



# IL 'PENSARIO' della Biblioteca filosofica

Numero Primo – Aprile 2007

**Francesco Mariotti**

**I neuroni specchio nella comprensione dell'azione:  
un'interpretazione deflazionistica**

<http://www.humana-mente.it>

## I neuroni specchio nella comprensione dell'azione: un'interpretazione deflazionistica

In questo articolo proponiamo alcune riflessioni sul possibile ruolo dei neuroni specchio (*mirror neurons*) nella comprensione dell'azione motoria: in particolare suggeriamo una interpretazione alternativa del ruolo dei neuroni specchio, deflazionistica rispetto ad altri approcci e ipotesi esplicative che esamineremo in questa sede. Mostreremo successivamente le implicazioni che tale interpretazione ha nel campo della filosofia della mente, e le relazioni tra le proprietà sintattiche del movimento da noi ipotizzate e la *hand-state hypothesis* formulata da Oztop e Arbib (2002) e proposta nel loro modello MNS1.

### INTRODUZIONE

I neuroni specchio, o *mirror neurons*, sono neuroni presenti nell'area F5 del cervello della scimmia (*macaca nemestrina*) che si attivano in modo isomorfo durante l'esecuzione di un'azione diretta ad uno scopo e durante l'osservazione della stessa azione eseguita da un altro individuo<sup>1</sup>. Attraverso le connessioni con le aree parietali PF e AIP<sup>2</sup>, i neuroni specchio formano un circuito neurale deputato al riconoscimento dell'azione motoria: il funzionamento di questo circuito, chiamato *Mirror System* (MSys d'ora in poi), è basato sul *matching* osservativo-esecutivo<sup>3</sup> delle regioni cerebrali di attivazione. L'ipotesi per cui un simile sistema esisterebbe anche nell'uomo è stata oggetto di svariati esperimenti condotti con le più avanzate tecniche di *brain mapping* e *brain imaging*<sup>4</sup>. Le interpretazioni funzionali dell'attività del MSys sono molteplici; nella maggior parte dei casi introducono concetti intenzionali all'interno della spiegazione. Alcuni autori sostengono che il funzionamento del MSys sia fondamentale per la comprensione<sup>5</sup> e la rappresentazione<sup>6</sup> dell'azione; altri focalizzano l'attenzione sul possibile legame tra l'evoluzione del MSys e quella del linguaggio<sup>7</sup>; altri ancora ipotizzano un ruolo del

MSys nell'evoluzione delle abilità di *mind reading*<sup>8</sup>, ovvero la capacità di ascrivere ad altri stati mentali e intenzioni.

Scopo di questo articolo è mettere in luce la problematicità, spesso non considerata dagli autori, legata all'introduzione, in tali interpretazioni, di concetti intenzionali come scopo e comprensione dell'azione. Forniremo una differente e deflazionistica interpretazione dell'attività svolta dai neuroni specchio durante l'osservazione-esecuzione dell'azione. Definiamo deflazionistica la nostra interpretazione in quanto esplicitamente elimina dalla spiegazione qualsiasi elemento di carattere intenzionale, riducendone sì la portata esplicativa, ma rimanendo più ancorata alle effettive evidenze sperimentali.

### PROBLEMI GENERALI

All'interno delle interpretazioni funzionali dell'attività dei neuroni specchio, compaiono più volte termini e concetti filosoficamente rilevanti: basti pensare a parole come "rappresentazione", "azione finalizzata", "comprensione". Il più delle volte questi termini non sono messi in discussione e il loro significato viene assunto come univoco. Si tratta invece di un lessico che rimanda inevitabilmente a tematiche di carattere filosofico su cui tuttora si dibatte. Il primo (e più difficile) termine da considerare sarebbe certamente quello di rappresentazione, ma in questa sede ci concentreremo su altre due questioni: quella della distinzione tra azioni finalizzate e semplici eventi motori senza scopo, e quella della comprensione-riconoscimento dell'azione.

In molti articoli riguardanti i Neuroni specchio la suddetta distinzione tra azioni finalizzate e non, è data spesso per scontata. Gallese ha tentato di chiarire questo punto -seppur passando dal concetto di "comprensione dell'azione"- fornendo un'ipotesi sulla base fisiologica del possesso di uno scopo (*embodied goal*)<sup>9</sup>. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, questa distinzione è assunta come auto-evidente. Non lo è più se, considerando il concetto di scopo, cerchiamo di capire se e come sia effettivamente possibile distinguere questi due tipi di eventi motori.

Nella letteratura scientifica riguardante i Neuroni specchio, quando gli autori parlando di azioni finalizzate, generalmente si riferiscono a movimenti di prensione di vario genere, che dunque mettono in relazione il corpo (la mano) del soggetto con un oggetto tridimensionale; spesso si tratta di cibo, ma non è necessario ai fini della sperimentazione, se non come rinforzo nelle fasi di addestramento. Le azioni finalizzate vengono distinte dai semplici eventi motori senza scopo: per esemplificare movimenti di questo tipo si potrebbe pensare ai movimenti riflessi, ma non è questo l'esempio che più comunemente viene riportato. Il più delle volte infatti si parla di azioni senza scopo riferendosi a semplici movimenti che non prevedono l'interazione con alcun oggetto e non sembrano necessari a fare alcunché di diverso dal movimento stesso (alzare un braccio, aprire e chiudere una mano, ecc.). La distinzione sembra palese sennonché, ad un esame più attento, risulta artificiosa. In che senso un'azione ha o meno un determinato scopo?

Non è l'azione, bensì l'agente a possedere uno scopo. Questo è un punto fondamentale che merita un chiarimento. Pagine importanti sono state scritte da Hans Jonas su questo argomento, nel suo scritto critico sulla cibernetica<sup>10</sup>. Per quanto possa essere "intelligente" una bomba, l'intenzione sta in chi decide di lanciarla e non nel suo meccanismo retroattivo di guida. La critica di Jonas si può ricollegare, per certi aspetti a quella di Richard Taylor<sup>11</sup> (sempre nei confronti della cibernetica). Taylor sottolinea l'impossibilità di dedurre lo scopo di un'azione dalla pura osservazione esterna, ma le argomentazioni di Taylor non si applicano bene alle interpretazioni funzionali dei Neuroni specchio: se infatti la maggior parte degli articoli trascurava la problematica della distinzione di uno scopo solo in base all'osservazione di un'azione, quando questa viene invece affrontata (vedi Gallese 2001) emerge che non è solo l'osservazione che determina la comprensione dello scopo di un'azione. Gallese per esempio ipotizza qualcos'altro: per ottenere la comprensione dello scopo dell'azione osservata, agente e osservatore dovrebbero condividere qualcosa di fisico, cioè il pattern neurale dello schema motorio di quella azione. L'osservatore, secondo Gallese, riconosce l'azione, e quindi comprende lo scopo, perché è in grado di simularne

mentalmente l'esecuzione. Che si sia d'accordo o meno con questa ipotesi, resta il fatto che non è possibile opporvi obiezioni sul modello di quelle che Taylor ha portato al modello cibernetico di Rosenblueth, Weiner e Bigelow<sup>12</sup>.

Tenendo dunque presente che è il soggetto, e non l'azione, a possedere uno scopo, torniamo alla distinzione assunta tra azione finalizzata e non. Secondo questa distinzione ci sarebbero dunque azioni che un agente esegue con uno scopo e azioni che esegue senza scopo. Quali azioni dunque sarebbero senza scopo? Se pensiamo ad un agente che si muove in un ambiente è difficile immaginarlo compiere azioni senza scopo. Certo potrebbe inciampare, e cadere senza averne l'intenzione: ma in questo caso la sua intenzione sarebbe stata semplicemente un'altra, quella di continuare a camminare. Avere uno scopo non implica necessariamente conseguirlo. Si potrebbe allora pensare ai movimenti riflessi, come abbiamo suggerito prima, ma nella letteratura relativa ai Neuroni specchio questi non vengono mai presi in considerazione. In tale letteratura, come esempio di movimento senza scopo si considera solitamente un movimento volontario dello sperimentatore che non comporti l'interazione con un oggetto.

Nel caso dello sperimentatore, è corretto dire che quando semplicemente alza un braccio la sua azione non ha scopo? L'esecuzione dell'esperimento è certamente uno dei suoi scopi: ma qui entra in gioco lo spinoso problema dell'intenzionalità, che affronteremo tra breve. Prendiamo allora solo in considerazione l'evento "osservazione dell'azione", evento che inizia al tempo  $t$  e finisce al tempo  $t'$ : considerando anche solo questa porzione di tempo, cosa vuol dire che afferrare un oggetto è un'azione finalizzata, mentre alzare un braccio no? Vuol dire che nel caso dell'azione di prensione lo scopo, inteso come uno stato finale a cui il soggetto tende (avere in mano l'oggetto), ricade nell'intervallo temporale preso in considerazione. Nel caso invece dello sperimentatore che alza un braccio, si può ipotizzare uno scopo, come la riuscita dell'esperimento, che però non ricade all'interno del segmento temporale  $t-t'$ . Dunque, in questo senso particolare, possiamo distinguere le due azioni l'una come avente uno scopo, l'altra come non avente uno scopo. Ma se lo scopo (appunto) delle sperimentazioni che abbiamo precedentemente analizzato è quello di capire il funzionamento di certi

processi cognitivi, non si dovrebbe fare ricorso ad una tale distinzione artificiosa, valida solo all'interno del contesto sperimentale. Si dovrebbe cioè cercare di ricreare una situazione sperimentale che non alteri in questo modo il contesto in cui normalmente si svolge il processo cognitivo che si sta indagando. Per semplificare la questione si potrebbe rinunciare al concetto di scopo, e si potrebbe pensare all'attività dei neuroni specchio semplicemente come correlata all'esecuzione e all'osservazione di azioni che coinvolgano un oggetto. Ma il concetto di scopo e quello di comprensione dello scopo sono concetti chiave per tutte le successive speculazioni sulla nascita della comunicazione intenzionale a partire dall'attività di un *MSys* nell'uomo.

Alla luce di queste considerazioni, che cosa possiamo dire riguardo alla comprensione dell'azione che dovrebbe scaturire dall'attività dei Neuroni specchio? Di che tipo di comprensione si tratta? In molti casi gli autori preferiscono parlare di meccanismo di riconoscimento dell'azione, ma spesso, nelle discussioni conclusive degli articoli, sostengono che questo meccanismo sia alla base della comprensione motoria. Nel caso dei neuroni specchio il soggetto comprenderebbe l'azione e la sua intenzionalità simulando l'esecuzione di un'azione simile a quella osservata. Si può dire questo, secondo gli autori, perché i neuroni specchio si attivano, oltre che durante l'osservazione, anche durante l'esecuzione dell'azione simile. E' sufficiente questo per parlare di comprensione dell'azione? Dipende da cosa si intende per comprensione. Si può dire allora che la scimmia che osserva l'azione dello sperimentatore individua l'intenzionalità dell'agente? A questa domanda non è facile rispondere affermativamente. Ma anche una risposta negativa sarebbe troppo severa. In sostanza, chi può dirlo? A un certo livello si può dire che, se lo sperimentatore muove la sua mano verso un oggetto e lo prende, la sua intenzione è quella di prendere l'oggetto. Le più diverse intenzioni possono portare a muovere quella mano (compiere l'esperimento, fare il proprio lavoro, scegliere l'oggetto più vicino, più colorato, meno pesante, ecc.). Ma per un'interpretazione così profonda, come abbiamo già detto, anche un essere umano avrebbe bisogno di più informazioni che quelle derivanti dalla sola osservazione. Concentriamoci allora ancora una volta solo

sull'evento "osservazione dell'azione": comprendere l'azione significa allora capire che il movimento della mano verso l'oggetto non è casuale, come non lo è la conformazione dell'apertura delle dita della mano in quel momento, come non lo è la chiusura della mano attorno all'oggetto. Capire un'azione significherebbe dunque in questo caso distinguere un certo insieme (relativamente piccolo) di azioni rispetto a un insieme (molto più grande) di sequenze motorie effettivamente non finalizzate. Quindi, come giustamente osservano gli autori, in questo caso comprendere significa riconoscere. Ma l'accezione di comprensione come riconoscimento è solo un caso particolare dei significati che questa parola può avere. Dedurre che una certa attività neurale responsabile della comprensione dell'azione, in questa particolare accezione, possa essere alla base della comprensione degli eventi motori finalizzati, *in toto*, sembra essere eccessivamente speculativo. I diversi significati che noi riuniamo sotto il termine "comprensione" potrebbero essere correlati ad attività neurali completamente diverse.

#### UN'INTERPRETAZIONE DEFLAZIONISTICA DEI NEURONI SPECCHIO

Tenteremo adesso di fornire un'interpretazione diversa dell'attività dei Neuroni specchio, e del MSys in generale, deflazionistica rispetto alle interpretazioni presentate finora. In particolare tenteremo di escludere dalla nostra interpretazione concetti problematici come quello di intenzionalità. Ripartiamo dagli esperimenti: quali sono i dati grezzi da interpretare? Possiamo fare un elenco dei principali risultati sperimentali ottenuti sulle scimmie e sull'uomo:

- Nel cervello di scimmia esistono dei neuroni, nell'area F5, che godono sia di proprietà visive che motorie.
- Alcuni di questi neuroni sono sensibili all'osservazione di certi tipi di azioni, eseguite da altri individui, che coinvolgano un oggetto. Si attivano inoltre durante l'esecuzione dello stesso tipo di azione da parte del soggetto.
- Studi eseguiti con tecniche di misurazione elettrofisiologica e di *brain imaging* sull'uomo hanno suggerito che un meccanismo di

osservazione/esecuzione, del tipo osservato nel cervello di scimmia, possa esistere anche nell'uomo.

- I risultati degli esperimenti condotti sull'uomo hanno mostrato un'attivazione, relativa a questo meccanismo, in varie aree cerebrali tra cui l'area 44, di cui fa parte anche l'area di Broca; viste le proprietà linguistiche comunemente ascritte a questa area, è stato ipotizzato un legame tra osservazione/esecuzione dell'azione e linguaggio.

Nell'ambito interpretativo di questi risultati, comunemente vengono inseriti concetti come riconoscimento, scopo e intenzionalità dell'azione. Questo apre la strada all'introduzione di concetti ancora più problematici come quello di comprensione, prima dell'azione, poi dell'espressione comunicativa gestuale, infine dell'espressione linguistica. Sembra allora di intravedere un ponte evolutivo che nell'attività dei Neuroni specchio individua in potenza il fondamento stesso della possibilità di comprendere, di riempire di significato azioni ed espressioni e di dividerlo con altri individui.

Abbiamo già cercato di chiarire la differenza che intercorre tra scopo posseduto da un agente e scopo attribuito ad un'azione. In realtà solo nel caso dell'agente ha senso parlare di scopo, mentre riteniamo più corretto, nel caso dell'azione, parlare di funzione.

Concordiamo pienamente con la posizione di Stamenov<sup>13</sup> riguardo alla cecità del MSys rispetto all'identificazione dell'agente: dunque se si vuol parlare di comprensione dell'azione come comprensione del suo scopo, crediamo sia corretto farlo eludendo dallo scopo posseduto dall'agente e riferendosi esclusivamente alla funzione che l'azione osservata possiede. Dato che il MSys si attiva sia durante l'esecuzione che durante l'osservazione di uno stesso tipo di azione, la posizione dell'osservatore è irrilevante: non importa che l'azione osservata sia eseguita dall'osservatore stesso o da un altro individuo.

Concordiamo inoltre con l'ipotesi di Gallese riguardo alla possibilità che il MSys si sia sviluppato da un precedente meccanismo deputato al miglioramento del controllo dell'azione; una tale interpretazione sarebbe sufficiente per rendere

conto dell'attività di questo meccanismo durante la sola esecuzione dell'azione senza dover ricorrere al problematico concetto di "rappresentazione". Ma come spiegare allora l'attività del M\$ys durante la sola osservazione dell'azione eseguita da terzi? Come possiamo eliminare dall'interpretazione di tale attività concetti come "comprensione" e "intenzionalità". Riteniamo possibile far questo pensando al M\$ys come ad un meccanismo deputato al riconoscimento di particolari aspetti del movimento, che non hanno a che fare con l'intenzionalità dell'agente. Riteniamo che un possibile fraintendimento delle interpretazioni dell'attività del M\$ys, che arrivano ad ipotizzare un suo ruolo nella comprensione del significato, prima delle azioni, e poi delle espressioni linguistiche, sia causato dallo spostamento semantico che il termine "scopo" assume nelle argomentazioni: c'è un progressivo scivolamento del significato da "scopo dell'azione" a "intenzione dell'agente" senza una precisa spiegazione di come questo passaggio possa avvenire.

L'interpretazione che proponiamo in questa sede si basa sull'idea che il M\$ys sia sensibile solo a certi aspetti del movimento. Quali? Possiamo distinguere nell'azione due tipi fondamentali di proprietà, che chiameremo "semantiche" e "sintattiche". Il paragone linguistico è puramente funzionale alla spiegazione e non vuole suggerire alcuna facile omologia tra struttura dell'azione e struttura dell'espressione linguistica. Ciò che intendiamo per "proprietà semantiche" dell'azione può essere identificato con lo scopo dell'agente, la sua intenzionalità, il perché esegue una determinata azione, il significato che egli attribuisce al suo movimento. Per "proprietà sintattiche" dell'azione intendiamo invece quelle proprietà strutturali che permettono di classificare un certo movimento all'interno di un ristretto insieme di azioni funzionalmente caratterizzato. Possiamo pensare al rapporto che intercorre tra questo insieme e il resto dei movimenti possibili come proporzionale al rapporto che intercorre, in logica proposizionale, tra l'insieme delle "formule ben formate" (*fbf*) e il resto delle stringhe formate da connettori, variabili e quantificatori disposti casualmente, in modo non ordinato. Cerchiamo di chiarire meglio questa analogia. Lo sviluppo motorio del bambino passa attraverso varie fasi di cui è possibile individuare la direzione<sup>14</sup>: i gradi di libertà

motoria del neonato sono considerevolmente maggiori rispetto a quelli di un adulto; in compenso il neonato paga questa alta libertà motoria in termini di scarso controllo del movimento. L'affinamento del controllo del movimento a livello neurale avviene selettivamente<sup>15</sup> e implica una progressiva diminuzione dei gradi di libertà, compensata dalla specializzazione di certe aree cerebrali al controllo di determinate modalità di movimento. Se consideriamo l'insieme dei movimenti possibili del neonato e lo paragoniamo con quello dell'adulto, troveremo che il primo è molto più esteso e molto meno specializzato: troveremo in questo insieme molti movimenti che si riveleranno inutili all'interazione con l'ambiente, e che quindi saranno scartati dal processo selettivo. I movimenti possibili dell'adulto sono invece minori in numero, ma più efficaci e adatti all'interazione con l'ambiente: inoltre, dall'osservazione della loro struttura, sarà possibile enucleare regole che permettano di identificare un movimento come appartenente o meno alla classe delle "azioni funzionali", ovvero, secondo la nomenclatura utilizzata da Rizzolatti e dai suoi colleghi, delle "azioni dotate di scopo". Analogamente l'insieme delle *fbf* della logica è infinitamente più piccolo rispetto a quello formato da tutte le possibili sequenze di simboli logici; in compenso è costituito da formule utilizzabili in deduzioni e dimostrazioni, ed esistono regole per stabilire se una determinata espressione sia o meno un elemento dell'insieme delle *fbf*.

Supponiamo dunque, in continuità con le principali interpretazioni, che il MSys sia un meccanismo di riconoscimento dell'azione: a quali aspetti del movimento sarà sensibile? Che cosa permette l'identificazione di un determinato movimento come elemento di una specifica classe di azioni? Proponiamo di pensare al MSys come ad un meccanismo deputato al riconoscimento delle *fbf* del movimento (probabilmente di un sottoinsieme delle *fbf* del movimento). Pensiamo al suo funzionamento durante l'osservazione di un'azione di prensione: abbiamo detto che il MSys è cieco rispetto all'identificazione dell'agente; così sarà allora anche per l'intenzione dell'agente, per lo scopo che muove l'azione. Non è possibile dunque che sia questo aspetto del movimento, quello "semantico", a causare l'attivazione del MSys. Altra è la questione se si parla dello scopo dell'azione,

inteso come la sua “funzione” o “struttura”. Un movimento di prensione specifico, per esempio la presa di precisione, necessita di una sequenza determinata di movimenti (avvicinamento della mano all’oggetto, apertura di pollice e indice, etc.) senza la quale il movimento non adempirebbe alla sua funzione, cioè la prensione dell’oggetto in questa particolare modalità: per adempiere alla funzione dunque è necessaria una particolare costruzione dell’azione, intesa come schema della sequenza corretta di movimenti da eseguire. In questo senso abbiamo equiparato prima il termine “funzione” a quello di “struttura”: sono due facce della stessa medaglia. Per adempiere ad una determinata funzione l’azione deve avere una precisa costruzione e, viceversa, una specifica struttura sarà riconosciuta tale dal sistema se determinerà una particolare funzione.

Torniamo adesso alla distinzione tra proprietà semantiche e sintattiche dell’azione: questa differenza non coincide con quella postulata, nelle più comuni teorie del linguaggio, tra forma e significato. Proponiamo invece che esistano due accezioni diverse del termine “significato”: la prima, prettamente intenzionale, si identifica con ciò che il soggetto agente o parlante attribuisce alla forma (attiva o comunicativa) che sta utilizzando; la seconda analoga al concetto di significato che alcune recenti teorie linguistiche<sup>16</sup> attribuiscono a proprietà strutturali del linguaggio. Chiameremo “*significato1*” il significato funzionale/strutturale e “*significato2*” quello intenzionale. *Significato1* e *significato2* rimandano a proprietà diverse di un’espressione linguistica, ma entrambe contribuiscono alla sua comprensione. Se manteniamo questa distinzione nell’ambito delle azioni, possiamo dire che dalla sola struttura di un’azione è possibile dedurre la sua funzione, il suo *significato1*. Struttura e *significato1* sono ciò che abbiamo definito come “proprietà sintattiche” del movimento; il *significato2* resta invece relegato alle “proprietà semantiche” del movimento, essendo dipendente da aspetti intenzionali e soggettivi. Riteniamo dunque plausibile che il MSys sia coinvolto nella capacità cognitiva di comprensione del *significato1* dell’azione, quello legato ai soli aspetti strutturali, costruttivi di essa.

Una possibile obiezione a questa interpretazione potrebbe basarsi sul fatto che il MSys si è rilevato sensibile all’osservazione di soli movimenti biologici: sembra

dunque incoerente con questo dato la supposizione che le uniche proprietà motorie a cui il MSys sarebbe sensibile siano gli aspetti funzionali dell'azione. Se la funzione è ciò che conta per il MSys, perché l'osservazione di azioni eseguite da mani virtuali non attiva il sistema<sup>17</sup>? Questa obiezione fraintende che cosa denotiamo in questa sede con il termine funzione. Quando abbiamo introdotto nella discussione gli "aspetti funzionali dell'azione", volutamente abbiamo introdotto, equiparandoli, anche gli "aspetti costruttivi". L'intento era quello di spostare l'attenzione da ciò che può essere considerato lo scopo funzionale dell'azione alla struttura specifica che consente all'azione di conseguire quello scopo. Il fatto che il MSys sia sensibile agli aspetti costruttivi dell'azione (alla sua struttura, a come sono collegati tra loro gli elementi della sequenza motoria) non implica che questa costruzione non abbia una funzione. Anzi, sosteniamo proprio il contrario, e cioè che gli aspetti costruttivi dell'azione siano portatori di *significato*. Comunemente quando si parla di proprietà funzionali si dà per scontata l'ipotesi della realizzabilità multipla, ovvero la possibilità per sistemi fisicamente differenti di implementare la stessa funzione<sup>18</sup>. Ma funzione e realizzabilità multipla sono due concetti distinti. Quando parlo di aspetti funzionali riferendomi all'azione, intendo gli aspetti fisici specifici che costituiscono quell'azione: intendo le varie sequenze di contrazione e rilassamento muscolare che consentono l'esecuzione corretta di quell'azione, che la fanno funzionare. Questi aspetti funzionali sono dunque strettamente legati alla biologia del movimento. Il fatto che si possa raggiungere lo stesso risultato eseguendo un'azione manualmente o per mezzo di un utensile, non implica che le due azioni siano costruite nello stesso modo: le sequenze motorie da applicare nei due casi sono estremamente diverse. Riassumendo, se per funzione di un'azione si intende non solo il risultato dell'esecuzione, ma anche l'insieme degli aspetti costruttivi di tale azione, allora l'interpretazione deflazionistica del MSys che abbiamo fornito non sembra più inconsistente rispetto alla dimostrata sensibilità del MSys esclusivamente verso il movimento di natura biologica.

## IMPLICAZIONI FILOSOFICHE

I Neuroni specchio hanno qualcosa da dire riguardo al dibattito tra simulazionisti e teorici della Teoria, tuttora in atto, nell'ambito delle teorie della mente. Generalizzando, possiamo dire che mentre i primi sostengono che l'abilità di ascrivere ad altri stati mentali, come desideri e credenze, si basa sulla capacità di mettersi nei panni mentali degli altri (cioè di compiere una simulazione, di pensare "come se" si fosse un altro), i secondi sostengono che tale abilità non sia altro che il frutto dell'applicazione, ai dati provenienti dall'osservazione, di conoscenze di tipo teorico.

Tra le varie interpretazioni fornite del meccanismo osservativo/esecutivo dei Neuroni specchio, è stato ipotizzato che una sua funzione possa essere quella di abilitare un organismo all'individuazione di certi stati mentali, di individui conspecifici, tramite l'osservazione del loro comportamento, o perlomeno che contribuisca al meccanismo sotteso a questa abilità. I primi ad ipotizzare per i Neuroni specchio il ruolo di precursori di una più generale abilità di *mind-reading*, sono stati Vittorio Gallese e Alvin Goldman in un noto articolo del 1998<sup>19</sup>. Che cosa c'entra il meccanismo di riconoscimento dell'azione, ipotizzato essere la funzione fondamentale del M Sys, con una qualche capacità di *mind-reading*? Per spiegare questo Gallese e Goldman partono da un esempio concreto di attivazione dei Neuroni specchio. Gallese e Goldman assumono che un'attivazione dei Neuroni specchio da parte di una *fonte interna* equivalga, in senso stretto, a un piano per eseguire una determinata azione. A che cosa equivale l'attivazione dei Neuroni specchio se invece la fonte è esterna? Che cosa accade, cioè, quando l'attivazione è dovuta all'osservazione, da parte del soggetto, di un individuo che sta compiendo un'azione rivolta ad uno scopo? Secondo i due autori, il soggetto compirebbe una simulazione mentale dell'azione osservata, tentando così di comprendere lo scopo di tale azione. L'ipotesi avanzata dai due autori è che i Neuroni specchio siano una parte del *folk psychologizing mechanism*<sup>20</sup>, ovvero di quel meccanismo che consente a tutti gli uomini di rappresentare gli stati mentali altrui, come percezioni, desideri, credenze,

aspettative, etc. L'attività dei Neuroni specchio sembra riflettere, seppure in una versione primitiva, un uso retrodittivo della simulazione mentale: con la sua euristica simulativa, anche se non può costituire il completo correlato fisico del processo simulativo del *mind reading*, può a buon diritto essere considerata il suo possibile precursore filogenetico.

L'esistenza dei Neuroni specchio dunque sembra essere decisamente un punto a favore per i sostenitori della *Simulation Theory of mind* (ST d'ora in poi). E' nostra opinione tuttavia che entrambe le formulazioni delle teorie della mente, ST e *Theory theory of mind* (TT d'ora in poi), nelle loro versioni radicali, siano incompatibili con una spiegazione esaustiva della nostra capacità di attribuire stati mentali agli altri. Le formulazioni radicali di queste due teorie implicano una falsificazione completa della teoria avversaria: da un lato la ST radicale considera la *folk psychology* nient'altro che un'abilità e nega che la sua ontologia sia legata ad un qualunque tipo di teoria scientifica o popolare; dall'altro la TT radicale considera l'abilità di ascrivere stati mentali agli altri solo il risultato dell'applicazione di regole psicofisiche basate su di una conoscenza degli altri, ottenuta come ogni altro tipo di conoscenza relativa al mondo. Nelle formulazioni radicali, cioè, le due teorie disegnano un modello di cognizione degli stati mentali altrui totalmente improntato o alla simulazione o all'inferenza teoretica. Questa opposizione tra le due teorie è basata su una falsa dicotomia. Riteniamo infatti che ci siano alcuni specifici compiti cognitivi, legati all'attribuzione di stati mentali, che sono più facilmente spiegabili se si parte dall'approccio teoretico, mentre altri lo sono se si parte dalla simulazione. E' un problema di distribuzione e utilizzo delle risorse cognitive: un punto interessante della questione potrebbe essere quello di cercare di capire il criterio con cui decidiamo di applicare l'una o l'altra strategia quando interagiamo con gli altri. Queste considerazioni trovano riscontro in evidenze empiriche: in un recente studio fMRI<sup>21</sup>, Vogeley ha indagato l'abilità di attribuire stati mentali agli altri nelle due differenti modalità cognitive, ovvero applicando una teoria della mente, o assumendo una prospettiva in prima persona: l'intento era quello di chiarire se le due modalità impiegassero lo stesso o un diverso meccanismo neurale. Il non del tutto sorprendente risultato è che esse utilizzano

meccanismi neurali sia comuni che differenti. Se i meccanismi neurali sottesi alle due modalità fossero due insiemi matematici distinti, avrebbero una vasta intersezione comune, ma parti delle loro aree resterebbero vicendevolmente estranee le une alle altre. Questi risultati hanno un peso importante all'interno del dibattito tra *ST* e *TT*. Se la *ST* nella sua versione radicale fosse vera, allora questo esperimento avrebbe dovuto produrre risultati differenti: avrebbe dovuto evidenziare cioè l'attivazione delle stesse aree associate alla prospettiva in prima persona anche durante ogni compito di attribuzione di stati mentali. Al contrario, i risultati mostrano una ulteriore attivazione specifica osservabile durante i compiti associati alla prospettiva in prima persona e non durante quelli associati all'attribuzione di stati mentali. D'altra parte, la formulazione radicale della *TT* prevedrebbe, contrariamente ai risultati, che le due modalità non condividessero alcun meccanismo neurale. I risultati di questo esperimento smentiscono dunque le versioni radicali di entrambe le teorie.

Sembra dunque necessario ridimensionare l'interpretazione del ruolo dei Neuroni specchio all'interno del dibattito "*ST* vs. *TT*" fornita da Gallese e Goldman. Assumendo come valida l'interpretazione deflazionistica dell'attività dei *MSys* che abbiamo precedentemente fornito, tale ridimensionamento aumenterebbe ulteriormente. Se durante l'osservazione dell'azione la comprensione del significato di tale movimento avviene solo in relazione a ciò che abbiamo definito il *significato1*, allora tutto ciò che riguarda l'intenzionalità resta al di fuori della competenza di questo meccanismo. Gallese e Goldman stessi ammettono che l'euristica simulativa del *MSys* è sì un processo retrodittivo, ma, a differenza della simulazione postulata dalla *ST*, non si risale ad un stato mentale, intenzionale: si risale solo allo schema motorio dell'azione osservata. Questo è un punto cruciale: le caratteristiche individuate dal *MSys* nell'azione osservata appartengono all'insieme degli aspetti *sintattici*, costruttivi del movimento. Esse sono sì portatrici di significato, ma solo inteso in senso funzionale/strutturale (*significato1*), e non in senso intenzionale (*significato2*). Eliminando la componente intenzionale dall'attività del *MSys*, si esclude anche la possibilità che lo studio di tale attività

abbia un ruolo fondamentale all'interno del dibattito *ST* vs. *TT* che potremmo parafrasare come il "dibattito sulla percezione dell'intenzionalità".

#### *HAND-STATES* E PROPRIETA' SINTATTICHE DEL MOVIMENTO

Il modello MNS1 di Oztop e Arbib<sup>22</sup> è un'estensione di un modello precedente chiamato FARS<sup>23</sup>: questo è un modello computazionale del sistema di controllo della prensione nel primate, basato sulle scoperte di Rizzolatti e Sakata riguardo all'area AIP e alle sue proiezioni corticocorticali verso l'area F5. È stato progettato allo scopo di mostrare come F5 e AIP possano agire come parte del circuito di trasformazione visuomotoria che permette, a partire dalla percezione visiva di un oggetto, di selezionare il tipo di movimento adeguato alla sua prensione. Le scoperte di Sakata riguardo ad AIP e di Rizzolatti su F5 sono state interpretate da Arbib e Fagg in termini di elicitazioni (*affordances*) gibsoniane<sup>24</sup>: più precisamente, i due autori hanno cercato di mostrare, da un lato, la capacità di AIP di rappresentare i movimenti di prensione elicitati dalla percezione visiva dell'oggetto e, dall'altro, la capacità di F5 di selezionare e guidare l'esecuzione del movimento di prensione adeguato all'oggetto. Il modello FARS suggerisce inoltre come F5 potrebbe usare informazioni riguardanti, direttamente o indirettamente, i compiti da eseguire come vincoli per guidare la scelta in caso di elicitazioni multiple. Il modello FARS è in realtà molto complesso e un suo esame approfondito richiederebbe troppo tempo: qui ci concentreremo invece sul modello MNS1 progettato da Oztop e Arbib, che da FARS direttamente deriva, o meglio, ne è un'estensione.

L'idea fondamentale del modello MNS1 è che il cervello amplia le prestazioni del meccanismo modellato da FARS (ovvero il meccanismo deputato al riconoscimento delle elicitazioni di prensione di un oggetto e alla loro trasformazione in un programma motorio adeguato) affiancando a questo un meccanismo che riconosce un'azione in base alla conformazione della mano (*hand-state*) e alla relazione tra la traiettoria d'apertura della mano e le elicitazioni di un oggetto. Il concetto chiave alla base del modello MNS1 è

dunque quello di *hand-state*, in qualità di informazione necessaria a determinare, per estrapolazione, se una certa pre-apertura della mano, associata ad una certa traiettoria di movimento, culminerà o meno in un'azione di prensione adeguata alle *affordances* dell'oggetto osservato. Lo *hand-state* è volutamente definito come una relazione mano e oggetto; è dunque un concetto neutro rispetto alla prospettiva dell'osservatore. Questo concetto ci rimanda alle nostre considerazioni sulla cecità del MSys rispetto all'identità dell'agente. Riteniamo che proprio, grazie a questa neutralità, il concetto di *hand-state* diventi un buon candidato al ruolo di elemento che consente la generalizzazione "mano del soggetto→mano altrui". A prescindere dalle ipotesi "sopravvenientistiche" della genesi di questa generalizzazione, fornite dai due autori, crediamo che il concetto di *hand-state*, e anche il ruolo che a questo concetto viene affidato nel modello, siano compatibili con il concetto, e relativo ruolo, che abbiamo individuato nelle proprietà sintattiche dell'azione. Coerentemente con la definizione che abbiamo dato di proprietà sintattiche, gli *hand-states* forniscono informazioni relative alla struttura, alla costruzione dell'azione, che potrebbero consentire una sua classificazione in base a criteri funzionali. Alla luce di queste analogie, crediamo di poter affermare correttamente che l'interpretazione deflazionistica del MSys da noi fornita sia compatibile e coerente con la struttura del modello MNS1 di Oztop e Arbib.

## CONCLUSIONI

La caratteristica modalità di attivazione neuroni specchio poteva sembrare solo un'anomalia del sistema percettivo: fin dalla loro scoperta invece, è stata considerata espressione di un meccanismo neurale il cui studio avrebbe potuto chiarire molti aspetti della cognizione umana. L'attivazione isomorfa dei Neuroni specchio durante l'esecuzione di un'azione finalizzata, e durante l'osservazione della stessa azione compiuta da terzi, è stata interpretata dagli studiosi dell'argomento in vari modi: dall'ipotesi che il MSys si sia evoluto da un semplice meccanismo di controllo dell'azione, si è arrivati fino a speculazioni riguardanti

comprensione dello scopo, intenzionalità, genesi evolutiva delle capacità linguistiche e teorie della mente.

In questo articolo abbiamo analizzato i problemi relativi all'uso di termini intenzionali non univoci come scopo e comprensione all'interno delle interpretazioni della funzione del MSys. Abbiamo proposto un'alternativa e deflazionistica interpretazione della sua attività, che ha eliminato il concetto di intenzionalità dalla spiegazione. Non si tratta di una semplice riformulazione terminologica che elude il problema con un gioco linguistico. E' invece un'interpretazione sostanzialmente differente da quelle proposte dagli altri autori, che si limita a considerare l'attività dei Neuronmi specchio, e del MSys in generale, come espressione di un meccanismo di riconoscimento delle formule ben formate (*fbf*) del movimento (o di un loro sottoinsieme). Abbiamo introdotto una distinzione tra gli aspetti semantici e sintattici del movimento (utilizzando la metafora linguistica puramente a scopo illustrativo), identificando nei primi l'intenzionalità dell'agente che compie l'azione, nei secondi gli aspetti costruttivi, strutturali dell'azione eseguita (conformazione della mano, traiettoria del movimento, successione di sequenze motorie utilizzate, muscoli attivati, etc.). Abbiamo definito "fbf del movimento" quelle sequenze motorie che rispondono a determinati principi funzionali e costruttivi. Abbiamo inoltre distinto tra *significato 1* e *significato 2* dell'azione, riferendoci al primo come al significato funzionale/costruttivo dell'azione, ovvero relativo ai suoi aspetti sintattici; al secondo come al significato *intenzionale*, ovvero relativo agli aspetti semantici. Sosteniamo dunque che il MSys sia effettivamente sensibile allo scopo, al significato dell'azione eseguita/osservata, ma solo se per significato intendiamo il termine nella sua accezione funzionale-costruttiva, ovvero se stiamo parlando del *significato 1*.

L'interpretazione deflazionistica da noi fornita ha comportato alcune conseguenze sulle implicazioni filosofiche attribuite al MSys: eliminando infatti il concetto di intenzionalità dalla funzione cognitiva del MSys, si riduce l'interesse che per la sua scoperta può nutrire il dibattito sulla teoria della mente.

Il nostro lavoro non mette in discussione la possibile correttezza delle interpretazioni del MSys sul modello fornito da Gallese e colleghi, ma vuole distinguere gli aspetti

più fondati, più saldamente ancorati ai dati effettivi, di tali interpretazioni, da quelli più speculativi, rimandando la discussione di questi ultimi in attesa di future conferme.

Per quanto differente dalle interpretazioni fornite dagli altri autori, quella che proponiamo qui è compatibile con la maggior parte di esse. Una certa coerenza è stata riscontrata anche con il modello funzionale MNS1 di Oztop e Arbib. Gli *hand-states* postulati dal loro modello sembrerebbero coincidere, funzionalmente, con gli aspetti costruttivi dell'azione che abbiamo identificato.

Francesco Mariotti

## Note

1. Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. "Understanding Motor Events: a Neurophysiological Study" in *Exp.Brain Res.*, 91 (1992), 176-80.
  2. Gallese, V. et al. "Deficit of hand preshaping after muscimol injection in monkey parietal cortex", in *NeuroReport*, 5 (1994), 1525-9.
  3. Rizzolatti, G., Fadiga, L, Gallese, V., Fogassi, L., "Premotor cortex and the recognition of motor actions" in *Cog. Brain Res.*, 3 (1996), 131-41.
  4. Fadiga, L. et al. "Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study" in *Journal of Neurophys.*, 73 (1995), 2608-11.
- Iacoboni, M. et al. "Cortical Mechanisms of Human Imitation" in *Science*, 286 (1999), 2526-28.
- Buccino, G. et al. "Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study" in *Europ.J.Neurosc.*, 13 (2001), 400-4.
- Maeda, F. et al. "Experience-dependent modulation of cortico-spinal excitability during action observation" in *Exp.Brain Res.*, 11 (2001), 628-35.
- Maeda, F. et al. "Motor Facilitation While Observing Hand Actions: Specificity of the Effect and Role of Observer's Orientation" in *J.Neurophysiol.*, 87 (2002), 1329 – 35.
- Kohler, E. et al. "Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons" in *Science*, 297 (2002), 846-8.
- Aziz-Zadeh, L. et al. "Lateralization of the Human Mirror Neuron System" in *Jour.Neurosci.* 26, 11 (2006), 2964-70.

Molnar-Szakacs, I. et al. "Observing complex action sequences: The role of the fronto-parietal mirror neuron system" in *NeuroImage*, 33 (2006), 923-35.

5. Cfr. n. 3.

Rizzolatti, G. et al. "The Mirror System in Humans" in Stamenov, M.I. & Gallese, V. (Eds.) "Mirror Neurons and the evolution of brain and language", John Benjamins Pub., Amsterdam / Philadelphia (2002), 37-59.

6. Fadiga, L. et al. "Visuomotor neurons: ambiguity of the discharge or "motor" perception?" in *International Journal of Psychophysiology*, 35 (2000), 165-77.

7. Rizzolatti, G. & Arbib, M.A., "Language within our grasp" in *Trends in Neuroscience*, 21, 5 (1998), 188-94.

8. Gallese, V. & Goldman, A. "Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading", in *Trends in Cog. Sci.*, 2, 12 (1998), 493-501.

Gallese, V. "The Shared Manifold Hypothesis" in Thompson, E. "Between Ourselves: Second-person issues in the study of consciousness", Imprintic Academic Ed. (2001), 33-50.

Gallese, V. "La molteplice natura delle relazioni interpersonali: la ricerca di un comune meccanismo neurofisiologico" in *Networks*, 1 (2004), 24-47.

9. Gallese, V. (2001), vedi nota 8.

10. Jonas, H., "La cibernetica e lo scopo: una critica", Ed. ETS, Pisa (1999).

11. Taylor, R., "Comments on a Mechanistic Conception of Purposefulness," in *Philosophy of Science*, 17 (1950), 310-317.

Su Richard Taylor cfr. Tamburrini, G. "I matematici e le macchine intelligenti", Ed. Bruno Mondadori, *Matematica e dintorni* (2002), 5-28.

12. Rosenblueth, A., Wiener, N., Bigelow, J. "Behavior, Purpose and Teleology" in *Philosophy of Science*, 10 (1943), 18-24.

13. Stamenov, M.I. "Some features that make mirror neurons and human language faculty unique" in Stamenov, M.I. & Gallese, V. (Eds) "Mirror Neurons and the evolution of brain and language", John Benjamins Pub., Amsterdam / Philadelphia (2002), 249-271.

14. Il problema dello sviluppo del controllo motorio rimane un dibattito aperto. La generalizzazione della direzione di questo sviluppo che qui proponiamo non vuole negare la possibilità di un adattamento non lineare del controllo motorio, attraverso alternanze di bloccaggio e sbloccaggio di gradi di libertà. Qui si vuole solo estrapolare uno schizzo del disegno generale, e soprattutto della direzione, verso cui tende questo sviluppo. Su questo argomento cfr.:

Bernstein, N. "The coordination and regulation of movements" New York: Pergamon (1967);

G. Taga, "Freezing and freeing degrees of freedom in a model neuro-musculo skeletal systems for the development of locomotion" in Proc. of the 16th Int. Society of Biomechanics Congress, (1997), 47.

15. Edelman, G. "Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection", Basic Books, New York (1987).

16. Ci riferiamo alle varie formulazioni della Construction Grammar di cui qui possiamo riassumere così l'idea fondamentale: le costruzioni sono corrispondenze forma-significato che esistono indipendentemente dal significato degli elementi lessicali che le riempiono; le costruzioni stesse sono portatrici di significato indipendentemente dalle parole contenute nella frase. Su questo argomento cfr.:

Fillmore, C.J. "The Case of Case" in Bach, E., Harms, R.T. , "Universals and Linguistic Theory", Rinehart and Winston (1966), 01-88.

Fillmore, C.J. "Frames and the Semantics of Understanding" in V. Raskin (ed.) "Round Table Discussion on Frame/Script Semantics" Part I, Quaderni di Semantica VI: 2 (1985), 222-54.

Fillmore, C.J. et al. "Regularity and idiomacity in grammatical constructions ; The case of {it let alone}" in Language, 64 (1988), 501-38.

Goldberg, A.E. "Constructions: A Construction Grammar Approach to Argument Structure", Chicago (1995), The University Press of Chicago.

17. Decety, J. et al. "Mapping motor representations with positron emission tomography" in Nature, 371 (1994), 600-2.

18. Il concetto di Multiple Realizability è stato introdotto in filosofia della mente da Hilary Putnam. Cfr.: Putnam, H. "Mind, Language, and Reality: Philosophical Papers", vol. 2., Cambridge (1975), Cambridge University Press.

Per una discussione di questo concetto cfr.: Fodor, J. "Representations", cap. 4, Cambridge MA (1981): MIT Press.

19. Gallese, V. & Goldman, A. "Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading", in Trends in Cog. Sci., 2, 12 (1998), 493-501.

20. Davies, M. & Stone, T. (Eds.) "Mental Simulation – Readings in Mind & Language", Oxford U.K. (1995), Blackwell Publishers.

Greenwood, J.D. (Ed.) "The future of folk psychology", Cambridge University Press (1991).

21. Vogeley, K. et al. "Mind Reading: Neural Mechanisms of Theory of Mind and Self-Perspective" in *NeuroImage*, 14 (2001), 170-181.
22. Oztop, E. & Arbib, M.A. "Schema desing and implementation of the grasp-related mirror neuron system" in *Biol. Cybern.*, 87 (2002), 116-140.  
Oztop, E. et al. "Mirror neurons and imitation: A computationally guided review" in *Neural Networks*, 19 (2006), 254-71.
23. Fagg, A.H. & Arbib, M.A. "Modelling parietal-premotor interactions in primate control of grasping" in *Neural Networks*, 11 (1998), 1277-303.
24. Il termine "elicitazione" (affordance), ripreso da quello di Gibson, si riferisce a quei parametri per l'interazione motoria che sono segnalati da cues sensoriali senza bisogno di coinvolgere processi di alto livello di riconoscimento dell'azione. Cfr.: Gibson, J.J. "The senses considered as perceptual systems" Houghton Mifflin, Boston (1966).

## BIBLIOGRAFIA

- **Aziz-Zadeh, L. et al.** "Lateralization of the Human Mirror Neuron System" in *Jour.Neurosci.* 26, 11 (2006), 2964-70.
- **Bernstein, N.** "The coordination and regulation of movements" New York: Pergamon (1967);
- **Buccino, G. et al.** "Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study" in *Europ.J.Neurosc.*, 13 (2001), 400-4.
- **Davies, M. & Stone, T.** (Eds.) "Mental Simulation – Readings in Mind & Language", Oxford U.K. (1995), Blackwell Publishers.
- **Decety, J. et al.** "Mapping motor representations with positron emission tomography" in *Nature*, 371 (1994), 600-2.
- **Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G.** "Understanding Motor Events: a Neurophysiological Study" in *Exp.Brain Res.*, 91 (1992), 176-80.
- **Edelman, G.** "Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection", Basic Books, New York (1987).

- **Fadiga, L. et al.** "Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study" in *Journal of Neurophys.*, 73 (1995), 2608-11.
- **Fadiga, L. et al.** "Visuomotor neurons: ambiguity of the discharge or "motor" perception?" in *International Journal of Psychophysiology*, 35 (2000), 165-77.
- **Fagg, A.H. & Arbib, M.A.** "Modelling parietal-premotor interactions in primate control of grasping" in *Neural Networks*, 11 (1998), 1277-303.
- **Fillmore, C.J.** "Frames and the Semantics of Understanding" in **V. Raskin** (ed.) "Round Table Discussion on Frame/Script Semantics" Part I, *Quaderni di Semantica VI*: 2 (1985), 222-54.
- **Fillmore, C.J.** "The Case of Case" in **Bach, E., Harms, R.T.** , "Universals and Linguistic Theory", Rinehart and Winston (1966), 01-88.
- **Fillmore, C.J. et al.** "Regularity and idiomacity in grammatical constructions : The case of {\it let alone}" in *Language*, 64 (1988), 501-38.
- **Fodor, J.** "Representations", cap. 4, Cambridge MA (1981): MIT Press.
- **G. Taga**, "Freezing and freeing degrees of freedom in a model neuro-musculo skeletal systems for the development of locomotion" in *Proc. of the 16th Int. Society of Biomechanics Congress*, (1997), 47.
- **Gallese, V. & Goldman, A.** "Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading", in *Trends in Cog. Sci.*, 2, 12 (1998), 493-501.
- **Gallese, V. & Goldman, A.** "Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading", in *Trends in Cog. Sci.*, 2, 12 (1998), 493-501.
- **Gallese, V.** "La molteplice natura delle relazioni interpersonali: la ricerca di un comune meccanismo neurofisiologico" in *Networks*, 1 (2004), 24-47.
- **Gallese, V.** "The SharedManifold Hypothesis" in Thompson,E. "Between Ourselves: Second-person issues in the study of consciousness", Imprintic Academic Ed. (2001), 33-50.
- **Gallese, V. et al.** "Deficit of hand preshaping after muscimol injection in monkey parietal cortex", in *NeuroReport*, , 5 (1994), 1525-9.
- **Gibson, J.J.** "The senses considered as perceptual systems" Houghton Mifflin, Boston (1966).

- **Goldberg, A.E.** "Constructions: A Construction Grammar Approach to Argument Structure", Chicago (1995), The University Press of Chicago.
- **Greenwood, J.D.** (Ed.) "The future of folk psychology", Cambridge University Press (1991).
- **Iacoboni, M. et al.** "Cortical Mechanisms of Human Imitation" in *Science*, 286 (1999), 2526-28.
- **Jonas, H.**, "La cibernetica e lo scopo: una critica", Ed. ETS, Pisa (1999).
- **Kohler, E. et al.** "Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons" in *Science*, 297 (2002), 846-8.
- **Maeda, F. et al.** "Experience-dependent modulation of cortico-spinal excitability during action observation" in *Exp. Brain Res.*, 11 (2001), 628-35.
- **Maeda, F. et al.** "Motor Facilitation While Observing Hand Actions: Specificity of the Effect and Role of Observer's Orientation" in *J. Neurophysiol.*, 87 (2002), 1329 – 35.
- **Molnar-Szakacs, I. et al.** "Observing complex action sequences: The role of the fronto-parietal mirror neuron system" in *NeuroImage*, 33 (2006), 923-35.
- **Oztop, E. & Arbib, M.A.** "Schema design and implementation of the grasp-related mirror neuron system" in *Biol. Cybern.*, 87 (2002), 116-140.
- **Oztop, E. et al.** "Mirror neurons and imitation: A computationally guided review" in *Neural Networks*, 19 (2006), 254-71.
- **Putnam, H.** "Mind, Language, and Reality: Philosophical Papers", vol. 2., Cambridge (1975), Cambridge University Press.
- **Rizzolatti, G. & Arbib, M.A.**, "Language within our grasp" in *Trends in Neuroscience*, 21, 5 (1998), 188-94.
- **Rizzolatti, G. et al.** "The Mirror System in Humans" in **Stamenov, M.I. & Gallese, V.** (Eds.) "Mirror Neurons and the evolution of brain and language", John Benjamins Pub., Amsterdam / Philadelphia (2002), 37-59.
- **Rizzolatti, G., Fadiga, L, Gallese, V., Fogassi, L.**, "Premotor cortex and the recognition of motor actions" in *Cog. Brain Res.*, 3 (1996), 131-41.
- **Rosenblueth, A., Wiener, N., Bigelow, J.** "Behavior, Purpose and Teleology" in *Philosophy of Science*, 10 (1943), 18-24.

- **Stamenov, M.I.** "Some features that make mirror neurons and human language faculty unique" in **Stamenov, M.I. & Gallese, V.** (2002), 249-271.
- **Stamenov, M.I. & Gallese, V.** (Eds) "Mirror Neurons and the evolution of brain and language", John Benjamins Pub., Amsterdam / Philadelphia (2002), 249-271.
- **Tamburrini, G.** "I matematici e le macchine intelligenti", Ed. Bruno Mondadori, Matematica e dintorni (2002),
- **Taylor, R.**, "Comments on a Mechanistic Conception of Purposefulness," in *Philosophy of Science*, 17 (1950), 310-317.
- **Vogeley, K. et al.** "Mind Reading: Neural Mechanisms of Theory of Mind and Self-Perspective" in *NeuroImage*, 14 (2001), 170-181.