

WHO IS READING THE NEURAL ACTIVITY? SULLA FUNZIONE “COGNITIVA” DEI NEURONI SPECCHIO.

Paolo Giuspoli - paolo.giuspoli@univr.it

Dipartimento di Scienze Cognitive, della Formazione e degli Studi Culturali, Università di Messina

Abstract

The experimental investigations on the so called *Mirror Neurons* (MNs) have promoted an ample debate on the genesis and the biological found of the imitation and, more generally, of the social cognition. Such debate is gradually strengthened on the wake of numerous experimental confirmations of the presence of MNs even in the human brain. The presentation of the results of this investigations introduce, however, such logical-conceptual hybridizations to produce some ambiguities in the interdisciplinary discussion. This paper proposes a brief recognition on some conceptual problems and their epistemological roots, that may interfere on a new promising phase of research.

Keywords

Mirror Neurons, Intention attribution, Philosophy of Neurosciences

Introduzione

Titoli di opere di sintesi di successo internazionale come *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio* (Sinigaglia & Rizzolatti, 2006 e 2008), o *Mirroring people. The New Science of how we connect with Others* (Iacoboni, 2008), e ancora articoli come *The Roots of Empathy* e *Le basi neurofisiologiche dell'intersoggettività* (Gallese, 2003 e 2010) sono alcuni dei contributi di una massiccia promozione in corso dell'ipotesi di un *Mirror Neurons System* (MNS). Secondo i suoi principali sostenitori, un vero e proprio sistema di attivazione neuronale nel nostro cervello fungerebbe da strumento di traduzione istantanea e diretta di specifici atti motori compiuti da altri nel linguaggio del proprio vissuto personale. Questo strumento di traduzione permetterebbe di evitare la mediazione degli strumenti rappresentazionali e linguistici di interpretazione del comportamento degli altri, generando una modalità *immediata* di condivisione dell'esperienza. Un tale strumento di traduzione risulterebbe oltretutto *universale*, in quanto radicato nel comune sostrato biologico.

Secondo questo orientamento interpretativo, tale sistema di rispecchiamento andrebbe considerato, dunque, come il «sostrato» o la «base neuronale» per il riconoscimento della azioni entro sistemi gestuali di comunicazione interpersonale, costituendo «un ponte necessario tra il 'fare' e il 'comunicare'» (Rizzolatti & Arbib, 1998); com'è stato suggerito, esso «non solo può rappresentare un sostrato neuronale per la comprensione di 'quello che gli altri stanno facendo', ma può contribuire alla scelta del 'modo in cui io potrei interagire con loro'» (Caggiano *et al.*, 2009: 406).

L'esame dei meccanismi di risonanza neurale verrebbe inoltre ad avere un ruolo centrale nell'illuminare la funzione del sistema motorio nella genesi del senso del sé, nel quadro di una indagine sulle radici *mirror* della distinzione tra *sé* e *l'altro* (Sinigaglia & Rizzolatti, 2011). Per di più, il loro studio permetterebbe di offrire conoscenze necessarie per chiarire il sostrato neuronale del pensiero concettuale, al punto da consentire una nuova formulazione di quelli che sono stati denominati *brain's concepts* (Gallese & Lakoff, 2005) e risolvere problemi plurimillenni legati alla genesi del pensiero, costruendo «i ponti dal vedere al comprendere» (Keyers, 2006). In un senso più ampio, si dovrebbe chiarire come il sistema *mirror* svolga una funzione basilare di «supporto all'evoluzione culturale dei linguaggi umani in tutta la loro ricchezza» (Rizzolatti & Arbib, 1998: 193).

Come si può evincere da questa breve rassegna, la diffusa tendenza volta a interpretare i cosiddetti MNs come il sostrato o la base neuronale dell'empatia, del riconoscimento degli altri e dei processi fondamentali della comunicazione, acuisce l'esigenza di un'attenta valutazione di tali proposte interpretative. Nel presente saggio si propone una breve ricognizione su alcuni problemi di carattere concettuale, e sulle loro radici metodologiche ed epi-

stemologiche, che possono interferire su quella che si presenta come una promettente nuova fase di ricerca interdisciplinare in questo ambito di indagine.

1.

Per chi è abituato a considerare le funzioni cognitive fondamentali e il comportamento umano da una prospettiva *top-down*, come accade per lo più nella riflessione filosofica, il campo delle indagini interdisciplinari sui MNs presenta un aspetto disorientante: la diffusa contaminazione di usi concettuali e prospettive di osservazione diversi, dal livello di analisi elettrochimica fino a quello proprio dell'attività mentale autocosciente. Tale contaminazione può apparire come un prezzo da pagare per l'apertura di un promettente nuovo campo interdisciplinare di ricerca. Dopotutto questa non è una novità: spesso proprio da una simile atmosfera culturale, caratterizzata da una febbrile attività per la definizione di nuove rappresentazioni della vita umana, oltre che da un notevole livello di competizione per attrarre risorse per il potenziamento di alcuni promettenti settori di ricerca, si è approdati a delle straordinarie stagioni per l'innovazione scientifica e culturale. In tali momenti di svolta, lo stato generale iniziale di diffusa e confusa contaminazione s'è spesso evoluto verso una più chiara consapevolezza non solo della direzione di sviluppo, ma anche dei modelli di ricerca scientifica, delle metodologie, dei linguaggi e degli strumenti concettuali utilizzati.

Una tale consapevolezza è maturata attraverso un faticoso lavoro di riflessione critica sui modelli e sui linguaggi dominanti in un determinato mondo culturale. E le motivazioni fondamentali di tale lavoro sono emerse in genere dalla percezione di un vuoto, o meglio, da un senso di vertiginoso disorientamento, contrastante con la pomposa ostentazione di innumerevoli prodotti di ricerca, spesso accomunati dai medesimi presupposti, linguaggi, procedure, prospettive di indagine.

Oggi questa vertigine si avverte intensamente. Più precisamente, ciò che si avverte è uno *scarto*: quello tra la precisione con cui, da un lato, si effettuano pregevoli microanalisi dell'attività neuronale e i modi approssimativi con cui, dall'altro, si pretende di lavorare a teorie generali unificate, che dovrebbero condurre in breve tempo a spiegare esaustivamente il *perché* e il *come* dell'intera estensione delle attività cognitive, a partire dall'analisi elettrochimica e neuronale dell'attività cerebrale.

Perché tale scarto sia esperito più intensamente è forse necessario che anzitutto si esplicitino i limiti costitutivi degli strumenti di osservazione utilizzati, che pure hanno raggiunto livelli avanzatissimi di precisione quanto alla determinazione cronometrica e alla localizzazione dell'attività cerebrale, e dell'utilizzo di peculiari formati rappresentazionali (per la conversione di dati in *immagini*, come avviene tramite PET e fMRI, o per la rappre-

sentazione grafica di rilevamenti elettrici, come nel tradizionale EEG o nelle misurazioni tramite micro-elettrodi di superficie o intracranici). Tale esplicitazione è funzionale alla considerazione della prospettività di ogni indagine e alla valutazione dei modelli interpretativi adottati.

Ma un tale lavoro di esplicitazione degli strumenti linguistici, dei formati rappresentazionali utilizzati e dei modelli interpretativi adottati entro una peculiare prospettiva di indagine risulta in questo momento molto faticoso. Tale fatica è data primariamente da un fattore: non sembra siano al momento disponibili concetti comuni, in grado di mediare adeguatamente il passaggio da un livello ad un altro di osservazione, nonché dal piano del vissuto soggettivo a quello della rilevazione esterna di determinate competenze cognitive.

B. Falkenburg ha sistematicamente considerato (Falkenburg, 2012) come in passato la fisica abbia dovuto affrontare questo problema elaborando concetti, come quello di "energia", che consentono appunto la conversione di descrizioni tra livelli differenti di osservazione, nonché tra un punto di vista esterno ed uno autocentrato (ad es. tra le sensazioni soggettive di suoni di una certa intensità e la stima in decibel della diffusione di suoni nell'ambiente), e formulando inoltre una molteplicità di regole in grado di guidare le procedure per la descrizione d'insieme delle diverse componenti di un sistema. Questo patrimonio di concetti e regole di conversione viene invece a mancare nell'ambito delle indagini neuroscientifiche, che tuttavia spaziano (per lo più ricorrendo a strumenti di mediazione inadeguati, con funzione analogica o metaforica, oppure ad antiquati modelli metafisici) su un campo di indagine non meno ampio: dall'ambito di microanalisi chimiche e bioelettriche a indagini sull'attivazione di circuiti neurali che coinvolgono differenti strutture nervose corticali e sottocorticali, e da ipotesi sull'organizzazione complessiva dell'attività cerebrale e sui possibili correlati neurali degli stati di coscienza fino a considerazioni generali di carattere ontogenetico e filogenetico sull'evoluzione dell'intelligenza umana.

2.

Fino ad un paio di anni fa, una delle questioni al centro del dibattito internazionale sui MNs riguardava la possibilità di dimostrarne la presenza nel cervello umano. Ma che cosa significa dimostrare la presenza nel cervello umano di neuroni con proprietà di "rispecchiamento" o di "eco-rispecchiamento"?

La questione ha diversi risvolti. Primariamente si è posto il problema di rinvenire nel cervello umano la presenza di qualcosa di simile a ciò che già si conosceva empiricamente dalle indagini sperimentali svolte sulle scimmie. In questo filone di indagini, si sono fatti enormi passi avanti da quando il gruppo di ricerca dell'Università di Parma, coordinato da G. Rizzolatti, ha rilevato la presenza di MNs nella corteccia premotoria ventrale di un macaco, e dalle prime ipotesi sul ruolo funzionale dei MNs nei processi cognitivi (Di Pellegrino *et al.*, 1992). Si è riusciti a dimostrare empiricamente la presenza di MNs in altre specie animali (ad es. i passeri di palude), ma, com'è noto, la presenza di "neuroni specchio" nell'uomo è rimasta invece per lungo tempo controversa.

In vent'anni di indagini sono state effettuate numerose ricerche sperimentali di neurofisiologia e rilevazioni di *brain-imaging* che hanno fornito prove "indirette" della presenza di neuroni specchio nel cervello umano. Già a partire dalla metà degli anni '90¹, indagini condotte con ECG, TMS (*Transcranial Magnetic Sti-*

1. Per una rassegna sui progressi effettuati nelle indagini sui neuroni specchio, si veda: Rizzolatti & Sinigaglia, 2010. In anni recenti si è dimostrata la presenza di neuroni specchio non solo in due aree limitrofe (F5a ed F5p) rispetto a quella delle prime rilevazioni, ma anche in altre aree intensamente connesse con l'area F5, nella parte rostrale del *lobulo parietale inferiore* e nell'*intraparietale anteriore*; queste ricevono informazioni visive sia da aree prive di proprietà motorie, del *solco temporale superiore*, sia dal *giro temporale mediale*, il quale potrebbe essere coinvolto nei processi di identificazione degli oggetti. La presenza di neuroni specchio è stata individuata recentemente anche nell'area *intraparietale laterale* (Shepherd

mulation), MEG (*Motionsless Electromagnetic Generator*), fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*) e PET (*Positron Emission Tomography*) non solo hanno consentito di dimostrare effetti di rispecchiamento nel cervello umano, ma anche di avanzare ipotesi sulla peculiarità degli effetti di rispecchiamento nell'uomo rispetto alle scimmie (cfr. Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008).

Solo di recente si è riusciti a dimostrare, per la prima volta attraverso misurazioni *dirette* (con elettrodi intracranici), la presenza di MNs nel cervello umano, per di più in aree in precedenza non esplorate dalla letteratura critica, vale a dire nella corteccia frontale media e nella corteccia temporale media (Mukamel *et al.*, 2010). Confrontando questi risultati con le indagini già svolte sui neuroni specchio nei macachi, sono state rilevate similarità per quanto riguarda il rispecchiamento di atti di presa ed espressioni facciali. Tuttavia non è ancora possibile giungere alla delineazione di un quadro comparativo completo, in quanto l'indagine sui pazienti umani è stata limitata solo ad alcune aree corticali.

Secondo Mukamel *et al.* si sta assistendo alla ripetuta conferma dell'esistenza anche nell'uomo di un *multiple mirroring mechanism*, attestante cioè la presenza in parecchie aree corticali di neuroni specchio, la cui funzione è modulata dalla localizzazione corticale. Ad es., se il meccanismo di rispecchiamento nell'insula sembra essere correlato alla capacità di comprensione di specifiche emozioni, ad es. di disgusto rispetto a sostanze fortemente maleodoranti (Wicker *et al.* 2003), le indagini condotte da Mukamel *et al.* rilevano l'esistenza di meccanismi di rispecchiamento in aree rilevanti per l'avvio di un movimento, l'esecuzione di una sequenza di atti motori, ma anche per l'esercizio della capacità di ricordare (Mukamel, 2010: 754). Una recente meta-analisi condotta su 125 studi fMRI sul tema (selezionati a partire dall'analisi di 438 pubblicazioni) conferma tale ipotesi, suggerendo l'imagine di un *core network* di aree corticali con proprietà *mirror* (Molenberghs *et al.*, 2012)², in grado di svolgere una «funzione vicaria» rispetto ad uno spettro molto ampio di attività cognitive (Keysers & Gazzola, 2009).

3.

Se la rilevazione empirica di MNs nell'uomo ha fornito una risposta certa su questioni relative alla presenza e alla localizzazione di neuroni specchio nel cervello umano, tuttavia rimangono da affrontare ulteriori questioni, non propriamente secondarie, anzitutto dal punto di vista concettuale. Prima di tutto si può legittimamente porre la domanda sui concetti fondamentali utilizzati in questo ambito di ricerca: che cosa significa "rispecchiamento" neuronale e quale valore dobbiamo assegnare ad espressioni come "neuroni specchio"? Dopotutto, se il riferimento alla "bi-attivazione" (in risposta sia all'esecuzione sia all'osservazione di tale esecuzione da parte di altri) risulta chiaro, non è invece chiara l'attribuzione ad un neurone della proprietà del "rispecchiamento", termine che etimologicamente e concettualmente si riferisce ad un livello descrittivo differente da quello di

et al., 2009), in cui si è mostrata la presenza di neuroni specchio che si attivano sia quando la scimmia orienta lo sguardo in una determinata direzione sia quando guarda un'altra scimmia orientare lo sguardo nella medesima direzione) e *ventrale*. (Ishida *et al.*, 2009) hanno mostrato come alcuni neuroni si attivino sia quando uno stimolo si presenta nel proprio spazio peri-personale sia quando questi si presenta nello spazio peri-personale di un altro individuo vicino a sé).

2. Così condensano i risultati della loro meta-analisi Molenberghs *et al.*: «we have uncovered a core network of brain areas, including the inferior frontal gyrus, dorsal and ventral premotor cortex, and the inferior and superior parietal lobule, which in humans is reliably activated during tasks examining the classic mirror mechanism, typically involving the visual observation and execution of actions. Our subanalyses showed that additional areas involved in somatosensory, auditory and emotional processing complement these areas depending on the sensory modalities involved. These results suggest that brain regions with mirror properties extend beyond those identified as being part of the mirror network in previous metaanalyses» (Molenberghs *et al.*, 2012, p. 348).

indagine sulle funzioni di cellule neuronali. Questo problema risulta particolarmente evidente quando si passa a considerare le modalità di catalogazione di differenti tipi di MNs, secondo la «funzione cognitiva» da loro esercitata.

Già a partire dalla fine degli anni '80 (Rizzolatti *et al.* 1988a; 1988b), si è evidenziato come alcuni tipi di MNs rispondano selettivamente rispetto ad aspetti "intenzionali" del movimento degli arti e della bocca. A tale scoperta è stata data la giusta enfasi: neuroni dell'area pre-motoria presentano una bi-attivazione (per osservazione ed esecuzione) non, come ci si potrebbe aspettare, rispetto a particolari anatomici, funzionali e cinematici degli atti osservati/eseguiti, ma in risposta ad obiettivi specifici come "prendere" o "sollevare". Ora, la classificazione funzionale di quelli che sono stati denominati nel loro insieme «goal-directed neurons» risponde evidentemente ad una esigenza *descrittiva*, al fine di tracciare un collegamento diretto tra il livello della descrizione di comportamenti e il livello della rilevazione cronografica e topografica dell'attività neuronale. Di qui la distinzione tra *holding neurons*, *grasping neurons*, *tearing neurons*, oppure tra *grasping-with-the-hand-and-the-mouth-neurons*, *bringing-to-the-mouth-or-to-the-body neurons* etc.

In questo modo si sono generati degli ibridi concettuali che continuano a condizionare le proposte teoriche discusse in questo ambito di studi. In fondo, anche l'espressione *mirror neurons* può essere considerata come l'espressione paradigmatica di questa ibridazione.

Certo, non si può negare il valore euristico di queste importantissime scoperte empiriche. Tuttavia, l'utilizzo di tale gergo rischia di contrastare la chiarezza della discussione interdisciplinare su questi temi. Tali espressioni concettuali rendono certo più intuitivo il carattere *automatico* dei meccanismi neuronali di traduzione istantanea di atti eseguiti e osservati. Tuttavia veicolano implicitamente alcuni presupposti che andrebbero attentamente considerati. In primo luogo, inducono a ritenere che si abbia a che fare con meccanismi di *trasposizione diretta* di ciò che viene osservato nel linguaggio della propria esperienza motoria. In secondo luogo, riflettono la credenza che le principali funzioni cognitive (come la cosiddetta "comprensione delle intenzioni degli altri", rilevabile attraverso l'osservazione dei loro atti motori) siano il *prodotto automatico invariabile* dell'attivazione di determinati circuiti neuronali *localizzabili*. In terzo luogo, esse accompagnano la diffusa ma problematica affermazione del ruolo «causale» diretto di tali meccanismi neuronali su funzioni cognitive complesse, come quelle coinvolte nella comprensione del comportamento degli altri³.

4.

L'affermazione che determinati tipi di neuroni rispondono selettivamente all'osservazione di diversi tipi di «atti motori» (*motor acts*) viene diffusamente associata alla tesi che essi risultano funzionali alla conoscenza del «significato» di tali atti, ovvero alla «comprensione» delle intenzioni che li guidano.

Tuttavia, è logicamente improprio affermare che un *meccanismo neuronale* è *in grado di distinguere* tra tipi differenti di atti intenzionali: solo se ci si riferisce ad un individuo consapevole, è sensato parlare di capacità di *distinguere*, di *cogliere significati*, di *comprendere*⁴. In modo simile è assurdo dire che un cervello capisce o apprende, o che una mano sente dolore. Eppure il problema si è costantemente riproposto nell'intera tradizione occidentale, sotto figure molto diverse; con la sua eccezionale sensibilità teoretica, Wittgenstein aveva dedicato dense e importanti riflessioni a questa spinosa ma rilevante questione⁵. Evidentemente, il

3. Cfr. in proposito AA.VV., *Mirror Neuron Forum*, ed. by Glenberg (2011).

4. Com'è noto, questa modalità di attribuzione è stata denominata da Hacker e Bennett «fallacia mereologica». Cfr. in proposito Bennett & Hacker, 2005² e Bennett *et al.*, 2007.

5. Il volume di Bennett e Hacker *Philosophical Foundations of Neuroscience* (2003, 2005³) può essere considerato come il tentativo di applicare

successo nella diffusione di un tale uso concettuale nella letteratura neuroscientifica non può giustificare per sé la validità di un tale uso concettuale.

5.

Si può allora legittimamente sollevare la domanda: in che senso ci si riferisce alla capacità propria di un *circuito neuronale* di elaborare una forma di conoscenza (*understanding*), precisamente quel tipo di conoscenza che ci permette di cogliere immediatamente e dall'interno (*from the inside*) il significato (*meaning*) di un atto motorio compiuto da altri?

In *From action to meaning*, Rizzolatti e Gallese affermano che la funzione fondamentale dei MNs è la seguente: *code actions*. Ad es., l'attivazione dei MNs selettivi per la presa, secondo gli autori, *asserts that a object is graspable* (Rizzolatti, Gallese, 1997, p. 222).

Ciò che si viene a presupporre è che la comprensione del comportamento degli altri avvenga attraverso una composizione di più piani di elaborazione cognitiva. Per sé, la percezione visiva consentirebbe solo una *pictorial description* del reale, senza rilievo, fornendo immagini che di per se stesse sarebbero *meaningless*; solo attraverso l'associazione di tali immagini alla propria esperienza motoria sarebbe possibile il riconoscimento del "significato" di un atto.

In altri termini, come successivamente specificato (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010: 269-270), si ipotizza un livello di *riconoscimento puramente descrittivo* del comportamento motorio degli altri, simile a quello «effettuato dalle aree del *ventral stream* per il riconoscimento di oggetti inanimati». Nel caso in cui l'osservazione attivi il sistema motorio attraverso ciò che viene denominato *Mirror Neurons System*, allora l'atto può essere non solo catalogato estrinsecamente, ma anche conosciuto e compreso. Per comprensione si intende in questo contesto la conoscenza del significato «reale» (*real*) del messaggio implicito nell'atto osservato, ossia la sua associazione con l'aspetto intenzionale dell'azione. Questo può essere colto immediatamente per rispecchiamento neurale, se l'azione appartiene al repertorio motorio dell'osservatore, e la rappresentazione del suo scopo può quindi essere compartecipata dall'osservatore (ivi e Buccino *et al.*, 2004).

Il valore euristico di questa proposta teorica e di domande del tipo *How the parieto-frontal circuit can give meaning to pictorial descriptions?* (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010: 270), è indiscutibile. Rimangono invece seri dubbi sui presupposti teorici che stanno alla base di questo tipo di domande. L'affermazione che *objects, as pictorially described by visual areas, are devoid of meaning* (Rizzolatti & Gallese, 1997: 222) vale di per sé un'ampia e articolata analisi, anche solo sul piano della formulazione e dell'uso concettuale. In particolare, è necessario discutere in che modo, in quale formato e per quale osservatore le "aree visive" sarebbero in grado di "descrivere oggetti". In questo contesto rimane del tutto problematica la netta separazione tra l'atto puramente descrittivo e l'atto con cui si attribuiscono dei significati al contenuto dell'esperienza visiva, per lo meno se ci riferiamo a condizioni non patologiche di attività percettiva.

6.

Una delle questioni centrali, per i problemi che si vanno qui discutendo, è certamente il modo in cui negli studi considerati ci si riferisce al "significato (*meaning*) di un atto motorio". In un noto articolo di Iacoboni *et al.* su questo tema, dal titolo *Grasping the Intentions of Others*, si considera il cosiddetto *Mirror Neurons System* (MNS) come un *action recognition mechanism*: lo si ritiene

sistematicamente al dibattito neuroscientifico contemporaneo alcune dense riflessioni di Wittgenstein su questo tema, documentate soprattutto nelle *Philosophische Untersuchungen*, nelle *Philosophische Bemerkungen* e nelle *Bemerkungen über die Philosophie der Psychologie*.

capace non solo di distinguere tra diversi tipi di azione, ma, per la prima volta, lo si ritiene anche un meccanismo *for coding the intentions of others* (Iacoboni et al., 2005: 529-530)⁶.

Sorvoliamo qui sul problema dell'attribuzione al "sistema motorio" della capacità di utilizzare un meccanismo neuronale (il MNS), in modo tale da riconoscere le intenzioni che sottendono le azioni degli altri⁷ e limitiamoci a considerare il modo in cui il problema viene concettualmente definito. Va specificato che per *azione* viene inteso un atto motorio che è *goal-directed*; per *intenzione* si intende invece il motivo che sta dietro (*behind*) l'atto motorio e lo guida alla realizzazione di quell'obiettivo.

Si badi bene: ciò che qui viene indicato non ha a che vedere con la dimensione complessa del proposito, delle riflessioni e delle finalità che il soggetto si pone attraverso una riflessione consapevole. Né si fa riferimento a quello che viene denominato *agire teleologico* (cfr. Csibra & Gergely, 2007).

Con quale significato vengono qui utilizzati i concetti di *goal-directed action* e di *intention*? Ciò che è chiaro è che si presuppone una netta differenza tra la componente intenzionale e la descrizione cinematica dell'atto motorio. E proprio tale netta separazione sembra rendere possibile la rappresentazione di un atto motorio come "non significativa" o "ambiguo", o comunque tale da richiedere un'interpretazione; quest'ultima verrebbe ad esplicitare ciò che sta dietro e guida l'atto osservato.

L'esperimento presentato in *Grasping the Intentions of Others* chiarisce questa impostazione concettuale, mostrando come la capacità di comprendere le intenzioni che sorreggono e guidano il comportamento degli altri venga ridotta, per essere più facilmente valutabile sperimentalmente, all'*associazione di un atto motorio* nel raggiungimento di un obiettivo (la presa della tazza) con un determinato "contesto" (la tavola imbandita per una pausa tè).

Dall'indagine sperimentale risulta che aree corticali correlate all'afferrare e al controllo della presa sono particolarmente sollecitate nello spettatore di un video-clip quanto le immagini rappresentano un atto motorio (la presa di una tazza) in un preciso contesto (prima o dopo una pausa tè), ma non quando rappresentano isolatamente o l'atto di presa della tazza per sé o il mero contesto.



L'associazione *action-context* consentirebbe, attraverso un meccanismo di rispecchiamento neuronale, di rispondere all'*intenzione* che sottende all'atto di presa osservato. Di fatto, quello

6. Rizzolatti e Sinigaglia hanno evidenziato come questo studio abbia fornito per la prima volta la prova empirica che il circuito di rispecchiamento neuronale parieto-frontale è coinvolto nella codifica delle intenzioni motorie, mostrando, in particolare, come l'osservazione del medesimo movimento entro un contesto che esplica l'intenzione dell'atto induca una più intensa attivazione del *caudal inferior frontal gyrus* dell'emisfero destro (Rizzolatti e Sinigaglia, 2010: 270).

7. Conferma Iacoboni in un'intervista pubblicata sulle pagine informative dell'UCLA: «Our findings show for the first time that intentions behind actions of others can be recognized by the motor system using a mirror mechanism in the brain. The same area of the brain responsible for understanding behavior can predict behavior as well». Dan Page, UCLA Neuroscientists Pinpoint New Function for Mirror Neurons; Specialized Brain Cells Predict Intentions as Well as Define Actions, «UCLA Newsroom», 23.2.2005.

che viene indicato come "contesto" viene predisposto in modo tale da spingere lo spettatore ad *associare* la presa di una tazza di tè all'intenzione di *bere* (come nel fotogramma riportato sopra). Ma può anche essere predisposto in modo tale da spingere l'osservatore ad associare la presa con l'intenzione di *spostare* o *sistemare* (come nel fotogramma seguente)⁸.



Le risposte neuronali dell'osservatore, che è spinto ad associare un atto a un determinato contesto, vengono interpretate dunque come l'indizio della capacità del nostro MNS non solo di discriminare un preciso *atto motorio* in quanto diretto ad un *obiettivo* (afferrare la tazza), ma anche di determinare il significato intenzionale di un'azione svolta entro un preciso contesto; vale a dire, vengono interpretate come l'indizio della capacità di «comprendere le intenzioni degli altri osservandone le azioni». Ove per intenzione si intende «il 'perché' (the 'why')» di una determinata azione (Iacoboni et al. 2005: 530).

Tuttavia, ciò che conta per Iacoboni et al. non è la teorizzazione di un atto intuitivo, ma il nesso "funzionale" tra l'atto motorio osservato e l'intenzione sottostante, vale a dire, nell'es. considerato, tra la presa della tazza e l'intenzione di bere o riordinare. Gli autori si riferiscono esplicitamente ad un precedente studio (Di Pellegrino et al., 1992), proponendosi di colmare quella che appare una lacuna concettuale nell'esplicazione di tale nesso «logically related»⁹. Nelle pagine seguenti, tuttavia, gli autori non sembrano fornire una chiarificazione concettuale all'altezza dei risultati delle loro indagini empiriche¹⁰.

7.

Com'è possibile determinare per "rispecchiamento neuronale" l'intenzione che guida una *goal-directed action*? Com'è possibile rispecchiare, automaticamente e inconsapevolmente, l'intenzione sottesa ad un'azione prima ancora di conoscere l'intenzione dell'agente? Le indicazioni sperimentali fornite da Iacoboni et al. hanno avuto il merito di aver contribuito a porre sperimentalmente la questione in modo fino ad allora inedito. I termini della questione non risultano tuttavia del tutto chiari. Quello che

8. Le due immagini sono tratte da una composizione fotografica pubblicata in Iacoboni et al., 2005.

9. «In that previous study, however, the role of these 'logically related' mirror neurons was never theoretically discussed and their functions remained unclear. The present findings not only allow one to attribute a functional role to these "logically related" mirror neurons, but also suggest that they may be part of a chain of neurons coding the intentions of other people's actions» (Iacoboni et al. 2005: 533)

10. Secondo gli autori, «the Intention condition contained information that allowed the understanding of intention, whereas the Action and Context conditions did not». Questo dimostrerebbe che «the context cued the intention behind the action».

Tuttavia i fotogrammi che presentano la mera *Action condition* risultano *ambigui* non solo perché presentano un atto di presa decontestualizzato, ma, a mio avviso, soprattutto perché presentano sempre e soltanto una mano che afferra una *tazza vuota*. La visione di presa di una *tazza piena*, contenente un liquido del colore di una bevanda familiare, potrebbe invece suggerire per sé sola l'associazione all'atto del bere, anche senza alcun riferimento ad un *before tea context*.

viene indicato come “contesto” suggerisce infatti esplicitamente l’associazione al riordinare o al bere. Ma per quale motivo l’osservatore sarebbe indotto a rispondere “automaticamente” a tale suggerimento?

L’esperimento è evidentemente impostato per indagare meccanismi inconsapevoli, non inferenze razionali. L’interpretazione data da Iacoboni *et al.* suggerisce che sia stata rilevata una “sensibilità” neuronale tale da fornire automaticamente e naturalmente risposte specifiche ad un determinato “contesto”: *To ascribe an intention – annotano gli autori – is to infer a forthcoming new goal, and this is an operation that the motor system does automatically* (Iacoboni *et al.* 2005: 533). Sembra invece che il modo in cui le immagini sono state predisposte vada a sollecitare principalmente l’abitudine ad associare ad un determinato gesto un determinato contesto esperienziale.

In effetti, una delle variabili in gioco, che verosimilmente incide non poco sull’intensità della risposta di “risonanza neuronale”, è l’insieme di aspettative e abitudini che ciascuno osservatore porta con sé. Ad es., di fronte alle immagini proposte nell’esperimento sopra considerato, c’è da aspettarci che sia differente la reazione di un operatore alberghiero rispetto a quella di chi si è appena ustionato con una bevanda calda, oppure rispetto alla risposta di chi, per la prima volta in grado di “vedere” dopo un’operazione agli occhi, cerca faticosamente di comprendere il significato di tale sequenza di immagini.

8.

È verosimile che il “rispecchiamento” dell’intenzione di bere o di riordinare, così come è stata definita nelle indagini sperimentali presentate in *Grasping the intentions of Others*, non sia necessariamente da considerare come la manifestazione di una qualche forma di “comprensione” del *perché* di un’azione. Si potrebbe forse definire la presunta intenzione sottesa a tali atti più propriamente come una sorta di “processo autoriflesso” del nostro stesso repertorio motorio, il quale si attiverebbe nell’osservazione di atti a noi noti, quando osserviamo simili atti intenzionali mentre vengono compiuti da altri (cfr. Stevens, 2000)¹¹.

Se le cose stanno così, allora l’effetto di rispecchiamento dovrebbe risultare ridotto o assente nel caso in cui si osservino atti che non rientrano nel nostro repertorio motorio¹². Nell’osservazione di atti compiuti davanti ai nostri occhi dovrebbe generarsi invece un effetto di rispecchiamento soprattutto in presenza di gesti compiuti in situazioni già vissute, anche in contesti differenti rispetto a quelli a noi abituali: subiamo una sorta di “contagio” sensoriale ed emotivo al vedere un funambolo che dà l’impressione di *perdere pericolosamente* il controllo dell’*equilibrio*, o se osserviamo da vicino un giocoliere che passa da una *mano* all’altra un oggetto *infuocato*.

9.

Sono da considerare attentamente anche altre variabili in gioco in ciò che viene indicata come la capacità di *comprendere* per rispecchiamento neuronale le *intenzioni degli altri*. Se si formula l’ipotesi che il cosiddetto MNS fornisce risposte *automatiche* e *naturali* di rispecchiamento alla visione di determinati atti intenzionali, si dovrebbe valutare con attenzione il fatto che non ci stiamo riferendo ad un sistema cognitivo che opera autonomamente rispetto al soggetto osservatore in carne ed ossa e alla sua storia personale. Il medesimo atto può suscitare nell’osservatore

11. Lo studio ha dimostrato come nella percezione visiva di movimenti apparenti, le aree motorie e parietali non presentano un’attivazione significativa in relazione a movimenti «biomeccanicamente impossibili», suggerendo che queste regioni si attivino selettivamente secondo le capacità motorie dell’osservatore.

12. Perché non ci sono noti, oppure perché non ci è noto il modo di eseguirli.

reazioni del tutto differenti a seconda dello stato d’animo, della storia personale, delle aspettative, degli usi, oppure anche del compito assunto da colui che si è sottoposto all’esperimento. In quest’ultimo caso, se l’osservatore si propone di fissare nella mente dei gesti per potere disegnare uno schizzo o una caricatura di ciò che osserva, allora appare evidente che la “risposta neuronale” sarà nettamente diversa rispetto a quella risultante da un semplice stare a guardare i medesimi gesti.

Grezes, Costes e Decety hanno deciso opportunamente di indagare sperimentalmente questa variabile, valutando quanto essa incida sul tipo di risposta neuronale nell’osservatore. I risultati della loro indagine sembrano confermare l’ipotesi sollevata: se l’osservazione visiva è accompagnata da un compito supplementare (ad es. quello di osservare un gesto per poterlo imitare) allora ha luogo una risposta differente rispetto a quanto avviene con la pura e semplice osservazione di quel medesimo gesto. In particolare, l’osservazione che mira all’imitazione comporta una maggiore attivazione di aree nella corteccia prefrontale dorso-laterale e nel cervelletto, le quali sono chiamate in causa quando si tratta di pianificare ed eseguire movimenti del proprio corpo. Ciò che il soggetto si propone mentre osserva un gesto va dunque a modulare, con un effetto *top-down*, i meccanismi neurali di percezione di quei gesti, in vista, ad es., della riproduzione motoria di quei movimenti che si sono osservati attentamente proprio a questo scopo (Grezes *et al.*, 1998).

10.

V’è un altro aspetto importante da considerare: l’*imprevedibilità* del comportamento di soggetti agenti che conosciamo solo attraverso la visione di brevi clip, tanto più se ci si limita ad osservare fotografie o immagini povere di informazioni. Infatti, da una singola immagine, o anche da una breve sequenza d’immagini, non ci è possibile in genere risalire alle “intenzioni” del soggetto agente; semmai ci limitiamo ad “aspettarci” che egli vada a compiere una certa qual cosa. Una determinata scena (come quella che raffigura una mano protesa ad afferrare una tazza, nel contesto di una tavola imbandita per una pausa tè) potrebbe proseguire in modi molto diversi e comunque congruenti rispetto alle immagini prima osservate.

Un’equipe guidata da Buccino ha mostrato come di fronte a sequenze di movimenti che terminano in modo inatteso l’osservatore presenti un incremento nell’attivazione di aree corticali (in questo caso rilevate tramite fMRI), che andrebbero ad integrare la debole risposta dei meccanismi di rispecchiamento neuronale (Buccino *et al.*, 2007). E così, se il soggetto osservato, mentre cammina, finisce per inciampare oppure per rovesciare il contenuto del bicchiere, allora nell’osservatore vengono sollecitate aree corticali (come il giro sinistro sopramarginale) che sono in genere coinvolte nei processi attentivi legati al controllo dei movimenti, nella loro articolazione spaziale e temporale. Nell’osservazione di esiti impreveduti, si è inoltre riscontrata l’attivazione di altre aree corticali (nella giunzione temporale-parietale e nell’adiacente regione posteriore del solco temporale superiore), in genere correlate ad attività non intuitive, legate all’interpretazione di *credenze*. Questi risultati sono stati ribaditi da altre indagini sperimentali (ad es. Liepelt *et al.*, 2008)¹³.

13. Si veda in proposito la meta-analisi curata da Van Overwalle & Baetens (2009) e condotta su 200 indagini svolte con fMRI, dedicate allo studio sperimentale dei circuiti neurali correlati al riconoscimento di atti intenzionali. Gli autori propongono la tesi della *complementarietà del Mirror Neurons System*, il quale sarebbe coinvolto nel *rispecchiamento percettivo* dei movimenti corporei degli altri, rispetto ad un cosiddetto *Mentalizing System* (situato, secondo Van Overwalle, 2009 in aree della giunzione temporo-parietale e della corteccia prefrontale mediale), il quale sarebbe coinvolto nella elaborazione astratta (per linguaggio verbale o simbolico) di *riflessioni* relative al *perché* del comportamento altrui. Così gli autori: «these two systems are never concurrently active. This suggests that neither system aids or subserves the other. Rather, they are complementary. This conclusion is contrary to suggestions that

Se questi risultati dovessero essere confermati, si verrebbe a ribadire per via sperimentale che il cosiddetto MNS svolge un ruolo centrale nella responsività neuronale correlata all'osservazione e all'esecuzione di *movimenti molto semplici* e automatismi che fanno già parte del repertorio motorio dell'osservatore, mentre l'osservazione di azioni non stereotipiche comporta il coinvolgimento di aree associate a competenze cognitive molto più complesse, rispetto a quelle messe in campo dal modello di un automatismo naturale di rispecchiamento.

11.

È verisimile, dunque, che la responsività dei MNS sia significativamente modulabile dall'esperienza motoria dell'osservatore. L'ipotesi che tale responsività sia modificabile attraverso uno specifico allenamento è stata sottoposta a indagini sperimentali da parte di C. Heyes, C. Catmur *et al.* Il gruppo ha dimostrato che attraverso un apposito *training* è possibile arrivare a provocare delle risposte neurali inverse, le quali possono arrivare ad inibire anche completamente certi automatismi imitativi (Heyes *et al.*, 2005; Gillmeister *et al.*, 2008, Cook *et al.*, 2010). Ad es., si è dimostrato come, addestrando qualcuno a ripetere con modalità inversa un movimento delle dita osservato si riesce a inibire una risposta di rispecchiamento motorio. Non solo: in questo modo si riesce a modificare a tal punto la risposta soggettiva all'osservazione da modificare anche il contenuto che è oggetto del rispecchiamento neuronale; ad es. si può ottenere il rispecchiamento del movimento inverso rispetto a quello osservato (Catmur *et al.*, 2007), oppure, sempre attraverso un apposito *training*, si può ottenere che alla visione di un gesto della mano faccia riscontro, nelle aree premotoria e parietale, una dominanza nel rispecchiamento neurale correlato al movimento del piede (Catmur *et al.*, 2008).

A supporto di questa tesi vanno considerati anche alcuni studi che hanno confermato la maggiore attivazione di MNS in ballerini esperti (Calvo-Merino, 2005 e 2006; Cross *et al.*, 2006) mentre osservano movimenti di loro competenza, rispetto a movimenti che invece non rispecchiano le loro competenze specifiche (ad es. quando un ballerino classico osserva movimenti della *capoeira*). Tali scoperte sono state confermate da altre analoghe indagini sperimentali condotte con esperti musicisti (Haslinger *et al.*, 2005) e arcieri (Kim *et al.*, 2011).

12.

A conclusione, si può rilevare che l'ampia discussione internazionale sui MNS esige oggi il passaggio ad un livello di maggiore accuratezza concettuale ed epistemica. In quest'ottica, sarebbe opportuno concentrare l'attenzione su problemi legati alla convergenza e alla composizione di livelli di descrizione differenti, anche se rivolti alla comprensione di un medesimo oggetto di indagine.

Da questa prospettiva è allora rilevante la seguente precisazione di Rizzolatti e Sinigaglia: «la comprensione della ragione (*reason*) sottostante all'intenzione motoria sembra essere localizzata in aree corticali», che fino ad ora «non hanno mostrato avere

the mirror system might aid the mentalizing system to inferring intentions of others». Van Overwalle e Baetens specificano: «Thus, we do not at all suggest that these two systems are disconnected in real-world social inferencing. Quite on the contrary, in judging others, we often rely on both a target's motor intentions and explicit verbal information (e.g., observing the target of a gossip and hearing harsh words spoken about him or her)». E concludono: «How these two types of information interact is still a new area in social neuroscience, one that we are only beginning to explore by means of tasks as exemplified by actions that are unexpected and inconsistent. One question for future research is to explore what happens in the social brain when tasks potentially recruit both systems, but when the motor and the verbal inputs contradict each other» (ivi, 579).

proprietà di rispecchiamento» (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010:271). È infatti evidente che la comprensione delle ragioni sottostanti al comportamento altrui non possa che generarsi su un piano che astrae da quello del semplice rispecchiamento visuo-motorio. Va però aggiunto che la persistenza della tendenza alla *localizzazione* di competenze cognitive complesse (come il comprendere ragioni) entro un preciso *network* neuronale appare problematico non solo per motivi epistemici e logici, ma anche dalla prospettiva neurobiologica, se si considera la costitutiva plasticità neuronale e i rapidissimi e costanti processi ricorsivi attraverso i quali l'attività cerebrale sembra incessantemente riaggiornarsi.

Ad ogni modo, queste riflessioni critiche non vanno certo a sminuire il rilievo dei risultati delle indagini sui MNS di questi anni, non solo per gli studi specialistici in campo neuroscientifico, ma anche più in generale per i progressi nella ricerca interdisciplinare sulla genesi delle relazioni intersoggettive. In particolare, l'idea della priorità dell'esperienza motoria su quella puramente osservativa, per la percezione del comportamento motorio degli altri e per la costituzione degli aspetti basilari della prassi comunicativa, è sicuramente una delle indicazioni di maggior rilievo emergenti dall'ambito delle indagini sui MNS¹⁴.

Anche in questo caso, tuttavia, è opportuno non assolutizzare il valore euristico di indicazioni sperimentali che vanno attentamente interpretate e discusse. Se si ammette opportunamente che *mirror neurons data do not say who is reading the neural activity*, non è affatto chiaro il senso di affermazioni, secondo le quali il sistema motorio *gives meaning to objects* ed è *responsible of the interpretation of motor events, and, by inference, provide knowledge on the existence of their agents* (Rizzolatti & Gallese, 1997: 226). La premessa è vera perché la domanda sul "chi" non pertiene al livello di osservazione di peculiari meccanismi neuronali. Tuttavia, proprio per questo, la triplice asserzione che segue risulta incomprensibile: il "sistema motorio" di un individuo per sé non può essere né *l'interprete*, né il responsabile dell'*interpretazione* di eventi motori, e nemmeno può essere in grado di *conoscere* alcunché *per inferenza*, se non in senso metaforico o per analogia.

Una tale ibridazione concettuale, sia pur efficace sul piano euristico, può certo risultare funzionale ad una sorta di soggettocentrismo biologico. *L'esperienza umana* in generale, con la sua componente essenziale di relazioni interpersonali, risulterebbe allora paradossalmente qualcosa che viene ad assumere un rilievo e un senso *per il sistema motorio* operante in un individuo, rendendo inutile, in una tale fusione di orizzonti, non solo la domanda sul "chi", ma anche quella sul "perché".

Bibliografia

- Bennett, M. R., & Hacker, P. M. S. (2005). *Philosophical Foundations of Neuroscience*. Maldon – Oxford – Carlton: Blackwell 2005².
- Bennett, M. R., Dennett, D., Hacker, P., & Searle, J. (2007). *Neuroscience and Philosophy: Brain, Mind, and Language*. New York: Columbia University Press.
- Borg, E. (2007). If Mirror Neurons Are the Answer, What Was the Question? *Journal of Consciousness Studies*, 14, 5-19.
- Brass, M., Ruby, P., & Spengler S. (2009). Inhibition of Imitative Behavior and Social Cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 364, 2359-2367.
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C.A., & Rizzolatti, G. (2004). Neural Circuits Underlying Imitation Learning of Hand Actions: An Event-Related fMRI Study. *Neuron*, 42, 323-334
- Buccino, G., Baumgaertnes, A., Colle, L., Buechel, C., Rizzolatti,

14. Per una introduzione alla discussione in corso relativa alla rivalutazione della teoria della percezione linguistica di Liberman, che ha chiaramente ispirato il modello proposto dai primi teorici dei MNS, si veda il numero monografico di «Brain and Language», 112 (2010) curato da G. Hickok e da lui efficacemente presentato in *The role of mirror neurons in speech and language processing*, ivi, 1-2.

- G., & Binkofski, F. (2007). The Neural Basis for Understanding Non-Intended Actions. *NeuroImage*, 36, T119–T127.
- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Their, P., Casile, A. (2009). Mirror Neurons Differentially Encode the Peripersonal and Extrapersonal Space of Monkeys. *Science*, 324, 403–406.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*, 15, 1243–1249
- Calvo-Merino, B., Grezes J., Glaser D. E., Passingham R. E., & Haggard P. (2006). Seeing or Doing? Influence of Visual and Motor Familiarity in Action Observation. *Current Biology*, 16, 1905–1910.
- Catmur, C., Walsh, V., & Heyes, C. (2007). Sensorimotor Learning Configures the Human Mirror System. *Current Biology*, 1527–1531.
- Catmur, C., Gillmeister, H., Bird, G., Liepelt, R., Brass, M., & Heyes, C. (2008). Through the Looking Glass: Counter-Mirror Activation Following Incompatible Sensorimotor Learning. *European Journal of Neuroscience*, 28, 1208–1215.
- Cook, R., Press, C., Dickinson, A., & Heyes, C. M. (2010). Is the Acquisition of Automatic Imitation Sensitive to Sensorimotor Contingency? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36, 840–852.
- Cross, E. S., Hamilton, A. F., & Grafton, S. T. (2006). Building a Motor Simulation De Novo: Observation of Dance by Dancers. *NeuroImage*, 31, 1257–1267
- Csibra, G., & Gergely, G. (2007). 'Obsessed with Goals': Functions and Mechanisms of Teleological Interpretation of Actions in Humans. *Acta Psychologica*, 124, 60–78.
- Csibra, G., & Gergely, G. (in press). *Teleological Understanding of Actions*. In Banaji, M. R., & Gelman, S. A. (eds.). *Navigating the Social World: What Infants, Children, and Other Species Can Teach Us*. New York: Oxford University Press.
- Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., & Fazio, F. (1997). Brain Activity during Observation of Actions. Influence of Action Content and Subject's Strategy. *Brain*, 12, 1763–1777.
- De Lange, F. P., Spronk, M., Willems, R. M., Toni, I., & Bekkering, H. (2008). Complementary Systems for Understanding Action Intentions. *Current Biology*, 25, 454–457.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding Motor Events: A Neurophysiological Study. *Experimental Brain Research*, 91, 176–180.
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). The Mirror System in Monkeys and Humans. *Physiology*, 23, 171–179.
- Falkenburg, B. (2012). *Mythos Determinismus. Wie viel erklärt uns die Hirnforschung?* Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*, 302, 662–667.
- Gallese, V. (2003). The Roots of Empathy: Shared Manifold Hypothesis and the Neural Basis of Intersubjectivity. *Psychopathology*, 36, 171–180.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 455–479.
- Gallese, V. (2010). Le basi neurofisiologiche dell'intersoggettività. *La società degli individui*, 37, 1, 48–53.
- Gazzola V., Rizzolatti G., Wicker B., & Keysers C. (2007). The Anthropomorphic Brain: The Mirror Neuron System Responds to Human and Robotic Actions. *NeuroImage*, 35, 1674–1684.
- Gazzola V., Van der Worp H., Mulder T., Wicker B., Rizzolatti G., & Keysers C. (2007). Aphasics Born without Hands Mirror the Goal of Hand Actions with Their Feet. *Current Biology*, 17, 1235–1240; Supplement, 1–10.
- Gillmeister, H., Catmur, C., Liepelt, R., Brass, M., & Heyes, C. (2008). Experience-Based Priming of Body Parts: A Study of Action Imitation. *Brain Research*, 1217, 157–170.
- Glenberg, A. M. (ed.). (2011). Mirror Neuron Forum. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 363–410.
- Grezes, J., Costes N., & Decety J. (1998). Top-Down Effect of Strategy on the Perception of Human Biological Motion: A PET Investigation. *Cognitive Neuropsychology*, 15, 553–582.
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmuller, E., Schroeder, U., Boecker, H., et al. (2005). Transmodal Sensorimotor Networks during Action Observation in Professional Pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 282–293.
- Heyes, C., Bird, G., Johnson, H., & Haggard, P. (2005). Experience Modulates Automatic Imitation. *Cognitive Brain Research*, 22, 233–240.
- Iacoboni, M. (2008). *Mirroring People. The New Science of How We Connect with Others*. New York: Picador, trad. it. Iacoboni, M. (2008). *I neuroni specchio. Come capiamo ciò che fanno gli altri*. Torino: Boringhieri.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the Intentions of Others with One's Owns Mirror Neuron System. *PLoS Biology*, 3, 529–535.
- Keysers, C. (2006). Mit den Fingern Denken. *Geist & Gehirn*, 10, pp. 34–36.
- Keysers, C., & Gazzola V. (2009). Expanding the Mirror: Vicarious Activity for Actions, Emotions, and Sensations. *Current Opinion in Neurobiology*, 19, 666–671.
- Kim, Y.-T., Seo, J.-H., Song, H.-J., Yoo, D.-S, Lee, H.J., Lee, J. , Lee, G., Kwon, E., Kim, J. G., & Chang, Y. (2011). Neural Correlates Related to Action Observation in Expert Archers. *Behavioural Brain Research*, 223, 342–347.
- Liepelt, R., von Cramon, D. Y., & Brass M. (2008). How Do We Infer Others' Goals from Non-Stereotypic Actions? The Outcome of Context-Sensitive Inferential Processing in Right Inferior Parietal and Posterior Temporal Cortex. *NeuroImage*, 43, 784–792.
- Marshall, Peter J., & Meltzoff, Andrew N. (2011). Natural Mirroring Systems: Exploring the EEG Mu Rhythm in Human Infancy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1, 110–123
- Molenberghs, P., Cunnington R., & Mattingley J. B. (2012). Brain Regions with Mirror Properties: A Meta-Analysis of 125 Human fMRI Studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 341–349.
- Mukamel, R., Ekstron, A.D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*, 20, 750–756.
- Rizzolatti, G., Camarda R., Fogassi M., 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, 491–507.
- Rizzolatti, G., & Gentilucci, M. (1988). *Motor and Visual-Motor Functions of the Premotor Cortex*. In Rakic, P., & Singer, W. (eds.). (1988), *Neurobiology of Neocortex*. Cichester: Wiley, (pp. 269–284).
- Rizzolatti, G., & Gallese, V. (1997). *From Action to Meaning*. In Petit, J.-L. (ed.). (1997), *Les Neurosciences et la philosophie de l'action*. Paris: Vrin, (pp. 217–229).
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within Our Grasp. *Trends in Neurosciences*, 21, 188–194.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2006). *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*. Milano: Cortina.
- Rizzolatti G, & Sinigaglia C. (2010). The Functional Role of the

- Parieto-Frontal Mirror Circuit: Interpretations and Misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 264–274.
- Sinigaglia, C., Rizzolatti, G. (2011). Through the Looking Glass: Self and others. *Consciousness and Cognition*, 20, 64-74.
- Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M., & Decety, J. (2000). New Aspects of Motion Perception: Selective Neural Encoding of apparent Human Movements. *NeuroReport*, 11, 109-115.
- Van Overwalle, F. (2009). Social Cognition and the Brain: A Meta-Analysis. *Human Brain Mapping*, 30, 829–858.
- Van Overwalle, F, & Baetens, K. (2009). Understanding Others' Actions and Goals by Mirror and Mentalizing Systems: A Meta-Analysis. *Neuroimage*, 48, 564–584.