

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea magistrale in Neuroscienze e riabilitazione neuropsicologica

Tesi di laurea magistrale

"Plant blindness: uno studio di stimolazione magnetica transcranica (TMS)"

"Plant blindness: a study with transcranial magnetic stimulation (TMS)"

Relatore: Prof. Umberto Castiello

Correlatrice: Dr. Silvia Guerra

Laureando: Giovanni Pesino

Matricola: 2017350

Anno Accademico 2022 / 2023

INDICE

ABSTRACT	7
INTRODUZIONE	9
CAPITOLO 1 – LA PLANT BLINDNESS.....	11
1.1 L'IMPORTANZA DELLE PIANTE	11
1.2 IL DISINTERESSE VERSO IL MONDO VEGETALE	11
1.3 IL FENOMENO DELLA PLANT BLINDNESS	13
1.3.1 <i>LE CAUSE DELLA CECITA' ALLE PIANTE</i>	14
Scarsa conoscenza verso il mondo vegetale.....	14
La scarsa attrattività delle piante.....	15
L'incapacità di focalizzarsi sulle piante rispetto tutto l'ambiente circostante	16
1.3.2 <i>VALUTARE LA PLANT BLINDNESS</i>	20
1.3.3 <i>SUPERARE LA PLANT BLINDNESS</i>	23
L'importanza di nuove modalità di insegnamento	24
I programmi educativi all'aperto.....	26
La necessità di rinnovare i programmi di conservazione.....	27
CAPITOLO 2 – IL SISTEMA D'OSSERVAZIONE DELLE AZIONI.....	29
2.1 IL SISTEMA DEI NEURONI SPECCHIO (MIRROR NEURON SYSTEM - MNS).....	29
2.2 IL MNS NELLA SCIMMIA	30
2.3 IL MNS NELL'ESSERE UMANO.....	35
2.3.1 <i>I FATTORI CHE MODULANO IL SISTEMA DEI NEURONI SPECCHIO</i>	38
Tipologia di azione osservata	38
Modello osservato	42
Familiarità con il gesto osservato.....	48
CAPITOLO 3 – L'ESPERIMENTO	51
3.1. IL METODO	51
3.1.1 <i>PARTECIPANTI</i>	51
3.1.2 <i>STIMOLI SPERIMENTALI</i>	52
3.1.3 <i>STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA (TMS) E REGISTRAZIONE DEI POTENZIALI EVOCATI MOTORI (MEP)</i>	53

3.1.4 <i>QUESTIONARIO SUL RUOLO E L'IMPORTANZA DELLE PIANTE PER LA VITA UMANA E DEGLI ORGANISMI VIVENTI</i>	54
3.1.5 <i>PROCEDURA</i>	55
3.1.6 <i>ANALISI DEI DATI</i>	56
3.2 RISULTATI	57
3.2.1 <i>UMANO CONTRO PIANTA: STESSO OBIETTIVO, MA CARATTERISTICHE DI MOVIMENTO DIVERSE</i>	57
3.2.2 <i>UMANO CONTRO PIANTA: STESSO OBIETTIVO E STESSE CARATTERISTICHE DI MOVIMENTO</i>	58
3.2.3 <i>UMANI CONTRO PIANTA: IMPATTO DELLA FAMILIARITA' SULLA RISONANZA MOTORIA</i>	58
CAPITOLO 4 – DISCUSSIONE	61
CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI	65
BIBLIOGRAFIA	67

ABSTRACT

Le piante rappresentano il 99% della biomassa terrestre e, nonostante ciò, non le ‘vediamo’ o, le percepiamo solo come un mero sfondo. L’inabilità nel vedere, apprezzare e nel porre attenzione alle piante è un fenomeno osservato in molti individui ed è chiamato “*Plant blindness*”. Ad oggi, il fenomeno della *plant blindness* è ancora poco conosciuto e ulteriori studi sono necessari per indagare le cause (e.g., fattori biologici e/o culturali) sottostanti tale fenomeno. Tra i fattori principali alla base della *plant blindness* sembrerebbe esserci la mancanza di movimento visibile delle piante, fattore che le rende meno prominenti all'occhio umano.

Nella presente tesi abbiamo testato l’idea che osservare il movimento delle piante nella nostra scala temporale possa cambiare il modo in cui noi poniamo attenzione verso queste. In particolare, la presente ricerca ha indagato se l’osservazione di azioni eseguite da una pianta, ovvero da un organismo appartenente ad un’altra specie, possa avere un effetto sulla modulazione della facilitazione motoria nell’osservatore. I partecipanti hanno osservato dei brevi video in cui un essere umano o una pianta rampicante eseguiva un movimento di raggiungimento e prensione verso un bastoncino di legno. Sono state realizzate anche delle condizioni di controllo in cui venivano presentati all’osservatore dei video di una mano o una pianta stazionaria o una mano o una pianta che ruotavano lungo i loro assi. Durante l’osservazione dei video è stata stimolata l’area della corteccia motoria primaria (M1) mediante la stimolazione magnetica transcranica a singolo impulso (TMS) con concomitante registrazione dei potenziali evocati motori (MEPs).

I risultati hanno evidenziato una maggiore attivazione motoria durante l’osservazione di movimenti eseguiti da una pianta rispetto a quelli eseguiti da un essere umano. Tuttavia, i partecipanti più sensibili all'importanza delle piante hanno mostrato una minore attivazione motoria rispetto a quelli che non consideravano le piante rilevanti. Livelli più elevati di attivazione motoria possono indicare un maggior grado di sforzo nell'interpretazione dell'azione osservata, quando è percepita come non familiare dall'osservatore. Uno sforzo che può essere ridotto attraverso la consapevolezza e la conoscenza del ruolo e dell'importanza del regno verde per la vita sulla Terra. In sintesi, riportiamo per la prima volta prove neurofisiologiche relative ai meccanismi alla base del fenomeno della *plant blindness*.

INTRODUZIONE

Le piante sono parte integrante del nostro ambiente naturale, tanto da rappresentare la maggior parte della biomassa presente sul pianeta, svolgendo un ruolo cruciale nel sostentamento della vita dell'uomo sulla terra. Seppure indispensabili per la nostra sopravvivenza, così come quella degli animali e del pianeta stesso, l'essere umano non sembra essere particolarmente consapevole del ruolo delle piante, tanto da sottostimare la loro importanza con conseguenze devastanti sulla biodiversità, sul corretto funzionamento degli ecosistemi, generando così un notevole aumento dell'inquinamento della terra. La causa di questa noncuranza è da ricercarsi in quel fenomeno che Wandersee e Schussler (1999) hanno definito come "*Plant Blindness*", ovvero cecità alle piante. Anche se di recente scoperta, l'incapacità nel vedere, riconoscere ed apprezzare l'importanza delle piante è un fenomeno che affonda le sue radici sin nell'antichità, frutto di aspetti culturali e sociali, del percorso di studi che si intraprende, oltre che delle proprie inclinazioni e passioni. Questa loro sottorappresentazione ha dato origine ad un certo antropocentrismo e ad un maggior interesse nei confronti delle specie animali piuttosto che quelle vegetali. Tuttavia, la mancanza di consapevolezza e del riconoscimento delle piante ha suscitato una crescente attenzione negli ultimi anni, spingendo i ricercatori a comprendere le cause, le implicazioni e i possibili rimedi di questa lacuna percettiva.

Il presente lavoro nasce da quest'esigenza di esplorare a fondo le cause, le modalità attraverso le quali si manifesta e le possibili soluzioni per ovviare alla *plant blindness*. Da un punto di vista fisiologico, la nostra ricerca si è concentrata nell'indagare come il nostro sistema motorio si attivi durante l'osservazione dei movimenti delle piante. In particolare, è stato ipotizzato che la *plant blindness* sia causata dal fatto che, gli esseri umani percepiscono queste come immobili. Tuttavia, se fosse vero che il nostro sistema motorio presentasse un'attivazione in risposta ai movimenti delle piante che osserviamo, allora potremmo anche comprenderne il significato, e ciò potrebbe aiutare a superare la *plant blindness*.

A tal proposito, il primo capitolo di questa tesi approfondisce il concetto di cecità alle piante, esplorandone le origini, le manifestazioni e le potenziali conseguenze sia per gli individui sia per gli ecosistemi. In particolare, ci si concentrerà sullo zoo-centrismo dovuto al disinteresse verso le piante, e le modalità attraverso cui, il nostro sistema cognitivo risponde alla visione di piante sia da un punto di vista attentivo che percettivo. Si parlerà poi, della misurazione di tale fenomeno e delle differenti modalità attraverso cui favorire una maggior attenzione e interesse circa il mondo vegetale.

Nel secondo capitolo verrà introdotto il sistema dei neuroni specchio (MNS) descrivendone il ruolo fondamentale nella comprensione delle azioni altrui, e dei fattori che influenzano maggiormente il fenomeno di risonanza motoria che avviene durante la visione di tali movimenti. Il focus sarà posto

su quegli aspetti che favoriscono l'attivazione del sistema motorio anche in quelle condizioni, ancora poco studiate, che coinvolgono le azioni di altre specie e l'utilizzo di effettori diversi da quelli tipicamente umani. Questo con il fine di capire se sia possibile l'attivazione del nostro sistema specchio anche durante la visione dei movimenti delle piante.

Nel terzo capitolo verrà presentato il nostro studio, il primo ad avere come obiettivo la rilevazione dei potenziali evocati motori a livello dei muscoli della mano, dovuti all'attivazione dei neuroni specchio nella corteccia motoria primaria durante la visione di movimenti di prensione da parte di piante di pisello (*Pisum sativum* L.).

Infine, nel quarto capitolo, verranno discussi i risultati della presente ricerca.

CAPITOLO 1 – LA PLANT BLINDNESS

1.1 L'IMPORTANZA DELLE PIANTE

Le piante rappresentano oltre il 99% della biomassa del nostro pianeta (Bar-On, Phillips & Milo, 2018), dominando in quantità sia sugli esseri umani che sugli animali. L'importanza delle piante è resa evidente dalle loro peculiarità: producono ossigeno attraverso la fotosintesi, sono fonte di cibo per animali ed esseri umani, forniscono riparo alla fauna, regolano il ciclo dell'acqua e la salute del suolo, mantengono la biodiversità all'interno dei vari ecosistemi, diminuiscono la percentuale di anidride carbonica e di altri inquinanti nell'aria (Knapp, 2003; Ziska, Epstein & Schlesinger, 2009).

Sin dall'antichità le piante sono state utilizzate per scopi medici, da esse oggi traiamo circa il 95% di tutti i principi medicinali utilizzati dall'uomo, ad esempio l'aspirina che deriva dal salice bianco (*Salix alba* L.). Queste, inoltre, offrono materie prime che l'uomo utilizza per scopi diversi come, la produzione di energia, carta, legno, vestiti, e tanti altri prodotti. Ed ancora, sono molto importanti poiché garantiscono l'ombra, la riduzione del rumore, fungono da frangivento e sono essenziali per prevenire l'erosione e per proteggerci da disastri naturali come frane e inondazioni. Da un punto di vista sociale, le piante svolgono un ruolo cruciale in molti rituali culturali e religiosi, ad esempio, la salvia (*Salvia officinalis* L.) che è una pianta sacra per molte culture indigene delle Americhe e viene spesso utilizzata in rituali di purificazione e guarigione, poiché si crede che le sue proprietà abbiano il potere di purificare lo spirito e il corpo; come pure il giglio (*Lilium candidum* L.) che è spesso utilizzato nei matrimoni di diverse culture, come in quelle asiatiche, dove è considerato un simbolo di prosperità e fortuna.

In conclusione, dalle piante dipendono le nostre vite e quelle degli animali, e queste ci forniscono energia, che a loro volta prendono dal sole per soddisfare i propri bisogni. Le piante ricoprono una funzione universale, configurandosi come mediatori tra sole e mondo animale, e rappresentando il punto di unione tra tutte le attività del mondo organico e della vita, dovremmo pertanto prenderci cura di loro come queste si prendono cura di noi. Nonostante le funzioni delle piante siano molte ed eterogenee, possono sfuggire ad un occhio poco attento, che molto spesso tende ad avere una visione superficiale sulla loro importanza, riassumibile in un semplice ciclo di crescita, nutrizione e riproduzione. Visione ulteriormente consolidata dalla apparente assenza di movimento da parte delle piante, che è la principale discriminante tra piante e animali.

1.2 IL DISINTERESSE VERSO IL MONDO VEGETALE

Sebbene le piante permettano la vita su questo pianeta, gli esseri umani dimostrano un generale disinteresse nei confronti del mondo vegetale. Un distacco riscontrabile già in epoche molto meno recenti. Fin dalle primordiali espressioni di arte umana, lo spazio dedicato alle piante è quasi nullo. Dal paleolitico, ad esempio, ci giungono numerosi disegni che ritraggono principalmente scene di caccia e di animali, a dimostrazione del fatto che anche l'uomo primitivo non era particolarmente interessato a rappresentare le piante. Anche nella Sacra Bibbia, sembra quasi che le piante non godessero della stessa considerazione divina che è data a tutti i viventi del regno animale, zoocentrismo che si nota anche nell'arte romana, e ancor più dietro in quella egizia. In queste culture la flora ricopre infatti, una funzione sempre e solo marginale rispetto all'attenzione che ruota attorno alla biologia animale: le piante sono sottorappresentate. Inoltre, le due principali caratteristiche associate alle piante, immobilità e insensibilità, che si ritiene siano proprietà naturali delle piante, sono in realtà il frutto di una costruzione culturale che risale ai tempi di Aristotele (Mancuso, 2006). Ci rendiamo conto di una sorta di zoocentrismo che ha sempre caratterizzato la storia dell'uomo fino ai giorni nostri, indicando la tendenza a considerare in maniera prevalente la vita umana (antropocentrismo), rispetto a quella delle piante e degli altri esseri viventi.

Negli ultimi anni, la rapida deforestazione su larga scala determinata dallo sviluppo degli insediamenti, agricoltura e infrastrutture, ha inflitto un grave colpo sia alla conservazione della flora che alla biodiversità, tenendo conto che la maggior parte delle specie animali che vivono nelle foreste sono incapaci di vivere in habitat diversi dalla foresta (Dudley & File, 2007). Inoltre, l'importanza globale delle emissioni di gas serra causate dalla perdita di piante ha suscitato una crescente attenzione, spingendo governi, organizzazioni per la conservazione e agenzie internazionali a sviluppare strategie per la protezione degli habitat naturali (Baumert, Herzog & Pershing 2006). Si è presa sempre più coscienza di questa tendenza umana a considerare le piante come un semplice strumento nelle nostre mani, piuttosto che un elemento fondamentale per la nostra vita e per quella di tutti gli esseri viventi. Tutte queste tematiche hanno portato ad un aumento degli studi scientifici relativi a questo antropocentrismo a dispetto delle altre forme di vita, sottolineando come gli esseri umani continuino ad essere relativamente inconsapevoli della presenza delle piante (Amprazis & Papadopoulou, 2020). Propensione che porta l'uomo ad implementare programmi di conservazione delle specie in via di estinzione tassonomicamente sbilanciate verso gli animali, anche se le piante rappresentano la categoria con più specie a rischio (Mammola, Riccardi, Pri, Correla, Cardoso, Lopes-Lima, & Souda, 2020). Per esempio, ogni anno una massa di piante, di cui sappiamo poco o nulla, che copre un'area grande quanto la

Polonia (Kareiva & Marvier, 2003) si estingue, disperdendo tutti i benefici che queste avrebbero potuto apportare all'uomo. Si stima appunto che noi conosciamo soltanto il 5-10 % delle specie vegetali presenti sulla terra. Tuttavia, è difficile proteggere la natura senza aumentare la consapevolezza sui diversi problemi ambientali. Oggigiorno le cause di questi *bias* sono diverse, le piante infatti, sono per lo più cromaticamente omogenee, spesso crescono vicine l'una all'altra e si muovono su scale temporali molto diverse, rispetto quelle umane, che le fanno apparire inanimate (Wandersee & Schussler, 2001).

Un'altra ipotesi si concentra invece sull'istruzione, in cui l'eterogeneità e la rilevanza delle piante per la vita umana viene ignorata o sotto enfatizzata a discapito del regno animale. Possiamo dunque etichettare i vari programmi di studi come zoocentrici o zoochauvinistici, ovvero, che riflettono l'idea sbagliata che l'istruzione relativa agli animali sia più importante di quella delle piante. Gli psicologi evoluzionistici, inoltre, indicano come gli adulti abbiano delle rappresentazioni mentali degli animali piuttosto robuste rispetto a quelle relative alle piante, interesse dovuto alla maggior importanza funzionale degli animali per la sopravvivenza. Dati che vanno ad integrarsi con l'idea che l'eredità evolutiva causata dalle interazioni predatore-preda dagli ambienti ancestrali possa aver modellato gli esseri umani a rispondere in modo preferenziale agli animali piuttosto che alle piante (New, Cosimides & Tooby, 2007). Pertanto, gli studiosi hanno coniato il fenomeno "*Plant Blindness*" (i.e., cecità alle piante) per cogliere il mancato impegno in campo botanico da parte dell'uomo (Wandersee & Schussler, 2001).

1.3 IL FENOMENO DELLA PLANT BLINDNESS

Data questa scarsa considerazione delle piante, la letteratura scientifica ha iniziato a concentrarsi sulle possibili cause e gli eventuali rimedi per contrastare questo fenomeno. Proprio per questo, Wandersee e Schussler (1999, 2001) hanno introdotto il termine "cecità alle piante" che si riferisce alla mancanza di consapevolezza e alla carenza di conoscenze relative alla vegetazione presente nel proprio ambiente. Termine che Strgar (2007), ha poi definito come l'incapacità di: (i) vedere o notare le piante nel proprio ambiente; (ii) riconoscere e apprezzare l'utilità delle piante nell'ambiente e negli affari umani; (iii) apprezzare le caratteristiche estetiche e biologiche uniche delle piante; (iv) classificare le piante come inferiori agli animali. Si introduce così anche l'idea che la percezione visiva possa limitare la capacità delle persone di vedere e, di conseguenza, apprezzare e valutare le piante. Dunque, la *plant blindness* rappresenta un'importante problematica da risolvere tra gli scienziati e gli ambientalisti, poiché comporta un disinteressamento verso il ruolo che le piante svolgono all'interno dei vari ecosistemi e nella vita di tutti gli esseri viventi. Negli ultimi anni si è aperta una discussione in merito

al termine "cecità vegetale" in quanto esso può essere interpretato come una sorta di disabilità. Per questo in letteratura sono stati proposti ed introdotti termini alternativi come "*plant awareness disparity*" (Parsley, 2020) o "*biodiversity naivety*" (Niemiller, Davis, & Niemiller, 2021). Nella presente tesi, utilizzerò il termine originale "cecità vegetale" (i.e., *plant blindness*) di Wandersee e Schussler (1999).

1.3.1 LE CAUSE DELLA CECITA' ALLE PIANTE

Nonostante questa tendenza a prestare poca attenzione alla flora sia ben radicata nell'uomo sin dall'antichità, vari studiosi hanno cercato di individuarne le principali cause attraverso una serie di ricerche utilizzando diverse metodiche.

Scarsa conoscenza verso il mondo vegetale

Le ipotesi iniziali fanno principalmente riferimento all'impronta zoocentrica nel mondo accademico. L'istruzione e i libri di testo, infatti, riflettono la convinzione pervasiva che lo studio degli animali sia più importante di quello delle piante (Bozniak, 1994; Darley, 1990; Flannery, 1991; Hershey, 1996, 2002). Tanto che Bozniak (1994) ha coniato il termine "zoochauvinista" per indicare la predominanza dell'attenzione verso gli animali da parte degli insegnanti di biologia. In effetti, vari studiosi attribuiscono la scarsa conoscenza sulle piante al focus della formazione biologica. Per esempio, il ricercatore Uno (1994) ha rilevato che i volumi di biologia delle scuole superiori dedicano solamente il 14% dei capitoli, e il 20% delle esercitazioni di laboratorio alle piante e agli argomenti botanici. Così come i libri di testo di scienze delle scuole elementari includono più contenuti sugli animali, come dimostrano il numero e la diversità delle immagini, la quantità di testo e il numero di esempi animali di concetti biologici fondamentali (Link-Pérez, Dollo, Weber & Schussler, 2009; Schussler, Link-Pérez, Weber & Dollo, 2010).

Successivamente, numerosi studi (Baird et al., 1984; Kinchin, 1999; Wandersee, 1986) hanno osservato che gli studenti hanno una chiara preferenza per lo studio di argomenti zoologici rispetto a quelli botanici, anche nel caso in cui gli esemplari di piante e di animali non sono conosciuti dagli studenti. Tuttavia, anche se alcune ricerche scientifiche suggeriscono che la conoscenza dell'ambiente è un precursore essenziale della formazione di un atteggiamento pro-ambientale (Kaiser, Wolfing & Fuhrer 1999), ci sono altre evidenze (Kollmuss & Agyeman, 2002; Saunders, Brook & Myers, 2006) che hanno dimostrato che spesso, la conoscenza e l'atteggiamento hanno un debole legame con le modifiche del comportamento.

Inoltre, ci sono studi che rilevano sì, degli atteggiamenti positivi da parte degli studenti verso l'ambiente (Smith-Sebasto & Cavern, 2006; Tuncer, Ertepinar, Tekkaya & Sungur, 2005), ma che le loro conoscenze ambientali sono scarse e frammentarie e rari i comportamenti pro-ambiente (Heimlich & Ardoin, 2008; Naito et al., 2010; Rice, 2006). Risultati che mostrano come il legame tra le conoscenze, e gli atteggiamenti pro-ambientali non sia ancora del tutto compreso (Kuhlemeier, Van Den Bergh & Lagerweij, 1999). Il tutto, ci porta a comprendere che la sola conoscenza ambientale non sia sufficiente a risolvere i problemi legati all'ambiente, tanto è, che il tipico apprendimento accademico spesso si traduce in atteggiamenti negativi verso le scienze ambientali (Shrigley, 1990). Bisognerebbe dunque trovare delle valide alternative all'insegnamento convenzionale in grado di avvicinare sin dall'infanzia gli studenti alle tematiche ambientali, in modo tale che sviluppino un atteggiamento favorevole con conseguenze positive sui comportamenti pro-ambientali.

La scarsa attrattività delle piante

Un'ulteriore causa della *plant blindness* può essere rappresentata dalla scarsa attrattività che le piante suscitano nell'uomo rispetto a quella provocata dagli animali, in particolare, quelli di grandi dimensioni. Scarso interesse dovuto a determinate caratteristiche delle piante, come l'assenza di movimento e del volto, l'uniformità cromatica e il loro peculiare raggruppamento in grandi quantità, oltre al fatto che, di solito non rappresentano un pericolo per l'uomo (Wandersee & Schussler, 2001). Oltre ad una maggiore preferenza, gli esseri umani tendono ad avere un ricordo superiore, e riescono ad individuare meglio gli animali, rispetto alle piante, proprio come dimostrato dallo studio di Schussler e Olzak (2008). Gli autori hanno sottoposto alcuni studenti universitari, provenienti da corsi di psicologia e botanica, ad un compito di richiamo esplicito, partendo dall'ipotesi che questi avrebbero ricordato più immagini di animali che di piante (Schussler & Olzak, 2008). Per testare questa ipotesi hanno presentato una sequenza di immagini che raffiguravano un singolo elemento pianta o un singolo elemento animale, stimoli entrambi nominabili e familiari. Dopo un breve compito di distrazione, gli studenti erano invitati ad elencare il maggior numero di immagini viste in precedenza, e i risultati hanno mostrato che, nonostante le caratteristiche degli stimoli, e a prescindere dal corso che gli studenti frequentavano, questi ultimi ricordavano meglio le immagini ritraenti animali. Tuttavia, questi risultati presentano un limite, infatti come abbiamo già discusso, i libri di testo sembrano sovra-rappresentare gli animali, come dimostrano gli studi sui manuali. Dunque, è plausibile che il richiamo degli animali rispetto alle piante sia supportato in maggior misura da una solida struttura mentale che gli studenti hanno costruito durante i loro studi. Pertanto, il compito di richiamo potrebbe essere stato

influenzato da un percorso di studi già zoocentrici. Sebbene si ipotizzi che vari fattori come la somiglianza visiva o fonologica del *target* con i distrattori oppure, la salienza visiva del *target*, che concorrono nel richiamo, siano ben assortiti, è difficile determinare quali aspetti della memoria visiva possano essere diversi tra il richiamo di piante e quello di animali. A tal proposito una possibilità è che le immagini delle piante, a differenza di quelle animali, vengano codificate in modo blando, portando così ad un ricordo qualitativamente povero.

L'incapacità di focalizzarsi sulle piante rispetto tutto l'ambiente circostante

Altra ipotesi ancora, è che la *plant blindness* rifletta un'incapacità nello scegliere in maniera selettiva le informazioni di una parte dell'ambiente, necessarie ad un'ulteriore elaborazione ambientale. Ipotesi che ha spinto Balas e Momsen (2014) a chiedersi se la cecità alle piante possa essere effettivamente legata ad una difficoltà nel vedere le piante rispetto tutto l'ambiente circostante. Questi, hanno svolto uno studio utilizzando una tecnica di percezione visiva, ovvero l'*attentional blink* (i.e., ammiccamento), un fenomeno in cui l'individuazione del primo di due *target* in una sequenza di immagini presentate rapidamente, danneggia la capacità di individuare il secondo per un breve lasso di tempo (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992; Shapiro, Arnell & Raymond, 1997). In particolare, ai partecipanti è richiesto di svolgere un compito di rilevamento di due *target*, (i.e., T1 e T2) all'interno di una sequenza di stimoli presentati molto rapidamente (i.e., 10-50 ms per stimolo). Nell'insieme, i partecipanti riescono a segnalare la presenza o l'assenza di T1 in modo accurato ed altamente efficiente anche per i bersagli più complessi. Mentre la rilevazione di T2 è influenzata in maniera robusta da T1. Infatti, quando quest'ultimo è assente, T2 viene indicato. Quando invece T2 compare entro ~ 500 ms dalla apparizione di T1, la rilevazione di T2 cala drasticamente. Motivo di questa scarsa rilevazione potrebbe essere l'incapacità dell'attenzione visiva, di disancorarsi dal primo *target* (T1) in una breve finestra temporale a causa delle limitate risorse a disposizione. La natura dell'impatto di T1 su T2 è stata utilizzata per definire le proprietà dell'attenzione visiva in generale (Vul, Nieuwenstein & Kanwisher, 2008) ed è usata anche per misurare in che modo due diversi tipi di stimoli catturino l'attenzione. In certi casi, infatti, i *target* presentano delle proprietà che permettono di superare le limitazioni dell'attenzione visiva. Per esempio, stimoli altamente salienti (diversi fra loro oppure carichi emotivamente) vengono rilevati e percepiti molto velocemente anche se questi vengono presentati nel refrattario post T1 (Keil & Ihssen, 2004; Raymond, Shapiro & Arnell, 1995). Balas e Momsen (2014), hanno voluto osservare se le piante catturassero effettivamente l'attenzione in modo meno marcato rispetto agli animali, utilizzando appunto un compito di questo genere. Ventiquattro studenti americani sono stati sottoposti al paradigma dell'*attentional blink*, che ha permesso di esaminare il modo in cui,

il rilevamento di immagini contenenti piante o animali (T1) in una sequenza di 24 diapositive a colori e presentate rapidamente, ha influenzato la rilevazione di un secondo *target*, ovvero immagini contenenti acqua (T2). I partecipanti visualizzavano ogni sequenza per determinare se questa contenesse o meno un'immagine appartenente a una delle due categorie *target* (Piante/Animali e Acqua), infatti una metà dei partecipanti doveva rilevare immagini di piante (T1) e immagini di acqua (T2; condizione "pianta"), e l'altra metà immagini di animali (T1) e acqua (T2; condizione "animale"). I risultati hanno evidenziato che la nostra attenzione non viene catturata dalle piante allo stesso modo degli animali. Il grado di rilevamento delle immagini animali è migliore rispetto alle immagini di piante, e che il tasso di falsi allarmi in T1 per le piante è stato molto più alto di quello degli animali. Questa diversa sensibilità rilevata per i *target* T1 vegetali e animali, dimostra come le piante vengano rilevate in modo meno affidabile in una sequenza di immagini rispetto agli animali, e questi dati indicano come alcuni obiettivi siano più facilmente rilevati rispetto ad altri. Pertanto, la cecità alle piante può scaturire dalle differenze nel modo in cui l'attenzione è rivolta a quest' ultime, e tutto ciò rende più complesso osservarle. Oltre ad un maggior numero di falsi allarmi per gli stimoli pianta in T1, i risultati dello studio dimostrano che il rilevamento del secondo *target* (T2) è modulato da come l'attenzione viene assegnata ad altri elementi stimolanti o coinvolgenti (Arnell, Killman & Fijavz, 2007). La differenza tra gli obiettivi indica che l'attenzione visiva ha un diverso periodo refrattario quando viene rilevata una pianta, dunque i *target* animali inducono un immediato decremento nel rilevamento del T2, mentre gli obiettivi delle piante producono un'influenza che si manifesta con ritardo. In altre parole, l'attenzione alle piante è ritardata, ma non ridotta, rispetto all'attenzione agli animali (Vul et al., 2008). In generale i risultati dimostrano che le piante non vengono rilevate in modo così robusto come avviene con gli animali, né catturano le risorse attentive in modo rapido.

Concludendo, si può affermare che la cecità alle piante deriva dalle differenze nell'elaborazione visiva delle piante rispetto a quella degli animali, e quindi, che la flora sia più difficili da rilevare. Tuttavia, un limite dello studio potrebbe essere rappresentato dal fatto che gli stimoli presentati consistono in immagini di singoli animali e singole piante, tralasciando aspetti fondamentali della *plant blindness*, ad esempio, se questa possa influire anche sul richiamo di più elementi in scene naturalistiche complesse.

A tal proposito Zani e Low (2022) hanno messo a punto un compito che misura le prestazioni nel richiamo di fotografie che ritraggono simultaneamente un elemento animale e un elemento vegetale, come ad esempio un albero affianco un cavallo. In questo modo, si può arrivare ad un modello teorico più completo riguardo la *plant blindness*, osservando appunto, se questa possa avere un impatto

significativo anche nella codifica di scene complesse e sulla capacità di formare rappresentazioni mnestiche più ricche e minuziose, unendo insieme più elementi. Gli autori, come punto di partenza, si sono concentrati su alcune evidenze scientifiche che dimostrano come le attività che favoriscono l'attenzione e l'impegno umano nei confronti delle piante (nuovi modelli d'istruzione o lavori botanici sul campo) possono spostare le percezioni e quindi favorire l'interesse per le piante (Colon et al., 2020; Fančovičová & Prokop, 2011). Successivamente, gli autori si sono interrogati sulla fattibilità di ridurre l'impatto negativo della *plant blindness* sul richiamo, attraverso l'utilizzo del priming. Tecnica che si riferisce al fenomeno psicologico per cui l'esposizione a uno stimolo influenza la risposta allo stimolo successivo. Alcuni studi indicano che la precedente esposizione a un segnale verbale o visivo può facilitare l'elaborazione successiva degli adulti e il richiamo degli stimoli correlati (Balçetis & Dale, 2007; Durso & Johnson, 1979). Per esempio, se una persona viene innescata con la parola "pianta", è probabile che reagisca più rapidamente a parole legate alla botanica. Una spiegazione circa gli effetti del *priming* è identificabile nel fatto che, gli esseri umani codificano e immagazzinano le informazioni in una struttura a rete, in cui l'elaborazione di uno stimolo può propagarsi per facilitare l'elaborazione successiva di stimoli correlati attraverso un'attivazione diffusa (Anderson, 1983). Con l'obiettivo di indagare gli effetti della *plant blindness* sulla codifica di scene complesse ed osservare se il *priming* riesce a stimolare comportamenti prosociali rivolti al mondo botanico, Zani e Low (2022) hanno selezionato delle foto a doppio elemento, cioè, contenenti contemporaneamente sia piante che animali. Nel seguente studio i partecipanti sono stati sottoposti a tre esperimenti: (i) nel primo esperimento, sono stati testati 59 partecipanti durante l'osservazione di 40 immagini raffiguranti un singolo oggetto, 4 un singolo animale, 4 una singola pianta, 8 con un oggetto insieme ad un altro oggetto e 4 con una pianta insieme ad un animale. Immagini in cui ogni elemento rappresentato doveva essere facilmente identificabile; dove il soggetto doveva essere inequivocabile, ovvero l'elemento principale; e quando presenti due elementi insieme, dovevano anche essere seduti in primo piano senza mai sovrapporsi. Le immagini usate erano non stereotipiche, per fare in modo che il richiamo non fosse influenzato dall'iconicità della specie. L'esperimento consisteva nell'indicare, nel corso di 12 prove, tutti gli elementi visti nell'ultimo set di immagini durante una prova di richiamo libero, questo, immediatamente dopo la visione di due foto presentate a distanza di 3 secondi l'una dall'altra. In questo primo esperimento è stato individuato un robusto effetto di cecità alle piante sul richiamo immediato, gli adulti infatti hanno ricordato meno bersagli vegetali rispetto agli obiettivi animali. Risultati che si integrano ai precedenti studi di Balas e Momsen, (2014) e di Schussler e Olzak, (2008), che mostrano come la *plant blindness* influisce negativamente sulle attività di memoria riguardanti singoli elementi vegetali,

effetto che, come visto da questo esperimento, si estende anche a compiti di memoria a doppio elemento.

(ii) Nel secondo studio, viene introdotto il *priming* verbale, questo, per testare l'ipotesi di una facilitazione dell'elaborazione visiva e del richiamo di scene complesse, attraverso un'affermazione circa il fatto che le piante comprendono la maggior parte della forma di vita della Terra (Bar-On et al., 2018). Sessantadue partecipanti, hanno eseguito lo stesso compito di memoria del 1° esperimento, ma prima che il *task* iniziasse compariva un messaggio di innesco della durata di 7 secondi con la seguente affermazione "Ma tu lo sapevi? Gli studi dimostrano che le piante rappresentano l'80% della forma di vita del mondo". Contrariamente alle aspettative degli autori, i risultati continuavano a mostrare, come nel primo esperimento, un marcato effetto della cecità alle piante nel richiamo libero nonostante il *priming*, e, di conseguenza, i partecipanti hanno ricordato un minor numero di bersagli vegetali rispetto a quelli animali. Il fatto che il *priming* non abbia ridotto l'effetto delle cecità può essere dovuto, o alla troppa generalità del *prime*, che avrebbe dovuto essere più pertinente alle operazioni di richiamo; oppure all'elaborazione cross-modale, il *prime* potrebbe aver avuto poco effetto perché sollecitava un'elaborazione verbale mentre il *target* nel compito di memoria richiedeva un'elaborazione visiva.

(iii) Per ovviare a questi problemi, nel terzo esperimento, sono stati usati *prime* con immagini botaniche relative al compito di richiamo, e la procedura è stata adattata per accertarsi che i *trial* con le piante venissero distribuiti prima dei *trial* con il doppio *target*. Sessantuno partecipanti hanno svolto la prova di richiamo, identica alle due precedenti, ma in questo caso il *prime* era un'immagine progettata appositamente per essere correlate agli obiettivi del compito di memoria. Tuttavia, anche se non c'è stata nessuna differenza nel richiamo dei partecipanti degli obiettivi delle piante e degli obiettivi degli animali, nel complesso, c'è stata una mitigazione della cecità delle piante quando i soggetti venivano innescati visivamente con *prime*-pianta. Lo studio di Zani e Low (2022) ha dimostrato quanto sia fortemente radicata in noi la *plant blindness*, difatti, in tutti e tre gli esperimenti c'è un ricordo inferiore delle piante rispetto agli animali, a prescindere dal fatto che le piante fossero i principali elementi in alcune immagini. Alla luce di quest'osservazione, possiamo individuare un'ulteriore causa che spiega la cecità alle piante, ovvero una distorsione nell'elaborazione che va ad attribuire alle piante un ridotto valore mnemonico, rispetto quello che si dà agli animali. Un fenomeno che, va oltre il richiamo di singoli elementi, e che è presente anche nel richiamo di situazioni più complesse, suggerendo così la possibilità che la *plant blindness* influisca anche sulla memoria di lavoro, in particolare su quelle operazioni che integrano elementi flora e fauna in rappresentazioni mnesiche più ricche. Tuttavia, il *prime* può mitigare l'effetto di questa tendenza umana, se solo ci si assicura che questo sia pertinente agli obiettivi del compito e condivida le stesse caratteristiche percettive del *target*. Infatti,

nel terzo esperimento, c'è un significativo effetto *priming* sulle piante poiché la correlazione fra il *prime* e il *target* (entrambi alberi) facilita la costruzione di un *cue* associato che sostiene il recupero mnemonico (Ratcliff & McKoon, 1988). Da queste evidenze, possiamo quindi individuare un modo che ci consenta di superare la cecità alle piante. In futuro il *priming* potrà essere utilizzato con lo scopo di favorire, non solo il richiamo durante compiti puramente mnemonici, ma anche per incoraggiare comportamenti prosociali a favore dell'ambiente. Dato che la cecità alle piante rappresenta un problema multidimensionale complesso che include anche fattori attitudinali, di conoscenza e interesse (Parsley, 2020; Wandersee & Schussler, 2001) per raggiungere questo scopo sarà necessario integrare al *priming*, anche strategie multi-ambientali ed ecologicamente valide, ad esempio sfruttare dispositivi tecnologici come *tablet* o *smartphone*, per distribuire in modo dinamico dei primi durante attività scolastica e/o all'aperto. Pertanto, attraverso l'integrazione del *priming* visivo con moduli educativi mirati, ed un coinvolgimento creativo con le piante, sarà più plausibile portare le persone a riconoscere, ricordare e prendere consapevolezza del ruolo critico che le piante hanno nella vita quotidiana di tutti gli esseri umani, e per la sostenibilità ambientale. Obiettivo che si basa su evidenze che mostrano come il *priming* possa modellare i pensieri, e così i comportamenti. Le rappresentazioni prosociali e la consapevolezza ambientale sono interconnesse (Neaman, Otto & Vinokur, 2018). Data la crescente preoccupazione legate alle tematiche ambientali, e la significativa presenza della *plant blindness*, alcuni autori oltre a studiare le cause di questo fenomeno, si sono proposti di sviluppare test psicometrici in grado di rilevarla, in modo tale da consentire la successiva implementazione di programmi educativi e cross-modalità che favoriscano dei cambiamenti positivi negli atteggiamenti delle persone verso l'ambiente, cruciali per migliorare la qualità dell'ambiente naturale e preservare la biodiversità globale (Kuhlemeier, Van Den Bergh & Lagerweij, 1999) soprattutto, perché gli atteggiamenti sono correlati ai comportamenti (Kraus, 1995; Glasman & Albarracín, 2006).

1.3.2 VALUTARE LA PLANT BLINDNESS

Dagli studi trattati nel precedente paragrafo, emerge come gli atteggiamenti e così i comportamenti degli esseri umani a favore dell'ambiente siano pochi e inadeguati rispetto a quanto realmente servirebbe. Sappiamo infatti, che le piante sono essenziali alla nostra vita e ci forniscono elementi essenziali per la nostra sopravvivenza, tuttavia dalla nascita di attività come l'agricoltura, con l'avanzare del tempo e parallelamente con il suo sviluppo c'è stata una smisurata crescita delle culture così come della popolazione umana, e questo, insieme alla distruzione degli habitat (Diamond, 1989; Wilson, 1992), i cambiamenti climatici (Root, Price, Hall, Schneider, Rosenzweig & Pounds, 2003; Thomas et al., 2004) e l'introduzione di specie esotiche (Fritts & Rodda, 1998) ha contribuito sempre più

al declino della diversità vegetale. Essendo l'uomo a rappresentare la principale causa dei problemi ambientali, dovrebbe essere proprio quest'ultimo il responsabile della protezione e del recupero della biodiversità terrestre fortemente minacciata. Dunque, insieme alla necessità di realizzare programmi educativi per favorire la protezione e il recupero della biodiversità, è stato necessario anche valutare in maniera psicometrica l'atteggiamento umano nei confronti del mondo vegetale. A tal proposito, Fančovičová e Prokop (2010) hanno proposto una scala di valutazione, la *Plant Attitude Scale* (PAS), trattasi di una scala auto-somministrabile, presentata per la prima volta a 310 studenti slovacchi residenti in aree rurali. Gli autori, basandosi sulle considerazioni di Kellert (1985), il quale affermava che l'età compresa tra i 10 e i 15 anni rappresenta un periodo critico per lo sviluppo delle capacità cognitive e della consapevolezza ecologica dei bambini, hanno scelto partecipanti rientranti in questo *range* di età per identificare i loro atteggiamenti verso le piante. Il reclutamento dei partecipanti si è basato sulla disponibilità degli insegnanti a somministrare il test agli alunni che frequentavano scuole nelle zone rurali slovacche. La decisione di selezionare bambini provenienti da zone rurali era coerente con l'ipotesi che, avendo accesso a un giardino, avessero anche un atteggiamento positivo nei confronti delle piante. Infatti, le esperienze infantili di giardinaggio attivo e piantumazione di alberi sono associate ad uno sviluppo di atteggiamenti più positivi nei confronti delle piante (Lohr & Pearson-Mims, 2005). Il questionario difatti includeva caratteristiche demografiche come l'età, il possesso di un giardino (sì/no) ed anche il sesso, che rappresentava un'altra variabile sulla quale gli autori avevano espresso un'ipotesi, ovvero che le femmine rispetto ai maschi avessero un atteggiamento più positivo nei confronti delle piante. La PAS è composta da 29 *item* presentati su scala *Likert* consistenti in una serie di affermazioni relative al valore, alle credenze e ai comportamenti di un individuo verso le piante. Per arrivare a questa versione finale, si è partiti da una scala composta da 45 *item* valutati dai partecipanti tramite una scala *Likert* che va da 1 (fortemente in disaccordo) a 5 (fortemente d'accordo), gli *item* erano sia *item* positivi che negativi, quest'ultimi sono stati valutati in ordine inverso. Gli *item* sono stati progettati per misurare tre diverse dimensioni dell'atteggiamento ovvero, quella cognitiva, la comportamentale e infine l'affettiva (Eagly & Chaiken, 1993). La dimensione cognitiva si riferisce alle credenze e conoscenze sulle piante, quella affettiva fa riferimento alle risposte emotive di un individuo verso le piante mentre quella comportamentale riguarda le azioni e comportamenti nei confronti delle piante. Inoltre, gli autori hanno provato a misurare quattro differenti dimensioni:

- 1) L'interesse e il piacere per le piante (Interesse),
- 2) L'importanza delle piante per la vita degli esseri umani e degli altri organismi (Importanza),
- 3) I costi e i benefici associati agli alberi urbani (Alberi urbani),
- 4) I benefici materiali delle piante nell'industria (Utilizzo).

Tali scale sono state scelte in base ai risultati degli studi di Lohr, Pearson-Mims, Tarnai e Dillman (2004) e di Lohr e Pearson-Mims (2005) che hanno osservato: (1) l'esistenza di una variabilità interindividuale nell'interesse verso le piante che può dipendere dalle esperienze infantili con il giardinaggio; (2) che le persone considerano le piante importanti per la qualità di vita; (3) che le piante, specialmente gli alberi nell'ambiente urbano, sono percepite dalle persone sia positivamente (riduzione del rumore) che negativamente (allergie); infine, (4) che le persone apprezzano molto i benefici che le piante ci forniscono come la capacità di ombreggiare e rinfrescare gli ambienti. La validità della scala è stata poi stabilita attraverso l'analisi di tre esperti in biologia, e le revisioni del test sono state effettuate sulla base dei loro commenti e suggerimenti. Prima della valutazione, per evitare forme di desiderabilità sociale, ai partecipanti veniva detto che non era un test, ma solamente un tentativo non giudicante di osservare i loro atteggiamenti verso le piante, inoltre, non veniva dato nessun limite di tempo e la compilazione era completamente anonima. Una volta raccolti i questionari compilati, sono stati svolti calcoli per verificare l'adeguatezza del modello fattoriale, che si è dimostrata idonea. Successivamente sono stati rimossi tutti quegli *item* che non erano facilmente interpretabili, ad esempio gli ultimi quattro associati alla criminalità nei parchi, sono stati rimossi in seguito ai suggerimenti degli esperti biologi. Così gli autori hanno mantenuto un totale di 29 *item* appartenenti a quattro fattori, che spiegano il 37% della varianza dei risultati. Infine, l'affidabilità alfa per il totale è risultata pari a 0.83, mentre i valori della validità discriminante variano da -0.009 a 0.31. Queste analisi psicometriche hanno mostrato risultati soddisfacenti, il test infatti è affidabile, presenta un'adeguata coerenza interna e le dimensioni sono altamente indipendenti tra loro, ciò significa che contiene quattro dimensioni distinte che misurano gli atteggiamenti degli studenti verso le piante. L'analisi dei punteggi invece, dimostra che gli atteggiamenti dei bambini slovacchi verso le piante sono piuttosto neutrali, senza marcati atteggiamenti positivi. In linea con i precedenti studi citati (Lohr et al., 2004; Lohr & Pearson-Mims, 2005), si è osservato come la dimensione dell'interesse verso le piante presenti un punteggio medio più basso rispetto alle altre dimensioni, ad esempio l'importanza delle piante è stata apprezzata in modo relativamente positivo. Per quanto riguarda le ipotesi iniziali degli autori, i risultati hanno evidenziato un effetto positivo del vivere in case dotate di giardino, sull'atteggiamento verso le piante. L'effetto del giardinaggio è significativamente più forte per quanto riguarda la dimensione interesse, un dato che indica, come queste attività stimolino un interesse intrinseco e a lungo termine nei confronti delle piante. Tuttavia, giacché i ricercatori avevano come fine ultimo la misurazione psicometrica tramite PAS, l'aver reclutato solo bambini provenienti da aree rurali, ha lasciato lacune per un eventuale paragone tra studenti provenienti da ambienti urbani e rurali. Per quanto riguarda invece l'ipotesi che possano esserci differenze tra maschi e femmine nelle preferenze nei confronti delle

piante, i risultati non hanno mostrato alcuna diversità di genere nell'atteggiamento degli studenti. Una spiegazione potrebbe essere legata al fatto che il campione di partecipanti fosse troppo omogeneo e che quindi abbia prodotto punteggi medi di atteggiamento simili tra maschi e femmine. Risultato che si scontra con quelli di precedenti ricerche (Tikka, Kuitunen & Tynys, 2000; Tuncer, Sungur, Tekkaya & Ertepinar, 2004), nelle quali, dopo aver reclutato studenti (maschi e femmine) residenti in ambienti urbani, e che in genere hanno un accesso limitato a giardini e/o alle piante selvatiche, rispetto a quelli che vivono nelle zone rurali, si è visto che, un ambiente urbano potrebbe aver suscitato nelle femmine, rispetto ai maschi, la voglia di avere piante o un giardino. Un altro fattore per cui la differenza di genere potrebbe non essersi verificata, riguarda il fatto che gli studenti sono attratti principalmente da peculiarità evidenti delle piante, come fiori colorati, il profumo, frutti vistosi o la bellezza generale (Tunncliffe, 2001; Lindemann-Matthies, 2005), poiché, nel corso dell'evoluzione, i colori vivaci indicavano fonti di cibo (Heererwagen & Orians, 1993). Dunque, le differenze di genere, potrebbero verificarsi solo nella percezione della bellezza delle piante, ma non nella percezione complessiva delle piante. Complessivamente, la PAS è stata convalidata attraverso ulteriori analisi e si configura come una scala di valutazione affidabile e valida degli atteggiamenti verso le piante. I risultati dello studio di Fančovičová e Prokop (2010) suggeriscono che gli studenti non comprendono a sufficienza il ruolo delle piante nella natura, e data l'importanza della tutela della biodiversità in generale, e più in particolare delle piante, questa scala di valutazione può rappresentare uno strumento utile, sia per gli insegnanti che per i ricercatori, per stimare quantitativamente gli atteggiamenti dei giovani, e poi, poter lavorare su questi, incoraggiando comportamenti a favore dell'ambiente. In ogni caso, gli esperimenti presi in considerazione finora sono stati condotti solo con campioni di adulti occidentali, un dato non da poco se si considera che alcune culture hanno relazioni ecologicamente centrate e non gerarchiche con piante e animali (Balding & Williams, 2016; Hall, 2011). La cecità alle piante potrebbe quindi non essere inevitabile. C'è infatti, una concreta possibilità di superare con successo la *plant blindness*, che dipende, in parte, dalle cause dei *bias* osservati, e dal fatto che questi fattori sono spesso aperti al cambiamento.

1.3.3 SUPERARE LA PLANT BLINDNESS

Le linee di ricerche psicologiche e di educazione scientifica esaminata finora sostengono l'ipotesi che la cecità alle piante, sia ben radicata e difficile da contrastare. Tuttavia, esiste una raccolta di ricerche etnografiche (Rose, 1992; Descola, 2009; Hall, 2011) che indicano come alcune società abbiano forti legami con le piante, e queste siano ritenute fondamentali dagli individui di questi gruppi, come ad esempio gli aborigeni australiani, i nativi nordamericani e maori. Diversamente dalle società

zoocentriche, essendo immerso in una cultura legata alle piante, l'individuo, oltre ad avere migliori capacità di individuazione, ricordo e analisi sulle piante, fa esperienza di linguaggi e di pratiche che influenzano il modo in cui le persone sviluppano e organizzano la loro conoscenza dell'ambiente e il sistema di valori che manifestano verso altre specie (Bang, Medin & Atran, 2007). I membri di questi gruppi hanno spesso un rapporto di parentela non gerarchico con le piante, che individua sì, la differenza tra uomo e pianta, ma riconosce anche un'ascendenza condivisa (Rose, 1992), e il fatto che ci siano questi rapporti, implica anche degli obblighi di "responsabilità, solidarietà e cura" per le piante. Questi rapporti di parentela spesso sono "assegnati ai clan grazie alle azioni degli Spiriti Antenati" (Bradley, Holmes, Marrngawi, Karrakayn, Wuwarlu & Ninganga, 2006). Relazioni che dunque variano di clan in clan e che sanciscono il tipo di rapporto pianta-uomo, che vanno da semplici parentele basate su un'eredità condivisa, fino ad arrivare a rapporti che prevedono anche amicizia, scambio e seduzione. Queste ricerche, a differenza di quelle psicologiche che si propongono di testare specifici pregiudizi nella percezione delle piante da parte degli uomini, prevedono un intenso lavoro sul campo che mira a fornire una spiegazione esaustiva circa le pratiche all'interno di queste comunità, e la prova di questi forti legami ci dimostra che i pregiudizi percettivi dovuti alla *plant blindness* possono essere superati.

L'importanza di nuove modalità di insegnamento

Ritornando alle cause della cecità alle piante, tra le più evidenti vi sono lo zoocentrismo e lo zoochauvinismo riscontrabili nei programmi di studio accademici, e dato che le idee sbagliate degli esseri umani sul comportamento delle piante si sviluppano presto e sono resistenti al cambiamento (Opfer & Siegler, 2004), bisognerebbe agire quando ancora le rappresentazioni mentali dei ragazzi non sono ben consolidate. Come già detto, i libri di testo inducono gli studenti a ritenere più importante lo studio degli animali rispetto a quello delle piante, uno scarso interesse evidenziabile anche nello studio di Balas e Momsen (2014), i cui risultati dimostrano chiare differenze nel modo in cui le immagini naturali di piante e animali vengono percepite. Sulla base di queste evidenze, si potrebbe pensare ad un aumento delle rappresentazioni delle piante nei libri di testo, negli esempi in classe, e durante le esercitazioni in laboratorio, ma questo non necessariamente implicherebbe una riduzione della cecità alle piante, poiché insufficiente a contrastare le basi fisiologiche del fenomeno. Difatti la cecità alle piante è ascrivibile a processi comuni a tutti gli esseri umani, ovvero quelli visivi, cognitivi e funzionali di origine biologica.

Tuttavia, sebbene si basi su modelli biologici, i fattori culturali possono svolgere un ruolo fondamentale nel determinare se un individuo noti e apprezzi le piante. Secondo Balas e Momsen (2014),

bisognerebbe quindi partire dalla considerazione che, la *plant blindness* è prima di tutto un fenomeno fisiologico, così da poter affrontarla direttamente, facendo in modo che gli studenti prendano coscienza di questo *bias*, imparino cosa sia e analizzino, sia i limiti della percezione visiva umana, sia i conseguenti vincoli culturali. Solo così gli studenti possono arrivare a comprendere che la loro attenzione viene catturata in modo diverso a seconda di quello che vedono, e che le piante appunto, catturano la loro attenzione in maniera più debole rispetto a quanto fanno gli animali. Una volta appreso questo limite, bisogna poi identificare le migliori strategie per compensarlo, e dopo essersi concentrati sui fattori biologici del fenomeno, attraverso l'uso di strategie attentive, si può proseguire agendo tramite i fattori culturali, tramite nuove modalità di insegnamento. Pertanto, gli educatori, avvalendosi di strumenti adatti (e.g., il PAS), dovrebbero implementare dei programmi di studio che affrontino questa cecità, aiutando gli studenti a superare le limitazioni percettive. Questi nuovi programmi d'insegnamento devono essere di tipo attivo, dove gli studenti, non sono semplicemente esposti a nuove informazioni, ma partecipano attivamente al processo di apprendimento costruendo le loro conoscenze. Nello specifico, in queste aule, oltre all'esposizione a nuovi esemplari di piante, così come avverrebbe ad esempio, incrementando il numero di immagini di specie floreali nei libri, dovrebbe esserci un coinvolgimento degli alunni nella ricerca, nell'identificazione e nell'indagine della flora locale, che come dimostrato negli studi di Liendamann e Matthies (2002, 2005), può portare un incremento nel riconoscimento e interesse verso le piante. Altro esempio, potrebbe essere quello di osservare in laboratorio la flora proveniente dal proprio campus, così da stimolare l'impegno e l'osservazione degli studenti per le piante locali. Un'istruzione di questo tipo potrebbe facilmente tradursi in un corso di laurea in scienze biologiche (Long & Wyse, 2012). In maniera complementare, bisognerebbe ristrutturare i programmi di studio di scienze, e fare in modo che lo studio della botanica non sia più ritenuto come qualcosa di diverso, ma fondamentale nel percorso di studi, e quindi arrivare a considerare le piante sullo stesso piano degli animali, e come parte di un unico sistema vivente. Un principio su cui poi dovrebbe basarsi l'insegnamento è quello dell'apprendimento multimodale, un metodo che permette agli studenti di elaborare le informazioni in maniera più efficace, mediante il coinvolgimento simultaneo sia dei canali uditivi che di quelli visivi. Questa modalità permette la selezione, organizzazione e costruzione di nuove rappresentazioni mentali che si integrano con quelle già immagazzinate in memoria, portando così a una comprensione significativa circa le piante e il loro ruolo. Più precisamente si potrebbe pensare di mostrare immagini di piante (canale visivo) contemporaneamente a testi o narrazioni (canale uditivo), offrendo così allo studente un tipo di apprendimento che favorisca l'apprezzamento, l'interesse e l'osservazione degli studenti per le piante e facilitare la loro capacità di vederle e osservarle nella loro vita quotidiana. Un apprendimento di tipo multimodale, che potrebbe

incorporare anche tecniche psicologiche come il *priming* (Zani & Low, 2022). Infatti, integrando l'utilizzo di questa tecnica ad un ambiente didattico multimodale si può arrivare a risultati ancora più efficaci, essenziali per la sostenibilità ambientale. Sfruttando i contesti di vita reali, ad esempio, i ricercatori, così come gli insegnanti potrebbero utilizzare in maniera creativa i vari dispositivi di cui dispongono i giovani, per fornire loro *prime* coerenti, che consentano di migliorare l'attenzione e così anche il richiamo di informazioni circa il mondo vegetale, in modo tale da avvicinare sempre più i ragazzi alle tematiche ambientali.

Un esempio concreto che mira ad avvicinare giovani studenti alle tematiche ambientali è rappresentato dall'istituzione di un nuovo corso di laurea presso l'Università di Barcellona a partire dal 2024, chiamato "Crisi eco-sociale", fortemente voluto dai docenti dell'università poiché ritengono necessario un cambiamento nell'istruzione che fornisca supporto agli studenti che sono vicini alle tematiche ambientali. Nel complesso, si tratterebbe di superare il tipico apprendimento formale e pianificato, in cui la motivazione degli studenti è soprattutto intrinseca, e adottare un apprendimento di tipo informale in grado di applicarsi alle situazioni che si verificano spontaneamente.

I programmi educativi all'aperto

Insieme all'adattamento dei programmi e delle classi di studio, l'esposizione degli studenti alle piante potrebbe espletarsi mediante programmi educativi all'aperto, a tal proposito Fančovičová e Prokop (2011) hanno osservato gli effetti della cooperazione prolungata tra scolari, compresi tra i 10 e gli 11 anni, e ambientalisti, durante attività di piantumazione e riconoscimento degli alberi nei terreni circostanti la scuola. Basandosi sulla misurazione quantitativa dei cambiamenti delle conoscenze e degli atteggiamenti nei confronti delle piante, mediante il PAS pre e post-test; e confrontando i risultati tra gruppo sperimentale e di controllo, gli autori hanno potuto osservare che: i punteggi erano piuttosto neutrali per il controllo, mentre il trattamento aveva migliorato in maniera robusta l'atteggiamento dei partecipanti nei confronti delle piante. Il gruppo di controllo, infatti, non partecipava al programma all'aria aperta, ma proseguiva negli studi con un approccio di tipo formale. Per quanto riguarda le ipotesi iniziali degli autori, i risultati confermano l'efficacia di un apprendimento di tipo informale, che ha un chiaro effetto positivo sull'atteggiamento e sulla conoscenza delle piante da parte degli studenti. La partecipazione alla piantumazione degli alberi insieme agli esperti, senza allontanarsi troppo dalla scuola, non solo favorisce lo sviluppo di atteggiamenti positivi verso la flora, ma aumenta anche notevolmente la capacità di identificazione e riconoscimento delle piante, promuovendo un apprezzamento per la biologia. Sempre in linea con le ipotesi iniziali, i programmi all'aperto hanno poi migliorato anche la conoscenza delle piante, cosa che non avviene per il gruppo di controllo. Ipotesi invece

che non sono state supportate dallo studio, riguardano le differenze di genere e il possedere un giardino, in particolare ci si aspettava che le femmine avessero un miglior atteggiamento nei confronti delle piante rispetto i maschi, così come, l'averne un giardino rispetto al non possederlo. Questo risultato potrebbe essere in parte dovuto al fatto che non sono state indagate forme di giardinaggio attivo, ma solamente il possesso o meno di un giardino, infatti è necessario riflettere sul tipo di attività che si svolge, ad esempio uno studio di Lohr e Pearson-Mims (2005), conferma che il giardinaggio attivo durante l'infanzia favorisce una percezione positiva da parte degli adulti dei valori sociali e intrinseci degli alberi. Mentre in uno studio di Clayton (2007), si evince come i proprietari di casa considerino i loro giardini come "parte del mondo domestico" (Clayton, 2007), il che significa un'ecologia di prestigio (Grove, Troy, O'Neil-Dunne, Burch Jr., Cadenasso & Pickett, 2006) in cui non viene considerata la pratica sostenibile. Per questi motivi le strategie basate sul giardinaggio non sono ritenute efficaci.

La necessità di rinnovare i programmi di conservazione

I programmi all'aperto, l'apprendimento cooperativo e le esperienze dirette possono quindi essere considerati come validi supporti ai contesti di studio convenzionali, in grado di creare atteggiamenti più positivi e una migliore conoscenza degli organismi viventi. In aggiunta agli sforzi per contrastare la *plant blindness* attraverso una riforma dei programmi educativi fin dalla prima infanzia, un ruolo significativo potrebbe essere giocato da programmi innovativi di conservazione delle specie. Questi programmi potrebbero contribuire a ridurre il fenomeno della cecità alle piante e incoraggiare comportamenti orientati alla conservazione delle piante. Come abbiamo osservato, in molti gruppi sociali ci sono forti legami pianta-uomo, in cui è forte l'empatia verso le specie vegetali, tanto da arrivare ad avere legami di parentela con queste, e di conseguenza mostrare maggiori preoccupazioni circa l'ambiente. In particolare, il contatto emotivo e/o cognitivo con le piante potrebbe essere uno dei punti di questi nuovi programmi di conservazione. Il fatto che l'empatia possa essere collegata ad aumento del sostegno alla conservazione è evidente se ci concentriamo sugli studi psicologici (Samples, 1986; Kellert, 1997; Czech, Krausman & Borkhataria, 1998; Knight, 2007) che analizzano i tratti in comune tra uomo e animale. Grazie a caratteristiche in comune come le dimensioni, la somiglianza filogenetica, la sensibilità e soprattutto il movimento, gli esseri umani sentono più vicina e simile la fauna, e questo potrebbe spiegare le numerose iniziative in favore della conservazione delle specie animali. Dunque, concentrarsi sulla capacità delle persone di percepire tratti simili tra loro e le piante, aiuterebbe a connettersi, identificarsi ed empatizzare con la flora, proprio come avviene nelle popola-

zioni indigene, dalle quali potremmo prendere idee e spunti, per sostenere maggiormente la conservazione delle piante nelle popolazioni occidentali. Un' evidenza empirica che dimostra come l'empatia sia in grado di aumentare l'interesse e così il sostegno alla conservazione delle specie, ci viene data dallo studio di Berenguer (2007) dove i partecipanti sono stati divisi in due gruppi, nel primo dei quali venivano istruiti ad empatizzare col soggetto della foto presentata, immaginando come si sentisse o provasse, mentre nel secondo venivano istruiti a mantenersi distaccati. Le foto raffiguravano o un uccello morto su una spiaggia ricoperta di petrolio oppure un'area con 8 alberi abbattuti a terra. I risultati mostravano che nella condizione di alta empatia, i partecipanti mostravano maggior interesse per l'altra specie, ma anche, che raccomandavano una maggior quota di finanziamenti destinati ai programmi ambientali. Tuttavia, sia in condizioni di alta che di bassa empatia, l'interesse e gli stanziamenti finanziari erano più bassi per gli alberi che per gli uccelli.

Oltre alla pratica dell'empatia, il sostegno alla conservazione può essere aumentato incoraggiando l'antropomorfismo delle specie non umane. Per antropomorfismo si intende la “tendenza ad attribuire aspetto, facoltà e destini umani a figure immaginarie, animali e cose.” Le persone antropomorfizzano in misura diversa, e la loro tendenza ad antropomorfizzare la natura predice l'attenzione morale verso i non umani in natura (Waytz, Cacioppo & Epley, 2010). Sebbene ci siano molti autori che sostengono l'ipotesi che l'antropomorfismo aumenti la connessione con la natura, ci sono poche prove che questo promuova effettivamente la conservazione delle piante. Al contrario Hall (2011), sostiene che è pericoloso suggerire somiglianze tra gli esseri umani e altre specie quando queste somiglianze sono inesistenti; pertanto, bisognerebbe considerare attentamente le attuali interazioni umane con le singole specie e le proiezioni antropomorfiche attribuite (Karlsson, 2012; Root-Bernstein, Douglas, Smith & Verissimo, 2013), perché sono possibili anche esiti negativi per la conservazione (Root-Bernstein et al., 2013).

Concludendo, l'esperienza diretta con le piante, l'evidenziazione delle similitudini tra le piante e gli esseri umani, l'uso di attività creative, la riforma dei programmi di studio nelle scuole e la promozione di esperienze educative all'aperto possono favorire l'adozione di atteggiamenti positivi verso le piante e stimolare lo sviluppo di nuovi programmi di conservazione delle specie vegetali. E sebbene resti l'urgenza di riequilibrare le differenze che ci sono tra i programmi di conservazione delle piante e degli animali, tutti questi dati ci mostrano diverse modalità attraverso le quali contrastare la *plant blindness* e i conseguenti problemi ambientali.

CAPITOLO 2 – IL SISTEMA D’OSSERVAZIONE DELLE AZIONI

Nel capitolo precedente abbiamo esplorato il complesso fenomeno della *plant blindness*, analizzando diversi studi, che ci hanno mostrato come questa cecità influenzi negativamente sia le nostre capacità attentive, che la rievocazione di elementi naturali, come le piante, a dispetto di quanto succede con gli animali. Un aspetto che ci siamo proposti di indagare, che per quanto sappiamo non è mai stato preso in considerazione, riguarda la possibilità di osservare i movimenti delle piante. L’osservazione e la comprensione di tali movimenti potrebbero rappresentare dei mezzi attraverso i quali mitigare gli effetti della *plant blindness*, come avviene ad esempio con il *priming* (Zani & Low, 2022). La possibilità di comprendere i movimenti delle piante attraverso l’osservazione nasce dalla scoperta, ormai avvenuta qualche decennio fa, del sistema dei neuroni specchio (*mirror neuron system*, MNS), consistente in una rete di neuroni coinvolti nella percezione, nell’imitazione e nella comprensione delle azioni svolte da altri (di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese & Rizzolatti, 1992). Grazie a questo sistema, quando osserviamo delle azioni eseguite da altri individui, si crea automaticamente una rappresentazione del gesto osservato nel nostro cervello, e questo meccanismo automatico e di natura imitativa (i.e., *Direct matching*) permette all’osservatore di comprendere il significato dell’azione osservata (Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2001). Tuttavia, nonostante questo complesso sistema sia stato ampiamente studiato sia negli esseri umani che negli animali, in particolare nelle scimmie, il modo in cui gli esseri umani affrontano e osservano i movimenti delle piante non è stato ancora preso in considerazione.

2.1 IL SISTEMA DEI NEURONI SPECCHIO (MIRROR NEURON SYSTEM - MNS)

I neuroni specchio sono stati scoperti per la prima volta nella circonvoluzione frontale inferiore del macaco, in particolar modo, nella zona F5, (Fig.1) da un gruppo di ricercatori guidati da Giacomo Rizzolatti nel 1992.

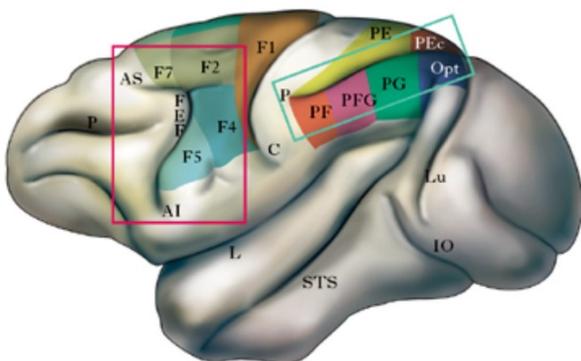


Fig. 1. Vista laterale del cervello della scimmia che mostra, a colori, le diverse aree motorie del lobo frontale (F1-F7) e le aree della corteccia parietale posteriore (PE, PEc, PF, PFG, PG e Opt).

Da allora, grazie ad un vasto corpus di ricerche che si avvalevano dell'utilizzo di diverse tecniche come la stimolazione magnetica transcranica (TMS), l'elettroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG) e vari studi di brain imaging, è stata dimostrata l'esistenza di questi neuroni anche nel cervello umano, e descritte le caratteristiche più importanti. Questi neuroni visuomotori sono responsabili principalmente del controllo del movimento, e a differenza degli altri neuroni motori, scaricano sia quando si compie un'azione specifica, sia quando si osserva un altro individuo compiere la stessa azione. Inoltre dagli studi TMS, si evince che l'osservazione di azioni che coinvolgono un determinato effettore e compiute da un altro individuo favorisce l'aumento dei potenziali evocati motori registrati dagli stessi muscoli dell'effettore che lo spettatore utilizza quando compie la medesima azione (Maeda, Kleiner-Fisman, & Pascual-Leone, 2002; Gangitano, Mottaghy, & Pascual-Leone, 2001; Strafella & Paus, 2000; Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti, 1995), in altre parole, osservare le azioni di altre persone facilita il nostro sistema motorio rispetto alla semplice osservazione di individui a riposo. Infine, l'osservazione sembra attivare, nell'osservatore, un programma motorio mano-occhio coordinato, che è nascosto per la mano (la mano dell'osservatore non si muove), ma evidente per l'occhio (lo sguardo dell'osservatore si muove) (Craighero & Mele, 2021). Dunque, tra le tecniche più usate nello studio del sistema dei neuroni specchio c'è la TMS, poiché rivela il coinvolgimento sottosoglia della corteccia motoria primaria sottostante l'attivazione occulta della mano, tecnica che è stata utilizzata anche nel nostro studio.

2.2 IL MNS NELLA SCIMMIA

La scoperta dei neuroni specchio nel 1992 è quello che si può definire un caso di serendipità. Prima di tale data si erano accumulate evidenze scientifiche circa l'esistenza di una rappresentazione del movimento distale del braccio nella corteccia premotoria inferiore del cervello del macaco (Kurata & Tanji, 1986; Rizzolatti, Scandolara, Matelli & Gentilucci, 1981; Rizzolatti, Camarda, Fogassi, Lupino & Matelli, 1988) in particolare, questa rappresentazione era situata in una zona che coesisteva con l'area F5 (Matelli, Luppino & Rizzolatti, 1985; Fig. 1). In questa regione i neuroni si attivano mentre si svolgono determinati movimenti della mano diretti ad un obiettivo (afferrare o tenere un oggetto), inoltre sono specifici per i diversi tipi di presa che la mano assume durante l'azione (Rizzolatti et al., 1988). Partendo da questi risultati, Rizzolatti e collaboratori (1992) si posero l'obiettivo di valutare l'attività dei neuroni F5 in una situazione comportamentale in cui le risposte associate agli stimoli erano separate dall'attività legata ai movimenti. A questo scopo, il macaco veniva addestrato a recuperare da una scatola di prova, oggetti di dimensione e forma diversi, con un ritardo variabile appena dopo la presentazione dello stimolo che avrebbe dovuto recuperare. Tuttavia, dopo gli esperimenti iniziali di registrazione, gli sperimentatori osservarono con sorpresa che alcune delle loro

azioni, come raccogliere il cibo o metterlo all'interno della scatola di prova, erano in grado di attivare un'elevata percentuale di neuroni in F5, anche in assenza di qualsiasi movimento manifesto della scimmia. L'esperimento in questione era stato condotto sulla scimmia *Macaca nemestrina*, che veniva messa a sedere su una sedia per primati con la testa fissa, per facilitare la registrazione dei singoli neuroni nella porzione inferiore dell'area 6 (settore F5). A questi neuroni erano applicati dei treni di impulsi catodici, della durata di 50 ms, generati da uno stimolatore a corrente costante. Il microelettrodo usato per inviare queste stimolazioni era lo stesso usato per la registrazione dell'attività neurale. L'esperimento originale prevedeva che la scimmia posta davanti ad una scatola, dovesse prendere degli oggetti al suo interno, dopo un intervallo di 1,2/1,5 secondi, nei quali, la scimmia premendo un bottone con pollice e indice illuminava l'oggetto che avrebbe poi dovuto recuperare. Tuttavia, dopo aver scoperto che alcune azioni dello sperimentatore potevano attivare i neuroni F5, questi che venivano prima esaminati per valutare la loro singola risposta alla visione dello stimolo in maniera separata dall'azione, vennero poi analizzati eseguendo una serie di azioni motorie di fronte all'animale. Le azioni in questione riguardavano la presa e/o la manipolazione di cibo o altri oggetti, oppure prevedevano gesti con o senza contenuto emotivo. Inoltre, per controllare se i neuroni registrati codificassero in maniera specifica le relazioni mano-oggetto, vennero eseguite anche le seguenti azioni: movimenti della mano che mimano la presa in assenza dell'oggetto; movimenti di prensione del cibo o di altri oggetti eseguiti con strumenti (ad esempio pinze, tenaglie); movimenti combinati simultanei del cibo e della mano, spazialmente separati l'uno dall'altro, azioni che erano ripetute sia a destra che a sinistra della scimmia, e a varie distanze (50 cm, 1 m e 2 m). Le risposte neurali venivano registrate contemporaneamente su una seconda traccia, in modo tale da correlare il comportamento della scimmia o le azioni degli sperimentatori alla scarica del neurone. Per quanto riguarda lo scopo originale dello studio l'attività di due neuroni durante la presa di oggetti di piccole e grandi dimensioni da parte della scimmia differiva tra le diverse unità registrate. Se per l'unità 483, i neuroni scaricavano significativamente durante la presa di precisione, la risposta era debole durante la prensione dell'intera mano. Mentre l'unità 481 non mostrava nessuna specificità per il tipo di presa, inoltre le risposte neurali non erano influenzate né dalla presentazione dell'oggetto né dalla preparazione del movimento durante il periodo di attesa. D'altro canto, per quanto riguarda i risultati inerenti all'osservazione dei movimenti di presa eseguiti dagli sperimentatori, erano chiare le modificazioni della scarica neuronale sia durante l'osservazione della presa effettuata dallo sperimentatore (Fig. 2A, 3A) sia durante l'esecuzione della presa svolta dalla scimmia (Fig. 2B, 3B).

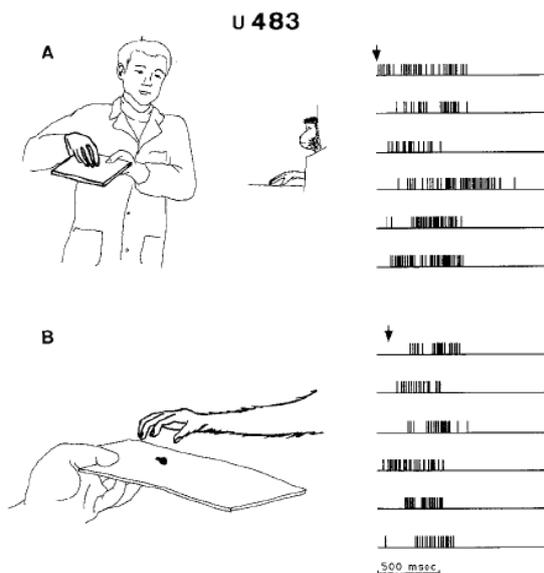


Fig. 2. L'unità 483 scarica selettivamente durante i movimenti di presa della scimmia e durante l'osservazione della scimmia dei movimenti di presa effettuati dallo sperimentatore. (A) Lo sperimentatore afferra il cibo. (B) la scimmia afferra il cibo. Le frecce indicano in modo approssimativo l'inizio della presa.

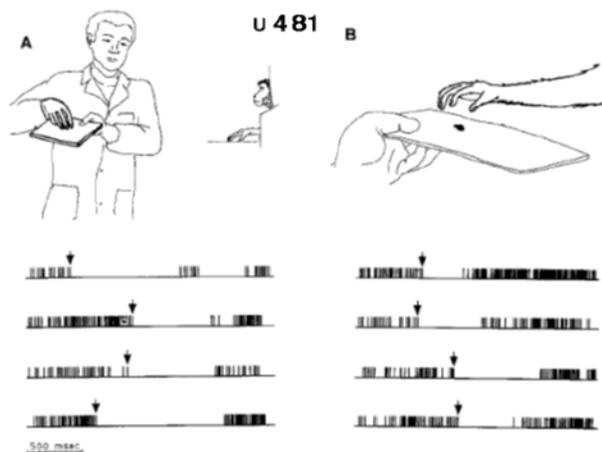


Fig. 3. L'unità 481 che scarica selettivamente durante l'osservazione della scimmia dei movimenti di presa effettuati dallo sperimentatore (A) e durante i movimenti di presa della scimmia (B). Situazioni uguali a quelle raffigurate nella figura 2.

In questo studio vennero studiati in totale 184 neuroni appartenenti alla regione F5, e quasi tutti si attivavano durante i diversi tipi di movimenti distali. Quarantotto di questi neuroni, non rispondevano solamente a semplici stimoli visivi (i.e., cibo), ma presentavano delle proprietà visive complesse, simile a quelle delle unità 481 e 483. Questi neuroni sono stati poi divisi in quattro categorie: (i) neuroni in cui l'azione effettivamente osservata e l'azione effettivamente eseguita corrispondeva; (ii) neuroni in cui l'azione effettivamente osservata era quella eseguita dalla scimmia; (iii) neuroni in cui le azioni effettivamente osservate erano correlate in modo logico alle azioni efficaci eseguite e potevano essere viste come preparatorie; (iv) neuroni che rispondevano ad azioni osservate simili a quelle sopra descritte, ma non avevano alcuna attività correlata al movimento dell'animale. I movimenti attivi dell'animale

senza controllo visivo erano efficaci nell'attivare i neuroni delle prime tre classi. Per quanto riguardava invece, i risultati relativi ai movimenti della sola mano dello sperimentatore o i movimenti combinati di mano e oggetto, ma spazialmente separati, essi non erano efficaci nell'attivare i neuroni di queste categorie. Anche l'utilizzo di attrezzi, a dispetto della mano, per manipolare gli oggetti, non influiva sulla scarica neurale, così come i gesti. Questi risultati, erano a conferma del fatto che, è fondamentale l'interazione tra mano e oggetto affinché possa esserci una scarica di questi neuroni. Infatti, quando i movimenti erano appropriati, i neuroni si attivavano sia quando le azioni erano eseguite all'interno dello spazio peripersonale della scimmia, sia quando erano eseguite al di fuori, ma con risposte più forti con il primo tipo di movimento. Questo insieme di dati, ci dimostra come la corteccia premotoria sia in grado di rispondere al significato delle azioni compiute da altri individui. Tale fattore, soprattutto in esseri sociali come le scimmie, è molto importante, poiché la comprensione di un'azione svolta da un altro individuo può determinare la selezione delle azioni di chi osserva. Possiamo poi anche affermare che le interazioni mano-oggetto appartengono ad una categoria di stimoli complessi che, come i volti (Desimone, 1991; Gross, Rocha-Miranda & Bender, 1972; Perrett et al., 1984; Rolls, 1984), sono codificati da singoli neuroni. Il riconoscimento di questi neuroni riguardo i movimenti altrui, quindi, ha un'elevata importanza comportamentale, poiché permette una rapida selezione dei movimenti appropriati in base ai movimenti degli altri. Inoltre, è importante sottolineare che l'area in cui sono localizzati questi neuroni, ovvero la porzione inferiore dell'area 6, e in particolare di F5, corrisponde in gran parte a quella dell'area di Broca nel cervello umano (Freund, 1991). Dunque, possiamo affermare che nell'area F5 della corteccia premotoria del macaco, esistono due tipi di neuroni visuomotori: (i) i canonici, che rispondono alla presentazione di un oggetto, e (ii) i neuroni specchio, che rispondono alla visione di un'azione diretta all'oggetto (Rizzolatti & Luppino, 2001). Successivamente, Belmalih e collaboratori (2009) hanno dimostrato che quest'area è citoarchitettonicamente disomogenea, tanto da essere divisa in 3 sotto aree: F5 anteriore (F5a) situata sulla parte ventrale del banco posteriore del solco arcuato (Fig. 4); F5 posteriore (F5p) situata sulla parte dorsale dello stesso banco posteriore del solco arcuato (Fig. 4); F5 convessa (F5c) che si trova sulla convessità della corteccia (Fig. 4). I neuroni specchio si trovano principalmente in F5c, mentre in F5p, troviamo i cosiddetti "neuroni canonici" che per essere attivati non richiedono un'azione su di essi, ma la semplice presentazione di oggetti. La disomogeneità a livello citoarchitettonico rispecchia anche una diversità a livello di connessioni che queste aree hanno con altre parti del cervello. A tal proposito, possiamo citare il più recente studio di Fogassi e collaboratori (2005) che riporta la presenza di neuroni specchio anche nella parte rostrale del lobo parietale inferiore (IPL) del macaco, l'intera area è poi strettamente connessa al solco temporale superiore (STS; Fig.4).

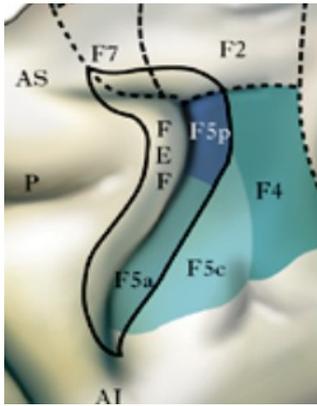


Fig. 4. Ingrandimento della porzione posteriore del lobo frontale del macaco, con la suddivisione dell'area F5 nelle sue subaree costituenti: F5c (convessità), F5a (anteriore), F5p (posteriore). Le ultime due aree sono poste nel labbro posteriore del solco arcuato.

Ed è proprio l'insieme di queste aree, ovvero, del solco temporale superiore (STS), dell'area IPL e dell'area F5, a comporre il network di neuroni specchio attivo durante l'osservazione dell'azione "afferrare" (Vanduffel et al., 2001). Nello specifico, le aree dell'IPL che svolgono un ruolo significativo nell'afferramento sono le aree PFG e AIP (area intraparietale inferiore; Fig. 5). L' AIP, occupa la parte anteriore del banco ventrale del solco intraparietale. Lateralmente, troviamo l'area PFG, posta sulla convessità corticale del lobulo parietale inferiore, queste due aree infatti, ricevono informazioni sulla forma, le dimensioni e la distanza degli oggetti dalle aree della via visiva dorsale (Borra et al., 2008). Grazie ai risultati di uno studio fMRI combinati con tecniche di tracciamento anatomico, si sono potuti osservare due principali flussi anatomici e funzionali che, collegano l'area F5 con le aree visive di ordine superiore del solco temporale superiore (STS), attraverso il lobulo parietale inferiore. Il primo flusso origina da un settore del banco superiore del STS (STPm), raggiunge l'area parietale PFG, e termina nell'area F5c. Il secondo flusso nasce nella banca inferiore del STS, raggiunge l'area parietale AIP e quindi l'area F5a (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008). Da qui le informazioni vengono poi inviate alla corteccia motoria primaria per l'esecuzione dei corretti comandi motori (Fogassi, Ferrari, Gesierich, Rozzi, Chersi & Rizzolatti, 2005; Rizzolatti & Craighero, 2004). Per quanto riguarda i neuroni in STS, questi, seppur rispondendo all'osservazione di atti motori eseguiti da individui viventi, non dovrebbero essere propriamente considerati come parte del sistema dei neuroni specchio poiché non scaricano in associazione con l'attività motoria ((Rizzolatti & Craighero, 2004). Alla luce di tutte queste evidenze, possiamo affermare che il sistema dei neuroni specchio nella scimmia, sia costituito principalmente da due aree: la corteccia premotoria e il lobo parietale inferiore (Rizzolatti & Luppino 2001). Possiamo quindi parlare di un circuito fronto-parietale (area IPL e area F5), chiaro esempio di come azione e cognizione siano strettamente legate, e di come l'affinamento dell'organizzazione motoria possa determinare l'emergere di funzioni cognitive com-

plesse. Questo sistema, infatti, permette la comprensione implicita delle azioni eseguite da altri individui, grazie ai neuroni specchio che mettono in relazione le azioni esterne, svolte da un'agente esterno, con il repertorio interno di azioni dell'osservatore (Fogassi et al., 2005).

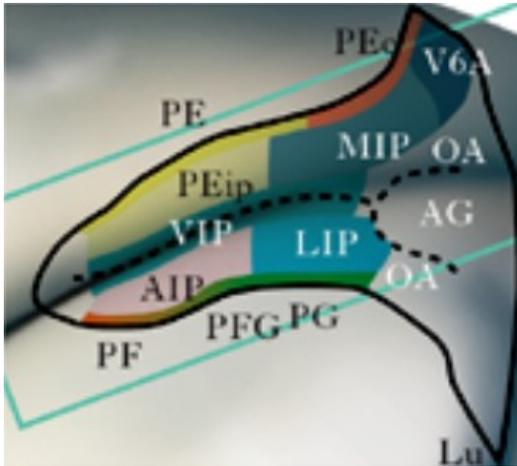


Fig. 5. Ingrandimento del lobo parietale del macaco, con attenzione alle aree poste all'interno del solco intraparietale (IP): AIP, area intraparietale anteriore; LIP, area intraparietale laterale; MIP, area intraparietale mediale; PEip, area PE intraparietale; VIP, area intraparietale ventrale. Altre abbreviazioni: AS, solco arcuato superiore, AI, solco arcuato inferiore; C, solco centrale; L, solco laterale; STS, solco temporale superiore; Lu, solco lunato; Opt, area occipito-parietale; FEF, campi oculari frontali.

2.3 IL MNS NELL'ESSERE UMANO

Dopo la scoperta dei neuroni specchio nella scimmia, ci si è interrogati sulla loro possibile presenza all'interno del cervello umano. Già negli '50 ci furono i primi studi neurofisiologici che dimostrarono l'attivazione della corteccia motoria dell'osservatore durante la visione di un'azione compiuta da un altro individuo, e, in assenza di qualsiasi attività motoria manifesta (Cohen-Seat, Gastaut, Faure & Heuyer 1954; Gastaut & Bert, 1954). In questi studi, gli autori notarono sul tracciato EEG, una desincronizzazione del ritmo μ (mu) che si verificava, sia durante i movimenti attivi dei soggetti, sia durante la visione di azioni compiute da altri. Questi dati, alla luce della scoperta dei neuroni specchio nella scimmia, e, grazie alla conferma di successive ricerche (Altschuler, Vankov, Wang, Ramachandran & Pineda, 1997; Cochin, Barthelemy, Lejeune, Roux & Martineau, 1998; Hari, Forss, Avikainen, Kirveskari, Salenius & Rizzolatti, 1998) hanno rappresentato un primo esempio della possibile presenza di un meccanismo specchio nel cervello umano. Tuttavia, seppur promettenti, non rappresentavano una prova diretta dell'esistenza dei neuroni specchio nel cervello umano, in quanto non venivano registrati i singoli neuroni. Ancora oggi, per l'essere umano, non esistono prove dirette dell'esistenza di questi neuroni, questo perché, a differenza delle scimmie, non è possibile attuare studi *single-cell recording* nelle aree dei neuroni specchio, in quanto rappresenta una metodica altamente invasiva, (Rizzolatti & Craighero, 2004). Pertanto, nello studio dei neuroni specchio, sono state adottate tecniche neurofisiologiche (TMS) e di neuroimmagine (PET, fMRI), che hanno permesso di dimostrare, seppur indirettamente, l'esistenza di questi neuroni nell'uomo. Come già detto,

la TMS è una delle tecniche neurofisiologiche più utilizzate nell'ambito degli studi dei neuroni specchio, questo perché, è un metodo non invasivo di stimolazione elettrica del sistema nervoso, che permette di osservare il coinvolgimento sottosoglia della corteccia motoria primaria, sottostante l'attivazione occulta dei muscoli interessati durante l'osservazione di un'azione svolta da altri individui. Infatti, andando a stimolare correttamente la corteccia motoria, è possibile registrare i MEPs dai muscoli controlaterali, le quali ampiezze sono influenzate dal contesto in cui l'azione avviene. Ed è proprio grazie all'utilizzo della TMS che, nel 1995, Fadiga e collaboratori riuscirono a fornire dati più chiari sull'esistenza dei neuroni specchio nel cervello umano. In questo studio, la TMS è stata applicata alla corteccia motoria sinistra del soggetto, al fine di stimolare le aree che controllavano i muscoli della mano e del braccio destro, mentre questo osservava: come condizioni sperimentali, uno sperimentatore che eseguiva sia azioni transitive della mano (afferrare oggetti), sia movimenti intransitivi del braccio (gesti senza significato), e come condizione di controllo, un piccolo punto luce e oggetti tridimensionali. I MEPs registrati, dimostravano un aumento selettivo, riguardo i muscoli utilizzati nell'azione osservata, della loro ampiezza durante l'osservazione di azioni sia transitive che intransitive rispetto alle condizioni di controllo. Un risultato importante di questo studio è che, negli esseri umani, anche i movimenti intransitivi privi di significato producono l'attivazione del sistema dei neuroni specchio, cosa che non avviene per le scimmie. Anche Maeda e collaboratori (2002), attraverso uno studio che voleva indagare gli effetti dell'orientamento della mano sull'eccitabilità corticale, hanno avvalorato i risultati dello studio di Fadiga e collaboratori (1995) secondo i quali, nell'uomo, diversamente dalle scimmie, anche i movimenti intransitivi determinano risonanza motoria. Assieme a questa, un'altra importante differenza, che contraddistingue i nostri neuroni specchio da quelli delle scimmie, riguarda le caratteristiche temporali dell'eccitabilità corticale durante l'osservazione di un'azione. Infatti, sempre grazie alla registrazione dei MEPs e l'utilizzo della TMS, Gangitano e collaboratori (2001), hanno evidenziato che l'andamento temporale della facilitazione corticale durante l'osservazione di un'azione, segue quello dell'esecuzione del movimento, suggerendo che i nostri neuroni specchio non codificano solo per l'azione in sé, come avviene per le scimmie, ma per tutti i movimenti che la compongono. In questo studio venivano registrati, a diversi intervalli di tempo dopo l'inizio del movimento, i MEPs dei muscoli della mano del soggetto, durante l'osservazione di movimenti di presa. E si è visto che l'eccitabilità corticale motoria seguiva tutte le fasi del movimento di presa osservato. Pertanto, la possibilità che, nell'uomo, la risonanza motoria sia presente, sia durante la visione di movimenti intransitivi e privi di significato, che durante l'osservazione di tutto il movimento, ci permette di capire quanto questo sistema sia fondamentale per la capacità umana di imitare le azioni altrui. A conferma del fatto che il sistema dei neuroni specchio sia coinvolto nell'apprendimento imitativo, possiamo citare lo studio Buccino e collaboratori (2004). Gli autori

hanno diviso l'esperimento in 4 parti: (i) la prima in cui i partecipanti osservavano al computer un esperto di chitarra suonare degli accordi, (ii) una fase di pausa, in cui si preparavano ad eseguire l'azione osservata, (iii) la fase in cui i partecipanti, che non avevano mai suonato una chitarra, dovevano imitare i movimenti necessari per fare gli accordi precedentemente visti, (iv) e infine una fase di riposo. In questa ricerca è stata impiegata la fMRI evento-correlato che ha permesso di analizzare la progressione temporale delle attivazioni, partendo dall'osservazione dell'azione all' esecuzione della stessa. I risultati hanno mostrato diverse attivazioni per le diverse fasi dello studio. Durante tutte le fasi, è stata riscontrata un'attivazione significativa nella parte rostrale del lobulo parietale inferiore (IPL), nella corteccia premotoria ventrale (PMv), e nella la *pars opercularis* del giro frontale inferiore (IFG; Fig.6).

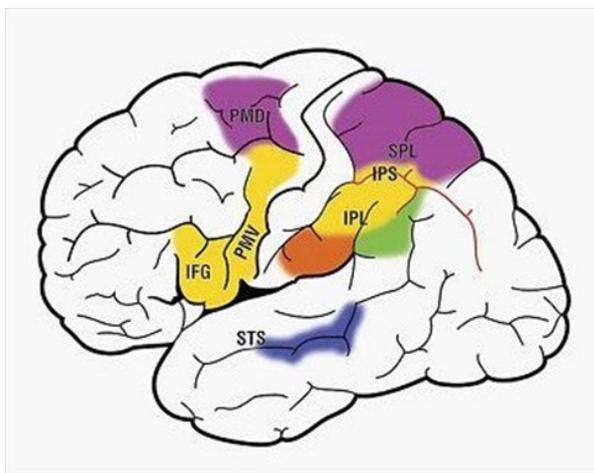


Fig. 6. Visione laterale dell'encefalo umano, in giallo, le aree anatomiche che costituiscono il circuito specchio parieto-frontale.

L'attivazione della porzione ventrale della corteccia premotoria corrisponde molto probabilmente al settore in cui sono rappresentate le azioni della mano. Pare quindi che l'insieme di lobulo parietale inferiore rostrale e il PMv, compresa la *pars opercularis* dell'IFG, rappresenti il network che permette di tradurre le azioni osservate nella rappresentazione motoria delle stesse azioni. È interessante notare che questo circuito corrisponde a quello in cui, nella scimmia, sono stati trovati i neuroni specchio che rispondono all'osservazione di azioni biologiche (Rizzolatti et al., 2001). Sebbene si ritenga che l'attività speculare nell'uomo, sia diffusa in tutto l'encefalo (Gazzola & Keysers, 2009), ulteriori studi, (Buccino, Binkofski, Fink, Fadiga & Fogassi, et al. 2001; Decety, Chaminade, Grèzes & Meltzoff, 2002; Grèzes, Armony, Rowe & Passingham, 2003; Iacoboni, Koski, Brass, Bekkering & Woods, 2001; Koski, Iacoboni, Dubeau & Woods, 2003; Nishitani & Hari, 2002) hanno evidenziato l'attivazione della parte rostrale del lobulo parietale inferiore e la parte inferiore del giro pre-centrale, che comprende la corteccia premotoria, più la parte posteriore del giro frontale inferiore

(IFG), durante l'osservazione di azioni compiute da altri, possiamo affermare che il “la sede del meccanismo specchio negli esseri umani sia costituito essenzialmente da queste 3 aree: IPL, PMv e IFG. Durante la visione di azione altrui, inoltre, si attivano anche altre aree (Iacoboni et al., 1999, 2001), ovvero, il lobulo parietale superiore, opercolo parietale e del solco temporale superiore (STS; Fig.6), attività che però non riflettono un meccanismo specchio. In particolar modo, durante compiti di imitazione, la richiesta di imitazione produce delle copie sensoriali delle azioni attese, pertanto l’attivazione del lobulo parietale superiore pare rappresentare una copia cinestesica dei movimenti previsti. In alcuni studi, infatti, questa attività era presente quando ai soggetti veniva affidato il compito di osservare le azioni per poi ripeterle successivamente (Grèzes, Costes & Decety, 1998; Iacoboni, Woods, Brass, Bekkering, Mazziotta & Rizzolatti, 1999). Invece, per quanto riguarda l’attivazione dell’opercolo parietale e del STS, pare che queste riflettano rispettivamente delle copie somatosensoriali e copie visive dell’azione prevista (Rizzolatti & Craighero, 2004). Concludendo, questo circuito fronto-parietale nell’uomo, rappresenta il corrispettivo circuito specchio nel macaco, e si pensa svolga anche analoghe funzioni, ovvero la comprensione delle azioni altrui (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008) e delle intenzioni sottostanti (Iacoboni, Molnar-Szakacs, Gallese, Buccino, Mazziotta & Rizzolatti, 2005). Inoltre, l’attività di risonanza motoria di questo circuito, svolge un ruolo importante anche nella comprensione delle emozioni altrui, delle parole e nell’imitazione (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008).

2.3.1 I FATTORI CHE MODULANO IL MNS

Negli ultimi anni, grazie ai numerosi studi riguardanti i vari aspetti del sistema dei neuroni specchio, è diventato sempre più chiaro che durante l'osservazione di un'azione, il modo e la forza con cui i motoneuroni si attivano, dipendono da molteplici e complessi fattori. Evidenze scientifiche hanno dimostrato che il MNS viene modulato da fattori che possono coinvolgere: (i) tipologia di azione; (ii) dal modello osservato (i.e., conspecifico o non conspecifico); (iii) fattori che riguardano l’osservatore (ad esempio l’attenzione, la prospettiva, le aspettative o la familiarità di chi osserva rispetto l’azione analizzata); relazione tra l’osservatore e il modello osservato; (iv) dal contesto (Kemmerer, 2021). Al fine di comprendere al meglio la ricerca della presente tesi il seguente capitolo si focalizzerà sui fattori riguardanti il tipo di azione ed il modello osservato.

Tipologia di azione osservata

Tra i fattori che coinvolgono l’azione, osserviamo per primo la *transitività*, ovvero il fatto che l’azione sia o meno diretta ad un oggetto, diversamente da quelle intransitive, e riguardo questo fattore, ci sono dati contrastanti. Studi scientifici sulle scimmie hanno dimostrato che i loro neuroni

specchio rispondono solamente ad azioni transitive (Rizzolatti & Craighero, 2004; Rizzolatti & Sinigaglia, 2010) mentre altri provano una risposta anche per le azioni intransitive (Papadourakis & Raos, 2017). In quest'ultimo studio, i risultati hanno dimostrato che il MNS delle scimmie risponde all'osservazione di azioni sia transitive che intransitive e che le differenze di scarica evocate da questi due tipi di azione sono correlate più alle differenze cinematiche del movimento piuttosto che alle differenze delle caratteristiche degli oggetti. Dati che sottolineano anche l'importanza della cinematica dell'azione osservata sulla risposta di risonanza motoria. Per quanto riguarda l'uomo, l'impatto della transitività delle azioni che osserviamo sul MNS, è stato approfondito tramite studi che si sono avvalsi di diverse tecniche di neuroimmagine (e.g., PET, fMRI e TMS). Una metanalisi di studi PET e fMRI ha dimostrato che c'è una risonanza motoria più forte soprattutto nelle regioni frontali, ma anche in quelle parietali, per quanto riguarda le azioni transitive rispetto quelle intransitive della mano (Caspers, Zilles, Laird & Eickhoff, 2010). Uno studio di TMS di Enticott e collaboratori (2010) ha mostrato risultati simili. In questa ricerca, 43 soggetti sono stati testati con la TMS con lo scopo di valutare come venisse modulata l'eccitabilità corticospinale durante la visualizzazione di gesti delle mani intransitivi (e.g., afferrare una tazza) e transitivi (e.g., una presa pantomimata senza/in presenza di una tazza). I risultati hanno evidenziato un chiaro aumento dell'eccitabilità corticospinale, solamente durante l'osservazione del comportamento transitivo. Altre ricerche invece, hanno dimostrato che l'osservazione di un movimento intransitivo comporta una maggiore attivazione del sistema motorio durante l'osservazione di azioni intransitive ovvero prive di significato, rispetto quelle transitive (Hetu et al., 2011). Tutti questi dati provenienti dagli studi sull'essere umano, così come quelli derivati dagli studi sulle scimmie, non ci forniscono una prova univoca riguardo il fatto che il MNS risponde solamente alle azioni transitive, o anche quelle intransitive. Pertanto, si può affermare che la nostra corteccia motoria primaria rispecchia, sia le azioni transitive che intransitive, ma queste ultime vengono appunto rappresentate in maniera ridotta rispetto alle prime (Fadiga et al., 1995), e a sostegno ci sono studi EEG che dimostrano come questi due tipi di stimoli vengano elaborati in maniera diversa (Arnstein, Cui, Keysers, Maurits & Gazzola, 2011). Nello specifico, nello studio di Arnstein e collaboratori (2011), l'ipotesi iniziale si riferiva alla possibilità che sia la fMRI che l'EEG registrassero entrambi l'attività dello stesso MNS, prova per prova, e quindi, che la potenza del ritmo μ correlasse negativamente con il segnale BOLD sia durante l'osservazione che durante l'esecuzione di azioni principalmente nelle regioni del circuito parieto-frontale umano. Lo studio prevedeva simultaneamente scansioni EEG e fMRI, mentre 19 soggetti svolgevano l'esperimento che consisteva in una sessione di osservazione e due di esecuzione. In quella di osservazione, i pazienti visionavano, per 2 o 3 secondi, uno di tre tipi di azioni: (i) una mano destra che entra nello schermo per manipolare un oggetto su un tavolo; (ii) una mano destra che entra nello schermo e si muove continuamente senza

interagire con gli oggetti; (iii) una mano destra appoggiata sul tavolo vicino all'oggetto. Mentre per quanto riguarda le sessioni di esecuzione, la prima consisteva nel manipolare uno dei tre oggetti posti sul tavolo all'interno dello scanner, in base alla posizione di un cerchio verde che veniva proiettato sullo schermo. Mentre se il cerchio era rosso, i partecipanti dovevano spostare lo sguardo sulla posizione del cerchio sullo schermo invece di muovere le mani. Per la seconda sessione di esecuzione i partecipanti indossavano un guanto sulla mano destra, a cui era attaccato del materiale da imballaggio a bolle d'aria. Durante le sessioni venivano mostrate sequenze di quattro cerchi verdi di dimensioni decrescenti, e all'inizio della presentazione di ogni cerchio verde, i partecipanti dovevano spremere delicatamente il materiale tra le dita e il palmo. I risultati riportavano una sovrapposizione tra voxel condivisi (i.e., sVx; voxel attivati sia durante l'esecuzione dell'azione che durante l'osservazione) e voxel correlati alla soppressione del ritmo μ . Questi dati hanno fornito una prova dell'efficacia delle misure fMRI, nell'identificare le regioni cerebrali coinvolte, sia durante l'osservazione dell'azione, che durante l'esecuzione dell'azione (sVx) e della capacità degli esperimenti EEG di quantificare l'attività dei substrati neurali sovrapposti. Ritornando ai fattori che modulano la risonanza motoria, in questo studio, sia i segnali EEG, di soppressione del ritmo μ , che quelli fMRI, mostrano un'organizzazione somatotopica che consente azioni discriminanti eseguite da diversi effettori; entrambi rispondono ai due tipi di azione, ma in maniera più forte per le azioni transitive rispetto a quelle intransitive prive di significato; entrambi mostrano segnali più alti quando chi osserva ha maggiore esperienza nell'azione osservata; ed infine, entrambi mostrano segnali predittivi prima di un'azione che può essere anticipata. Dunque, il fatto che il nostro MNS sia influenzato sia dalle azioni transitive, che intransitive, seppure in misura diversa, può essere spiegato dal momento che le azioni intransitive, anche se non dirette ad un oggetto, sono spesso intenzionali, come ad esempio i gesti comunicativi. L'intenzionalità e lo scopo sottostante queste azioni sembrano dunque avere un effetto di risonanza motoria.

Un altro fattore riguarda la *cinematica* e l'*obiettivo* dell'azione osservata, dove per cinematica intendiamo il moto del corpo svolto durante l'azione. Sebbene esistano prove che queste due proprietà influenzino l'attivazione del MNS, ci sono anche ricerche che dimostrano effetti diversi. La cinematica delle azioni è rappresentata in maniera fine dalla corteccia motoria primaria, dove l'osservazione delle azioni può portare ad una facilitazione muscolo-specifica (Naish, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2014). Questi modelli di risposta muscolo-specifici sembrano essere coordinati dal giro frontale laterale posteriore, che ospita neuroni che rappresentano diversi tipi di azioni manuali, sia eseguite che viste. Così come avviene per la cinematica, anche gli obiettivi delle azioni osservate influenzano l'attività di regioni frontali e parietali. Ad esempio, indipendentemente dalla cinematica, c'è attivazione nel solco intraparietale anteriore quando gli obiettivi sono definiti solo come oggetto

bersaglio, mentre quando definiti in termini di scopi generali dell'agente, sono reclutate sia le aree frontali che parietali. La controversia circa queste due proprietà, riguarda principalmente l'uso degli strumenti, e a tal proposito, possiamo citare lo studio TMS di Cavallo e collaboratori (2012). In questa ricerca veniva registrata l'eccitabilità corticale sia del muscolo opponente del pollice (OP), che del muscolo primo interosseo dorsale (FDI), che controlla i movimenti dell'indice, mentre i soggetti osservavano azioni di presa eseguite con vari tipi di pinze: (i) classiche, che implicavano un movimento di chiusura; (ii) inverse, che implicavano un movimento di apertura e (iii) magnetiche, che venivano aperte con un movimento di apertura della mano e poi mantenute in quello stato. I risultati non mostravano che la facilitazione motoria rifletteva l'obiettivo dell'azione indipendentemente dai movimenti necessari all'azione di presa, bensì, suggerivano che la facilitazione rispecchiava i movimenti della mano osservati. Un successivo studio di Senna e collaboratori (2014) ha dimostrato che la corteccia motoria primaria (M1) è implicata nella codifica delle azioni osservate. In particolare, essa consente una codifica somatotopica rigorosa e una codifica dell'obiettivo dell'azione basata sull'esperienza motoria dell'osservatore. L'MNS può essere modulato anche dalle *regolarità cinematiche*, ovvero le leggi naturali dei movimenti biologici. Più specificamente, si parla della relazione che c'è tra velocità e curvatura dei movimenti degli arti, tale per cui, c'è un rallentamento per i segmenti più curvi, e un'accelerazione per quelli più dritti. Sappiamo sulla base di vari studi comportamentali, che la risonanza motoria è il risultato della codifica degli aspetti cinematici dell'azione (Bisio, Stucchi, Jacono, Fadiga & Pozzo, 2010; Bisio et al., 2014; Bouquet, Gaurier, Shipley, Toussaint & Blandin, 2007; Pozzo, Papaxanthis, Petit, Schweighofer & Stucchi, 2006), ovvero questa è presente solo durante l'osservazione del tipico profilo di velocità delle azioni umane dirette all'obiettivo, caratterizzato da una fase iniziale a velocità elevata e da una fase finale di rallentamento (Jeannerod, 1984). Tuttavia, uno studio TMS di Craighero e collaboratori (2016), in cui è stato indagato il ruolo della cinematica del movimento osservato sulla risonanza motoria, ha dimostrato come fattori quali, l'aspetto fisico, la cinematica naturale e la possibilità di identificare l'azione dietro lo stimolo, non sono condizioni necessarie per modulare il sistema motorio durante l'osservazione degli stimoli di movimento. Pertanto, anche il movimento non biologico è sufficiente per attivare nell'osservatore il programma motorio nascosto della mano. In linea con lo studio precedente, Casile e collaboratori (2010) attraverso uno studio fMRI, hanno evidenziato che i movimenti che rispettano queste regolarità attivano maggiormente le regioni premotorie e dorsofrontali sinistre, rispetto ai movimenti che le violano, dunque le azioni naturali da un punto di vista cinematico hanno risposte speculari maggiori. Risultati confermati anche dallo studio di Cignetti e collaboratori (2017), in cui le azioni con schemi ordinari avevano maggiori probabilità di essere mappate dall'osservatore rispetto a quelle con schemi strani. Legato al precedente fattore, c'è la cosiddetta *possibilità biomeccanica*, che riguarda la possibilità di

compiere azioni, e ci si chiede come i neuroni specchio rispondano all'osservazione di azioni che non possono essere eseguite dall'osservatore. Stevens e collaboratori (2000) hanno scoperto che le aree parietali e frontali sono impegnate quando i soggetti vedono un uomo che muove il braccio intorno alla gamba (un'azione possibile), mentre non sono impegnate quando i soggetti osservano un uomo che muove il braccio attraverso la gamba (un'azione impossibile). Diversamente, nello studio di Costantini e collaboratori (2005), si è osservato che i movimenti impossibili delle dita attivano le regioni somatosensoriali più di quelli possibili, una scoperta che corrisponde a quanto riferito dai soggetti secondo cui i primi stimoli evocano sensazioni di disagio. Come sottolineano Romani e collaboratori (2005), la corteccia motoria primaria potrebbe aver rappresentato i movimenti impossibili come un'esagerazione di quelli possibili o come azioni insolite che potrebbero essere apprese, suggerendo che l'eccitazione corticospinale è legata più alla codifica della specificità delle parti del corpo, che a una precisa lettura della cinematica.

Altre controversie circa l'attivazione del MNS riguardano il fatto che si osservino *azioni dinamiche* o semplicemente *istantanee statiche*. Quest'ultime, raffigurano un "movimento rappresentativo", che fa riferimento ad un fenomeno per cui gli osservatori di azioni statiche riescono ad estrapolare il movimento in avanti fino alla fase successiva. Questo suggerisce che la percezione di rappresentazioni statiche dipende da un'analisi predittiva derivata dalle esperienze e conoscenze pregresse. Diverse fonti, forniscono prove circa il fatto che, questi stimoli statici attivino il nostro sistema nervoso, in particolare le componenti frontali e parietali, e che questi inneschino simulazioni motorie predittive (Hamzei, Rijntjes, Dettmers, Glauche, Weiller & Buchel, 2003; Chong, Williams, Cunningham & Mattingley, 2008). Tuttavia, non ci sono dati che indicano se queste risposte siano forti come quelle innescate da stimoli dinamici. Infine, l'ultimo dei fattori che coinvolge l'azione e che modula le risposte del MNS, riguarda il *grado di percezione dell'azione come evento fisico reale*. Come nelle scimmie, anche negli esseri umani, ci sono dati che dimostrano un'attivazione maggiore durante l'osservazione di movimenti dal vivo rispetto a quelli registrati, in particolare nella corteccia motoria primaria (Jarvelainen, Schürmann, Avikainen & Hari, 2001). Quindi, le risposte dei neuroni specchio sono potenziate dal fatto che le azioni sono viste "nel qui e ora". Ed inoltre, per quanto riguarda la forma degli stimoli, ovvero se presentati in 2D o in 3D, si ravvisa che le azioni 3D attivano in maniera più forte le aree frontali e parietali rispetto a quelle 2D (Jastorff, Abdollahi, Fasano & Orban, 2016; Ferri, Pauwels, Rizzolatti & Orban, 2016).

Modello osservato

Analizzati i fattori che coinvolgono l'azione, possiamo descrivere quelli che coinvolgono l'attore, ovvero colui che svolge l'azione osservata. Tra questi troviamo la *somiglianza con l'uomo*, ci si

chiede infatti, quanto l'agente debba essere simile a chi osserva per scatenare risposte neurali nel MNS. Diverse ricerche hanno provato ad esaminare le risposte specchio sollecitate da azioni svolte da robot rispetto a quelle svolte da esseri umani, fornendo risultati incoerenti. Se alcuni studi rilevano risposte premotorie maggiori per le azioni umane (Tai, Scherfler, Brooks, Sawamoto & Castiello, 2004; Miura et al., 2010), ci sono altri studi che riscontrano una risposta ugualmente forte nelle regioni premotorie, frontali e parietali, per entrambi gli agenti, quando le azioni sono complesse e dirette ad un obiettivo (Gazzola, Rizzolatti, Wicker & Keysers, 2007). Altri ancora, rilevano risposte maggiori nel solco intraparietale anteriore durante la visione di robot che danzano, rispetto ad un umano che balla, indipendentemente dalla fluidità dei movimenti (Cross et al., 2012). Risultati questi, che suggeriscono come il nostro MNS possa essere sintonizzato per risuonare anche con azioni non umane. Più in generale, altre ricerche propongono che il nostro sistema motorio partecipa alla percezione e alla comprensione degli eventi fisici innescati sia da forze naturali che da forze meccaniche (Press & Cook, 2015).

Anche il *numero degli agenti* rappresenta un fattore che può modulare le risposte dei neuroni specchio. Due recenti studi di Cracco e collaboratori (2016, 2019), mostravano in maniera passiva due mani destre affiancate, dove, una delle quali o entrambe, eseguivano un'abduzione del dito indice o del mignolo. Nella condizione in cui si vedeva una sola mano eseguire ciascuna azione, veniva registrata un'eccitabilità corticospinale significativamente maggiore del muscolo rilevante rispetto a quello irrilevante. Ma quando si osservavano entrambe le mani eseguire la stessa azione, le risposte erano ancora più forti, effetto che, come suggerito dagli autori, insorgeva a causa del contagio di gruppo. Inoltre, sia la corteccia parietale premotoria, che la corteccia cingolata anteriore (coinvolta nel conflitto) reagivano in maniera più robusta quando si osservano più agenti svolgere insieme azioni diverse. Possiamo dunque affermare che il nostro MNS è influenzato dal numero di agenti, e che può rappresentare anche più azioni contemporaneamente.

Tra i due fattori che coinvolgono il modello osservato, quello che ha un maggior peso nella nostra ricerca è la somiglianza tra osservatore e agente, in particolar modo ci riferiamo al fenomeno della risonanza motoria dovuta all'osservazione di azioni di altre specie, ovvero non-conspecifici. Il primo studio che indaga l'osservazione e il riconoscimento di azioni di non-conspecifici, e i relativi correlati neurali, è quello di Buccino e collaboratori del 2004. Questo studio si è avvalso dell'uso della fMRI per analizzare le aree corticali attive durante l'osservazione di azioni della bocca eseguite dall'uomo e da individui appartenenti ad altre specie, come la scimmia e il cane. Partendo dai risultati di precedenti studi fMRI (Buccino et al., 2001), che mostravano, oltre alle attivazioni motorie dovute all'osservazioni di movimenti di mani e braccia, anche chiare attivazioni legate alle azioni della

bocca, Buccino e collaboratori (2004), si sono chiesti se gli esseri umani fossero in grado di riconoscere azioni eseguite da non-conspecifici attraverso gli stessi circuiti corticali coinvolti nel riconoscimento di azioni eseguite da conspecifici. Allo studio hanno preso parte 14 volontari, che hanno eseguito la prova per 4 volte. Durante la scansione, a questi veniva chiesto di osservare accuratamente una serie di sequenze video, mostrate attraverso uno specchio posto all'interno dello scanner. Ogni sequenza video, della durata di 20 secondi, presentava un singolo tipo di azione: (i) mordere o (ii) azioni comunicative orali, che venivano svolte rispettivamente da un uomo, una scimmia e un cane. In particolar modo, le azioni comunicative orali consistevano in un discorso silenzioso eseguito da un uomo, un morso silenzioso delle labbra eseguito da una scimmia e un abbaio silenzioso eseguito da un cane. Nella condizione sperimentale, durante ogni sequenza, lo stesso tipo di azione veniva presentato per 4 volte. Mentre, nel caso della condizione controllo, i soggetti osservavano un'immagine statica della stessa azione presentata nel video, sempre per 20 secondi. In totale, ogni prova era composta da 6 blocchi sperimentali, e 6 di controllo, e al termine di ogni scansione ai soggetti veniva chiesto di riferire le azioni viste. Rispetto alle ipotesi iniziali, i risultati confermavano che, sebbene le evidenti differenze visive negli stimoli osservati, quando l'azione osservata era comune agli animali e agli esseri umani, ovvero il morso, c'era una sovrapposizione tra le aree attivate. Mentre per le azioni comunicative orali, che nonostante l'obiettivo in comune, si esprimevano in modo diverso, c'era una netta differenza nella distribuzione e nell'estensione delle attivazioni corticali. Quindi, per quanto riguarda l'osservazione dei tre i tipi di morso (i.e., uomo, scimmia e cane), questa produce oltre ad un'attivazione delle aree visive occipitali, anche un'attivazione della corteccia parietale, in particolare nel lobulo parietale inferiore, e della corteccia premotoria, in entrambi gli emisferi. In relazione all'attivazione del lobulo parietale inferiore (BA40), questa si localizza in due settori distinti: uno rostrale e uno caudale. Nello specifico, nell'uomo, la zona rostrale del lobulo parietale inferiore sinistro, in accordo con i dati delle scimmie (area PF), presenta un sistema di neuroni specchio attivo durante l'osservazione delle azioni della bocca e della mano anche in assenza di qualsiasi movimento attivo (Buccino et al., 2001). Dunque, l'osservazione di morsi da parte di soggetti non-conspecifici, attiva gli stessi centri nel lobulo parietale inferiore rostrale coinvolti nell'osservazione di morsi da parte di esseri umani. Per quanto riguarda l'attivazione parietale destra invece, sembra essere più forte durante l'osservazione di morsi da parte di conspecifici, infatti, quanto più è lontana la specie dell'individuo che compie l'azione da quella umana, minore è la forza della risonanza motoria. Questi dati ci suggeriscono che l'emisfero sinistro codifica il significato dell'azione, andando oltre le caratteristiche visive, mentre l'emisfero destro è sintonizzato anche sugli aspetti visivi dello stimolo. Un dato importante, è che questa maggiore attivazione per le azioni dei conspecifici sia dovuta al fatto che gli esseri

umani sono più esposti a quel tipo di azione, e quindi meglio rappresentate. Per quanto riguarda invece, la porzione caudale del lobulo parietale inferiore, anche se la corrispondente area nelle scimmie (Area PG) è meno studiata, sappiamo che è anatomicamente collegata alle aree visive occipitali (Andersen, Asanuma, Essick, & Siegel, 1990) e ha funzioni soprattutto visive (Hyvärinen, 1982; Constantinidis & Steimetz, 2001). Nell'uomo, quest'area è attiva durante l'osservazione di azioni legate a un oggetto, a prescindere dall'effettore coinvolto (mano, bocca o piede; Buccino et al., 2001). E siccome l'estensione e l'intensità dell'attivazione di quest'area è la stessa, indipendentemente dal fatto che l'azione osservata sia eseguita da un uomo, da una scimmia o da un cane, non ci sono prove di un'attività speculare in quest'area, ma è possibile che l'attivazione svolga un ruolo nella codifica delle interazioni oggetto/effettore. L'osservazione del morso, inoltre, genera attivazioni anche nella corteccia premotoria, soprattutto nella *pars opercularis* del giro frontale inferiore (BA 44) e nell'adiacente corteccia premotoria ventrale (BA 6). Questi pattern sono bilaterali durante l'osservazione del morso uomo, mentre sono localizzate nell'emisfero sinistro durante l'osservazione del morso di non-conspecifici. Se nella scimmia, la corteccia premotoria ventrale (area F5 e F4) contiene neuroni specchio che scaricano sia durante l'esecuzione di azioni compiute con la mano, che quelle svolte con la bocca, nell'uomo le rappresentazioni motorie delle azioni mano/braccio sono localizzate nella regione a cavallo del solco tra la *pars opercularis* del giro frontale inferiore (corrispondente all'area F5) e l'area 6 ventrale (Binkofski, Buccino, Posse, Seitz, Rizzolatti & Freund, 1999; Ehrsson, Fagergren, Jonsson, Westling, Johansson & Forssberg, 2000; Gerardin et al., 2000). I risultati dello studio confermano quindi che nell'uomo sono attive le stesse regioni frontali durante l'osservazione, sia delle azioni della bocca compiute da un conspecifico, sia durante l'osservazione di azioni compiute da non-conspecifici, sebbene sia presente un'asimmetria tra emisfero destro e sinistro. Per quanto riguarda le attivazioni a sinistra, queste sono uguali indipendentemente dalla specie dell'agente, mentre le attivazioni destre sono assenti durante l'osservazione della stessa azione compiuta dai non-conspecifici. Anche in questo caso, come per il lobulo parietale inferiore, l'attivazione premotoria sinistra è legata al significato dell'azione, mentre l'attivazione destra è correlata anche agli aspetti visivi degli stimoli. Mentre, per quanto concerne l'osservazione di azioni con contenuto comunicativo, ovvero parlare in silenzio (uomo), schiacciare le labbra (scimmia) ed abbaiare (cane), i risultati hanno mostrato un pattern di attivazione diverso in base alla specie di appartenenza dell'agente. Se in generale l'osservazione del parlato provoca una forte attivazione della *pars opercularis* del giro frontale inferiore sinistro (Calvert & Campbell, 2003; Campbell et al., 2001; Surguladze et al., 2001; Grafton, Fadiga, Arbib, & Rizzolatti, 1996), in questo studio, l'attivazione relativa a questa azione è stata localizzata più rostralmente rispetto a quella coinvolta nell'osservazione del morso. In particolar modo ci sono diversi centri di attivazione nel giro frontale inferiore sinistro per gli aspetti semantici, sintattici e

fonologici del linguaggio, che sono rispettivamente la *pars orbitalis*, la *pars triangularis* e *opercularis*, e infine la parte dorsocaudale della *pars opercularis*. Inoltre, la regione attiva durante l'osservazione del morso è ampiamente sovrapponibile alla sezione fonologica posteriore. L'osservazione del discorso nel presente esperimento riporta anche altri siti di attivazione, ovvero la parte posteriore del STS bilateralmente e l'area intorno al *sulcus orbitalis* (BA 47), che presumibilmente si attiva a causa dei tentativi di dare un significato al discorso osservato (Bookheimer, 2002; Dapretto & Bookheimer, 1999). Attivazione che non è presente durante l'osservazione delle azioni comunicative compiute dai non-conspecifici. Mentre l'osservazione dello schiocco delle labbra nella scimmia, genera un'attivazione, seppur più debole di quella osservata durante la lettura del parlato, della *pars opercularis* del giro frontale inferiore, con una lieve prevalenza a destra. Infine, l'osservazione dell'abbaiamento silenzioso del cane non produce nessuna attivazione frontale statisticamente significativa, probabilmente perché a differenza del morso, che è un'azione transitiva, l'abbaiare è un'azione intransitiva, e la mancanza di attivazione frontale può indicare che l'abbaiamento silenzioso viene compreso essenzialmente su base visiva, poiché le aree visive sono più attive durante l'osservazione dell'abbaiamento che durante la lettura del parlato. Pertanto, possiamo concludere che le diverse azioni, svolte dai diversi agenti, possono essere riconosciute, ma in modi diversi. In particolare, le azioni che appartengono al repertorio motorio di chi osserva, possono essere mappate, poiché già presenti le rispettive rappresentazioni motorie; mentre le azioni che non appartengono a questo repertorio, vengono probabilmente riconosciute in base alle loro proprietà visive e facendo inferenze sulle loro conseguenze e/o obiettivi. Sia per il morso, che per la lettura del parlato, c'è risonanza di quei circuiti motori corticali che sono coinvolti nella loro effettiva esecuzione, e nel caso del morso, è evidente anche quando questo sia compiuto da un individuo appartenente a una specie diversa. Questa azione potrebbe quindi essere compresa in quanto la rappresentazione motoria a cui è abbinata produce un risultato noto all'individuo che agisce. Quindi a prescindere dal fatto che si osservino azioni transitive o intransitive, svolte da un conspecifico o meno, l'essere umano riconosce e presenta delle risposte di risonanza motoria sia per quelle azioni di cui già possiede le rappresentazioni motorie, sia per quelle che non fanno parte del suo sistema motorio, e che vengono analizzate tramite le loro caratteristiche pittoriche. Più di recente, anche White e collaboratori (2014) hanno analizzato, attraverso uno studio TMS, le risposte del nostro sistema motorio durante l'osservazione di azioni svolte da non-conspecifici. La ricerca si è posta l'obiettivo di analizzare se il nostro sistema motorio rifletta o meno il significato delle azioni anziché la meccanica delle azioni. A tale scopo, sono stati generati dei MEPs, attraverso la TMS, dai muscoli dei partecipanti coinvolti nel movimento di prensione, durante l'osservazione di azioni di presa orientate agli oggetti, ed eseguite da: (i) un essere umano, (ii) un elefante, (iii) un topo o (iv) un braccio robotico senza corpo (usato come stimolo di controllo). Pur non possedendo gli stessi effettori degli

esseri umani, l'elefante e il topo, sono stati inclusi nella ricerca, poiché gli autori hanno trovato riscontro in alcune evidenze scientifiche che dimostrano come la risonanza motoria sia possibile anche durante l'osservazione di azioni svolte con diversi effettori, come accendere una luce con la mano o con la testa (Gergely, Bekkering & Király, 2002); oppure quando soggetti destrimani e mancini, che osservano un'azione di presa eseguita con la mano destra o mano sinistra, mostrano risonanza motoria nella loro mano dominante indipendentemente dalla mano con cui è stata eseguita l'azione osservata (Sartori, Begliomini & Castiello, 2013). Lo studio di White e collaboratori (2014), si è interrogato sul come gli esseri umani riconoscano, codifichino e interpretino il significato delle azioni di non-conspicifici anche se seguite da effettori che non possediamo, e quindi, cercato di determinare se l'attività della corteccia motoria primaria, coinvolta nell'esecuzione dei movimenti della mano, differenziasse le azioni col medesimo obiettivo anche se svolte da specie diverse, utilizzando effettori simili o diversi dalla mano umana. Per rispondere a queste domande è stata misurata l'eccitazione corticospinale dei partecipanti, mentre questi osservavano dei video in cui, le tre diverse specie (uomo, ratto ed elefante) svolgevano azioni di presa, tutte con l'obiettivo implicito di mangiare (i.e., afferrare un pezzo di cibo) e video in cui il braccio robotico svolgeva le stesse azioni. L'azione di presa, è stata scelta come stimolo, poiché rappresenta un chiaro esempio di un tipo di azione che può essere svolta similmente sia dagli esseri umani che dagli animali, con l'eccezione che, questi ultimi, possono compierla sia mediante l'uso di effettori analoghi alle mani (e.g., la zampa di una scimmia), sia mediante l'uso di effettori specie-specifici (e.g., la coda di una scimmia o la proboscide di un elefante). La scelta degli animali è coerente con queste considerazioni. Difatti, il topo è stato scelto perché la sua zampa anteriore è strutturalmente simile alla mano umana, mentre l'elefante è stato incluso per fornire una misura estrema della natura specifica dell'effettore, poiché per afferrare il cibo, l'elefante usa la proboscide, che gli esseri umani non possiedono. All'esperimento hanno preso parte 13 partecipanti destrimani, che venivano posti davanti ad un PC dove erano presentati gli stimoli. Prima di ogni video, veniva mostrata un'immagine fissa del primo fotogramma del video per un intervallo di 1000 ms. Ogni prova consisteva in tre fasi: (i) fase di riposo (cornice statica), (ii) fase di raggiungimento e (iii) fase di presa. Durante ogni prova, veniva inviato un impulso TMS in un momento specifico durante una delle fasi di riposo, estensione o presa del movimento. Il resto dell'impulso TMS era sempre erogato 1000 ms dopo la presentazione dell'immagine statica iniziale dell'animale o del robot. Inoltre, veniva misurata l'attività elettromiografica dei partecipanti, grazie a degli elettrodi posti sul muscolo OP, e sul FDI. I risultati hanno mostrato differenze nelle ampiezze dei MEPs, a seconda delle specie osservate, infatti, osservare elefanti e ratti compiere movimenti di presa, suscitava MEPs più grandi rispetto alla visione della presa umana o robotica. Effetti che però erano presenti solo nel muscolo OP e non nel muscolo FDI, suggerendo che la risonanza motoria era limitata al muscolo

specifico coinvolto nell'azione di presa. Si può affermare quindi, che il sistema di osservazione dell'azione umana può rappresentare azioni eseguite da non-conspecifici ed è sensibile alle differenze specie-specifiche nella meccanica dell'azione.

Dopo aver osservato come la risonanza sia possibile anche nell'osservazione di azioni di non-conspecifici possiamo prendere in considerazione questo aspetto insieme ad un altro dei fattori analizzati da Kemmer (2021), ovvero la familiarità con l'azione osservata. In particolar modo, Urgesi e Amoruso (2016) hanno dato per primi la prova che questo fattore oltre a favorire la risonanza motoria per azioni svolte da conspecifici, può aumentare questa risposta anche durante l'osservazione di movimenti svolti da non-conspecifici ma con cui si ha un alto livello di esperienza visiva. Lo studio approfondito di questo fattore può essere vantaggioso per la nostra ricerca, poiché ci consente di avvalorare l'ipotesi secondo la quale una maggior vicinanza, e quindi anche la familiarità verso i movimenti delle piante (non-conspecifici), sia in grado di influenzare la risonanza motoria, e più in generale mitigare l'effetto della *plant blindness*.

Familiarità con il gesto osservato

Una delle prime ricerche che si è interrogata su come il livello di familiarità con le azioni di un non-conspecifico, possa fare in modo che il sistema motorio umano risuoni osservando le azioni di questi, è lo studio di Amoruso e Urgesi (2016). In questo studio, gli autori oltre ad interrogarsi sulla possibile attivazione del MNS durante l'osservazione di azioni svolte da un cane (non-conspecifico), si sono chiesti, se la familiarità verso questa specie possa giocare un ruolo chiave sulla forza delle risposte dei neuroni specchio. Nello studio sono state combinate insieme tecniche di TMS e di registrazione dei MEPs per studiare eventuali variazioni dell'eccitabilità corticospinale durante la visione di azioni svolte da cani e l'effetto della familiarità su quest'ultima. I MEPs sono stati registrati su due muscoli: il flessore radiale del carpo destro (FCR), coinvolto nell'esecuzione e nell'osservazione di movimenti generali del braccio e del polso, e il muscolo opponente del pollice destro (OP), coinvolto invece, in maniera specifica alle azioni umane, come la presa tramite la chiusura del pollice. Sono stati reclutati in tutto 28 partecipanti, tra i 19 e i 29 anni, divisi in due gruppi da 14 in base al loro livello di esperienza con i cani, stimato tramite un questionario di autovalutazione riguardante la loro competenza con questi animali. L'esperimento è durato circa 90 minuti, e durante questo arco di tempo i soggetti hanno osservato dei video che rappresentavano tre diversi tipi di azione, questo, per indagare possibili differenze legate alla semantica delle azioni svolte o da un umano o da un cane. Le azioni presentate consistevano in: (i) un gesto comunicativo, ovvero il saluto (gesto umano o coda in movimento del cane); (ii) un'azione transitiva, ovvero afferrare un oggetto (con la mano o con la

bocca del cane); (iii) un'azione intransitiva come l'agitare (l'uomo che porge la mano destra per agitare o il cane che solleva la zampa anteriore destra). Durante la visione dei diversi video, sono stati inviati singoli impulsi mediante una bobina posizionata sulla corteccia motoria sinistra (M1), e registrati i MEPs sui muscoli corrispondenti alle aree stimulate. Le ipotesi iniziali degli autori suggeriscono che la facilitazione motoria possa non necessariamente essere subordinata all'esperienza motoria in sé per sé, quindi impossibile per azioni specie-specifiche come l'uso della coda, ma che può essere raggiunta solo dopo un certo livello di esperienza visiva con l'azione osservata. I dati riportano che i partecipanti con familiarità mostrano diversi gradi di risonanza motoria, sia per le azioni umane che per quelle canine. Mentre per quelli che non hanno familiarità, il loro MNS è maggiormente attivo per le azioni umane. Quindi in linea con le ipotesi iniziali, lo studio ha dimostrato che la facilitazione motoria è possibile, anche nel caso in cui non ci siano esperienze motorie dirette pregresse, qualora però, sussista un adeguato livello di esperienza visiva circa l'azione osservata. Il dato più importante consiste nel fatto che è possibile una sintonizzazione anche con le azioni di non-conspecifici. Inoltre, visto che l'OP, coinvolto in azioni prettamente umane, non è stato facilitato come l'FCR, che riguarda movimenti più generali, esso rappresenta un risultato in linea con altri studi TMS che suggeriscono come la facilitazione corticospinale sia muscolo-specifica in base ai muscoli che sarebbero coinvolti nell'azione osservata (Fadiga et al., 1995; Urgesi et al., 2006). Si vede infatti, come anche nel caso dell'azione transitiva svolta dal cane (i.e., afferrare con la bocca), ci sia stata una facilitazione del muscolo FCR, che l'uomo appunto usa nelle azioni di prensione. Quindi anche se le azioni non possono essere mappate a livello cinematico, perché impossibili da eseguire a causa di vincoli biomeccanici, può esserci ugualmente risonanza, in quanto questa può riflettere anche il significato generale dell'azione, andando oltre la semplice lettura cinematica. Pertanto, si può affermare, che i soggetti con alta familiarità codificano le azioni dei cani a livello dell'obiettivo e non a livello cinematico, cosa che non avviene per chi non ha un elevato grado di esperienza visiva con questi animali. Non sono state trovate tuttavia, differenze nell'attivazione motoria tra i gruppi per i diversi tipi di azione (transitiva, intransitiva e comunicativa), questo potrebbe indicare che l'attribuzione di un senso alle azioni impossibili potrebbe essere dovuta ad un processo di generalizzazione, o al fatto che le eventuali differenze non si riflettessero in una variazione dell'ampiezza dei MEPs. Infatti, è probabile che i movimenti evocati dalla TMS e i MEPs riflettano processi diversi, ed essendo meno sensibili dei primi, non sia stato possibile rilevare le differenze per i diversi tipi di azioni. In ogni caso questo studio ci dimostra come l'MNS sia altamente flessibile e in grado di sintonizzarsi con altre specie. Quindi, sappiamo che la risposta dei MNS, è presente anche per i movimenti non-biologici, e, oltre alla sintonizzazione, è possibile anche la risonanza motoria nei confronti dei non-conspecifici, soprattutto verso quelli con cui abbiamo un buon livello di esperienza visiva.

Partendo dall'analisi di tutti questi dati raccolti finora, viene da chiederci, se una più estesa familiarità verso le piante, possa permettere la mappatura dei loro movimenti, e maggiori livelli di risonanza motoria, rispetto a chi non possiede gli stessi livelli di esperienza visiva.

CAPITOLO 3 - L'ESPERIMENTO

Nei precedenti capitoli abbiamo definito la *plant blindness* come l'incapacità di: (i) vedere o notare le piante nel proprio ambiente; (ii) riconoscere e apprezzare l'utilità delle piante nell'ambiente e negli affari umani; (iii) apprezzare le caratteristiche estetiche e biologiche uniche delle piante; (iv) classificare le piante come inferiori agli animali (Strgar, 2007). Le ragioni sono molteplici come per esempio: percorsi di studio che presentano un forte squilibrio che favorisce l'apprendimento riguardante le specie animali piuttosto che quelle vegetali, difficoltà nell'essere attratti dalle piante e/o difficoltà, in scene complesse, a porre attenzione agli elementi naturali. Abbiamo anche osservato come questo fenomeno sia diffuso in gran parte della popolazione mondiale.

Di seguito, introducendo il sistema dei neuroni specchio, ne abbiamo descritto le principali caratteristiche, con l'obiettivo di mostrare la possibilità che l'uomo possa comprendere anche le azioni di non-conspecifici.

In questo capitolo parleremo dello studio che abbiamo condotto e che punta ad indagare proprio quest'ultimo aspetto. Lo studio ha l'intento di fornire informazioni sul modo in cui le nostre risposte motorie possano essere influenzate dalla percezione di gesti simili eseguiti da un organismo molto lontano da noi, ovvero da una pianta. Nello specifico, la presente ricerca mira alla misurazione della facilitazione motoria dell'osservatore durante l'osservazione di movimenti di presa da parte di non-conspecifici, in questo caso, di una pianta di pisello (*Pisum sativum* L.) o un altro essere umano. L'obiettivo è quello di rilevare una possibile attivazione del sistema di risonanza motoria durante l'osservazione di movimenti delle piante, cosa che, come abbiamo potuto riscontrare nei precedenti capitoli, avviene già per i movimenti di altri esseri umani e di specie animali.

Se fosse vero che anche durante la visione dei movimenti delle piante, il sistema d'osservazione delle azioni presenti una attivazione, sarebbe allora possibile ipotizzare anche una comprensione dei gesti di queste specie, finora ritenute erroneamente immobili ed inanimate. Di conseguenza, pensare a nuovi modi per affrontare gli effetti della *plant blindness*, non sarebbe più tanto difficile. La comprensione di tali movimenti, potrebbe quindi portare ad una maggiore rappresentazione delle loro azioni, nonostante gli aspetti visivi, favorire sempre più esperienze dirette e sottolineare somiglianze con queste. E finalmente capire quanto queste siano importanti per le nostre vite.

3.1 MATERIALI E METODI

3.1.1 CAMPIONE SPERIMENTALE

Trentadue partecipanti adulti sani (maschi 16; femmine 16), di età compresa tra 19 e 29 anni (età media 24.37 ± 2.78 anni), hanno preso parte allo studio. Tutti i partecipanti erano destrimani,

come valutato con l'Edinburgh Handedness Inventory (EHI; Oldfield, 1971), con un'acuità visiva normale oppure corretta alla norma. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico dell'Università di Padova e condotto in conformità alla Dichiarazione di Helsinki (numero di protocollo: 4733). I partecipanti sono stati sottoposti a screening per i criteri di esclusione della TMS (Wasserman, 1998; Rossi et al., 2009). Prima dell'esperimento è stato ottenuto il consenso informato scritto. Durante l'esperimento non sono stati segnalati disagi o altri effetti avversi.

3.1.2 STIMOLI SPERIMENTALI

I videoclip riguardanti il modello umano sono stati girati da una prospettiva frontale con l'utilizzo di una Canon Legria HF36 (Tokyo, Giappone) montata su un treppiede. Tutti i video includevano l'effettore (i.e., mano dell'attrice) a riposo prima dell'azione, seguito da una rotazione o da una presa dell'oggetto. Il movimento di prensione verso il palo rosso si è verificato circa 1.665 ms dopo l'inizio del video. Il movimento della pianta è stato registrato mediante una telecamera ad infrarossi che ha scattato una foto ogni 180 secondi (numero totale di fotogrammi: 119, durata totale: 21420s, velocità media: 0.006mm/s). Il bastoncino di legno è stato colorato in rosso per aumentare il contrasto dei viticci con lo sfondo (Fig. 7E-G). Il movimento è stato quindi presentato entro una finestra temporale di 4,5 secondi (velocità media: 30 mm/s), in modo che la finestra temporale fosse la stessa sia per i movimenti della pianta che per quelli della mano. Per tutti i videoclip, l'effetto di animazione è stato ottenuto presentando ogni fotogramma di 33 ms in serie. Gli ultimi fotogrammi duravano 600 ms. L'ordine in cui sono stati presentati i video è stato randomizzato per ciascun partecipante. L'intervallo fra i vari video sperimentali era di 10 secondi. I primi 8 secondi di riposo sono stati accompagnati da un messaggio che esortava i partecipanti a tenere le mani il più ferme e rilassate possibile. Successivamente, negli ultimi 2 secondi di riposo, al centro dello schermo del computer è apparsa una croce di fissazione bianca su sfondo nero. Le condizioni sperimentali erano:

- i) Gesto fermo (F): un'immagine statica di una mano (Fig. 7A) o di una pianta di pisello (Fig. 7E).
- ii) Gesto rotatorio (R): una mano (Fig. 7B) o una pianta (Fig. 7F) che ruota intorno al proprio asse centrale.
- iii) Gesto di afferramento (G): un movimento di raggiungimento ed afferramento eseguito da una mano (Fig. 7C,D) o da una pianta (Fig. 7G) verso un palo di colore rosso.
- iv) Gesto di afferramento in stile vegetale: un video di un movimento di presa eseguito da una mano (Fig. 7D) con obiettivi e caratteristiche di movimento comparabili rispetto al movimento di presa eseguito dalla pianta. Cioè, il modello umano ha simulato il movimento della pianta eseguendo movimenti circolari durante la fase di raggiungimento al palo rosso.

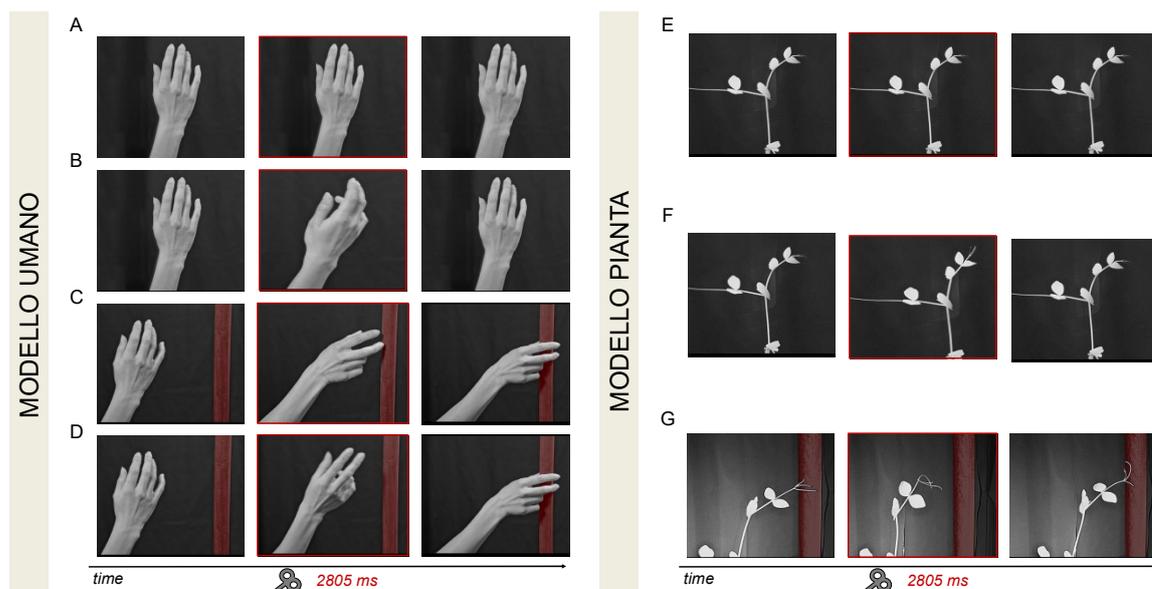


Fig. 7. I videoclip utilizzati nel presente studio. (A) Un'immagine statica di una mano; (B) una mano che ruota sul proprio asse; (C) un movimento di raggiungimento ed afferramento verso un palo di legno; (D) un movimento di raggiungimento ed afferramento verso un palo rosso che simula il movimento di raggiungimento rotatorio di una pianta di pisello; (E) un'immagine statica di una pianta di pisello; (F) una pianta di pisello che ruota sul proprio asse centrale; (G) un movimento di raggiungimento ed afferramento verso un palo rosso eseguito da una pianta di pisello.

3.1.3 STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA (TMS) E REGISTRAZIONE DEI POTENZIALI EVOCATI MOTORI (MEPs)

La TMS a singolo impulso è stata applicata sulla regione della mano della corteccia motoria primaria sinistra (M1) utilizzando una bobina a forma di otto da 70 mm collegata a uno stimolatore Magstim Bistim2 (Magstim Co., Whitland, Regno Unito). La bobina è stata tenuta tangenzialmente sullo scalpo a un angolo di 45° rispetto alla linea mediana (Brasil-Neto et al., 1992; Mills et al., 1992) per indurre una corrente postero-anteriore (PA) attraverso il solco centrale. La posizione ottimale dello scalpo (OSP) per il muscolo del dito indice (*first dorsal interosseous* – FDI), cioè la posizione in cui vengono registrati i MEPS con la massima ampiezza con la minima intensità di stimolazione, è stata identificata erogando singoli impulsi TMS a intensità fissa mentre si spostava la bobina di 0.5 cm intorno all'area bersaglio fino a raggiungere la posizione migliore. L'area dell'OSP corrispondente alla corteccia motoria primaria M1 è stata identificata spostandosi di 3 cm a sinistra e di 1 cm in avanti dal vertice, ottenuto incrociando la distanza tra il *nasion* (cioè il punto craniometrico mediano situato sulla sutura naso-frontale) e l'*inion* (cioè la sommità della protuberanza occipitale esterna

dell'osso occipitale) con il punto mediano tra le fossette preauricolari (cioè la depressione ossea immediatamente davanti al trago). L'OSP è stato segnato su una cuffia stretta che il partecipante indossava. I MEPs sono stati acquisiti dal muscolo FDI della mano destra mentre i partecipanti guardavano una croce di fissazione bianca su sfondo nero presentata al centro di un monitor posto frontalmente. La soglia motoria a riposo (rMT) è stata determinata applicando dieci impulsi consecutivi all'intensità di stimolazione minima necessaria per produrre, nel muscolo FDI controlaterale rilassato, MEPs superiori a 50 μ V nel 50% dei trial (Rossini et al. 1994). La rMT variava dal 28 al 62% (media 42%; SD= 5.96) dell'uscita massima dello stimolatore. L'intensità della stimolazione è stata quindi imposta al 120% della rMT per registrare un segnale MEPs chiaro e stabile per tutta la durata dell'esperimento (variabile dal 34 al 74%; media 51%; SD= 7.11). Durante le sessioni sperimentali, la bobina è stata sostenuta da un treppiedi e controllata continuamente dagli sperimentatori per mantenere un posizionamento costante rispetto all'OSP contrassegnato. I MEPs sono stati registrati simultaneamente dal muscolo FDI della mano destra del partecipante attraverso due coppie di elettrodi Ag/AgCl (1 cm di diametro) disposti con un montaggio *belly-tendon*. Dopo aver pulito la pelle, sono stati posizionati e fissati gli elettrodi con una piccola quantità di pasta conduttiva EEG idrosolubile sulle zone *target*. L'elettrodo attivo è stato posizionato sul ventre muscolare, determinato mediante palpazione durante la massima contrazione volontaria, mentre l'elettrodo di riferimento è stato posizionato sulla giunzione interfalangea prossimale. L'elettrodo di terra è stato posizionato sul polso destro del partecipante. Gli elettrodi e i fili sono stati fissati e posizionati in modo da non limitare i movimenti del partecipante. L'impedenza cutanea, valutata a riposo prima di iniziare la sessione sperimentale, è stata considerata di buona qualità quando era inferiore al livello di soglia (5 kOhm). Gli elettrodi sono stati collegati ad un box di ingresso ExG portatile isolabile, collegato all'amplificatore EMG principale per la trasmissione del segnale attraverso un doppio cavo in fibra ottica (Professional BrainAmp ExG MR, Monaco, Germania). Un filtro passa-alto di 20 Hz e un filtro passa-basso di 1000 Hz sono stati applicati al segnale miografico grezzo, che è stato amplificato prima di essere digitalizzato (frequenza di campionamento di 5 kHz) e memorizzato su un computer per l'analisi off-line. I segnali EMG sono stati registrati con il software Brain Vision Recorder (Brain Products GmbH, Monaco, Germania).

3.1.4 QUESTIONARIO SULLA IMPORTANZA DELLE PIANTE (IPQ)

Ai partecipanti è stato richiesto di rispondere a un paio di domande sul "ruolo e l'importanza delle piante per la vita umana e degli altri organismi viventi". Il questionario comprendeva 9 *item*: (i) *Item 1* - La vita sarebbe impossibile senza le piante; (ii) *Item 2* - Gli alberi sono molto importanti nel centro urbano perché forniscono ombra e per la loro naturale freschezza; (iii) *Item 3* - Le amministrazioni comunali dovrebbero prendersi cura del verde urbano; (iv) *Item 4* - Le piante utilizzano l'energia

solare; (v) *Item 5* - Le piante producono ossigeno; (vi) *Item 6* - L'inquinamento ambientale influisce sulla vita delle piante; (vii) *Item 7* - Le piante sono molto importanti per la medicina; (viii) *Item 8* - Le piante dovrebbero essere introdotte nelle città per aumentarne l'attrattiva; (ix) *Item 9* - Le piante sono anche colpite da malattie; (x) *Item 10* - Le piante assorbono l'anidride carbonica e aiutano a regolare il clima. I partecipanti hanno assegnato un punteggio a ciascun *item* utilizzando una scala di tipo *Likert* che va da 1 (fortemente in disaccordo) a 5 (fortemente d'accordo). Il questionario presentava *item* sia positivi che negativi. Per il calcolo del punteggio totale, gli *item* negativi sono stati valutati in ordine inverso (ad esempio, il punto 5 equivale al punto 1).

3.1.5 PROCEDURA

I partecipanti sono stati testati individualmente in un'unica sessione sperimentale della durata di 1 ora e 30 minuti. I partecipanti erano seduti su una comoda poltrona di fronte a uno schermo di 19 pollici (risoluzione di 1920 x 1080 pixel, frequenza di aggiornamento di 60 Hz, luminosità di fondo di 0.5 cd/mq) a una distanza di 80 cm e con il braccio destro posizionato su un cuscino e la testa su un poggiatesta fisso. I partecipanti sono stati invitati a rimanere fermi e calmi durante l'intera sessione sperimentale. I MEPs indotti dalla TMS sono stati acquisiti dal muscolo FDI della mano destra dei partecipanti. Un singolo impulso TMS è stato rilasciato durante ogni presentazione video al tempo di 2805 ms. L'impulso della TMS corrisponde all'erogazione dell'impulso elettromagnetico nel momento in cui il modello umano ha raggiunto la massima apertura della presa della mano prima di entrare in contatto con il palo rosso (Fig. 7C,D). Per quanto riguarda il modello pianta, l'impulso elettromagnetico è stato erogato quando la pianta si stava avvicinando al palo rosso per afferrarlo e la forma dei viticci (cioè le foglie modificate usate dalla pianta per afferrare il palo rosso) assomigliava all'apertura della presa del modello umano (Fig. 7G). Per ogni partecipante sono stati registrati 135 MEPs (cioè 1 muscolo × 7 condizioni × 15 ripetizioni). Prima e dopo il blocco sperimentale, la *baseline* relativa l'eccitabilità corticale di ciascun partecipante è stata valutata acquisendo 15 MEPs mentre osservava passivamente una croce di fissazione bianca su sfondo nero presentata sullo schermo del computer. La media delle ampiezze dei MEPs registrati durante i due periodi di *baseline* (cioè 30 MEPs in totale) è stata utilizzata per stabilire la *baseline* individuale di ciascun partecipante per le procedure di normalizzazione dei dati. Tra una prova e l'altra è stato adottato un intervallo tra gli impulsi pari a 5.25 secondi. Durante questo intervallo, ai partecipanti è stato ricordato di rimanere completamente rilassati per 5s, mentre per i restanti 0.25s è stata presentata una croce di fissazione. La presentazione di una croce di fissazione prima di ogni prova assicurava che i partecipanti iniziasero sempre la prova osservando i video da una posizione neutra. L'ordine dei video è stato randomizzato tra i partecipanti. Al termine della fase sperimentale, è seguita una breve intervista a risposta

aperta, in cui è stato chiesto al partecipante quali impressioni avesse provato durante la visione del video.

3.1.6 ANALISI DEI DATI

I dati sono stati analizzati in modalità offline utilizzando il software Brain Vision Analyzer (Brain Products GmbH, Monaco, Germania) per i dati EMG e il pacchetto software R (pacchetto R versione 4.2.2; R Core Team, 2013) per l'analisi statistica. L'ampiezza picco-picco dei MEPs (mV) per il muscolo FDI è stata determinata come misura dell'eccitabilità corticale dei partecipanti. L'ampiezza MEPs che si discostava di oltre tre deviazioni standard (SD) dalla media per ogni condizione sperimentale, e le prove in cui era stata registrata pre-attivazione muscolare venivano escluse dall'analisi dei dati e considerate come valori anomali (<5%). È stato utilizzato un t-test a due code per confrontare l'ampiezza dei MEPs registrati durante le due *baseline* effettuate all'inizio e alla fine di ogni blocco. Questo confronto è utile per accertare che le modulazioni delle ampiezze dei MEP siano dovute alla manipolazione sperimentale e non ad altre influenze. I rapporti sono stati calcolati utilizzando l'ampiezza media dei MEP del singolo partecipante registrata durante le due *baseline* (rapporto MEPs = MEPs ottenuto/MEP di base). Per ciascun partecipante e per ciascuna delle sette condizioni sperimentali, l'ampiezza media assoluta dei MEPs era soggetta a un processo di normalizzazione riportando i valori dei MEPs alla corrispondente *baseline* fisiologica, separatamente per ciascun muscolo. Le ampiezze dei MEPs sono state analizzate con il software R (versione 2022.07.2). Sulle ampiezze dei MEPs del muscolo FDI è stata eseguita un'ANOVA a misure ripetute (rmANOVA) con il tipo di modello (umano o pianta) e il movimento eseguito (gesto fermo, rotatorio e di afferramento) come fattori interni al soggetto. Il valore eta-quadro parziale (partial- η^2) è stato calcolato come stima della dimensione dell'effetto. Quando sono state rilevate interazioni significative, sono stati eseguiti confronti con correzione di Bonferroni. Per quanto riguarda il tipo di movimento osservato, nella analisi principale abbiamo confrontato l'azione di afferramento eseguita da un essere umano o da una pianta con lo stesso obiettivo (cioè raggiungere e afferrare un palo), ma diverse caratteristiche di movimento (Fig. 7C e 7G). Mentre è stato utilizzato un t-test a campione accoppiato (a due code) per confrontare l'ampiezza dei MEPs registrati durante l'osservazione del movimento di afferramento eseguito da un modello umano o da una pianta con caratteristiche di movimento simili (Fig. 7D e 7G). Infine, per valutare la relazione tra il punteggio del questionario e i valori di MEPs per ciascuna condizione sperimentale è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. Per tutte le analisi statistiche, la soglia di significatività è stata fissata a $p < .05$.

3.2 RISULTATI

Le ampiezze medie dei MEPs registrate all'inizio e alla fine della sessione sperimentale non erano significativamente diverse per il muscolo FDI (856.60 vs. 697.65 μV ; $t_{32} = 1.53$; $p = .135$). Pertanto, la TMS di per sé non ha indotto alcun cambiamento non-specifico nell'eccitabilità corticale che avrebbe potuto influenzare i risultati.

3.2.1 UMANO VS PIANTA: STESSO OBIETTIVO, MA CARATTERISTICHE DI MOVIMENTO DIVERSE

Sono state confrontate le ampiezze MEPs del muscolo FDI del partecipante durante l'osservazione di un gesto eseguito da un essere umano (Fig. 7A,B,C) o da una pianta (Fig. 7E,F,G). I risultati hanno mostrato un effetto principale significativo del modello (Umano vs Pianta; $F_{1,31} = 6,250$; $p = .018$; $\text{partial-}\eta^2 = .168$; Fig. 8), del tipo di azione (gesto fermo, rotatorio e di afferramento; $F_{2,62} = 3,232$; $p = .046$; $\text{partial-}\eta^2 = .094$; Fig. 8) e dell'interazione tra Modello*Azione ($F_{2,62} = 3,652$; $p = .032$; $\text{partial-}\eta^2 = .105$; Fig. 8). I contrasti post-hoc per esplorare l'interazione hanno rivelato che l'ampiezza del MEPs per il muscolo FDI era maggiore quando i partecipanti osservavano un movimento eseguito da una pianta piuttosto che da un essere umano ($p = .018$). Inoltre, l'ampiezza del MEPs era più bassa quando i partecipanti osservavano un gesto di afferramento eseguito dal modello umano rispetto a un gesto rotatorio eseguito da un umano ($p = .008$) o da una pianta ($p = .019$) e a un gesto di afferramento eseguito da una pianta ($p = .011$). Non sono state rilevate differenze significative negli altri confronti.

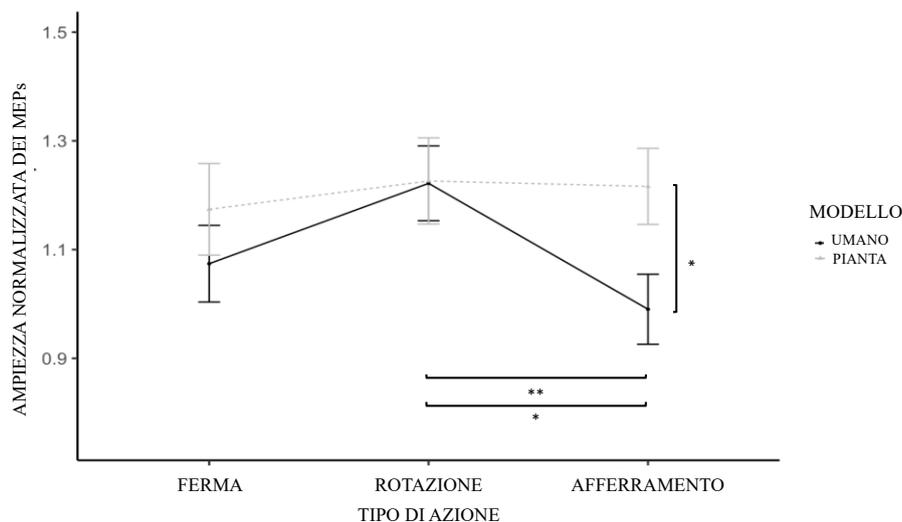


Fig. 8. Rappresentazione grafica dei valori medi dell'ampiezza del MEP del muscolo FDI quando i partecipanti osservavano un gesto fermo, rotatorio o di afferramento eseguito da un essere umano o da un modello vegetale. La barra di errore rappresenta il SE della media. *= differenza significativa tra le condizioni. * = $p < .05$; ** = $p < .01$; *** = $p < .001$.

3.2.2 UMANO VS PIANTA: STESSO OBIETTIVO E STESSE CARATTERISTICHE DI MOVIMENTO

L'ampiezza dei MEPs del muscolo FDI dei partecipanti è stata confrontata durante l'osservazione di un movimento di afferramento eseguito da un modello umano o da una pianta con lo stesso obiettivo (cioè afferrare il palo rosso) e con le stesse caratteristiche di movimento (cioè il modello umano simulava il movimento di raggiungimento di una pianta eseguendo movimenti circolari durante la fase di raggiungimento). Non è stata osservata alcuna differenza significativa nel confronto tra i gesti di afferramento eseguiti da un modello umano che imitava una pianta (Fig. 7D) e un modello di pianta (media 1.11 ± 0.43 ; $t_{31}=-1.72$; $p=.094$; Fig.7G).

3.2.3 UMANO VS PIANTA: IMPATTO DELLA SENSIBILITÀ ALLE PIANTE NELLA RISONANZA MOTORIA

Per valutare se la sensibilità individuale verso le piante potesse avere un effetto sulla risonanza motoria dell'osservatore, è stata valutata la relazione tra le risposte al questionario sull'importanza delle piante e i valori MEPs del muscolo FDI in ciascuna condizione sperimentale mediante il test del coefficiente di correlazione di Pearson (Fig. 9). I risultati hanno mostrato una correlazione negativa significativa tra l'ampiezza dei MEPs del muscolo FDI per tutte le condizioni sperimentali (Fig. 9), ad eccezione della condizione in cui i partecipanti hanno osservato una mano immobile (Fig. 7A).

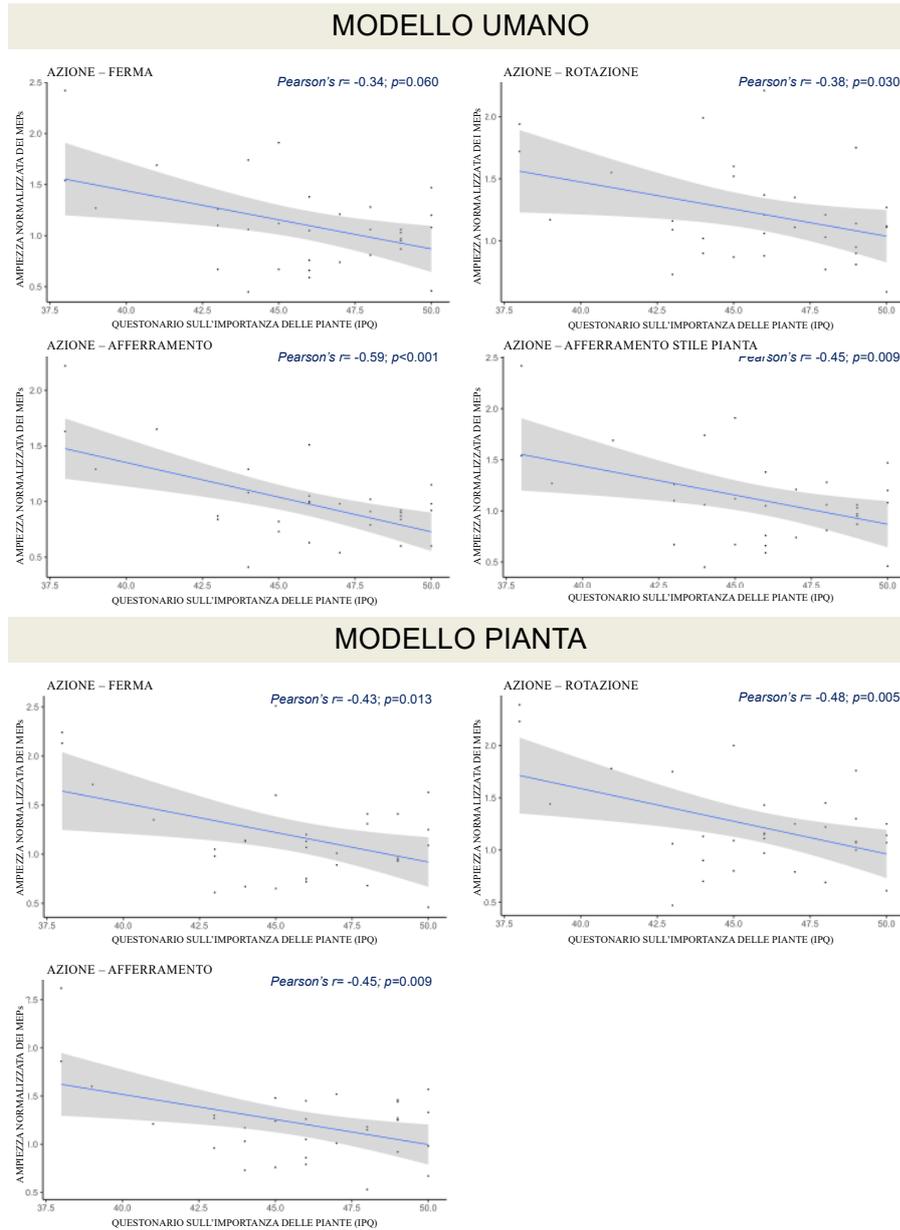


Fig. 9. Rappresentazione grafica della relazione tra l'ampiezza del MEPs del muscolo FDI e il questionario sull'Importanza delle piante: il ruolo e l'importanza delle piante per la vita umana e per gli altri organismi viventi" per ciascuna condizione sperimentale.

CAPITOLO 4 - DISCUSSIONE

In un mondo in cui la sopravvivenza degli esseri umani dipende dalle piante, la loro importanza è spesso trascurata. La *plant blindness* influisce sulla nostra percezione e sulle nostre relazioni con il mondo naturale, ed inoltre, ha conseguenze significative sull'ambiente e nel modo in cui noi affrontiamo il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità.

Uno dei tanti fattori che contribuiscono a questo fenomeno, è la percezione dell'immobilità delle piante da parte degli esseri umani. Lo scopo principale di questa ricerca è stato quello di indagare questo aspetto specifico, ovvero valutare se l'osservazione di un gesto eseguito da una pianta in una scala temporale simile alla nostra possa avere un effetto sull'attivazione motoria dell'osservatore. Nel presente studio abbiamo analizzato l'attivazione corticospinale in seguito all'osservazione di video raffiguranti azioni eseguite da un essere umano o da una pianta di pisello. In generale, abbiamo riscontrato un maggior livello di facilitazione corticospinale durante l'osservazione di movimenti di presa svolti dalla pianta di pisello piuttosto che dall'uomo. A quanto sappiamo, questo è il primo studio che riporta questo effetto sull'attivazione motoria di seguito all'osservazione di azioni eseguite da piante. Inoltre, il nostro studio suggerisce che, per i partecipanti che riconoscono l'importanza delle piante, la facilitazione corticospinale è minore rispetto a coloro che non le considerano importanti. In termini di attivazione motoria generalizzata, i nostri risultati non solo, sono in linea con studi precedenti riguardanti l'osservazione di azioni eseguite da non-conspecifici (Amoruso & Urgesi, 2016; White et al., 2014), ma addirittura ampliano la letteratura dimostrando che questa "sintonizzazione" non è limitata alle sole azioni umane o di altri animali, ma riguarda anche le azioni eseguite dalle piante. In particolare, le azioni eseguite dalla pianta di pisello nel nostro studio includono movimenti che gli esseri umani possono eseguire in qualche modo (e.g., movimenti rotatori come per la condizione B; Fig. 7), pertanto l'attivazione rilevata può derivare da una mappatura cinematica che implica la lettura degli aspetti cinematici dell'azione osservata. A sostegno, ci sono diversi studi che dimostrano un'attivazione delle aree del sistema motorio durante l'osservazione di azioni riconoscibili ma eseguite da agenti e specie diverse (per una rassegna si veda Kemmerer, 2021). Non possiamo escludere, tuttavia, che nelle circostanze attuali l'attivazione della corteccia motoria umana non sia soltanto limitata all'osservazione delle azioni, ma possa essere legata a un processo generale di inferenza degli obiettivi dai movimenti osservati (Cross et al., 2012; Engel et al., 2008; Fiorio et al., 2010; Gazzola et al., 2007; Gowen & Poliakoff, 2012; Petroni et al., 2010). In quest'ottica, l'effetto di attivazione motoria osservato può anche riflettere l'attribuzione di un obiettivo/intenzione all'azione della pianta. In altre parole, gli individui potrebbero aver codificato le azioni delle piante a livello dell'obiettivo o del risultato (i.e., afferrare il palo).

Azioni transitive e intransitive

I nostri risultati rivelano che la corteccia motoria primaria era più attiva durante l'osservazione di azioni rotatorie intransitive rispetto a quelle transitive di presa (Borroni & Baldissera, 2008; Héту et al., 2011). La maggiore attivazione motoria osservata per le azioni intransitive potrebbe suggerire che i partecipanti hanno trovato più difficile codificare i movimenti eseguiti dagli esseri umani quando manca un insieme motorio che coinvolge un effettore e un oggetto, necessario per le azioni transitive. Va detto, tuttavia, che i risultati della letteratura scientifica riguardanti il confronto tra movimenti transitivi e intransitivi, sono contrastanti.

Alcuni autori hanno riscontrato un aumento di risonanza motoria durante le azioni transitive, suggerendo una "preferenza" per le azioni dirette all'oggetto (Balconi et al., 2015; Buccino et al., 2001; Caspers et al., 2010; Enticott et al., 2010). Altri invece, non hanno rilevato differenze di attivazione corticale tra i movimenti transitivi e quelli intransitivi, all'interno del sistema percezione-azione (Fadiga et al., 1995). Héту e colleghi (2011) hanno indagato specificamente il ruolo di due fattori (i.e., transitività e significato dei movimenti osservati) sulla modulazione dell'attività cerebrale durante l'osservazione di azioni in uno studio di risonanza magnetica funzionale. Nei video sono stati riprodotti tre tipi di movimenti: (i) movimenti quotidiani eseguiti con un oggetto; (ii) azioni mimate degli stessi movimenti senza l'oggetto (movimento intransitivo); (iii) azioni intransitive senza uno scopo. I risultati hanno mostrato che le regioni fronto-parietali del sistema di percezione dell'azione sono state reclutate maggiormente durante l'osservazione di azioni prive di significato. La transitività ha avuto un effetto ridotto o nullo sull'attività del sistema percezione-azione. In effetti, le analisi ROI non hanno rilevato differenze tra le condizioni transitive con significato e intransitive con significato, in linea con uno studio di Koski et al. (2002). Al contrario, i movimenti privi di significato, e di conseguenza non appartenenti al nostro repertorio motorio, appaiono poco familiari. Questi nuovi movimenti, infatti, richiedono una maggiore attenzione rispetto a quelli familiari (un effetto noto come *odd ball effect*) e richiedono una maggiore attivazione per il riconoscimento e l'apprendimento del nuovo schema motorio. In linea con questo studio, i dati riguardanti l'osservazione di movimenti di rotazione della mano simili a quelli delle piante, forniscono alla letteratura una maggiore comprensibilità sull'effetto dell'osservazione di azioni intransitive sull'attivazione corticospinale.

Sensibilità verso le piante e cecità alle piante

Un aspetto importante del presente studio è che il muscolo FDI, coinvolto nell'esecuzione e nell'osservazione dei movimenti della mano, è stato facilitato in maniera diversa dall'osservazione di movimenti umani e vegetali. In particolare, il livello di facilitazione corticospinale era maggiore quando si osservavano i movimenti delle piante piuttosto che quelli umani. La sensibilità verso le

piante può avere un ruolo in questo risultato. Inoltre, bisogna ricordare che il tipo di movimento delle piante a cui si fa riferimento non è visibile a occhio nudo. Pertanto, quando il movimento delle piante viene presentato a una velocità che può essere percepita ad occhio umano, i partecipanti potrebbero aver bisogno di un maggiore sforzo interpretativo che si riflette sul livello di attività corticospinale. Pertanto, il modello differenziale riguardante l'osservazione del movimento delle piante potrebbe essere attribuito al grado di familiarità visiva con le azioni e alle loro associazioni con i corrispondenti piani motori (e.g., Betti et al., 2019; Buccino et al., 2004). In altre parole, sembra che il nostro sistema motorio non venga attivato dal movimento delle piante nello stesso modo in cui lo è dal movimento umano. Ricordiamo che gli esseri umani non solo hanno un'esperienza motoria diretta, ma generalmente hanno anche una familiarità visiva maggiore con le azioni umane rispetto a qualsiasi altro stimolo in movimento, compresi i movimenti biologici di altre specie (Amoruso & Urgesi, 2016; White et al., 2014).

Un aspetto importante di questi risultati è che la facilitazione corticospinale era più bassa per i partecipanti che, in base al questionario, sembravano più in sintonia con le piante. Gli individui che riconoscono l'importanza delle piante mostrano un'ampiezza dei MEP inferiore rispetto a coloro che non le considerano importanti.

Per quanto sappiamo, questo è il primo studio che riporta un simile effetto sull'attivazione motoria in risposta all'osservazione di azioni eseguite dalle piante. La reale differenza nella percezione del movimento delle piante e degli esseri umani supporta l'inclusione di una componente motoria nella definizione della *plant blindness* (Achurra, 2022; Parsley, 2020; Wandersee & Schussler, 1999). Il fatto che la presenza del movimento possa essere alla base della *plant blindness* è supportato dai risultati che riportano che la caratteristica animale che genera più interesse negli esseri umani è il movimento (Kinchin, 1999). Sebbene il movimento si manifesti nelle piante su tutte le scale, dall'apertura degli stomi e chiusura della foglia ai movimenti dei rami degli alberi, la maggior parte dei movimenti delle piante non sono percepibili dall'occhio umano perché troppo lenti per essere percepiti (Forterre, 2013). Pertanto, non dovrebbero attirare l'attenzione delle persone.

Il nostro studio rende visibili i movimenti lenti delle piante e promuove un importante progresso nella comprensione del fenomeno della *plant blindness*. Le implicazioni più importanti di questi risultati riguardano il modo in cui la conoscenza concettuale è organizzata nel nostro cervello. Gli animali e le piante rientrano nella stessa suddivisione? È stato ipotizzato che nel nostro cervello esista una distinzione categoriale tra animali, piante e artefatti (Caramazza & Shelton, 1998). Tale categorizzazione, è stata poi ridotta nella letteratura scientifica, in "animati" e "inanimati". A tale proposito, è stato riportato che gli animati vengono ricordati meglio di quelli inanimati, tuttavia, lo studio non includeva le piante (Nairne et al., 2013). Ad oggi, gli studi che accostano gli animati rispetto agli

inanimati non confrontano in modo specifico le piante con gli animali, ma la maggior parte di essi utilizza i frutti (e.g., Jackson & Calvillo, 2013) e i fiori (e.g., Guerrero & Calvillo, 2016) come uniche immagini di piante. Pertanto, è fondamentale arricchire la dimensione dell'*animacy*, che si riferisce allo stato di essere vivi e animati, con i movimenti delle piante. Dobbiamo dunque determinare le proprietà necessarie e sufficienti delle piante, per definirle "animate", e consentire al nostro cervello di riconoscerle rapidamente e con successo.

CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI

Il presente studio ha dimostrato come il nostro sistema motorio venga attivato in modo differente dall'osservazione di azioni eseguite da un altro essere umano o da un non-conspecifico, ovvero una pianta. I risultati, infatti, hanno evidenziato per la prima volta una maggiore facilitazione motoria durante l'osservazione di azioni eseguite dalle piante piuttosto che da un altro essere umano.

La *plant blindness* è un fenomeno intrinsecamente complesso. La presente ricerca aggiunge al crescente corpus di ricerche prove in merito al possibile meccanismo fisiologico alla base della *plant blindness*. Ulteriori studi che chiariscano come il cervello umano percepisce e si interessa alle piante possono aiutare a compiere passi concreti verso il superamento della *plant blindness*.

BIBLIOGRAFIA

- Achurra, A. (2022). Plant blindness: A focus on its biological basis. <http://hdl.handle.net/10810/58647>
- Altschuler, E. L., Vankov, A., Wang, V., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (1997). Person see, person do: Human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells. Poster session presented at the 27th Annual Meeting of the Society for Neuroscience. *Society for Neuroscience, New Orleans, LA*.
- Amoruso, L., & Urgesi, C. (2016). Familiarity modulates motor activation while other species' actions are observed: a magnetic stimulation study. *The European journal of neuroscience*, 43(6), 765–772. DOI: 10.1111/ejn.13154
- Amprazis, A., & Papadopoulou, P. (2020). Plant blindness: A faddish research interest or a substantive impediment to achieve sustainable development goals? *Environmental Education Research*, 26, 1065–1087. DOI: 10.1080/13504622.2020.1768225
- Andersen, R. A., Asanuma, C., Essick, G., & Siegel, R. M. (1990). Corticocortical connections of anatomically and physiologically defined subdivisions within the inferior parietal lobule. *The Journal of comparative neurology*, 296(1), 65–113. DOI: 10.1002/cne.902960106
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261–295.
- Arnell, K. M., Killman, K. V., & Fijavz, D. (2007). Blinded by emotion: target misses follow attention capture by arousing distractors in RSVP. *Emotion (Washington, D.C.)*, 7(3), 465–477. DOI: 10.1037/1528-3542.7.3.465
- Arnstein, D., Cui, F., Keysers, C., Maurits, N. M., & Gazzola, V. (2011). μ -suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 31(40), 14243–14249. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0963-11.2011
- Baird, J. H., Lazarowitz, R., & Allman, V. (1984). Science choices and preferences of middle and secondary school students in Utah. *Journal of Research in science Teaching*, 21(1), 47-54. DOI: 10.1002/tea.3660210106
- Balas, B., & Momsen, J. L. (2014). Attention “blinks” differently for plants and animals. *CBE—Life Sciences Education*, 13(3), 437-443. DOI: 10.1187/cbe.14-05-0080
- Balcetis, E., & Dale, R. (2007). Conceptual set as a top-down constraint on visual object identification. *Perception*, 36, 581–595. DOI: 10.1068/p5678

- Balconi, M., Vanutelli, M. E., Bartolo, A., & Cortesi, L. (2015). Transitive and intransitive gesture execution and observation compared to resting state: the hemodynamic measures (fNIRS). *Cognitive processing*, *16*, 125-129. DOI: 10.1007/s10339-015-0729-2
- Balding, M., & Williams, K. J. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, *30*(6), 1192-1199. DOI: 10.1111/cobi.12738
- Bang, M., Medin, D. L., & Atran, S. (2007). Cultural mosaics and mental models of nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(35), 13868-13874. DOI: 10.1073/pnas.0706627104
- Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(25), 6506-6511. DOI: 10.1073/pnas.1711842115
- Baumert, K., Herzog, T., & Pershing, J. (2006). Target: An analysis of greenhouse gas intensity target. *Washington, DC: World Resources Institute*.
- Belmalih, A., Borra, E., Contini, M., Gerbella, M., Rozzi, S., & Luppino, G. (2009). Multimodal architectonic subdivision of the rostral part (area F5) of the macaque ventral premotor cortex. *The Journal of comparative neurology*, *512*(2), 183–217. DOI: 10.1002/cne.21892
- Berenguer, J. (2007). The effect of empathy in proenvironmental attitudes and behaviors. *Environment and behavior*, *39*(2), 269-283. DOI: 10.1177/0013916506292937
- Betti, S., Castiello, U., Guerra, S., Granzio, U., Zani, G., & Sartori, L. (2019). Gaze and body cues interplay during interactive requests. *PLoS One*, *14*(10), e0223591. DOI: 10.1371/journal.pone.0223591
- Binkofski, F., Buccino, G., Posse, S., Seitz, R. J., Rizzolatti, G., & Freund, H. (1999). A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: evidence from an fMRI-study. *The European journal of neuroscience*, *11*(9), 3276–3286. DOI: 10.1046/j.1460-9568.1999.00753.x
- Bisio, A., Sciutti, A., Nori, F., Metta, G., Fadiga, L., Sandini, G., & Pozzo, T. (2014). Motor contagion during human-human and human-robot interaction. *PloS one*, *9*(8), e106172. DOI: 10.1371/journal.pone.0106172
- Bisio, A., Stucchi, N., Jacono, M., Fadiga, L., & Pozzo, T. (2010). Automatic versus voluntary motor imitation: effect of visual context and stimulus velocity. *PloS one*, *5*(10), e13506. DOI: 10.1371/journal.pone.0013506
- Bookheimer S. (2002). Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual review of neuroscience*, *25*, 151–188. DOI: 10.1146/annurev.neuro.25.112701.142946

- Borra, E., Belmalih, A., Calzavara, R., Gerbella, M., Murata, A., Rozzi, S., & Luppino, G. (2008). Cortical connections of the macaque anterior intraparietal (AIP) area. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 18(5), 1094–1111. DOI: 10.1093/cercor/bhm146
- Borroni, P., & Baldissera, F. (2008). Activation of motor pathways during observation and execution of hand movements. *Social Neuroscience*, 3(3-4), 276-288. DOI: 10.1080/17470910701515269
- Bouquet, C. A., Gaurier, V., Shipley, T., Toussaint, L., & Blandin, Y. (2007). Influence of the perception of biological or non-biological motion on movement execution. *Journal of sports sciences*, 25(5), 519–530. DOI: 10.1080/02640410600946803
- Bozniak, E. C. 1994. Challenges facing plant biology teaching programs. *Plant Science Bulletin* 40: 42–46.
- Bradley J, Holmes M, Marrngawi DN, Karrakayn AI, Wuwarlu JM, Ninganga I. 2006. Yumbulyumbulmantha ki-Awarawu—all kinds of things from Country: Yanyuwa ethnobiological classification. Report series 6. *Aboriginal and Torres Strait Islander Studies Unit Research, Brisbane*.
- Brasil-Neto, J. P., Cohen, L. G., Panizza, M., Nilsson, J., Roth, B. J., & Hallett, M. (1992). Optimal focal transcranial magnetic activation of the human motor cortex: effects of coil orientation, shape of the induced current pulse, and stimulus intensity. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society*, 9(1), 132–136.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *The European journal of neuroscience*, 13(2), 400–404.
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C. A., & Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by noncon-specifics: an FMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(1), 114–126. DOI: 10.1162/089892904322755601
- Calvert, G. A., & Campbell, R. (2003). Reading speech from still and moving faces: the neural substrates of visible speech. *Journal of cognitive neuroscience*, 15(1), 57–70. DOI: 10.1162/089892903321107828
- Campbell, R., MacSweeney, M., Surguladze, S., Calvert, G., McGuire, P., Suckling, J., Brammer, M. J., & David, A. S. (2001). Cortical substrates for the perception of face actions: an fMRI study of the specificity of activation for seen speech and for meaningless lower-face acts

- (gurning). *Brain research. Cognitive brain research*, 12(2), 233–243. DOI: 10.1016/s0926-6410(01)00054-4
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction. *Journal of cognitive neuroscience*, 10(1), 1-34. DOI: 10.1162/089892998563752
- Casile, A., Dayan, E., Caggiano, V., Hendler, T., Flash, T., & Giese, M. A. (2010). Neuronal encoding of human kinematic invariants during action observation. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 20(7), 1647–1655. DOI: 10.1093/cercor/bhp229
- Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage*, 50(3), 1148–1167. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.112
- Cavallo, A., Becchio, C., Sartori, L., Bucchioni, G., & Castiello, U. (2012). Grasping with tools: corticospinal excitability reflects observed hand movements. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 22(3), 710–716. DOI: 10.1093/cercor/bhr157
- Chong, T. T., Williams, M. A., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2008). Selective attention modulates inferior frontal gyrus activity during action observation. *NeuroImage*, 40(1), 298–307. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.11.030
- Cignetti, F., Chabeauti, P. Y., Menant, J., Anton, J. J. J., Schmitz, C., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2017). Gravity Cues Embedded in the Kinematics of Human Motion Are Detected in Form-from-Motion Areas of the Visual System and in Motor-Related Areas. *Frontiers in psychology*, 8, 1396. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01396
- Clayton, S. (2007). Domesticated nature: Motivations for gardening and perceptions of environmental impact. *Journal of environmental psychology*, 27(3), 215-224. DOI: 10.1016/j.jenvp.2007.06.001
- Cochin, S., Barthelemy, C., Lejeune, B., Roux, S., & Martineau, J. (1998). Perception of motion and qEEG activity in human adults. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 107(4), 287–295. DOI: 10.1016/s0013-4694(98)00071-6
- Cohen-Séat, G., Gastaut, H., Faure, J., & Heuyer, G. (1954). Etudes expérimentales de l'activité nerveuse pendant la projection cinématographique. *Rev. Int. Filmologie*, 5, 7-64.
- Colon, J., Tiernan, N., Oliphant, S., Shirajee, A., Flickinger, J., Liu, H., et al. (2020). Bringing botany into focus: Addressing plant blindness in undergraduates through an immersive botanical experience. *BioScience*, 70, 887–900. DOI: 10.1093/biosci/biaa089

- Constantinidis, C., & Steinmetz, M. A. (2001). Neuronal responses in area 7a to multiple-stimulus displays: I. neurons encode the location of the salient stimulus. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *11*(7), 581–591. DOI: 10.1093/cercor/11.7.581
- Costantini, M., Galati, G., Ferretti, A., Caulo, M., Tartaro, A., Romani, G. L., & Aglioti, S. M. (2005). Neural systems underlying observation of humanly impossible movements: an fMRI study. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *15*(11), 1761–1767. DOI: 10.1093/cercor/bhi053
- Cracco, E., De Coster, L., Andres, M., & Brass, M. (2016). Mirroring multiple agents: motor resonance during action observation is modulated by the number of agents. *Social cognitive and affective neuroscience*, *11*(9), 1422–1427. DOI: 10.1093/scan/nsw059
- Cracco, E., Keysers, C., Clauwaert, A., & Brass, M. (2019). Representing Multiple Observed Actions in the Motor System. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *29*(8), 3631–3641. DOI: 10.1093/cercor/bhy237
- Craighero, L., & Mele, S. (2021). Proactive gaze is present during biological and non-biological motion observation. *Cognition*, *206*, 104461. DOI: 10.1016/j.cognition.2020.104461
- Craighero, L., Jacono, M., & Mele, S. (2016). Resonating with the ghost of a hand: A TMS experiment. *Neuropsychologia*, *84*, 181–192. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.02.014
- Cross, E. S., Liepelt, R., Hamilton, A. F., Parkinson, J., Ramsey, R., Stadler, W., & Prinz, W. (2012). Robotic movement preferentially engages the action observation network. *Human brain mapping*, *33*(9), 2238–2254. DOI: 10.1002/hbm.21361
- Czech, B., Krausman, P. R., & Borkhataria, R. (1998). Social construction, political power, and the allocation of benefits to endangered species. *Conservation Biology*, *12*(5), 1103–1112. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1998.97253.x
- Dapretto, M., & Bookheimer, S. Y. (1999). Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron*, *24*(2), 427–432. DOI: 10.1016/s0896-6273(00)80855-7
- Darley, W. M. (1990). The essence of 'plantness'. *The American Biology Teacher*, *52*(6), 354–357. DOI: 10.2307/4449132
- Decety, J., Chaminade, T., Grèzes, J., & Meltzoff, A. N. (2002). A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *NeuroImage*, *15*(1), 265–272. DOI: 10.1006/nimg.2001.0938
- Descola, P. (2009). Human natures. *Social Anthropology*, *17*: 145–157. DOI: 10.1111/j.1469-8676.2009.00063.x
- Desimone R. (1991). Face-selective cells in the temporal cortex of monkeys. *Journal of cognitive neuroscience*, *3*(1), 1–8. DOI: 10.1162/jocn.1991.3.1.1

- Diamond, J. M. (1989). The present, past and future of human-caused extinctions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 325(1228), 469-477. DOI: 10.1098/rstb.1989.0100
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91, 176-180. DOI: 10.1007/BF00230027
- Dudley, S. A., & File, A. L. (2007). Kin recognition in an annual plant. *Biology letters*, 3(4), 435–438. DOI: 10.1098/rsbl.2007.0232
- Durso, F. T., & Johnson, M. K. (1979). Facilitation in naming and categorizing repeated pictures and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 5, 449–459. DOI: 10.1037/0278-7393.5.5.449
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt brace Jovanovich college publishers
- Ehrsson, H. H., Fagergren, A., Jonsson, T., Westling, G., Johansson, R. S., & Forssberg, H. (2000). Cortical activity in precision- versus power-grip tasks: an fMRI study. *Journal of neurophysiology*, 83(1), 528–536. DOI: 10.1152/jn.2000.83.1.528
- Enticott, P. G., Kennedy, H. A., Bradshaw, J. L., Rinehart, N. J., & Fitzgerald, P. B. (2010). Understanding mirror neurons: evidence for enhanced corticospinal excitability during the observation of transitive but not intransitive hand gestures. *Neuropsychologia*, 48(9), 2675–2680. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.014
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 23, 171–179. DOI: 10.1152/physiol.00004.2008
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of neurophysiology*, 73(6), 2608-2611. DOI: 10.1152/jn.1995.73.6.2608
- Fančovičová, J., & Prokop, P. (2011). Plants have a chance: outdoor educational programmes alter students' knowledge and attitudes towards plants. *Environmental Education Research*, 17(4), 537-551. DOI: 10.1080/13504622.2010.545874
- Ferri, S., Pauwels, K., Rizzolatti, G., & Orban, G. A. (2016). Stereoscopically Observing Manipulative Actions. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 26(8), 3591–3610. DOI: 10.1093/cercor/bhw133

- Fiorio, M., Zhang, W., Bresciani, M. C., Rodi, G., Bertolasi, L., Gambarin, M., & Tinazzi, M. (2010). Corticospinal excitability during action observation in task-specific dystonia: a transcranial magnetic stimulation study. *Neuroscience*, *171*(1), 117-124. DOI: [10.1016/j.neuroscience.2010.09.004](https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.09.004)
- Flannery, M. C. (1991). Considering plants. *The American Biology Teacher*, *53*(5), 306-309. DOI: [10.2307/4449303](https://doi.org/10.2307/4449303)
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science (New York, N.Y.)*, *308*(5722), 662–667. DOI: [10.1126/science.1106138](https://doi.org/10.1126/science.1106138)
- Forterre, Y. (2013). Slow, fast and furious: understanding the physics of plant movements. *Journal of experimental botany*, *64*(15), 4745-4760. DOI: [10.1093/jxb/ert230](https://doi.org/10.1093/jxb/ert230)
- Freund, H. J. (1991). What is the evidence for multiple motor areas in the human brain. *Motor Control: Concepts and Issues*. Wiley, Chichester, UK, 399-411.
- Fritts, T. H., & Rodda, G. H. (1998). The role of introduced species in the degradation of island ecosystems: a case history of Guam. *Annual review of Ecology and Systematics*, *29*(1), 113-140. DOI: [10.1146/annurev.ecolsys.29.1.113](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.113)
- Gangitano, M., Mottaghy, F. M., & Pascual-Leone, A. (2001). Phase-specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport*, *12*(7), 1489–1492. DOI: [10.1097/00001756-200105250-00038](https://doi.org/10.1097/00001756-200105250-00038)
- Gastaut, H. J., & Bert, J. (1954). EEG changes during cinematographic presentation (Moving picture activation of the EEG). *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *6*, 433-444. DOI: [10.1016/0013-4694\(54\)90058-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(54)90058-9)
- Gazzola, V., & Keysers, C. (2009). The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *19*(6), 1239–1255. DOI: [10.1093/cercor/bhn181](https://doi.org/10.1093/cercor/bhn181)
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *NeuroImage*, *35*(4), 1674–1684. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2007.02.003](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.02.003)
- Glasman, L. R., & Albarracín, D. (2006). Forming attitudes that predict future behavior: a meta-analysis of the attitude-behavior relation. *Psychological bulletin*, *132*(5), 778. DOI: [10.1037/0033-2909.132.5.778](https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.5.778)
- Gergely, G., Bekkering, H., & Király, I. (2002). Rational imitation in preverbal infants. *Nature*, *415*(6873), 755. DOI: [10.1038/415755a](https://doi.org/10.1038/415755a)

- Gowen, E., & Poliakoff, E. (2012). How does visuomotor priming differ for biological and non-biological stimuli? A review of the evidence. *Psychological research*, 76, 407-420. DOI: 10.1007/s00426-011-0389-5
- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Experimental brain research*, 112(1), 103–111. DOI: 10.1007/BF00227183
- Grèzes, J., Armony, J. L., Rowe, J., & Passingham, R. E. (2003). Activations related to "mirror" and "canonical" neurones in the human brain: an fMRI study. *NeuroImage*, 18(4), 928–937. DOI: 10.1016/s1053-8119(03)00042-9
- Grèzes, J., Costes, N., & Decety, J. (1998). Top down effect of the strategy to imitate on the brain areas engaged in perception of biological motion: A PET study. *Cognitive Neuropsychology*, 15(6), 7. DOI: 10.1080/026432998381023
- Gross, C. G., Rocha-Miranda, C. E., & Bender, D. B. (1972). Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the Macaque. *Journal of neurophysiology*, 35(1), 96–111. DOI: 10.1152/jn.1972.35.1.96
- Grove, J. M., Troy, A. R., O’Neil-Dunne, J. P., Burch, W. R., Cadenasso, M. L., & Pickett, S. T. A. (2006). Characterization of households and its implications for the vegetation of urban ecosystems. *Ecosystems*, 9, 578-597. DOI: 10.1007/s10021-006-0116-z- Hall, M. (2011). *Plants as persons: A philosophical botany*. Suny Press.
- Guerrero, G., & Calvillo, D. P. (2016). Animacy increases second target reporting in a rapid serial visual presentation task. *Psychonomic bulletin & review*, 23, 1832-1838. DOI: 10.3758/s13423-016-1040-7
- Hamzei, F., Rijntjes, M., Dettmers, C., Glauche, V., Weiller, C., & Büchel, C. (2003). The human action recognition system and its relationship to Broca's area: an fMRI study. *NeuroImage*, 19(3), 637–644. DOI: 10.1016/s1053-8119(03)00087-9
- Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(25), 15061–15065. DOI: 10.1073/pnas.95.25.15061
- Heerwagen JH, Orians GH (1993) Humans, habitats, and aesthetics. In: Kellert SR, Wilson EO (eds) *The Biophilia Hypothesis*. Island Press, Washington, DC, pp 138–172
- Heimlich, J. E., & Ardoin, N. M. (2008). Understanding behavior to understand behavior change: A literature review. *Environmental education research*, 14(3), 215-237. DOI: 10.1080/13504620802148881

- Hershey, D. R. (1996). A historical perspective on problems in botany teaching. *The American Biology Teacher*, 58(6), 340-347. DOI: 10.2307/4450174
- Hershey, D. R. (2002). Plants rarely thermoregulate. *The American Biology Teacher*, 64(6), 413-413. DOI: 10.2307/4451331
- Hétu, S., Mercier, C., Eugène, F., Michon, P. E., & Jackson, P. L. (2011). Modulation of brain activity during action observation: influence of perspective, transitivity and meaningfulness. *PloS one*, 6(9), e24728. DOI: 10.1371/journal.pone.0024728
- Hyvärinen J. (1982). Posterior parietal lobe of the primate brain. *Physiological reviews*, 62(3), 1060–1129. DOI: 10.1152/physrev.1982.62.3.1060
- Iacoboni, M., Koski, L. M., Brass, M., Bekkering, H., Woods, R. P., Dubeau, M. C., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2001). Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(24), 13995–13999. DOI: 10.1073/pnas.241474598
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS biology*, 3(3), e79. DOI: 10.1371/journal.pbio.0030079
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science (New York, N.Y.)*, 286(5449), 2526–2528. DOI: 10.1126/science.286.5449.2526
- Jackson, R. E., & Calvillo, D. P. (2013). Evolutionary relevance facilitates visual information processing. *Evolutionary Psychology*, 11(5), 147470491301100506. <https://acnpsearch.unibo.it/journal/2491700>
- Järveläinen, J., Schürmann, M., Avikainen, S., & Hari, R. (2001). Stronger reactivity of the human primary motor cortex during observation of live rather than video motor acts. *Neuroreport*, 12(16), 3493–3495. DOI: 10.1097/00001756-200111160-00024
- Jastorff, J., Abdollahi, R. O., Fasano, F., & Orban, G. A. (2016). Seeing biological actions in 3D: An fMRI study. *Human brain mapping*, 37(1), 203–219. DOI: 10.1002/hbm.23020
- Jeannerod M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of motor behavior*, 16(3), 235–254. DOI: 10.1080/00222895.1984.10735319
- Kaiser, F. G., Wölfling, S., & Fuhrer, U. (1999). Environmental attitude and ecological behaviour. *Journal of environmental psychology*, 19(1), 1-19. DOI: 10.1006/jevp.1998.0107
- Kareiva, P., & Marvier, M. (2003). Conserving biodiversity coldspots: Recent calls to direct conservation funding to the world's biodiversity hotspots may be bad investment advice. *American Scientist*, 91(4), 344-351. <http://www.jstor.org/stable/27858246>

- Karlsson, F. (2012). Critical anthropomorphism and animal ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 25, 707-720. DOI: 10.1007/s10806-011-9349-8
- Keil, A., & Ihssen, N. (2004). Identification facilitation for emotionally arousing verbs during the attentional blink. *Emotion*, 4(1), 23. DOI: 10.1037/1528-3542.4.1.23
- Kellert, S. R. (1985). Attitudes toward animals: Age-related development among children. *The journal of environmental education*, 16(3), 29-39. DOI: 10.1080/00958964.1985.9942709
- Kellert, S. R. (1997). *The value of life: Biological diversity and human society*. Island press.
- Kemmerer D. (2021). What modulates the Mirror Neuron System during action observation?: Multiple factors involving the action, the actor, the observer, the relationship between actor and observer, and the context. *Progress in neurobiology*, 205, 102128. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2021.102128
- Kinchin, I. M. (1999). Investigating secondary-school girls' preferences for animals or plants: a simple 'head-to-head' comparison using two unfamiliar organisms. *Journal of Biological Education*, 33(2), 95-99.
- Knapp, S. (2003). Conservation: dynamic diversity. *Nature*, 422(6931), 475-475. DOI: 10.1038/422475°
- Knight, A. J. (2008). "Bats, snakes and spiders, Oh my!" How aesthetic and negativistic attitudes, and other concepts predict support for species protection. *Journal of Environmental Psychology*, 28(1), 94-103. DOI: 10.1016/j.jenvp.2007.10.001
- Kraus, S. J. (1995). Attitudes and the prediction of behavior: A meta-analysis of the empirical literature. *Personality and social psychology bulletin*, 21(1), 58-75. DOI: 10.1177/0146167295211007
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?. *Environmental education research*, 8(3), 239-260. DOI: 10.1080/13504620220145401
- Koski, L., Iacoboni, M., Dubeau, M. C., Woods, R. P., & Mazziotta, J. C. (2003). Modulation of cortical activity during different imitative behaviors. *Journal of neurophysiology*, 89(1), 460-471. DOI: 10.1152/jn.00248.2002
- Koski, L., Wohlschläger, A., Bekkering, H., Woods, R. P., Dubeau, M. C., Mazziotta, J. C., & Iacoboni, M. (2002). Modulation of motor and premotor activity during imitation of target-directed actions. *Cerebral cortex*, 12(8), 847-855. DOI: 10.1093/cercor/12.8.847
- Kuhlemeier, H., Van Den Bergh, H., & Lagerweij, N. (1999). Environmental knowledge, attitudes, and behavior in Dutch secondary education. *The Journal of Environmental Education*, 30(2), 4-14. DOI: 10.1080/00958969909601864

- Kurata, K., & Tanji, J. (1986). Premotor cortex neurons in macaques: activity before distal and proximal forelimb movements. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 6(2), 403–411. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.06-02-00403.1986
- Lindemann-Matthies, P. (2002). The influence of an educational program on children's perception of biodiversity. *The Journal of Environmental Education*, 33(2), 22-31. DOI: 10.1080/00958960209600805
- Lindemann-Matthies*, P. (2005). ‘Loveable’ mammals and ‘lifeless’ plants: how children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International journal of science education*, 27(6), 655-677. DOI: 10.1080/09500690500038116
- Link-Pérez, M. A., Dollo, V. H., Weber, K. M., & Schussler, E. E. (2010). What’s in a Name: Differential labelling of plant and animal photographs in two nationally syndicated elementary science textbook series. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1227-1242. DOI: 10.1080/09500690903002818
- Lohr, V. I., Pearson-Mims, C. H., Tarnai, J., & Dillman, D. A. (2004). How urban residents rate and rank the benefits and problems associated with trees in cities. *Journal of Arboriculture*, 30(1), 28-35.
- Lohr, V. I., & Pearson-Mims, C. H. (2005). Children's active and passive interactions with plants influence their attitudes and actions toward trees and gardening as adults. *HortTechnology*, 15(3), 472-476. DOI: 10.21273/HORTTECH.15.3.0472
- Long, T., & Wyse, S. (2012). A season for inquiry: investigating phenology in local campus trees. *Science*, 335(6071), 932-933. DOI: 10.1126/science.1213528
- Maeda, F., Kleiner-Fisman, G., & Pascual-Leone, A. (2002). Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation. *Journal of neurophysiology*, 87(3), 1329-1335. DOI: 10.1152/jn.00773.2000
- Mammola, S., Riccardi, N., Prié, V., Correia, R., Cardoso, P., Lopes-Lima, M., & Sousa, R. (2020). Towards a taxonomically unbiased European Union biodiversity strategy for 2030. *Proceedings. Biological sciences*, 287(1940), 20202166. DOI: 10.1098/rspb.2020.2166
- Mancuso, S. (2006). La sorprendente vita delle piante. *KOS*, (249), 20-25.
- Matelli, M., Luppino, G., & Rizzolatti, G. (1985). Patterns of cytochrome oxidase activity in the frontal agranular cortex of the macaque monkey. *Behavioural brain research*, 18(2), 125–136. DOI: 10.1016/0166-4328(85)90068-3
- Mills, K. R., Boniface, S. J., & Schubert, M. (1992). Magnetic brain stimulation with a double coil: the importance of coil orientation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 85(1), 17–21. DOI: 10.1016/0168-5597(92)90096-t

- Miura, N., Sugiura, M., Takahashi, M., Sassa, Y., Miyamoto, A., Sato, S., Horie, K., Nakamura, K., & Kawashima, R. (2010). Effect of motion smoothness on brain activity while observing a dance: An fMRI study using a humanoid robot. *Social neuroscience*, *5*(1), 40–58. DOI: 10.1080/17470910903083256
- Nairne, J. S., VanArsdall, J. E., Pandeirada, J. N., Cogdill, M., & LeBreton, J. M. (2013). Adaptive memory: The mnemonic value of animacy. *Psychological Science*, *24*(10), 2099-2105. <https://acnpsearch.unibo.it/journal/2113346>
- Naish, K. R., Houston-Price, C., Bremner, A. J., & Holmes, N. P. (2014). Effects of action observation on corticospinal excitability: Muscle specificity, direction, and timing of the mirror response. *Neuropsychologia*, *64*, 331–348. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.034
- Naito, T., Matsuda, T., Intasuwan, P., Chuawanlee, W., Thanachanan, S., Ounthitawat, J., & Fukushima, M. (2010). Gratitude for, and regret toward, nature: Relationships to proenvironmental intent of university students from Japan. *Social Behavior and Personality: an international journal*, *38*(7), 993-1008. DOI: 10.2224/sbp.2010.38.7.993
- Neaman, A., Otto, S., & Vinokur, E. (2018). Toward an integrated approach to environmental and prosocial education. *Sustainability*, *10*, 1–11. DOI: 10.3390/su10030583
- New, J., Cosmides, L., & Tooby, J. (2007). Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(42), 16598–16603. DOI: 10.1073/pnas.0703913104
- Nishitani, N., & Hari, R. (2002). Viewing lip forms: cortical dynamics. *Neuron*, *36*(6), 1211–1220. DOI: 10.1016/s0896-6273(02)01089-9
- Opfer, J. E., & Siegler, R. S. (2004). Revisiting preschoolers' living things concept: A microgenetic analysis of conceptual change in basic biology. *Cognitive Psychology*, *49*, 301–332. DOI: 10.1016/j.cogpsych.2004.01.002
- Papadourakis, V., & Raos, V. (2017). Evidence for the representation of movement kinematics in the discharge of F5 mirror neurons during the observation of transitive and intransitive actions. *Journal of neurophysiology*, *118*(6), 3215–3229. DOI: 10.1152/jn.00816.2016
- Parsley, K. M. (2020). Plant awareness disparity: A case for renaming plant blindness. *Plant. People. Planet.*, *2*, 598–601. DOI: 10.1002/ppp3.10153
- Perrett, D. I., Smith, P. A., Potter, D. D., Mistlin, A. J., Head, A. S., Milner, A. D., & Jeeves, M. A. (1984). Neurones responsive to faces in the temporal cortex: studies of functional organization, sensitivity to identity and relation to perception. *Human neurobiology*, *3*(4), 197–208.

- Petroni, A., Baguear, F., & Della-Maggiore, V. (2010). Motor resonance may originate from sensorimotor experience. *Journal of neurophysiology*, *104*(4), 1867-1871. DOI: 10.1152/jn.00386.2010
- Pozzo, T., Papaxanthis, C., Petit, J. L., Schweighofer, N., & Stucchi, N. (2006). Kinematic features of movement tunes perception and action coupling. *Behavioural brain research*, *169*(1), 75–82. DOI: 10.1016/j.bbr.2005.12.005
- Press, C., & Cook, R. (2015). Beyond action-specific simulation: domain-general motor contributions to perception. *Trends in cognitive sciences*, *19*(4), 176–178. DOI: 10.1016/j.tics.2015.01.006
- Ratcliff, R., & McKoon, G. (1988). A retrieval theory of priming in memory. *Psychological Review*, *95*, 385–408. DOI: 10.1037/0033-295X.95.3.385
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink?. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, *18*(3), 849. DOI: 10.1037/0096-1523.18.3.849
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1995). Similarity determines the attentional blink. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *21*(3), 653–662. DOI: 10.1037//0096-1523.21.3.653
- Rice, G. (2006). Pro-environmental behavior in Egypt: Is there a role for Islamic environmental ethics?. *Journal of business ethics*, *65*, 373-390. DOI: 10.1007/s10551-006-0010-9
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., & Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental brain research*, *71*(3), 491–507. DOI: 10.1007/BF00248742
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature reviews neuroscience*, *2*(9), 661-670. DOI: 10.1038/35090060
- Rizzolatti, G., Scandolara, C., Matelli, M., & Gentilucci, M. (1981). Afferent properties of periarculate neurons in macaque monkeys. I. Somatosensory responses. *Behavioural brain research*, *2*(2), 125–146. DOI: 10.1016/0166-4328(81)90052-8
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual review of neuroscience*, *27*, 169–192. DOI: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230
- Rizzolatti, G., & Luppino, G. (2001). The cortical motor system. *Neuron*, *31*(6), 889–901. DOI: 10.1016/s0896-6273(01)00423-8

- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature reviews. Neuroscience*, *11*(4), 264–274. DOI: 10.1038/nrn2805
- Rolls E. T. (1984). Neurons in the cortex of the temporal lobe and in the amygdala of the monkey with responses selective for faces. *Human neurobiology*, *3*(4), 209–222.
- Romani, M., Cesari, P., Urgesi, C., Facchini, S., & Aglioti, S. M. (2005). Motor facilitation of the human cortico-spinal system during observation of bio-mechanically impossible movements. *NeuroImage*, *26*(3), 755–763. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.02.027
- Root-Bernstein, M., Douglas, L., Smith, A. A., & Verissimo, D. (2013). Anthropomorphized species as tools for conservation: utility beyond prosocial, intelligent and suffering species. *Biodiversity and Conservation*, *22*, 1577-1589. DOI: 10.1007/s10531-013-0494-4
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., & Pounds, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, *421*(6918), 57-60. DOI: 10.1038/nature01333
- Rose D. 1992. Dingo makes us human: life and land in an Aboriginal Australian culture. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom*.
- Rossi, S., Hallett, M., Rossini, P. M., Pascual-Leone, A., & Safety of TMS Consensus Group (2009). Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *120*(12), 2008–2039. DOI: 10.1016/j.clinph.2009.08.016
- Samples, K. C., Dixon, J. A., & Gowen, M. M. (1986). Information disclosure and endangered species valuation. *Land Economics*, *62*(3), 306-312. DOI: 10.2307/3146394
- Sartori, L., Begliomini, C., & Castiello, U. (2013). Motor resonance in left- and right-handers: evidence for effector-independent motor representations. *Frontiers in human neuroscience*, *7*, 33. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00033
- Saunders, C. D., Brook, A. T., & Myers, O. E. (2006). Using psychology to save biodiversity and human well-being. *Conservation Biology*, *20*(3), 702-705. <https://www.jstor.org/stable/3879236>
- Schussler, E. E., & Olzak, L. A. (2008). It's not easy being green: student recall of plant and animal images. *Journal of Biological Education*, *42*(3), 112-119. DOI: 10.1080/00219266.2008.9656123

- Schussler, E. E., Link-Pérez, M. A., Weber, K. M., & Dollo, V. H. (2010). Exploring plant and animal content in elementary science textbooks. *Journal of Biological Education*, *44*(3), 123-128. DOI: 10.1080/00219266.2010.9656208
- Senna, I., Bolognini, N., & Maravita, A. (2014). Grasping with the foot: goal and motor expertise in action observation. *Human brain mapping*, *35*(4), 1750–1760. DOI: 10.1002/hbm.22289
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1997). The attentional blink. *Trends in cognitive sciences*, *1*(8), 291-296. DOI: 10.1016/S1364-6613(97)01094-2
- Shrigley, R. L. (1990). Attitude and behavior are correlates. *Journal of research in Science Teaching*, *27*(2), 97-113. DOI: 10.1002/tea.3660270203
- Smith-Sebasto, N. J., & Cavern, L. (2006). Effects of pre-and posttrip activities associated with a residential environmental education experience on students' attitudes toward the environment. *The Journal of Environmental Education*, *37*(4), 3-17. DOI: 10.3200/JOEE.37.4.3-17
- Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M., & Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: selective neural encoding of apparent human movements. *Neuroreport*, *11*(1), 109–115. DOI: 10.1097/00001756-200001170-00022
- Strafella, A. P., & Paus, T. (2000). Modulation of cortical excitability during action observation: a transcranial magnetic stimulation study. *Neuroreport*, *11*(10), 2289–2292. DOI: 10.1097/00001756-200007140-00044
- Strgar, J. (2007). Increasing the interest of students in plants. *Journal of Biological Education*, *42*(1), 19-23. DOI: 10.1080/00219266.2007.9656102
- Surguladze, S. A., Calvert, G. A., Brammer, M. J., Campbell, R., Bullmore, E. T., Giampietro, V., & David, A. S. (2001). Audio-visual speech perception in schizophrenia: an fMRI study. *Psychiatry research*, *106*(1), 1–14. DOI: 10.1016/s0925-4927(00)00081-0
- Tai, Y. F., Scherfler, C., Brooks, D. J., Sawamoto, N., & Castiello, U. (2004). The human premotor cortex is 'mirror' only for biological actions. *Current biology : CB*, *14*(2), 117–120. DOI: 10.1016/j.cub.2004.01.005
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, de Siqueira MF, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson AT, Phillips OL, Williams SE (2004) Extinction risk from climate change. *Nature* *427*(6970):145–148 DOI: 10.1038/nature02121
- Tikka, P. M., Kuitunen, M. T., & Tynys, S. M. (2000). Effects of educational background on students' attitudes, activity levels, and knowledge concerning the environment. *The journal of environmental education*, *31*(3), 12-19. DOI: 10.1080/00958960009598640

- Tuncer, G., Ertepinar, H., Tekkaya, C., & Sungur, S. (2005). Environmental attitudes of young people in Turkey: Effects of school type and gender. *Environmental education research, 11*(2), 215-233. DOI: 10.1080/1350462042000338379
- Tuncer, G., Sungur, S., Tekkaya, C., & Ertepinar, H. (2004). Environmental attitudes of the 6th grade students from rural and urban areas: A case a study for ankara. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 26*(26).
- Tunncliffe, S. D. (2001). Talking about plants-comments of primary school groups looking at plant exhibits in a botanical garden. *Journal of Biological Education, 36*(1), 27-34. DOI: 10.1080/00219266.2001.9655792
- Uno, G. E. (1994). The state of precollege botanical education. *The American Biology Teacher, 56*(5), 263-267. DOI: 10.2307/4449818
- Urgesi, C., Candidi, M., Fabbro, F., Romani, M., & Aglioti, S. M. (2006). Motor facilitation during action observation: topographic mapping of the target muscle and influence of the onlooker's posture. *The European journal of neuroscience, 23*(9), 2522–2530. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2006.04772.x
- Vanduffel, W., Fize, D., Mandeville, J. B., Nelissen, K., Van Hecke, P., Rosen, B. R., ... & Orban, G. A. (2001). Visual motion processing investigated using contrast agent-enhanced fMRI in awake behaving monkeys. *Neuron, 32*(4), 565-577. DOI: 10.1016/S0896-6273(01)00502-5
- Vul, E., Nieuwenstein, M., & Kanwisher, N. (2008). Temporal selection is suppressed, delayed, and diffused during the attentional blink. *Psychological Science, 19*(1), 55-61. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2008.02046.x
- Wandersee, J. H. (1986). Plants or animals—which do junior high school students prefer to study?. *Journal of research in science teaching, 23*(5), 415-426. DOI: 10.1002/tea.3660230504
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (2001). Towards a theory of plant blindness. *Plant Science Bulletin, 27*, 2–9. <https://cms.botany.org/psbarchive/view/issues/lct/user/pos/7>
- Wassermann. (1998). Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, June 5–7, 1996. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Evoked Potentials : Journal of the International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 108*(1), 1–16. DOI: 10.1016/S0168-5597(97)00096-8

- Waytz, A., Cacioppo, J., & Epley, N. (2010). Who sees human? The stability and importance of individual differences in anthropomorphism. *Perspectives on Psychological Science*, 5(3), 219-232. DOI: 10.1177/1745691610369336
- White, N. C., Reid, C., & Welsh, T. N. (2014). Responses of the human motor system to observing actions across species: A transcranial magnetic stimulation study. *Brain and cognition*, 92C, 11–18. DOI: 10.1016/j.bandc.2014.10.004
- Wilson, E. O. (1997). The diversity of life. *Journal of Leisure Research*, 29(4), 476.
<https://www.proquest.com/scholarly-journals/diversity-life/docview/1308687283/se-2>
- Zani, G., & Low, J. (2022). Botanical priming helps overcome plant blindness on a memory task. *Journal of Environmental Psychology*, 81, 101808. DOI: 10.1016/j.jenvp.2022.101808
- Ziska, L. H., Epstein, P. R., & Schlesinger, W. H. (2009). Rising CO₂, climate change, and public health: exploring the links to plant biology. *Environmental health perspectives*, 117(2), 155-158. DOI: 10.1289/ehp.11501