propriocettivo non è risultata attendibile, in quanto molto variabile tra i partecipanti.

#### ***Discussione***

Come nei precedenti esperimenti, i dati inerenti al drift propriocettivo non sono risultati attendibili. I pazienti si sono trovati in difficoltà nel controllare il tremore durante il movimento di pointing, e questo aggiunge ancora più variabilità ai dati misurati con il drift propriocettivo. Questo risultato, ci ha fatto pensare che la

misura del drift non fosse ottimale nemmeno nel caso di pazienti con FMD. Invece, il fatto che i pazienti con tremore essenziale fossero in grado di svolgere il paradigma sperimentale, ci ha portato a ritenere che fosse adatto anche per i pazienti con FMD. Non abbiamo trovato differenza tra mano destra e mano sinistra e questo ci ha portato a contrare la nostra indagine dell'esperimento finale su una sola mano (la destra).

### ***DISCUSSIONE GENERALE DEGLI STUDI PRELIMINARI***

Gli studi preliminari ci hanno permesso di arrivare alla realizzazione del paradigma finale da applicare anche ai pazienti con disturbo funzionale del movimento. Più precisamente, abbiamo utilizzato 4 condizioni sperimentali (condizione sincrona attiva, asincrona attiva, congruente passiva, incongruente attiva), abbiamo applicato il compito a solo una mano (destra) e ci siamo concentrati sulla componente soggettiva dell'illusione.

I vari passaggi svolti per arrivare al paradigma finale si sono resi necessari, anche perché i pazienti con FMDs hanno una capacità di concentrazione spesso più breve rispetto ai soggetti sani, anche in riferimento al sintomo stesso che può creare, come nel caso del tremore funzionale, una difficoltà di concentrazione e un senso di affaticamento aumentato. L'esperimento 1 aveva una durata di più di due ore. I soggetti anziani testati, avevano spesso difficoltà anche nel comprendere il questionario dell'illusione, manifestavano problemi anche nel dover dare un punteggio sulla scala di Likert, sempre riferendosi alle sensazioni riferite durante l'esperimento appena svolto. Ecco dunque che il primo esperimento fatto con entrambe le mani, con tre condizioni e con il drift propriocettivo ha fatto emergere la necessità di riuscire a disambiguare agency da ownership, pur togliendo una condizione e focalizzando l'analisi su una mano, rendendo così l'esperimento ugualmente efficace ma più breve. L'esperimento 2 ci ha fatto comprendere che la nuova condizione incongruente attiva completava il paradigma, e che i soggetti anziani necessitavano di chiarimenti in merito alle domande del questionario. Abbiamo deciso infatti di sottolineare che si trattasse solo di sensazioni emerse durante l'esperimento, e non di uno stato costante di percezione. L'esperimento 3

con i soggetti con tremore organico, che per definizione è diverso dal funzionale, ci ha comunque confermato la fattibilità della mRHI.

#### **12.4 ESPERIMENTO 4**

##### ***Partecipanti***

Ventuno pazienti (19 donne, età media  $\pm$  DS,  $39.48 \pm 12.84$  anni) con una diagnosi clinica definita di disturbo funzionale del movimento sono stati reclutati presso l'Unità di Neurologia dell'Azienda Ospedaliera Universitaria Integrata di Verona, e presso la Divisione di Neurologia dell'Ospedale Civile di Voghera. In Tabella 4 sono riportate le caratteristiche cliniche e demografiche dei pazienti. I criteri di esclusione erano anomalie sensoriali e altri importanti disturbi neurologici. Il gruppo di controllo era costituito da ventuno volontari sani (17 donne, età media  $\pm$  DS,  $45.24 \pm 11.86$  anni) reclutati presso il Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento dell'Università degli Studi di Verona. Tutti i partecipanti erano destrimani. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico dell'Azienda Ospedaliera Universitaria Integrata di Verona. I partecipanti hanno dato il loro consenso informato scritto prima della partecipazione. L'esperimento è stato effettuato conformemente al principio della Dichiarazione di Helsinki.

<b>Patient/ Gender</b>	<b>Age</b>	<b>Disease duration (months)</b>	<b>Type of FMD</b>	<b>Medication</b>
1/F	36	1	Gait disorder	Laroxyl
2/F	44	84	Gait disorder	Rivotril
3/F	66	84	Gait disorder	None
4/F	44	10	Gait disorder	Escitalopram Alprazolam
5/F	37	8	Gait disorder, dystonia	Delorazepam
6/F	40	18	Gait disorder, dystonia	Amitriptilina
7/F	44	24	Gait disorder	None
8/F	34	-	Gait disorder	None
9/F	36	6	Gait disorder, tremor	Citalopram
10/F	26	40	Gait disorder	Venlafaxina
11/F	32	32	Gait disorder	None
12/M	52	3	Gait disorder, tremor	Duloxetina Diazepam
13/F	38	36	Gait disorder	Bromazepam
14/F	29	36	Gait disorder, tremor	Duloxetina Lorazepam
15/F	53	48	Gait disorder, tremor	Escitalopram
16/F	23	3	Gait disorder, dystonia, tremor	Amitriptilin Diazepam
17/F	30	6	Tremor	Amitriptilina Delorazepam
18/M	30	2	Tremor	None
19/F	22	10	Gait disorder, dystonia, tremor	None
20/F	70	12	Tremor	Alprazolam
21/F	51	36	Tremor	None

*Tab. 5: Caratteristiche cliniche e demografiche dei pazienti con FMDs.*

### ***Procedura sperimentale***

Il setup sperimentale è rimasto lo stesso di quello descritto nell'esperimento 2. Abbiamo però deciso, precedentemente detto, di svolgere il paradigma solo con la mano destra e di non proporre il drift propriocettivo, in quanto troppo variabile.

Le 4 condizioni sperimentali sono rimaste le stesse di quello descritte sopra. Tuttavia, darò anche qui una descrizione del paradigma.

I partecipanti seduti a un tavolo con la mano destra nascosta da un telo e posta sul tavolo all'interno di una scatola (35 cm x 25 cm x 12 cm). Un modello in gomma di una mano destra, composto da un guanto di gomma gialla riempito con cotone (distanza dal polso all'indice polpastrello 25 cm) è stato posizionato sulla parte superiore della scatola. Prima di iniziare l'esperimento, ai partecipanti è stato chiesto di indossare un guanto giallo, rendendo così la mano del partecipante il più possibile simile alla mano di gomma. Le dita della mano di gomma sopra, e le dita del soggetto nella scatola, erano in linea l'una sopra l'altra e tenute anche con l'ausilio del bastoncino in legno che consentiva il movimento durante l'esperimento. Un mantello nero collegato alla scatola copriva il braccio destro del partecipante e la spalla.

### ***Questionario mRHI***

Come misura illusoria del senso di appartenenza e del senso dell'azione, abbiamo utilizzato una versione italiana tradotta dei 16 item proposto da Kalckert e colleghi (2012). In questo questionario, le domande possono essere raggruppate in quattro categorie: quattro domande si riferiscono al senso illusorio di appartenenza corporea (ad esempio, "*mi sentivo come se la mano di gomma fosse la mia mano*"), quattro domande erano riferite al senso di agenzia (ad esempio, "*mi sentivo come se fossi stato io a causare il movimento che ho visto*2) e otto domande utili come item di controllo, quattro per il senso di appartenenza (definite ownership-control) e quattro per il senso dell'azione (definite agency-control) (Jenkinson et al, 2015). Gli item di controllo non erano legati all'esperienza personale di appartenenza corporea e azione, ma servivano per escludere fattori confondenti come conformità, suggestionabilità e l'aspettativa di effetti (ad esempio, ownership-control: "*Sembra come se avessi più di una mano destra*", agency-control: "*mi sentivo come se la mano di gomma stava controllando la mia volontà*") (Kalckert et al, 2012, 2014; Jenkinson et al, 2015). Alla fine di ogni condizione il partecipante doveva rispondere alle 16 domande valutando il suo accordo su un 7 punti scala Likert che va da -3 (completamente in

disaccordo) a +3 (totalmente d'accordo), con 0 (incerto, né in accordo né disaccordo) (Kalckert et al., 2012).

### *Analisi dei dati*

Al fine di verificare se i due gruppi fossero omogenei per età e distribuzione di genere, i dati demografici sono stati analizzati mediante t-test (per l'età) e chi-squared (per il genere).

I quattro item di ogni condizione sono analizzati assieme, ottenendo così un valore medio per le domande sperimentali di ownership, sperimentali di agency, e quello di controllo (ownership-control e agency-control).

I dati sono stati valutati per la distribuzione normale per mezzo di test di Shapiro-Willk ( $P < 0.05$ ). Poiché i dati non sono stati distribuiti normalmente, sono stati applicati test non parametrici.

Il disegno statistico è stato progettato per gradi, come segue: in primo luogo, abbiamo controllato l'attendibilità del paradigma mRHI. In questa prima analisi, abbiamo puntato ad accertare che il paradigma fosse adatto per indurre un senso di appartenenza corporea e un senso dell'azione. A tale scopo, in ogni condizione sperimentale ed in ogni gruppo separatamente, è stato utilizzato il test di Wilcoxon per confrontare gli item sperimentali e quelli di controllo (sia riferiti al senso di appartenenza corporea che al senso dell'azione) nelle diverse condizioni sperimentali. In secondo luogo, il senso dell'azione e il senso di appartenenza corporea sono stati confrontati tra loro nelle diverse condizioni. In questa seconda analisi, abbiamo voluto verificare se il senso di appartenenza del corpo e il senso dell'azione variasse tra le condizioni sperimentali. A questo scopo, abbiamo utilizzato il test di Friedman per analizzare il valore medio degli item sull'appartenenza e gli item sull'azione nelle quattro condizioni sperimentali (sincrona attiva, congruente passiva, incongruente attiva, asincrona attiva), separatamente in ogni gruppo. I confronti post-hoc sono stati eseguiti per mezzo di Wilcoxon rank test. In terzo luogo, il senso di appartenenza corporea e il senso dell'azione sono stati confrontati tra i due gruppi. In questa analisi, abbiamo usato il test di Mann-Whitney U per confrontare i dati dei due gruppi (FMD e controlli

sani, HC) nelle quattro condizioni. Tutti i test erano a due code. Valori di  $P \leq 0,05$  sono stati considerati statisticamente significativi.

### ***Risultati***

Le analisi preliminari delle caratteristiche demografiche hanno confermato che i due gruppi erano paragonabili per età ( $t(40) = 1.511$ ;  $P = 0.139$ ) e distribuzione di genere (chi-quadrato = 0.778;  $P = 0.378$ ).

#### *Prima analisi: Attendibilità del paradigma mRHI*

L'analisi del gruppo di pazienti con FMD, ha mostrato punteggi significativamente superiori alle domande sperimentali sull'ownership rispetto a quelle di controllo nella condizione sincrona attiva, congruente passiva e incongruente attiva (per tutti i confronti,  $P < 0.017$ ). I punteggi alle domande sperimentali dell'agency erano significativamente più alti rispetto alle domande di controllo nella condizione sincrona attiva e nella condizione incongruente attiva (per tutti i confronti,  $P < 0.0001$ ). Non sono state riscontrate differenze significative tra le domande sperimentali dell'agency e le domande di controllo nella condizione congruente passiva, né tra le domande sperimentali dell'ownership e quelle dell'agency con i loro rispettivi controlli nella condizione asincrona attiva (per tutti i confronti,  $P > 0.089$ ).

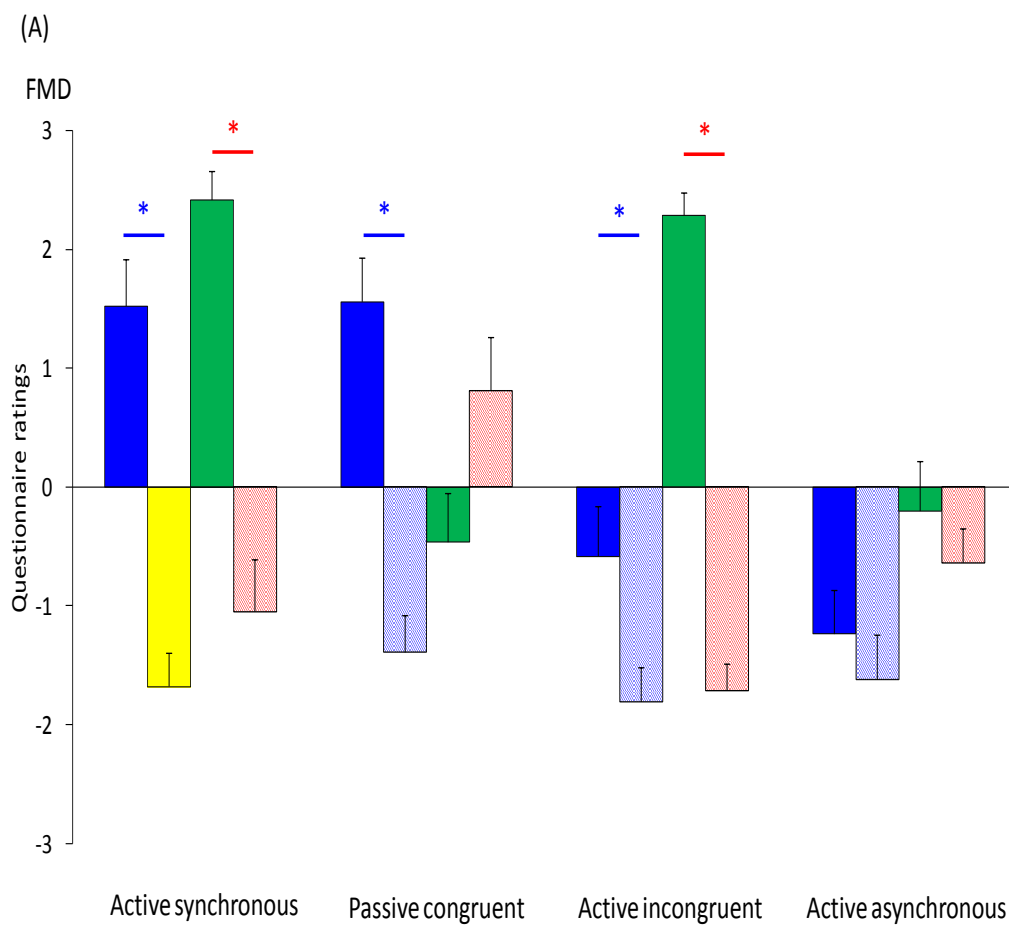
Nel gruppo HC abbiamo trovato risultati simili (i dettagli statistici sono riportati in Tabella 6 e nella figura 24 A e B).



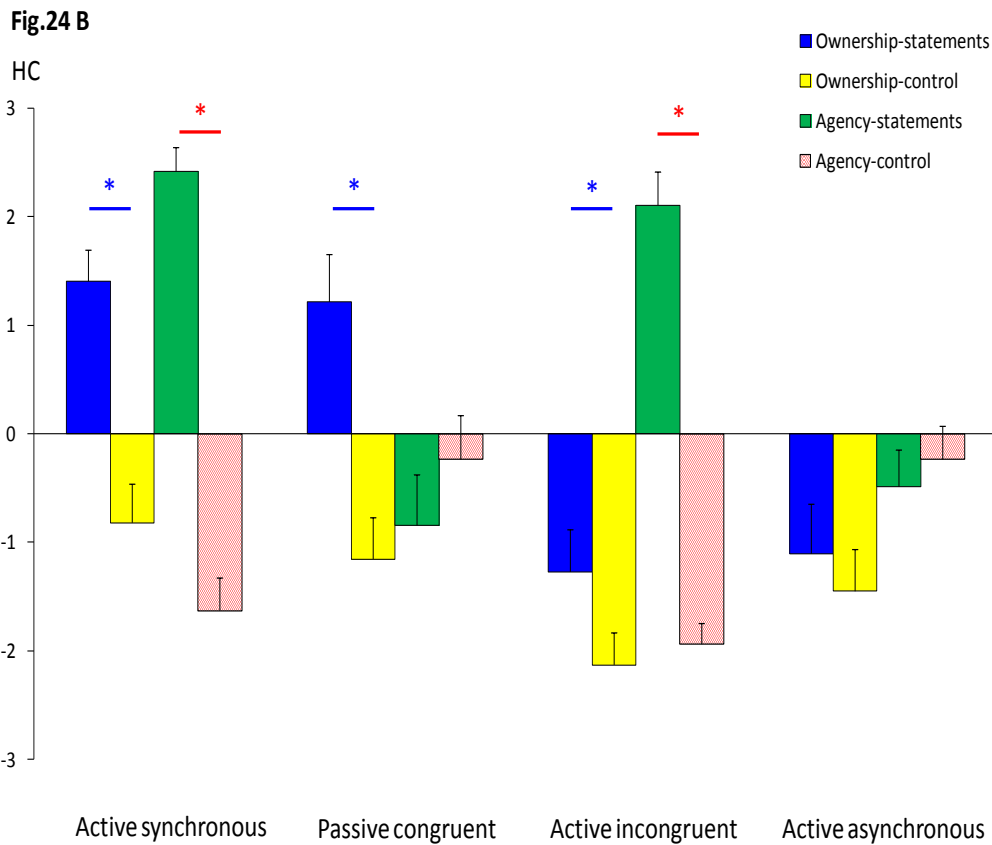
	<b>Active Synchronous</b>	<b>Passive Congruent</b>	<b>Active Incongruent</b>	<b>Active Asynchronous</b>
<b><i>FMD group</i></b>				
<b>Ownership-statements vs. Ownership-control</b>	Z = -3.757; P = 0.000	Z = -3.427; P = 0.001	Z = -2.379; P = 0.017	Z = -0.880; P = 0.379
<b>Agency-statements Vs. Agency-control</b>	Z = -3.542; P = 0.000	Z = -1.700; P = 0.089	Z = -4.019; P = 0.000	Z = -0.916; P = 0.360
<b><i>HC group</i></b>				
<b>Ownership-statements vs. Ownership-control</b>	Z = -3.666; P = 0.000	Z = -3.626; P = 0.000	Z = -3.163; P = 0.002	Z = -0.427; P = 0.669
<b>Agency-statements vs. Agency-control</b>	Z = -3.925; P = 0.000	Z = -0.987; P = 0.324	Z = -3.927; P = 0.000	Z = -1.442; P = 0.149

*Tabella 6. Wilcoxon signed rank domande sperimentali dell'appartenenza corporea e del senso dell'azione con i loro rispettivi controlli nella condizione asincrona attiva.*

Quindi, siamo stati in grado di dimostrare l'affidabilità del paradigma (Figura 24 A e B).



*Fig. 24a: Seconda analisi: confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nelle diverse condizioni sperimentali gruppo FMD.*



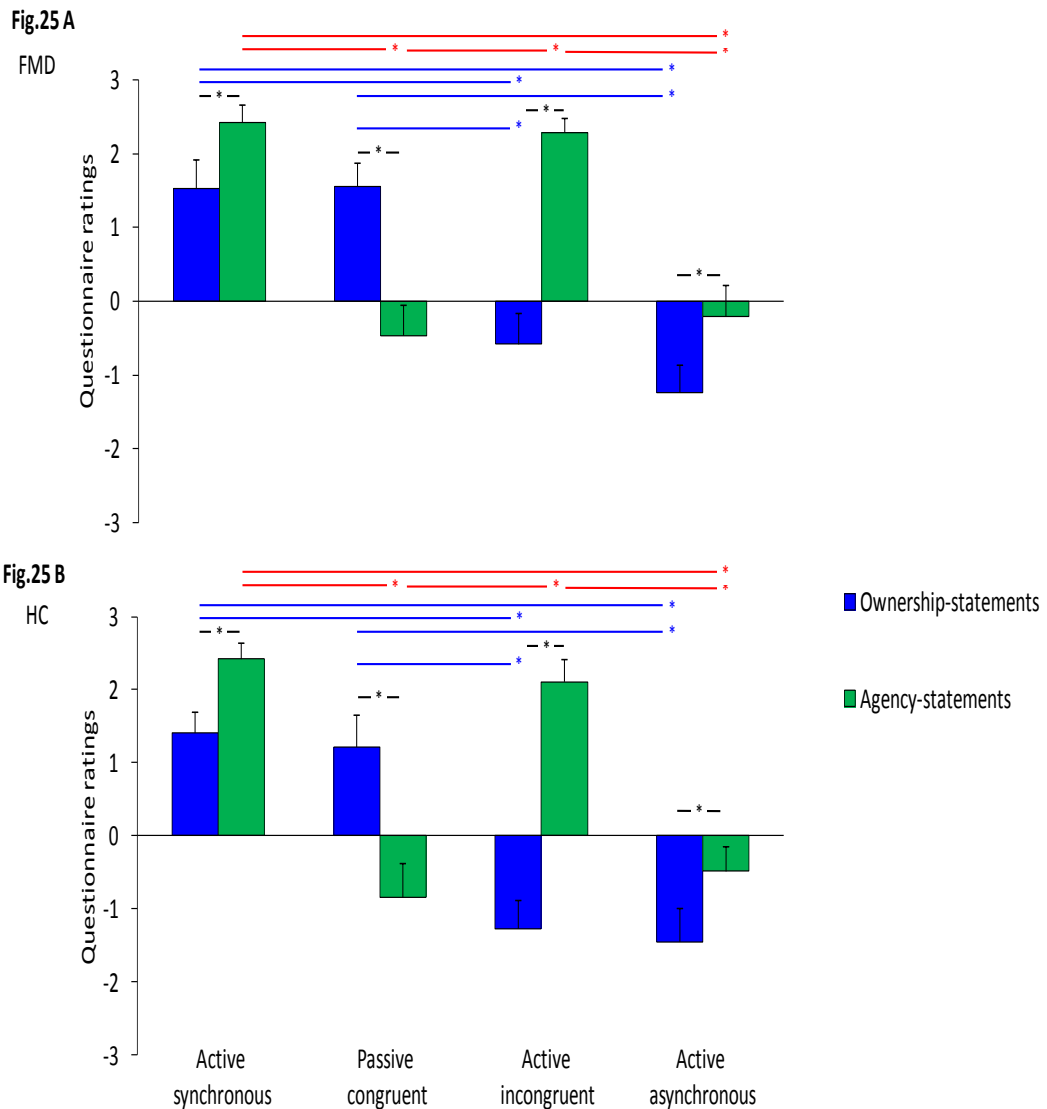
*Fig. 24b: Seconda analisi: confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nelle diverse condizioni sperimentali gruppo HC.*

In entrambi i gruppi i partecipanti hanno dato punteggi alti sugli item sperimentali di ownership (in blu) in confronto con quelli di controllo dell'ownership (in giallo) nella condizione sincrona attiva, congruente passiva e incongruente attiva. Risultato simile per gli item sperimentali dell'agency nella condizione sincrona attiva e incongruente attiva (in verde) più alti rispetto a quelli di controllo dell'agency (in rosso a strisce). Le linee orizzontali in blu e gli asterischi indicano le differenze significative nei valori di ownership. Le linee rosse orizzontali e gli asterischi indicano le differenze significative nei punteggi dell'agency. Le barre rappresentano l'errore standard.

*Seconda analisi: confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nelle diverse condizioni sperimentali*

I punteggi agli item sull'agency e a quelli sull'ownership sono risultati significativamente differenti tra le condizioni sperimentali nei pazienti FMD (test di Friedman:  $\chi^2 = 68,174$ ;  $P = 0.000$ ). I confronti Post-hoc a coppie hanno dimostrato che gli item di controllo dell'agency nelle condizioni sincrona attiva e congruente passiva avevano punteggi superiori rispetto agli item nelle condizioni incongruente attiva e asincrona attiva (per tutti i confronti,  $P < 0.002$ ) (Figura 25a). Per quanto riguarda gli item sull'agency, i confronti post-hoc hanno mostrato punteggi più alti nelle condizioni incongruente attiva e sincrona attiva rispetto alla condizione asincrona attiva e alla condizione congruente passiva (per tutti i confronti,  $P < 0.001$ ) (Figura 25b). È interessante notare che i punteggi agli item dell'ownership nella condizione sincrona attiva erano simili alla condizione congruente passiva, mentre il punteggio agli item sull'agency nella condizione sincrona risultavano simili alla condizione incongruente (per tutti i confronti,  $p > 0.161$ ) (Figura 25b). Nella tabella 7 i dettagli dei risultati. Inoltre, nella condizione sincrona attiva, nella condizione incongruente attiva e asincrona attiva, gli item sperimentali sull'agency hanno ottenuto punteggi superiori rispetto agli item sperimentali sull'appartenenza corporea, ma nella condizione congruente passiva gli item sull'appartenenza corporea erano superiori agli item sul senso dell'azione (tutti i confronti,  $P > 0.545$ ) (Tabella 8).

I punteggi relativi agli item sull'agency e quelli agli item sul senso di appartenenza corporea sono risultati significativamente differenti tra le condizioni, anche nel gruppo HC (test di Friedman:  $\chi^2 = 71,575$ ;  $P = 0.000$ ). I confronti post-hoc ha mostrato risultati simili al gruppo FMD, con l'eccezione della condizione asincrona attiva in cui gli item sull'ownership e agency non erano significativamente differenti ( $P = 0.097$ ) (Figura 25b). Tabella 8. Questi risultati hanno confermato che il paradigma mRHI è adatto per differenziare sistematicamente il senso di appartenenza corporea dal senso dell'azione in ogni condizione.



*Fig. 25 a e b: Senso di appartenenza corporea e senso dell'azione tra i gruppi.*

In entrambi i gruppi i partecipanti hanno dato punteggi più alti negli item sperimentali dell'ownership (in blu) nella condizione sincrona attiva e congruente passiva in confronto con la condizione incongruente attiva e asincrona attiva. I punteggi di agency (in verde) sono più alti nella condizione sincrona attiva e incongruente attiva rispetto alla congruente passiva e asincrona attiva.

Le linee rosse e gli asterischi mostrano le differenze significative tra i punteggi di agency tra le diverse condizioni. Le linee nere e gli asterischi mostrano le differenze significative tra i punteggi di ownership ed agency in ogni condizione.

Le barre rappresentano l'errore standard.

	<b>Passive Congruent</b>	<b>Active Incongruent</b>	<b>Active Asynchronous</b>
<b><i>FMD group</i></b>			
<b>Ownership-statements</b>			
<b>Active Synchronous</b>	Z = -0.314; P = 0.753	Z = -3.139; P = 0.002	Z = -3.705; P = 0.000
<b>Passive Congruent</b>	-	Z = -3.556; P = 0.000	Z = -3.642; P = 0.000
<b>Active Incongruent</b>	-	-	Z = -1.410; P = 0.161
<b>Agency-statements</b>			
<b>Active Synchronous</b>	Z = -3.729; P = 0.000	Z = -0.509; P = 0.615	Z = -3.810; P = 0.000
<b>Passive Congruent</b>	-	Z = -3.689; P = 0.000	Z = -0.605; P = 0.545
<b>Active Incongruent</b>	-	-	Z = -3.422; P = 0.001
<b><i>HC group</i></b>			
<b>Ownership-statements</b>			
<b>Active Synchronous</b>	Z = -0.349; P = 0.727	Z = -3.828; P = 0.000	Z = -3.826; P = 0.000
<b>Passive Congruent</b>	-	Z = -3.642; P = 0.000	Z = -3.282; P = 0.001
<b>Active Incongruent</b>	-	-	Z = -0.103; P = 0.918
<b>Agency-statements</b>			
<b>Active Synchronous</b>	Z = -3.470; P = 0.001	Z = -1.046; P = 0.294	Z = -3.964; P = 0.000
<b>Passive Congruent</b>	-	Z = -3.388; P = 0.001	Z = -0.676; P = 0.499
<b>Active Incongruent</b>	-	-	Z = -3.885; P = 0.000

*Tabella 7: Wilcoxon signed rank il senso di appartenenza corporea dal senso dell'azione in ogni condizione.*

<i>FMD group</i>				
<b>Ownership-statements vs. Agency-statements</b>	Z = -2.534; P = 0.011	Z = -3.082; P = 0.002	Z = -3.827; P = 0.000	Z = -2.508; P = 0.012
<i>HC group</i>				
<b>Ownership-statements vs. Agency-statements</b>	Z = -3.341; P = 0.001	Z = -2.834; P = 0.005	Z = -3.788; P = 0.000	Z = -1.661; P = 0.097

*Tabella 8: Post-hoc Wilcoxon signed rank test confronto tra senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nei due gruppi.*

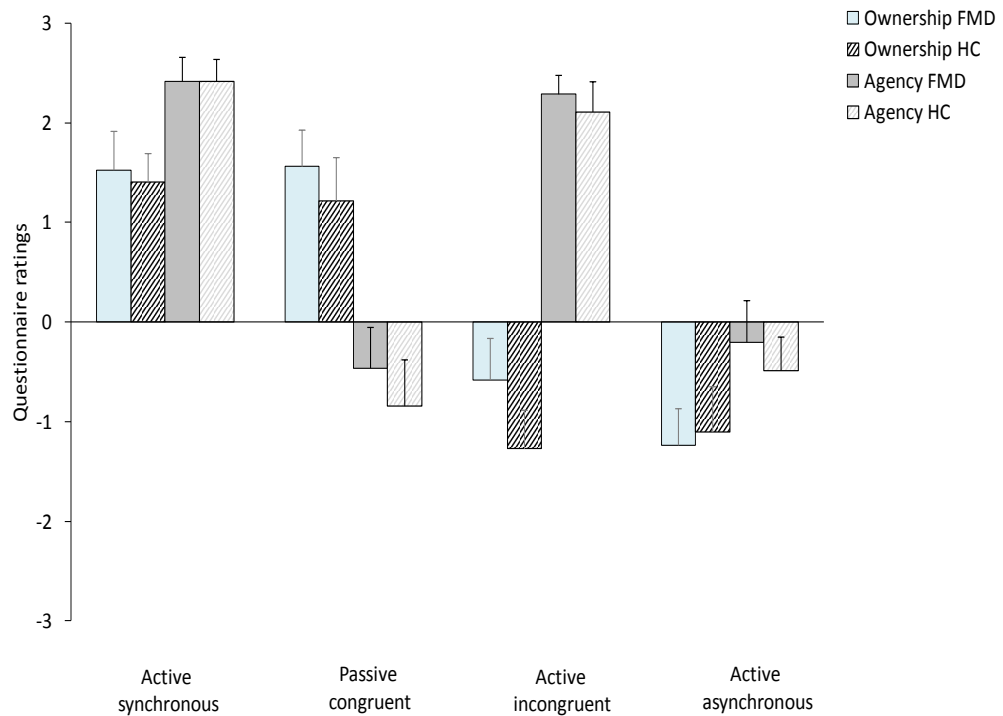
*Terza analisi: Agency e ownership tra i gruppi*

È interessante notare che il test di Mann Whitney U utilizzato per il confronto tra FMD e gruppo controllo non ha dato risultati significativi (per tutte le variabili,  $p > 0,207$ ), indicando che i pazienti con FMD avevano una sensazione esplicita di senso dell'azione e di appartenenza corporea simile ai soggetti HC (Figura 26) (Ulteriori dettagli sui risultati Tab. 9).

	<b>Active Synchronous</b>	<b>Passive Congruent</b>	<b>Active Incongruent</b>	<b>Active Asynchronous</b>
<b>Ownership-statements</b>	Z = -0.802; P = 0.423	Z = -0.488; P = 0.626	Z = -1.263; P = 0.207	Z = -0.076; P = 0.939
<b>Agency-statements</b>	Z = -0.389; P = 0.697	Z = -0.911; P = 0.362	Z = -0.132; P = 0.895	Z = -0.391; P = 0.696

*Tab. 9: Mann Whitney U Test confronto tra i punteggi del senso di appartenenza corporea e senso dell'azione nei due gruppi FMD e HC in ogni condizione.*

**Fig. 26**



*Fig. 26: Medie dei valori di senso di appartenenza corporea e senso dell'azione in tutte le condizioni del gruppo FMD e HC.*

Il gruppo di pazienti FMD e il gruppo controllo HC, mostrano un andamento simile nei risultati di ownership (azzurro - FMD; nero a righe - HC) ed agency (grigio - FMD; bianco a righe grigie HC) in tutte le condizioni. Le barre rappresentano l'errore standard.



## Capitolo 13

### **DISCUSSIONE**

Secondo le nostre conoscenze, questo è il primo studio che valuta il senso di appartenenza del corpo, il senso dell'azione e la loro interazione nei pazienti FMD per mezzo di un unico paradigma sperimentale: la mRHI.

I dati dei partecipanti sani del gruppo controllo ci hanno permesso di confermare l'attendibilità del paradigma mRHI nella misurazione del senso dell'azione e del senso di appartenenza corporea. Vale a dire, gli item sul senso di appartenenza corporea e quelli sul senso dell'azione differivano significativamente dai rispettivi item di controllo in tutte le condizioni. Abbiamo anche osservato che nella condizione sincrona attiva i partecipanti avevano un forte senso dell'azione e l'illusione di appartenenza corporea. Invece, nella condizione asincrona attiva, i partecipanti erano generalmente in disaccordo con gli item riferiti sia al senso di appartenenza corporea sia al senso dell'azione, indicando così che la presenza di uno scarto temporale (asincronia) tra l'azione eseguita e il movimento osservato ha interrotto sia il senso di appartenenza corporea sia il senso dell'azione. Inoltre, la condizione congruente passiva e la condizione incongruente attiva hanno indotto una dissociazione tra il senso di appartenenza corporea e il senso dell'azione. Più precisamente, nella condizione congruente passiva i partecipanti hanno avuto la sensazione illusoria del senso di appartenenza corporea, ma non un senso dell'azione. Al contrario, nella condizione incongruente attiva, hanno percepito un forte senso dell'azione, ma non il senso di appartenenza corporea. Questi risultati sono in linea con studi precedenti mRHI (Kalckert et al., 2012; 2014) e indicano una doppia dissociazione tra ownership e agency.

Il risultato più interessante riguarda la mancanza di differenze tra FMD e gruppo controllo. Il senso di appartenenza del corpo che abbiamo trovato nei pazienti con FMD è in linea con un recente studio in cui è stato utilizzato il classico paradigma della RHI statica (Demartini et al., 2015). In questo paradigma, l'illusione del senso di appartenenza corporea, è tipicamente indotta da delle pennellate simultanee su una mano di gomma visibile e sulla mano del soggetto nascosta alla vista (Botvinick e Cohen, 1998). Demartini e colleghi (2015) hanno osservato che

i pazienti FMD hanno prestazioni simili ai controlli sani, sia nella componente esplicita dell'illusione (cioè, questionario) che nella componente implicita (vale a dire, lo spostamento della mano reale verso la mano di gomma). Questo studio suggerisce che l'elaborazione multisensoriale di informazioni visive, propriocettive e tattili alla base del senso di appartenenza corporea è integra nei pazienti con FMD. Con lo studio mRHI corrente, si aggiunge un elemento di novità in questa linea di ricerca, dimostrando che il senso di appartenenza corporea è preservato negli FMD, anche quando le informazioni sensoriali visive e propriocettive interagiscono con il sistema motorio (piuttosto che con il sistema tattile).

Più interessante ancora, abbiamo notato che i due gruppi erano paragonabili non solo per il senso di appartenenza corporea, ma anche per il senso dell'azione. Questo risultato è stato inaspettato, soprattutto per quelle condizioni sperimentali che coinvolgono movimenti attivi. Infatti, con il nostro paradigma ci aspettavamo un ridotto senso dell'azione nei pazienti funzionali in particolare in quelle condizioni sperimentali in cui viene evocato il senso dell'azione, come nella condizione sincrona attiva e incongruente attiva. La mancanza di differenza tra FMD e gruppo controllo nel nostro studio potrebbe essere spiegata dalla natura del paradigma stesso. Più precisamente, nella mRHI che abbiamo utilizzato il senso dell'azione è misurato in modo esplicito, mentre in studi precedenti sono stati utilizzati paradigmi impliciti (Edwards et al., 2013; Kranick et al., 2013; Macerollo et al., 2015; Pareès et al., 2014). Le misure implicite non richiedono ai partecipanti di esprimere la loro esperienza cosciente di essere in controllo delle loro azioni. Al contrario, le misure esplicite sono ottenute chiedendo direttamente ai partecipanti di riferire il loro senso di controllo dell'azione. Si potrebbe ipotizzare che essendo derivati da misure esplicite, i nostri risultati potrebbero essere stati influenzati dalla suggestionabilità del partecipante. Tuttavia, il fatto che i punteggi erano differenti tra gli item sperimentali e quelli di controllo suggerisce che i partecipanti hanno risposto in modo genuino e non in base alla mera suggestionabilità.

Da notare che le componenti implicite ed esplicite del senso dell'azione si basano su differenti meccanismi sottostanti (Dewey et al., 2014). Più precisamente,

mentre le misure implicite del senso dell'azione si basano su processi sensoriali di basso livello che coinvolgono comandi motori efferenti e feedback sensoriali, le misure esplicite si basano su processi cognitivi di livello superiore che coinvolgono credenze così come segnali contestuali (Moore et al, 2014; Desantis et al, 2012). I risultati di questo studio suggerirebbero che la componente esplicita del senso dell'azione è conservata negli FMD. A questo proposito, vale la pena notare che tutti gli studi che hanno indagato il senso dell'azione negli FMD (compreso il nostro), hanno utilizzato esperimenti in cui sono stati richiesti ai soggetti movimenti volontari *normali*. In altre parole, ai pazienti è stato chiesto, ad esempio, premere un tasto (Edwards et al., 2013) o di sollevare ripetutamente il dito (nostro studio). Queste azioni possono essere eseguite abbastanza bene dai pazienti con FMD. Sono, cioè movimenti volontari *normali* e non il sintomo che il paziente presenta. Quindi, prendendo i risultati attuali e quelli di studi precedenti, potremmo ipotizzare che, nel caso di movimenti volontari *normali* che non sono correlati ai sintomi motori (ad esempio, la pressione dei tasti, *finger tapping*), esiste una dissociazione nei pazienti con FMD tra componenti implicite ed del senso dell'azione. Questa ipotesi ha bisogno di essere dimostrata con studi futuri che analizzino i movimenti anomali, come i sintomi motori funzionali. Quindi si può ipotizzare che un'indagine sperimentale del senso esplicito dell'azione in questo contesto avrebbe mostrato alcune modifiche.

I nostri risultati suggeriscono anche che il senso esplicito dell'azione potrebbe essere dissociato negli FMD. Infatti, mentre è conservato per movimenti volontari normali, sembra essere alterato per sintomi motori (ad esempio, tremore funzionale), come chiaramente osservato nella pratica clinica (Hallett, 2016). Potremmo ipotizzare che credere che il sintomo motorio abbia una base organica (come è spesso il caso in pazienti FMD) potrebbe minare le sensazioni di controllo dei pazienti sul sintomo stesso (Kranick e Hallett, 2013). Di conseguenza, questa forte convinzione preventiva potrebbe influenzare il loro giudizio esplicito nel senso dell'azione per i sintomi motori, ma non per i movimenti volontari normali, che non sono legati alla malattia. Questa ipotesi è in linea con precedenti studi su volontari sani che dimostrano che le componenti

esplicite del senso dell'azione si basano su processi cognitivi di alto livello, coinvolgendo anche le credenze (Moore et al., 2014; Desantis et al., 2012).

Al fine di verificare se i punteggi riferiti ad senso dell'azione fossero differenti a secondo della distribuzione dei sintomi presentati dai pazienti affetti da FMD, abbiamo inoltre svolto una ulteriore analisi definendo due sottogruppi di pazienti, caratterizzati da sintomi agli arti superiori piuttosto che agli inferiori. Anche in questo caso, la diversa localizzazione del disturbo non ha dato risultati di alterazioni dell'agency. Pertanto, sembra che avere un disturbo funzionale del tremore o del gait non influenzi l'esperienza soggettiva dell'agenzia riportata dai nostri pazienti affetti da FMD.

Nonostante ciò, questo studio ha alcune limitazioni: nel nostro studio abbiamo utilizzato una scala Likert a 7 punti. Anche se in uno studio precedente di RHI (Thakkar et al., 2011) questa scala era adatta a rilevare differenze tra gruppi (ad esempio, tra pazienti schizofrenici e partecipanti sani di controllo), si potrebbe sostenere che nel nostro caso non era abbastanza sensibile da cogliere potenziali alterazioni nei pazienti FMD.

## Capitolo 14

### **CONCLUSIONI**

La presente ricerca è iniziata con l'obiettivo di voler indagare se il senso di appartenenza corporea e quello dell'azione possano subire delle variazioni nei pazienti affetti da disturbi del movimento funzionali, ossia una classe di disordini in cui sono ancora molti gli aspetti da definire per avere una miglior comprensione e chiarimento dei meccanismi di produzione dei sintomi riportati dai pazienti stessi e della fisiopatologia sottostante. Questo è il primo studio empirico che dimostra che il senso esplicito dell'azione per movimenti volontari normali è conservato negli FMD. Insieme agli studi precedenti, il nostro studio mostra che il senso dell'azione è un fenomeno complesso, fatto di funzioni cognitive in cui gli aspetti impliciti ed espliciti potrebbero influenzare in modo diverso l'esperienza soggettiva del controllo motorio in pazienti FMD. Si possono ipotizzare due forme di dissociazione dunque: una tra il senso implicito dell'azione e quello esplicito negli FMD; una tra il senso esplicito dell'azione per movimenti volontari normali e per i sintomi motori. Ulteriori studi sono necessari per chiarire l'interazione tra le componenti implicite ed esplicite del senso dell'azione negli FMD e anche per chiarire i meccanismi alla base di una possibile dissociazione nel senso esplicito dell'azione tra il movimento volontario normale e i sintomi motori funzionali.



## BIBLIOGRAFIA

1. Albanese, A., & Lalli, S. (2009). Is this dystonia? *Movement Disorders* 24, 1725-1731.
2. Balconi, M. (2012). *Far capitare le cose. Pensiero e azione nelle neuroscienze cognitive*. Bologna: il Mulino.
3. Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: a social cognitive theory*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
4. Bays, P. M., Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2005). Perception of the consequences of self-action is temporally tuned and event driven. *Current Biology* 15, 1125-1128.
5. Benaderette, S., Zanotti, F.P., Apartis, E. et al. (2006). Psychogenic parkinsonism: a combination of clinical, electrophysiological, and [(123)I]-FP-CIT SPECT scan explorations improves diagnostic accuracy. *Mov Disord*. 21(3), 310-7.
6. Bermúdez, J. L., Marcel, A., & Eilan, N. (1998). *The body and the self*. MIT Press.
7. Bermúdez, J. L. (2011). Bodily Awareness and Self-Consciousness. In Gallagher, S. (ed.), pp. 157-179.
8. Berti, A., & Pia, L. (2006). Understanding Motor Awareness Through Normal and Pathological Behavior. *Current Directions in Psychological Science* 15, 245-250.
9. Blakemore, S. J., Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (2001). The cerebellum is involved in predicting the sensory consequences of action. *NeuroReport* 12, 1879-1884.
10. Blakemore SJ, Wolpert D, Frith C. (2000). Why can't you tickle yourself? *Neuroreport* 11, R11-6.
11. Blakemore SJ, Wolpert DM, Frith CD. (2002). Abnormalities in the awareness of action. *Trends Cogn Sci* 6(6), 237-242.
12. Blakemore SJ, Wolpert DM, Frith CD. (1998). Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nat Neurosci* 1, 635-40.
13. Bonnier, P. (1905). L'aschematic. *Revue Neurologique*, 13, 605-609.

14. Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature* 391, 756.
15. Bruno, N., Pavani, F., & Zampini, M. (2010). *La percezione multisensoriale*. Bologna: il Mulino.
16. Carson, A., Stone, J., Hibberd C. et al. (2011). Disability, distress and unemployment in neurology outpatients with symptoms ‘unexplained by disease’. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, in press.
17. D’Andrea, F. (2005). *Il corpo a più dimensioni: identità, consumo, comunicazione*. Milano: FrancoAngeli.
18. Dallochio C. (2011) *Psychogenic Movement Disorders Psychiatric Disorders – Trends and Developments*.
19. Davis, M. H. (1980). A Multidimensional Approach to Individual Differences in Empathy. *JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology* 10, 85.
20. De Lange, F. P., Roelofs, K., & Toni, I. (2008). Motor imagery: a window into the mechanism and alterations of the motor system. *Brain* 44:5, 494-506.
21. Demartini B, Ricciardi L, Crucianelli L, Fotopoulou A, Edwards MJ. (2016). Sense of body ownership in patients affected by functional motor symptoms (conversion disorder). *Conscious Cogn* 39, 70-76.
22. Desantis A, Roussel C, Waszak F (2011). On the influence of causal beliefs on the feeling of agency. *Conscious Cogn* 20: 1211–1220.
23. Desantis A, Weiss C, Schu¨tz-Bosbach S, Waszak F (2012). Believing and perceiving: Authorship belief modulates sensory attenuation. *PLoS One* 7:e37959. doi: 10.1371/journal.pone.0037959.
24. Edwards, M. J., & Bhatia, K. P. (2012). Functional (psychogenic) movement disorders: merging mind and brain. *The Lancet Neurology* 11, 250-260.
25. Edwards, M. J., Moretto, G., Schwingenschuh, P., Katschnig, P., Bhatia, K. P., & Haggard, P. (2011). Abnormal sense of intention preceding voluntary movement in patients with psychogenic tremor. *Neuropsychologia* 49, 2791-2793.
26. Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That’s My hand! Activity in Premotor Cortex Reflects Feeling of Ownership of a Limb. *Science* 305, 875-877.



27. Espay, A.J., Goldenhar, L.M, Voon, V., et al. (2009). Opinion and clinical practices related to diagnosing and managing patients with psychogenic movement disorders: an international survey of Movement Disorder Society Members. *Mov Disord.* 24(9):1366-74.
28. Factor, S.A., Podskalny,G.D., Molho, E.S. (1995). Psychogenic movement disorders. Frequency, clinical profile and characteristics. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 59, 406-412.
29. Factor, S, Lang, A.E, Weiner WJ. *Drug Induced Movement Disorders.* Mount Kisko, NY:Futura; 2005.
30. Fahn, S. (1994). Psychogenic movement disorders. In: Marsden CD, Fahn S (eds) *Movement Disorders 3.* Buitenw Heinem, Oxford, pp. 359-72.
31. Fahn, S. (2006). The history of psychogenic movement disorders. In: Hallet M, Yudofsky SC, Lang AE, et al., editors. *To psychogenic movement disorders.* Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins; pp. 24-31.
32. Farrer, C., Bouchereau, M., Jeannerod, M., & Franck,N. (2008).Effect of distorted visual feedback on the sense of agency. *Behavioural Neurology* 19, 53–57.
33. Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C. D., Decety, J., & Jeannerod, M. (2003). Modulating the experience of agency: a position emission tomography study. *NeuroImage* 18, 324-333.
34. Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing Oneself vs Another Person as Being the Cause of an Action: The Neural Correlates of the Experience of Agency. *NeuroImage* 15, 596-603.
35. Fink, G. R., Marshall, J. C., Halligan, P. W.,Frith, C. D., Driver, J., Frackowiack, R. S. J., & Dolan, R. J. (1999). The neural consequences of conflict between intention and the senses. *Brain* 122, 497-512.
36. Fiorio, M., Mariotti, C., Panzeri, M., Antonello,E., Classen, J., & Tinazzi, M. (2014). The Role of the Cerebellum in Dynamic Changes of the Sense of Body Ownership: A Study in Patients with Cerebellar Degeneration. *Journal of Cognitive Neuroscience* 26:4, 712-721.

37. Fiorio, M., Weise, D., Önal-Hartmann, C., Zeller, D., Tinazzi, M., & Classen, J. (2011). Impairment of the rubber hand illusion in focal hand dystonia. *Brain* 134, 1428-1437.
38. Frith, C. D., Blakemore, S. J., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 355, 1771-1788.
39. Fugali, E. (2012). I limiti del mio corpo sono I limiti del mio mondo. Il tema del corpo proprio nella riflessione filosofica contemporanea e nella scienza cognitiva incarnata. *Reti, saperi, linguaggi*. Bologna: Il Mulino.
40. Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences* 4, 14-21.
41. Gallagher, S. (2005). *How the body shapes the mind*. Oxford: Clarendon Press.
42. Gupta, A. Lang A.E. (2009). Psychogenic movement disorders. *Current Opin Neurol*. 22, 430-436.
43. Georgieff, N., & Jeannerod, M. (1998). Beyond consciousness of external reality. A “Who” system for consciousness of action and self-consciousness. *Consciousness and Cognition* 7, 465-477.
44. Gheorghiu, V. A., Hodapp, V., & Ludwig, C. M. (1975). Attempt to construct a scale for the measurement of the effect of suggestion on perception. *Educational and Psychological Measurement* 35:2, 341-352.
45. Haggard, P. (2005). Conscious intention and motor cognition. *Trends in Cognitive Sciences* 9, 290-295.
46. Haggard P., Chambon V. (2012). Sense of agency. *Curr Biol* 22:R390 - R392.
47. Haggard, P., & Clark, S. (2003). Intentional action: Conscious experience and neural prediction. *Consciousness and Cognition* 12, 695-707.
48. Haggard, P., & Magno, E. (1999). Localising awareness of action with transcranial magnetic stimulation. *Experimental Brain Research* 127:1, 102-107.
49. Haggard, P., Aschersleben, G., Gehrke, J., & Prinz, W. (2002). Action, binding, and awareness. *Common mechanisms in perception and action: Attention and Performance XIX*, 266.

50. Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382-385. doi:10.1038/nn827.
51. Hallett M (2016). Functional (psychogenic) movement disorders e Clinical presentations. *Parkinsonism and related disorders* 22: S149-S152.
52. Hallett M. (2010). Physiology of psychogenic movement disorders. *J Clin Neurosci* 17, 959-965.
53. Hallet, M. (2010). Physiology of psychogenic movement disorders. *J Clin Neuroscience*. 17, 959-65.
54. Jenkinson PM, Preston C (2015). New reflection on agency and ownership: the moving rubber hand illusion in the mirror. *Conscious and Cognition*, 33: 432-442.
55. Head, H., & Holmes, H. G. (1911/1912). Sensory Disturbances from Cerebral Lesions. *Brain*, 34, 2-3, 102-254.
56. Holmes, N. P., Crozier, G., & Spence, C. (2004). When mirrors lie: “Visual capture” of arm position impairs reaching performance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 4, 193-200.
57. Jeannerod, M. (2009). The sense of agency and its disturbances in schizophrenia: a reappraisal. *Experimental Brain Research* 192, 527-532.
58. Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience* 6, 1-14.
59. Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited: Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition* 26, 117-132.
60. Kammers, M. P. M., Verhagen, L., Dijkerman, H. C., Hogendoorn, H., De Vignemont, F., & Schutter, D. J. L. G. (2009). Is This Hand for Real? Attenuation of the Rubber Hand Illusion by Transcranial Magnetic Stimulation over the Inferior Parietal Lobule. *Journal of Cognitive Neuroscience* 21:7, 1311-1320.
61. Kotov, R. I., Bellman, S. B., & Watson, D. B. (2004). Multidimensional Iowa Suggestibility Scale (MISS). Brief Manual. Stony Brook University.

62. Kranick SM, Moore JM, Yusuf N, Martinez VT, LaFaver K, Edwards MJ, Mehta AR, Collins P, Harrison NA, Haggard P, Hallett M, Voon V (2013). Action-Effect binding is decreased in motor conversion disorder: implications for Sense of Agency. *Movement Disorders* (28) 8.
63. Lau, H.C., Rogers, R. D., Haggard, P., & Passingham, R. E. (2004). Attention to intention. *Science* 303, 1208-1210.
64. Libet, B. (2007). *Mind Time. Il fattore temporale nella coscienza*. Milano: Raffaello Cortina.
65. Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain* 106, 623-642.
66. Lozuolo A., Kalckert A., Petrovic P. (2015). When passive feels active - delusion proneness alters self-recognition in the moving rubber hand illusion. *Plos One*, 10(6): e0128549.
67. Makin, T. R., Holmes, N. P., & Ehrsson, H. H. (2008). On the other hand: Dummy hands and peripersonal space. *Behavioural Brain Research* 191, 1-10.
68. Macerollo A., Chen J, Pareés I., Kassavetis P., Kilner M., Edwards MJ. Sensory attenuation assessed by sensory evoked potentials in Functional Movement Disorders. *Plos One* 2015; 10:e0129507.
69. Mehta, A. R., Rowe, J. B., & Schrag, A. E. (2013). Imaging Psychogenic Movement Disorders. *Current Neurology and Neuroscience Reports* 13, 402.
70. Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1977). Imitation of Facial and Manual Gestures by Human Neonates. *Science*, 198, 4312, 74-78.
71. Molinari, E., & Riva, G. (2004). *Psicologia clinica dell'obesità*. Torino: Bollati Boringhieri, 57-82.
72. Moore JW, Middleton D, Haggard P, Fletcher PC (2012). Exploring implicit and explicit aspects of sense of agency. *Conscious Cogn* 21: 1748-1753.
73. Munhoz, R.P., Zavala, J.A., Becker, N., Teive H.A. (2010). Cross-cultural influences on psychogenic movement disorders - a comparative review with a Brazilian series of 83 cases. *Clin Neurol Neurosurg*. 113(2):115-8.

74. Nanetti, F., Cottini, L., & Busacchi, M. (1996). *Psicopedagogia del movimento umano*. Armando editore.
75. Pacherie, E., & Jeannerod, M. (2004). Agency, simulation and self-identification. *Mind & Language*, 19(2), 113-146.
76. Paree 's I, Kassavetis P, Saifee TA, et al. (2013). Failure of explicit movement control & in patients with functional motor symptoms. *Mov Disord* 28, 517-523.
77. Pavani, F., Spence, C., & Driver, J. (2000). Visual Capture of Touch: Out-of-the-Body Experiences With Rubber Gloves. *Psychological Science* 11, 353-359.
78. Pavani, F., & Zampini, M. (2007). The role of hand size in the fake - hand illusion paradigm. *Perception* 36, 1547-1554.
79. Petkova, V. I., Björnsdotter, M., Gentile, G., Jonsson, T., Li, T. -Q., & Ehrsson, H. H. (2011). From Part-to Whole-Body Ownership in the Multisensory Brain. *Current Biology* 21, 1118-1122.
80. Pick A. (1908). *Über storungen der orientierung am eigen korper*. Karger, Berlin.
81. Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., McNamara, J. O., & White, L. E. (2009). *Neuroscienze*. Zanichelli.
82. Ranawaya R, Riley D, Lang A. (1993). Psychogenic dyskinesias in patients with organic movement disorders. *Mov Disord* 5, 127-33.
83. Ritterband-Rosenbaum, A., Karabanov, A. N., Christensen, M. S., & Nielsen, J. B. (2014). 10 Hz rTMS over right parietal cortex alters sense of agency during self-controlled movements. *Frontiers in Human Neuroscience* 8, 1-7.
84. Roelofs K., De Bruijn, E. R. A., & Van Galen, G. P. (2006). Hyperactive action monitoring during motor-initiation in conversion paralysis: an event-related potential study. *Biological psychology* 71, 316-325.
85. Schilder, P. (1995). *Immagine di sé e schema corporeo*. Franco Angeli.
86. Schütz-Bosbach, S., Mancini, B., Aglioti, S. M., & Haggard, P. (2006). Self and other in the human motor system. *Current Biology*, 16(18), 1830-1834.
87. Shamy, M. C. F. (2010). The treatment of psychogenic movement disorders with suggestion is ethically justified. *Movement Disorders* 25:3, 260-264.

88. Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State-Trait-Anxiety Inventory (Form Y)*. Consulting Psychologists Press.
89. Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). Beyond the comparator model: A multifactorial two step account of agency. *Consciousness and Cognition* 17, 219-239.
90. Stone, J., Carson, A. (2010). Functional neurologic symptoms: assessment and management. *Neurol Clin.* 29:1-18.
91. Tessari, A., Tsakiris, M., Borghi, A. M., & Serino, A. (2010). The sense of body: A multidisciplinary approach to body representation. *Neuropsychologia* 48, 643-644.
92. Tinazzi M., & Morgante F. (2013). Disturbi del movimento funzionali. 11-21.
93. Tsakiris M., Longo, M. R., & Haggard, P. (2010). Having a body versus moving your body: Neural signatures of agency and body-ownership. *Neuropsychologia* 48, 2740-2749.
94. Tsakiris M., & Haggard, P.(2005). Experimenting with the acting self. *Cognitive neuropsychology* 22, 387-407.
95. Tsakiris M., & Haggard, P. (2005). The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuo tactile Integration and Self-Attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 31, 80-91.
96. Vallar G., & Papagno, C. (2007). *Manuale di neuropsicologia*. Bologna: il Mulino.
97. Voon V., Gallea, C., Hattori, N., Bruno, M., Ekanayake, V., & Hallett, M. (2010).The involuntary nature of conversion disorder. *Neurology* 74, 223-228.
98. Welch R. B., & Warren, D. H. (1980). Immediate perceptual response to inter sensory discrepancy. *Psychological Bulletin* 3, 638-667.
99. Williams D.T., Ford B., Fahn, S. (2005). Treatment issues in psychogenic-neuropsychiatric movement disorders. *Adv Neurol.* 96:350-63.
100. Willison J., Tombaugh TN. (2006). Detecting simulation of attention deficits using reaction time tests. *Arch Clin Neuropsychol* 21, 41-52.

101. Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269(5232), 1880-1882.





## **RINGRAZIAMENTI**

*Un sentito grazie a coloro che mi hanno accompagnato in questo percorso di studio e fase importante di crescita e vita.*

*Grazie al Prof. Federico Schena e Prof. Michele Tinazzi, miei importanti supervisori in tutte le mie scelte.*

*Mi avete accompagnato in un fantastico mondo...grazie!*

*Grazie alla Prof. Mirta Fiorio e alla Dott.ssa Angela Marotta, pronte a chiarire ogni miei dubbio, sempre disponibili ad ogni mia difficoltà.*

*Grazie al Dottor Carlo Dallochio, fondamentale nel reclutamento dei pazienti e nelle varie fasi di tutto il progetto di ricerca.*

*Grazie all'amico carissimo Dottor Roberto Erro...vicino...sempre.*

*Un sentito grazie a tutti gli amici, professori e ricercatori che hanno condiviso con me questi tre anni di dottorato di ricerca!*