

T E M I

NEURONI SPECCHIO

di Eleonora Severini*

Abstract - Il contributo prende in esame i neuroni specchio con l'intento di fornire un'introduzione alle tappe salienti di questa scoperta alla luce di una discussione critica. Dapprima viene ripercorso il dibattito che si è creato nella comunità scientifica riguardo all'esistenza, o meno, negli esseri umani di queste particolari cellule nervose. Successivamente si esamina la discussione circa la loro rilevanza nella cognizione e in particolare nel processo di mind reading. Questo costituisce l'occasione per valutarne le ricadute filosofiche e, in particolare, antropologiche e etiche. Lo scopo del saggio è infatti quello di presentare un esempio di come scienza e filosofia possano misurarsi, al fine di mostrare le debolezze di alcuni paradigmi antropologici e di elaborare una concezione di essere umano più adeguata.

1. INTRODUZIONE
 2. NEURONI SPECCHIO (OPPURE NO?)
 - 2.1. La scoperta
 - 2.2. Il dibattito
 3. LA CONOSCENZA MOTORIA
 4. CONCLUSIONE
- BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

I neuroni specchio sono una specifica classe di cellule nervose la cui peculiarità consiste nel fatto che si attivano selettivamente in risposta a determinate azioni e ciò avviene sia quando un individuo compie l'azione sia quando osserva passivamente un altro eseguire

* Ringrazio Simone Pollo per aver seguito questo lavoro dall'inizio e per le preziose osservazioni alle precedenti versioni del testo.

lo stesso atto. Ciò che si tenterà di fare nel presente lavoro è di prendere in esame questa scoperta, messa a segno intorno ai primi anni Novanta del XX secolo, al fine di inquadrarla tra i limiti dei dati scientifici e le possibilità della riflessione filosofica.

La sua genesi – nonché i successivi sviluppi – inducono innanzitutto a riflettere su questioni di ordine metodologico, le quali a loro volta stimolano riflessioni di più ampio respiro sui rapporti tra neuroscienza e filosofia. È quanto si cercherà di fare nella prima parte dove verranno ripercorse le fasi significative che hanno condotto ad ipotizzare la loro esistenza nell'essere umano e successivamente a verificarla (cap. 2.1).

Dal momento però che non c'è unanimità sull'esistenza dei neuroni specchio nell'essere umano, si prenderà in esame anche il dibattito che si è creato nella comunità scientifica al riguardo (cap. 2.2). Verranno quindi messe in luce le ragioni di questa divergenza e le prove scientifiche sui cui si basano le rispettive posizioni. Nello specifico, sarà illustrato un esperimento che si appoggia su una particolare tecnica e che mette in discussione l'esistenza nell'essere umano di un sistema specchio. Si cercherà di mostrare la difficoltà di questa posizione a partire da una critica metodologica, una epistemologica e da alcune considerazioni di carattere evolutivo.

Una volta giunti alla conclusione che plausibilmente i neuroni specchio esistono nell'essere umano, la discussione si sposta sul piano della loro rilevanza nella cognizione. Verranno dunque messe a confronto le posizioni di Giacomo Rizzolatti con quella di Pierre Jacob sul rapporto tra percezione e azione (cap. 3). Il problema che qui si pone è quello dell'accesso alle "altre menti" e, in particolare, se questo avvenga attraverso quella risonanza corporea resa possibile dai neuroni specchio, o se piuttosto la risonanza corporea sia un effetto collaterale della comprensione (tutta cognitiva) degli altri.

A questo punto ci si interrogherà su come cambi, in seguito alla scoperta del meccanismo specchio, l'idea che ci costruiamo di essere umano (cap. 4). La premessa da cui si muove è l'assunto secondo cui le ricerche sperimentali non debbano essere lasciate esclusivamente agli specialisti ma, dal momento che coinvolgono la percezione che abbiamo di noi stessi e del mondo che ci circonda, debbano entrare nel bagaglio della conoscenza pubblica di ciascuno (Oliverio 2008).

In quest'ottica, il sapere scientifico viene a costituire un'opportunità da cui la filosofia può trarre ispirazione e un nuovo vigore. È questo il caso della scoperta dei neuroni specchio, e quali siano le ricadute sul piano filosofico è ciò che verrà indagato nel corso della trattazione.

2. NEURONI SPECCHIO (OPPURE NO?)

2.1. La scoperta

La scoperta dei neuroni specchio risale ai primi anni Novanta del XX secolo e venne fatta in un macaco dall'équipe di neuroscienziati di Parma coordinata da Giacomo Rizzolatti (Pellegrino et al. 1992). Successivamente sono stati localizzati nella corteccia premotoria di altri primati non umani nonché in alcuni uccelli (per uno studio sui neuroni specchio nel passero, si veda Prather e al. 2008). Questi si caratterizzano per il fatto di attivarsi quando un animale osserva un altro animale compiere un movimento. È il caso ad esempio di una scimmia che afferra un oggetto: nella scimmia che la osserva si attivano quei neuroni della corteccia premotoria che potrebbero preparare i neuroni della corteccia motoria a compiere la medesima azione. Per la precisione questa coincidenza non avviene solo tra scarica motoria e visiva, ma vi sono evidenze di un legame con

l'informazione acustica (Kohler et al. 2002; Keysers et al. 2003) e nell'uomo anche olfattiva (Fabbri-Destro et al. 2008).

Questa congruenza tra risposta motoria e risposta sensoriale, vale a dire tra ciò che la scimmia fa e ciò che vede o sente fare, è estremamente interessante. In virtù infatti di questa duplice attivazione, i neuroni specchio costituiscono un dispositivo neurofisiologico che mette in relazione le azioni esterne eseguite da altri con il repertorio interno di azioni dell'osservatore. Pertanto questo meccanismo sembrerebbe permettere al soggetto una comprensione dell'azione altrui "dall'interno" o, più precisamente, attraverso la stimolazione del proprio sistema motorio (Rizzolatti e Sinigaglia 2010).

A questo punto sono necessari ulteriori chiarimenti circa il loro funzionamento. È infatti importante sottolineare che nella scimmia tali neuroni sono stati trovati esclusivamente per azioni di afferramento di mano e bocca. Questo non esclude che siano presenti anche per altri tipi di azioni, tuttavia manca il dato sperimentale. Un altro aspetto rilevante è che questi sembrano attivarsi per lo scopo dell'azione e non per singoli movimenti. L'esempio classico è dato dai neuroni specchio che si attivano sia quando la scimmia vede, o esegue, movimenti di afferramento di mano ma anche di bocca. In questo caso quello che il neurone codifica non è né un movimento di mano né uno di bocca, bensì l'azione di "prendere possesso di qualcosa" indipendentemente dall'effettore utilizzato. In questo senso, la risposta dei neuroni specchio non discrimina se la loro attivazione è determinata dalla preparazione o dall'esecuzione di un'azione o, ancora, dalla percezione (visiva, acustica, olfattiva) delle conseguenze dell'azione. L'interpretazione per cui questi neuroni sono alla base del riconoscimento dell'azione è proprio legata al fatto che, ogni volta che qualche indizio segnala la presenza di un'azione di cui l'individuo

ha conoscenza, immediatamente vengono attivati sia gli aspetti motori che quelli sensoriali legati a quell'azione.

La scoperta dei neuroni specchio nella scimmia ha subito suggerito l'idea che un sistema di corrispondenza simile potesse esistere anche nell'essere umano. Le prime prove convincenti si devono ad alcuni studi condotti con tecniche elettrofisiologiche tra cui la TMS (stimolazione magnetica transcranica) la quale permette di controllare le corrispondenze tra cervello e comportamento tramite una stimolazione elettromagnetica del tessuto cerebrale (Fadiga et al. 1995). Questo tipo di indagine tuttavia non consente di localizzare le aree cerebrali coinvolte e pertanto si è reso necessario ricorrere alle metodologie di *brain imaging*, in particolare alla PET (tomografia a emissione di positroni) e alla fMRI (risonanza magnetica funzionale). Queste tecniche permettono infatti di visualizzare spazialmente le variazioni di flusso sanguigno determinate nelle diverse regioni del cervello dall'esecuzione e dall'osservazione di specifici atti motori.

I dati ottenuti confermano la presenza nell'essere umano di aree cerebrali che si attivano all'osservazione di azioni secondo un sistema che corrisponde approssimativamente al circuito individuato nella scimmia (Rizzolati e al. 1996). Rispetto ai suoi "parenti" più stretti, tuttavia, il sistema di risonanza dell'essere umano presenta alcune differenze salienti in base a cui:

- (1) appare più esteso;
- (2) è in grado di riconoscere tanto il tipo d'atto quanto la sequenza di movimenti che lo compongono;
- (3) codifica non solo gli atti motori transitivi (vale a dire rivolti verso un obiettivo specifico) ma anche quelli intransitivi (per lo meno apparentemente, senza un fine);

(4) si attiva anche quando l'azione è semplicemente mimata.

Queste constatazioni, che si collocano sia a livello strutturale sia delle proprietà, dovrebbero poi riverberarsi su quello funzionale portando a supporre una maggiore complessità per il sistema specchio dell'essere umano. Questo infatti assolverà ad una gamma più ampia di compiti catalizzando, innanzitutto, un maggior numero di azioni; in secondo luogo, il sistema specchio dell'uomo sarà in grado di riprodurre la successione temporale dei vari atti che compongono un'azione, codificandone tanto lo scopo quanto gli aspetti temporali; infine, per attivarsi non necessiterà di una effettiva interazione con gli oggetti garantendo un grado superiore di astrazione. In particolare, i punti (3) e (4) vanno di pari passo e pensarli insieme può essere utile per comprendere meglio il funzionamento dei neuroni specchio. Siccome la scimmia non esegue azioni intransitive (come disegnare con il braccio delle figure nell'aria) o pantomime dell'azione (in natura la scimmia non fa mai finta di afferrare qualcosa), in essa non esistono neuroni specchio per tali rappresentazioni motorie. Il sistema specchio dipende infatti da ciò che viene considerato 'azione', ossia da quello che fa parte dell'esperienza motoria dell'individuo (a proposito dell'influenza dell'esperienza motoria sull'attivazione dei neuroni specchio, si veda Calvo-Merino 2005). In questo caso ad essere diversa è innanzitutto la capacità di considerare come azioni, ossia movimenti aventi uno scopo preciso, anche quelle non dirette verso oggetti. È infatti verificato che l'utilizzo di strumenti, conseguito attraverso un addestramento specifico, può sviluppare la presenza nella scimmia di neuroni specchio per azioni eseguite con utensili (Ferrari et al. 2005; Umiltà et al. 2008).

A questo proposito, occorre procedere con cautela e valutare le differenze individuate tra essere umano e scimmia alla luce anche delle diverse tecniche adottate nei rispettivi casi. Nelle scimmie è stata infatti impiegata la metodologia classica della neurofisiologia della singola cellula. Rizzolatti e i suoi colleghi hanno quindi impiantato chirurgicamente degli elettrodi nella corteccia premotoria dei macachi per registrare le variazioni elettriche di singole cellule mentre questi eseguivano dei compiti precisi. Questo tipo di esperimento consente l'accesso all'attività cerebrale al suo livello più elementare: il singolo neurone. Nonostante si cerchi di evitare il più possibile sofferenze agli individui esaminati, rimane una procedura altamente invasiva e pertanto non è permesso condurre esperimenti di questi tipo sugli esseri umani e sulle scimmie antropomorfe. D'altro canto, le tecnologie di *brain imaging* misurano l'attività cerebrale di insieme, vale a dire di un ampio numero di neuroni, e sono poco adatte a essere impiegate su bambini e animali per il fatto che è difficile che questi possano rimanere immobili dentro macchine rumorose. È evidente che ciascuna tecnica dispiega possibilità diverse e al tempo stesso si scontra con i limiti che la caratterizzano e che possono essere non solo di natura etica ma anche pratica, economica o logistica. Così se con le scimmie non è possibile passare dallo studio della singola cellula a quello di insieme, con gli esseri umani non è possibile passare dallo studio di insieme a quello della singola cellula. In questo senso, l'unica eccezione si ha nel caso di quei pazienti epilettici che per ragioni mediche - e non di ricerca scientifica - hanno elettrodi impiantati, ma si tratta di studi ancora in via di sviluppo (Iacoboni 2008). Alla luce di ciò, la maggior parte dei dati a disposizione derivano dalle nuove tecnologie di *brain imaging* applicate agli esseri umani e combinate con gli studi sui singoli neuroni condotti invece nelle scimmie. In sostanza il principale

mezzo disponibile è confrontare i dati e metterli insieme attraverso un processo inferenziale, il quale però, per quanto utile, non è certamente perfetto.

In realtà la questione è ancora più complessa e, a questo proposito, occorre chiarire il tipo di conoscenza che costruiamo a partire dai risultati delle tecniche di *brain imaging*. (Logothetis 2008 illustra bene le potenzialità e i problemi connessi in particolare all'fMRI). Oggi infatti i neuroscienziati indagano il cervello con strumenti sempre più potenti cercando i suoi possibili collegamenti con la mente. Tuttavia, riporre aspettative eccessive nei confronti di queste tecnologie, può portare a concezioni semplicistiche nonché errate di sé e del modo in cui si dispiegano le nostre dinamiche di percezione e interazione con il mondo circostante. Pensare di “vedere” nelle immagini colorate della risonanza magnetica funzionale, così come della PET o di altre tecniche di misurazione cerebrale, il cervello in attività, non è che un'illusione. Del resto, se è dato per assunto che vi sia una correlazione tra stati psichici e attività cerebrali, non è tuttavia bene chiaro in che modo si articoli questo rapporto di “causazione” (Boella 2008, pp.21-38). Con ciò non si vuole affatto affermare che mentale e materiale siano in qualche modo indipendenti. Si tratta piuttosto di riflettere sui limiti che hanno attualmente le neuroscienze, alla luce dei quali non si può, a maggior ragione, appiattare il primo sul secondo senza perdere la sua peculiare complessità; d'altro canto, lo scarto tra mentale e materiale non può neanche essere interamente ricondotto a un deficit esplicativo delle tecniche di indagine, ma dal momento che si tratta di due piani di spiegazione diversi – per quanto sia necessario integrarli – si può plausibilmente supporre che l'uno non potrà mai sostituire del tutto l'altro (per un'introduzione storica al problema mente-corpo si veda Nannini 2002; per una prospettiva fisicalista autorevole Kim 1998).

Il presupposto essenziale da cui partire è che il *brain imaging* non fornisce una raffigurazione visiva del cervello, al pari di una radiografia ossea, bensì una rappresentazione indiretta del suo funzionamento. In altri termini, ciò che “si vede” non è ciò che accade nel cervello. Più precisamente, le tecniche come la fMRI poggiano su correlati metabolici dell’attività neurale e non sull’attività neurale stessa. Le immagini ottenute vengono infatti costruite in base a variazioni minime nell’ossigenazione sanguigna, vale a dire in base a una misurazione indiretta. Così, i dati non provano che una data regione sia coinvolta in maniera definitiva nell’esecuzione di un compito, ma piuttosto che si attivi durante l’esecuzione di quel compito. Occorre anche tenere presente che l’*imaging* fornisce una rappresentazione della regione legata a un momento determinato, e non alla dinamica di un evento nella sua interezza.

Un altro aspetto delicato che interviene nella configurazione del dato è la sua elaborazione statistica. Quando infatti un ricercatore identifica un’area del cervello dicendo che è attiva, significa che l’attivazione rilevabile in quella regione in una situazione determinata (ad esempio vedere facce tristi) è considerevolmente maggiore che in una situazione di controllo (vedere facce neutre). Pertanto parlare di attivazione di un’area del cervello è, prima di tutto, il frutto di un’interpretazione di un complesso di dati.

Oltre a ciò, limitarsi a prendere in esame la regione nervosa caratterizzata da una più intensa attività metabolica, non deve farci perdere di vista il fatto che una ben più vasta area sia complice di quella funzione. Pertanto la localizzazione esclusiva di una determinata funzione nervosa può rivelarsi fuorviante. È il cosiddetto problema del “filtro”, in quanto le attività secondarie vengono escluse dallo sperimentatore al fine evidenziare l’oggetto del suo studio (Poldrack 2006).

Infine le tecniche di *imaging*, grazie alla loro capacità di correlare sedi e funzioni, possono far passare in secondo piano altre questioni: spesso i risultati di questi esperimenti ci dicono “dove” si è verificato qualcosa ma non “come”, vale a dire che non spiegano quali siano, ad esempio, i meccanismi di un’emozione o le motivazioni di una scelta.

Ora, tutte queste difficoltà inducono a riflettere sul fatto che i dati scientifici difficilmente sono neutri, ma al contrario hanno profonde implicazioni sull’immagine che gli esseri umani costruiscono di se stessi. Per ciò che riguarda i rapporti tra sistema nervoso e comportamento, in particolare, il pericolo maggiore è quello del riduzionismo. Questa posizione, incoraggiata in qualche modo dai sorprendenti progressi compiuti dalle neuroscienze negli ultimi decenni, consisterebbe nel descrivere comportamento e mente umana essenzialmente nei termini delle scienze naturali (per una discussione critica interessante circa riduzionismo e *brain imaging*, si veda Gallese e Sinigaglia 2009). L’aspetto conoscitivo, ossia sapere come siamo fatti biologicamente, è indubbiamente essenziale per elaborare un’immagine non superficiale di noi stessi. Tuttavia, quanto fotografato “oggettivamente” dalle nuove tecnologie non rende conto di alcune caratteristiche fondamentali del cervello umano, caratteristiche di fronte a cui l’approccio riduzionista si sgretola (Oliverio 2008). Queste sono:

- a) la plasticità, ossia la capacità di una struttura di cambiare funzione sulla base dell’esperienza;
- b) la variabilità individuale, esiste una considerevole differenza cerebrale tra gli individui come testimoniato da uno studio condotto da Jack Pressman sulla lobotomia, dove si mostra come lo stesso trattamento possa portare effetti dannosi o benefici a seconda dei pazienti (Pressman 1998);

- c) la degeneranza, si riferisce a quegli elementi di un sistema che sono strutturalmente diversi ma svolgono la stessa funzione: non tenerne conto può portare a sopravvalutare la preponderanza di una struttura a proposito di un compito e a sottovalutare le altre;
- d) la versatilità funzionale, si verifica quando uno stesso compito è svolto da strutture differenti.

In questo modo, l'errore da evitare è quello di compilare una sorta di "neuroanatomia" fisiologica e comportamentale dell'essere umano individuando, ad esempio, il centro del senso morale o dell'identità personale o dell'intersoggettività. Questo progetto, che potrebbe essere definito una "frenologia tecnologizzata", non è che un'illusione: il cervello non agisce per comparti stagni, bensì rappresenta un sistema integrato in cui ci sono specializzazioni funzionali ma anche forme sofisticate e complesse di coordinazione (per un'introduzione storica al localizzazionismo si veda Borri 2001). Ciò significa che se ci soffermassimo non sul "dove" ma sul "come" il cervello elabora le informazioni, noteremmo che questo lavora sempre attraverso l'associazione – tra l'altro variabile a seconda degli individui – di più regioni.

Tutte queste difficoltà si rivelano cruciali e non possono essere aggirate ma, al contrario, ci spingono ad affrontare il rapporto tra ricerca neuroscientifica e riflessione filosofica in tutta la sua ineludibile complessità.

2.2. Il dibattito

Se l'esistenza del sistema specchio è stata appurata in maniera definitiva negli animali non umani – più precisamente in scimmie e uccelli – nell'essere umano, per tutte le ra-

gioni suddette, la questione è più controversa. Più precisamente, a causa della difficoltà ad intraprendere tecniche troppo invasive, non è stato possibile accertare direttamente se la doppia risposta rifletta l'attività di un singolo tipo di cellule nervose o di popolazioni di cellule diverse e sovrapposte, di cui le une rispondono agli stimoli motori e le altre a quelli percettivi. Alla luce di questi problemi, non c'è accordo nella comunità scientifica sull'esistenza dei neuroni specchio nell'uomo.

A dare vita a un dibattito dai toni piuttosto accesi è stata la pubblicazione *Asymmetric fMRI adaptation reveals no evidence for mirror neurons in humans* di Alfonso Caramazza (Lignau et al. 2009), uno studio che raccoglie i risultati di esperimenti condotti servendosi della *fMRI adaptation*. Questa tecnica consiste in un utilizzo particolare della risonanza magnetica funzionale che permette di indagare se una specifica area cerebrale sia sensibile al cambiamento di proprietà di uno stimolo (come il colore o la forma). Il principio di base è che la ripetizione prolungata di uno stesso stimolo provoca una sorta di “adattamento”, ossia una risposta sempre meno intensa da parte delle cellule interessate. Caramazza ha quindi sottoposto la previsione dell'accoppiamento diretto (vale a dire la convergenza tra risposta visiva e risposta motoria corrispondente) al vaglio di questo esame, andando a verificare se effettivamente i neuroni specchio fossero sensibili ai cambiamenti degli atti motori indipendentemente dal fatto che l'atto fosse compiuto o osservato. Per contro, se si compie ripetutamente uno stesso movimento e poi lo si osserva, si sarebbe dovuto verificare un adattamento: poiché questo dato non è stato registrato da Caramazza, egli ha messo in discussione l'esistenza nel cervello umano di “aree specchio”.

Un aspetto curioso è che Caramazza nel suo studio non si limita ad affermare l'assenza dei neuroni specchio nell'essere umano, ma insiste anche a lungo sul loro mancato coinvolgimento nella comprensione delle azioni, il che sembrerebbe contraddittorio. Secondo il neuroscienziato sarebbero due infatti le condizioni da soddisfare per provare l'importanza del sistema specchio: innanzitutto deve essere dimostrato che l'esecuzione o l'osservazione di un'azione attivi lo stesso gruppo di neuroni; in secondo luogo, deve essere provato che l'attivazione dei neuroni specchio avvenga direttamente e non in seguito ad una precedente categorizzazione non-motoria, condotta inferendo il potenziale atto motorio dal primo segnale di azione.

Poiché non sono stati registrati segni di adattamento quando gli atti motori vengono prima eseguiti poi osservati, la conclusione di Caramazza è che la risposta delle aree dei neuroni specchio riflette la stimolazione del sistema motorio in virtù dell'associazione "appresa" (e non diretta) tra rappresentazione semantica di un'azione e il programma motorio corrispondente. In sostanza, le azioni osservate sarebbero simulate nel sistema motorio non tramite un meccanismo diretto, bensì solo dopo che il loro significato sia stato inferito da facoltà cognitive al di fuori del sistema motorio. La comprensione dell'azione non dipenderebbe quindi dai neuroni specchio, bensì da processi inferenziali a carico di altre aree del cervello.

Lo studio di Caramazza presenta tuttavia degli aspetti critici. Il primo è di ordine metodologico dal momento che la validità della tecnica impiegata è alquanto discussa. In particolare Rizzolatti sostiene che la fMRI *adaptation* pone delle difficoltà interpretative: l'adattamento non si registrerebbe perché semplicemente il neurone, per così dire, "si stanca", ma perché vi sono fenomeni ben più complessi e che avvengono a livello

delle sinapsi (Rizzolatti 2010). Pertanto se i canali che portano l'informazione alla stessa cellula sono diversi (nel caso dei neuroni specchio non c'è chiaramente comunanza di input in quanto da un lato si ha una stimolazione visiva e dall'altro motoria) l'adattamento non ci può essere (e infatti Caramazza nei suoi esperimenti non l'ha registrato).

C'è inoltre una seconda obiezione di tipo epistemologico ed è quella sollevata da Corrado Sinigaglia. Secondo quest'ultimo una prova negativa – vale a dire fondata sull'assenza di un fenomeno – non è sufficiente per confutare un'ipotesi che al contrario si fonda su un dato positivo. È bensì necessario un altro dato positivo (Sinigaglia, 2010). In sostanza sembra opportuno sostenere che lo studio di Caramazza non sia in grado di intaccare la scoperta dei neuroscienziati di Parma, a causa sia dell'inadeguatezza delle prove sperimentali raccolte che dell'erroneità della concezione epistemologica abbracciata.

A questo proposito, c'è anche una considerazione che poggia su premesse evolutive (Gallese 2009). I neuroni specchio esistono, infatti, incontrovertibilmente negli uccelli e nelle scimmie. Da una prospettiva filogenetica, ciò significa che si tratta di un meccanismo rivelatosi adattativo al punto da essere stato selezionato nell'evoluzione di questi animali. Su queste basi ci sono buone ragioni per pensare che lo stesso dispositivo sia stato conservato anche nella specie umana. Al tempo stesso, tuttavia, si potrebbe plausibilmente obiettare che questa osservazione non possa essere presa per definitiva. Una stessa funzione può essere eseguita da strutture diverse e pertanto gli esseri umani potrebbero aver sviluppato, nel corso della loro storia evolutiva, nuovi modi per eseguire un compito o rispondere a delle esigenze pur preservando anatomicamente vestigia in-

servibili. Questo a maggior ragione diventa plausibile se consideriamo la complessità che contraddistingue la nostra specie dalle altre. A questo punto, però, l'obiezione potrebbe essere rovesciata: la discontinuità tra esseri umani e altri animali, per essere accettata, deve essere provata indicando quali sono le strutture "sostitutive" nello svolgere quella funzione. Nel caso specifico dei neuroni specchio, sono le facoltà cognitive superiori l'alternativa a cui più frequentemente si fa appello, ma non è stato individuato un meccanismo altrettanto semplice e nello stesso tempo raffinato.

Alla luce di ciò sembra plausibile sostenere che nell'essere umano sia presente un sistema specchio. A questo punto la controversia si sposta su un altro piano, ossia quello della rilevanza di tale circuito nella cognizione.

3. LA CONOSCENZA MOTORIA

Per molto tempo percezione e azione sono state considerate da filosofi e scienziati cognitivi processi separati e periferici, nonché privi di qualsiasi valore cognitivo intrinseco, da ricondurre ad un cervello "disincarnato" e senza radici biologiche. La linea di pensiero prevalente riteneva infatti che la principale funzione del cervello fosse quella di "calcolare" rappresentazioni mentali e svolgere compiti computazionali. Lo schema proposto era sostanzialmente molto semplice: il cervello selezionava le informazioni provenienti dall'esterno per integrarle con le rappresentazioni mentali elaborate al suo interno; a questo punto il movimento si esauriva nella meccanica della sua esecuzione. Questa visione è stata paragonata ad un sandwich: percezione e azione sarebbero le due fette di pane separate e dipendenti l'una dall'altra, mentre la farcitura sarebbero le facoltà cognitive centrali (Hurley 2001). Questa metafora, da un lato, mette bene in luce la

rigida distinzione tra i vari livelli coinvolti nei processi di informazione sensoriale che sono scanditi da un processo lineare e unidirezionale; dall'altro, evidenzia il ruolo preminente riconosciuto ai processi cognitivi (la parte più sostanziosa del panino) rispetto a quelli sensoriali e a quelli motori (le fette di pane).

Questa descrizione è stata messa in discussione dalle recenti scoperte neuroscientifiche, le quali hanno mostrato i limiti e l'astrattezza di ogni stretta dicotomia tra percezione e azione. Come è stato possibile ciò? Più precisamente, il fatto che gli stessi neuroni scarichino in alcune condizioni come neuroni motori e in altre come neuroni visivi cosa comporta?

Per quanto riguarda la prima questione, lo schema di attivazione di questi neuroni mina proprio quei modelli del cervello che presuppongono compartimenti separati di cui, ad esempio, uno per gli eventi sensoriali (vedere una mela), uno per gli atti motori (prendere la mela) e un altro per i processi cognitivi (ricordare di aver preso la mela). Secondo il vecchio paradigma dei "compartimenti stagni", ciascuna cellula dovrebbe codificare soltanto una di queste attività: i neuroni specchio ne controllano due infrangendo la barriera tra percezione e azione.

Venendo alla seconda domanda, secondo Rizzolatti e Gallese il punto nodale è che queste risposte visive e motorie hanno lo stesso 'significato funzionale'. Questo significato comune è la rappresentazione o, per usare un termine filosofico, l'idea di un'azione' (Rizzolatti e Gallese 1997). Questa idea indica innanzitutto il 'perché' di un'azione, il suo senso, ossia l'intenzione dell'agente che la compie. Se poi si danno altre contingenze, l'idea di azione si traduce in azione vera e propria altrimenti rimane una pura potenzialità.

Facendo un passo indietro, Giorello e Sinigaglia (2007, p.53) sostengono che sia necessario ripensare alla relazione tra azione e percezione non “dall’alto” delle nostre facoltà cognitive superiori, bensì “dal basso” ossia dal livello minimo di rappresentazione motoria richiesto nelle azioni più semplici. Le proprietà visive e motorie dei neuroni specchio suggeriscono che la loro caratteristica consista nel rispondere direttamente al contenuto visivo di un’azione e alla sua corrispondente esecuzione motoria. In questo modo, si mette automaticamente l’osservatore nella condizione di tradurre gli aspetti visivi di un’azione, nel “vocabolario” di atti alla base della sua capacità di azione. Attraverso i neuroni specchio l’osservatore percepisce quindi l’azione osservata nei termini, per così dire, di una delle azioni possibili della propria “conoscenza motoria”. Pertanto, questa specifica classe di cellule cerebrali gioca un ruolo fondamentale nel processo di comprensione delle azioni compiute dagli altri. Si tratta di un punto cruciale poiché in questo modo la risonanza motoria dai singoli atti viene estesa alle intenzioni, riconoscendo ai neuroni specchio un ruolo determinante nelle operazioni di *mind reading*.

È quanto suggerito da un esperimento di fMRI condotto da Marco Iacoboni (Iacoboni et al. 2005). In questo studio i soggetti dovevano osservare tre generi di sequenze filmate che illustravano rispettivamente: alcuni oggetti disposti su un tavolo (una tazza, una teiera, un bicchiere) che richiamavano un certo contesto (una colazione da cominciare oppure appena terminata); una mano che afferrava una tazza con una presa di forza e una di precisione; nell’ultima sequenza venivano mostrate le azioni della seconda ma calate nei contesti rappresentati dalla prima, così da suggerire l’intenzione (prendere la tazza per bere oppure prenderla per sparecchiare la tavola). L’osservazione delle azioni all’interno del proprio contesto rispetto alle altre due condizioni, ha determinato un si-

gnificativo incremento dell'attività delle aree visive e di quelle legate alla codificazione degli atti motori. Questa attivazione è ancora più interessante per il fatto che è localizzata al centro del sistema specchio. Quindi la postura assunta dalla mano o la direzione del movimento permette di attivare la rappresentazione motoria dell'azione più probabile. Allo stesso modo se vedo un tavolo imbandito con una tazza che fuma è più facile che venga attivata la rappresentazione motoria dell'azione di afferrare la tazza per il manico piuttosto che avvolgerla con la mano intera. Se la tavola, invece, è chiaramente successiva al pasto e nessun fumo esce dalla tazza, è più probabile che si attivi la rappresentazione motoria dell'afferramento a mano piena in quanto non corro il rischio di scottarmi ed è un'azione meno impegnativa dal punto di vista delle risorse (attentive, cognitive, motorie). In sostanza, se vedo una persona che sta per agire sulla tavola attuerò le medesime strategie di attivazione di rappresentazioni motorie che attuerei se fossi io a dover agire e sono quindi in grado di prevedere quale sarà la sua azione e coglierne il significato. Secondo Iacoboni ciò proverebbe che le aree premotorie, dotate di proprietà caratteristiche dei neuroni specchio, sono coinvolte non solo nella codificazione dell'atto osservato ma anche nella comprensione del 'perché' di quell'atto, ossia l'intenzione che lo muove. Un altro risultato decisivo di questo esperimento è che le aree specchio si attivano indipendentemente dal fatto che i soggetti debbano o meno determinare esplicitamente l'intenzione delle azioni osservate. Ciò proverebbe che, almeno per semplici azioni come quelle in questione, l'attribuzione di intenzioni si verifica automaticamente. Questa è la posizione dei neuroscienziati di Parma i quali parlano di una sorta di «ricoscimento immediato» (Rizzolatti e Sinigaglia 2006, p.127) delle intenzioni altrui che passa attraverso il sistema motorio. In questa prospettiva non occorrono né astrazioni

mentali né operazioni conoscitive, ma non appena vediamo qualcuno compiere un'azione, i suoi movimenti assumono per noi un significato diretto, senza dovere ricorrere ad alcun tipo di ragionamento o processo inferenziale.

Non è dello stesso avviso Pierre Jacob che sostiene un'interpretazione più circoscritta rispetto ai neuroscienziati di Parma circa l'importanza di queste cellule, secondo la quale queste non sarebbero in grado di spiegare da sole la capacità umana di rappresentarsi gli stati psicologici (come credenze, desideri, intenzioni, emozioni) e di ascriverli ad altri. L'ipotesi avanzata da Jacob è che sia necessario comprendere l'azione di un individuo perché i neuroni specchio si attivino. In tal caso non è la loro attivazione a generare la comprensione, ma la catena causale individuata procede nella direzione opposta: prima si capisce l'intenzione dell'agente, poi i neuroni specchio mimano l'atto "interiorizzandolo" (Jacob 2009).

Seguendo l'argomentazione di Jacob, se i neuroni specchio scaricano in un individuo che guarda un suo conspecifico afferrare un oggetto, ciò che questa attività genera nell'osservatore è una riproduzione mentale dell'atto di chi agisce. Tuttavia c'è uno scarto tra la riproduzione mentale di afferrare una tazza vedendo qualcun altro che lo fa, e la capacità di capire se l'agente stia afferrando la tazza per, ad esempio, bere, darla a qualcuno, metterla via. Pertanto ripetere o simulare mentalmente l'atto motorio di un agente non è sufficiente per comprenderne l'intenzione. Jacob si spinge oltre affermando che non è nemmeno certo che sia necessario. In sostanza il *mind reading* transcenderebbe il meccanismo dei neuroni specchio.

Al contrario, secondo Rizzolatti e Gallese, il processo essenziale che ci permette di "fare esperienza" della mente degli altri non è un ragionamento astratto, bensì la simula-

zione diretta degli eventi osservati attraverso il sistema specchio. La novità della loro tesi consiste nell'aver prodotto per la prima volta una spiegazione neurofisiologica dell'esperienza che possiamo fare delle azioni altrui. La capacità di eseguire azioni transitive, ossia dirette verso un obiettivo fisico, è infatti necessaria per garantire la sopravvivenza dei primati. Se le cose stanno così, è difficile supporre che, per comprendere le azioni altrui, ci possa essere un dispositivo più originario di quello che ci rende capaci di compiere le azioni osservate.

A questo proposito Rizzolatti sottolinea che la principale debolezza della cosiddetta "ipotesi visiva" consiste nella sua incapacità di spiegare come di fatto si consegua il significato dell'azione osservata (Rizzolatti et al. 2001). Al contrario, è in grado di farlo la "risonanza motoria" che descrive quel meccanismo in base a cui la percezione di un'azione fa sì che l'osservatore si prepari internamente a quel movimento, senza eseguirlo ma comprendendone il significato.

In sostanza ciò che Jacob chiama "rappresentazione concettuale" di un'azione, è quello che Rizzolatti definisce "rappresentazione motoria" e che, in entrambi i casi, interessa un agente e un osservatore. Quindi, da un lato la scoperta dei neuroni specchio è stata interpretata come la scoperta della giustificazione del *mind reading* a partire da una sorta di processo di "rispecchiamento" o, più precisamente, a partire dall'esistenza di un meccanismo nel cervello dei primati che permetterebbe di creare una risonanza neurale tra un agente e un osservatore, la quale metterebbe il secondo nella condizione di dare un senso all'azione dell'altro attraverso la percezione dei suoi movimenti (per un valido resoconto del rapporto tra *mindreading* e processi di rispecchiamento, Goldman 2006; per un'alternativa critica, Gallagher 2007); dall'altro, stando all'alternativa concettuali-

stica proposta da Jacob, la cosiddetta risonanza tra due individui è un “effetto collaterale” dell’esistenza di meccanismi neurali all’interno di un singolo cervello che sono alla base del possesso di concetti rilevanti poiché utili. Detto in altri termini, l’attività di “ri-specchiamento” non causa il *mind reading*, ma è un suo sottoprodotto.

A questo punto sembra opportuno mettere in luce un ultimo aspetto. La diatriba appena descritta non si esaurisce in un confronto serrato di dati scientifici *tout court*, ma è costantemente attraversata da due diversi paradigmi cognitivi che si lavorano ai fianchi. Si tratta di due diverse teorie della mente che puntualmente e in maniera più o meno esplicita emergono per infiacchirsi a vicenda: da una parte c’è il mentalismo astratto della ‘*theory-theory*’, secondo il quale la cognizione non è riducibile alle rappresentazioni senso-motorie; dall’altra vi è l’‘ipotesi simulazionista’ – tacciata da Caramazza come riduzionista-eliminativistica – per cui le rappresentazioni senso-motorie svolgono un ruolo cruciale nella comprensione (per un confronto approfondito tra i due modelli, Gallesse e Goldman 1998; per uno studio empirico che suggerisce una soluzione di complementarità nella comprensione delle intenzioni altrui, De Lange et al. 2008). L’idea di fondo è che la spiegazione che viene data di un risultato scientifico sia influenzata da concezioni più profonde che riguardano il modo in cui siamo fatti e in cui, per così dire, “funzioniamo”. È importante infatti sottolineare che le varie teorie della mente a loro volta rimandano a delle concezioni antropologiche precise, alcune delle quali di fronte alla scoperta dei neuroni specchio vacillano.

4. CONCLUSIONE

Quali sono le implicazioni filosofiche della scoperta dei neuroni specchio? Poiché si tratta di studi recenti e ancora in via di sviluppo, non è possibile stabilirne la portata in maniera conclusiva. In ogni caso, verranno sottolineati due aspetti rilevanti.

Il primo è di natura concettuale. Se infatti in passato è prevalsa l'idea per cui le aree motorie della corteccia cerebrale sarebbero destinate a compiti meramente esecutivi, ossia privi di qualsiasi valenza percettiva e cognitiva, oggi non abbiamo più un'immagine così semplificata. A mettere in discussione la visione tradizionale, è stata la scoperta di neuroni che si attivano non in relazione a semplici movimenti ma a atti motori intenzionali. È in questi atti, in quanto atti e non meri movimenti, che prende corpo la nostra esperienza dell'ambiente circostante per conoscerlo e interpretarlo.

Se così stanno le cose lo stesso confine tra processi cognitivi, percettivi e motori si rivela arbitrario: non solo la percezione è immersa nella dinamica dell'azione, ma «il cervello che agisce» è anche un «cervello che comprende» (Rizzolatti e Sinigaglia 2006, p.3). Questo tipo di comprensione si riflette proprio nell'attivazione dei neuroni specchio. Ecco che la loro scoperta è l'ennesima “spinta neuroscientifica” che ci porta a sbattere la testa contro quel «soffitto di cristallo della mente» (Cerroni 2009, pp.97-98) in cui il passato ci ha imprigionati. In altri termini, ad essere in impasse è l'intero nostro modo di pensare.

La tecnologia moderna ha infatti raggiunto ciò che prima era al di fuori della portata di tutti i nostri sensi, trasformandoci. Nel caso specifico delle neuroscienze la questione è ancora più delicata, per il fatto che l'oggetto di studio in cui finiamo per imbatterci è costituito da noi stessi in quanto soggetti che vivono in “mondi simbolici”, ossia che se-

cernono continuamente – e il più delle volte inconsapevolmente – “categorie di pensiero”. In questo senso, le neuroscienze rendono manifesta l’arbitrarietà di alcuni orizzonti concettuali in cui viviamo costringendoci a ripensarli.

Venendo al secondo punto, questo riguarda le ripercussioni a livello antropologico nonché etico. In passato lo studio scientifico delle intenzioni era sempre stato considerato impossibile, in quanto questi processi mentali erano ritenuti troppo elusivi per essere studiati con strumenti empirici; così che i filosofi hanno continuato a congetturare in maniera prevalentemente teorica sul problema delle altre menti. Ora, cercare di capire come cerebrale e mentale si richiamino a vicenda è proprio la sfida delle neuroscienze, le quali scavano sempre più a fondo nell’“intimità” dei nostri meccanismi neurali cercando di ricondurli ai nostri comportamenti. In sostanza, i loro strumenti, sempre più potenti e sofisticati, portano i ricercatori ad affacciarsi su terreni che prima erano di competenza esclusiva della filosofia, delle arti e persino della religione. Lo spazio in cui poi viene a convergere questa tensione interdisciplinare è l’esperienza vissuta concretamente. Anche la scoperta dei neuroni specchio deve essere inquadrata in questa prospettiva, dal momento che ci aiuta ad elaborare una visione dell’essere umano in carne ed ossa e, di conseguenza, ci permette di mettere al centro della riflessione filosofica individui reali anziché surrogati artificiali.

A questo punto è necessaria un’ulteriore precisazione. Pensare che una descrizione scientifica possa avere in qualche modo risvolti etici rilevanti, presuppone un assunto che, in realtà, non è affatto scontato. Si tratta della premessa per cui la morale vada indagata a partire non dalle regole, bensì dagli individui che si danno le regole. Solo in una prospettiva simile, che mette l’essere umano al centro della riflessione etica, pos-

siamo comprendere l'esigenza di assumere un atteggiamento naturalistico. Per naturalismo si intende, in breve, l'idea secondo cui le conoscenze empiriche sulla natura umana – in particolare quelle biologiche e neuroscientifiche – giocano un ruolo essenziale nella riflessione etica (per un'introduzione al tema del naturalismo filosofico si veda De Caro e Macarthur 2005; mentre per una storia dell'idea di natura e il suo rapporto con l'etica Pollo 2008). Ammettere ciò significa, in sostanza, riconoscere che «l'etica si deve nutrire di senso di realtà, non di miti o pregiudizi moralistici» (Boella 2011, p.91).

Nel caso particolare dei neuroni specchio, questi rappresentano quel dispositivo che permetterebbe di spiegare la capacità di “leggere” la mente degli altri, ossia di coglierne intenzioni, credenze e desideri. Attribuire stati mentali agli altri determina gran parte dei nostri comportamenti sociali, dal momento che prima cerchiamo di capire cosa gli altri hanno in mente e poi ci regoliamo di conseguenza. Per questo i neuroni specchio sono anche stati descritti come quel sostrato biologico in cui affondano le proprie radici la socialità e l'empatia, ossia i requisiti essenziali per la convivenza reciproca. A questo proposito, è opportuno aggiungere che le scoperte e gli studi legati a questi neuroni hanno influenzato a tal punto il dibattito scientifico sulla capacità di comprendere le intenzioni altrui, da suggerire un loro possibile coinvolgimento anche nella mancanza di tale capacità. È il caso di deficit cognitivi come l'autismo, di cui alcuni sintomi – ad esempio isolamento sociale e assenza di empatia – potrebbero essere spiegati proprio alla luce di eventuali disfunzioni di questo meccanismo neurale (per una trattazione di questo tema e di alcuni principali autori di riferimento si veda Boria et al. 2009; Vivanti et al. 2011). In questo senso lo studio del meccanismo specchio ha acquisito una notevole

rilevanza anche nella psicologia cognitiva e nella psicologia dello sviluppo, contribuendo a forme di *cross-fertilization* tra filosofia e psicologia.

«L'uomo è un animale sociale», sosteneva Aristotele (1253a1-5) e forse mai come ora siamo in grado di cogliere la pertinenza di questa asserzione. È senz'altro suggestivo pensare di poter individuare i fondamenti della socialità umana nella profondità delle nostre cellule. Tuttavia è anche doveroso tenere sempre ben presente i limiti dei dati scientifici e accettare che questi non possano da soli rendere conto di fenomeni tanto complessi e stratificati (per una descrizione della socialità a partire dalle sue basi biologiche, De Waal 2008).

La caratteristica che qui vorremmo sottolineare è che la comprensione dell'altro descritta dal meccanismo specchio, passerebbe attraverso un processo non-cognitivistico di risonanza automatica tra i corpi, grazie a cui gli stati dell'altro vengono interiorizzati, quindi sentiti e infine compresi. In questo senso i processi di natura intellettuale non sarebbero in grado di esaurire questa comprensione fondamentale o, se non altro, non renderebbero conto di quei meccanismi più originari. Di conseguenza la loro scoperta mette in crisi le posizioni che si rifanno a un 'mentalismo astratto' (di ascendenza kantiana) per riportare alla ribalta una certa 'razionalità pratica' (che si appella ad un concezione antropologica humeiana). Stando al primo, la moralità è un insieme di regole colto da un intelletto freddo che somma, sottrae e universalizza; nel secondo caso, invece, si riconosce l'importanza delle emozioni nella guida dell'agire morale (una proposta affascinante di teoria morale che coniuga l'istanza sentimentale con il metodo sperimentale è quella suggerita da Nichols 2004). Ora, sembra che i neuroni specchio ci inducano

a ripensare il confine tra creature kantiane e humeiane e, parafrasando Hauser (2007, p.223), gettino un ponte tra le due.

Hume infatti argomenta a favore di un meccanismo di trasmissione psicologica – detto della ‘simpatia’ – che ci permette di accedere agli stati mentali dell’altro. Se nel razionalismo ci appropriamo di questi come possibili contenuti delle nostre ragioni, nel sentimentalismo invece essi vengono “trasmessi”, ossia riprodotti nel nostro stesso io. Secondo quest’ultimo le cose vanno più o meno così: noi percepiamo le passioni degli altri e, più precisamente, ciò avviene a partire dagli effetti esteriori che esse producono; in questo modo costruiamo nella nostra mente delle ‘idee’ che rappresenterebbero gli stati mentali altrui corrispondenti. Attraverso l’“associazione immaginativa”, risaliamo poi da queste idee all’idea della medesima passione quando l’abbiamo provata noi stessi. Una volta avvenuta questa trasmissione per cui, poniamo, dall’idea della sofferenza altrui passiamo all’idea della nostra sofferenza, questa acquisisce la forza e la vivacità di una nostra “impressione”.

Ma come avviene questo passaggio di traduzione di un’idea altrui in una impressione dell’io? Al processo immaginativo potrebbe affiancarsi proprio la dinamica dei neuroni specchio, non tanto al fine di sostituirlo quanto di corroborarlo. A dir il vero questi descrivono un meccanismo ancora più automatico per cui la sola percezione degli effetti esteriori, ad esempio, della sofferenza altrui «si converte immediatamente in una impressione, e acquista un tale grado di forza e vivacità da diventare la passione stessa, e da produrre un’emozione eguale a quella di un’affezione originaria» (Hume 1987a p.333).

In sostanza, senza i neuroni specchio la nostra rappresentazione dell'azione (e della passione) altrui sarebbe una sorta di "raffigurazione pittorica" laddove, in quanto dotati di capacità cognitive superiori, potremmo riflettere su quanto percepito e inferire le eventuali intenzioni (e emozioni). Di contro, queste particolari cellule nervose ci consegnano una visione arricchita della percezione e dell'essere umano, il quale accede al significato delle azioni degli altri a partire "dall'interno" delle proprie capacità motorie.

BIBLIOGRAFIA

Agazzi E., Vassallo N. (a cura di) (1998), *Introduzione al naturalismo filosofico*, Franco Angeli, Milano.

Ayer, A.J. (2006), *Hume: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, New Delhi.

Aristotele (a cura di Viano C.A.) (1993a), *Politica*, Laterza, Roma-Bari.

Bair A. (1982), "Hume's Account of Our Absurd Passions", *The Journal of Philosophy*, 79(11) November, pp. 643-652.

Boella L. (2008), *Neuroetica. La morale prima della morale*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Boella L. (2011), "La morale e la natura", in Lavazza A., Sartori G. (a cura di), *Neuroetica*, Il Mulino, Bologna, pp.85-107.

Boria S., Fabbri-Destro M., Cattaneo L., Sparaci L., Sinigaglia C., Santelli E., Cossu G., Rizzolatti G. (2009), "Intention understanding in autism", *PloSONE*, 4:e5596.

Borri M. (2008), "Neuroimaging: continuità e innovazione", *Humana.mente*, numero 5, pp. 149-164.

Brink D.O. (2003), *Il realismo morale e i fondamenti dell'etica*, Vita e Pensiero, Milano.

Buccino G. et al. (2001), “Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study”, *European Journal of Neurosciences*, 13, pp. 400-404.

Calvo-Merino B., Glaser D.E., Grezes J., Passingham R.E., Haggard P. (2005), “Action observation and acquired motor skills: an FMRI study with expert dancers”, *Cerebral Cortex*, 15 (8), pp. 1243-1249.

Cerroni A. (2009), “Neuroetica e teoria sociale: oltre il soffitto di cristallo della nostra immaginazione”, in Cerroni A, Rufo F. (a cura di), *Neuroetica. Tra neuroscienze, etica e società*, Utet, Torino, pp. 97-121.

De Caro M., Macarthur D. (a cura di) (2005), *La mente e la natura. Per un naturalismo liberalizzato*, Fazi, Roma.

De Caro M. (2008), *Azione*, Il Mulino, Bologna.

De Caro M. (2009), *Il libero arbitrio. Una introduzione*, Laterza, Roma-Bari.

De Lange F., Spronk M., Willems R. M., Toni I., Bekkering H. (2008), “Complementary systems for understanding action intentions”, *Current Biology*, 18: 454-457.

De Waal F. (1984), *La politica degli scimpanzé. Potere e sesso tra le scimmie*, Laterza, Roma-Bari.

De Waal F. (1997), *Naturalmente buoni. Il bene e il male nell'uomo e in altri animali*, Garzanti, Milano.

De Waal F. (2008), *Primati e filosofi. Evoluzionismo e moralità*, Garzanti, Milano.

Di Francesco M. (2009), *Introduzione alla filosofia della mente*, Carocci, Roma.

- Donatelli P. (2001), *La filosofia morale*, Laterza, Roma-Bari.
- Dorato M. (2007), *Cosa centra l'anima con gli atomi? Introduzione alla filosofia della scienza*, Laterza, Roma-Bari.
- Fabbri-Destro M, Rizzolatti G. (2008), "Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans", *Physiology*, 23, pp.171-179.
- Fadiga L., Fogassi L., Pavesi G., Rizzolatti G. (1995), "Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study", *Journal of Neurophysiology*, 73, pp. 2608-2611.
- Ferrari P.F., Rozzi S., Fogassi L. (2005), "Mirror Neurons Responding to Observation of Action Made with Tools in Monkey Ventral Premotor Cortex", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:2, 212-226.
- Ferretti F., Marraffa M.(a cura di) (2006), *L'architettura della mente. Saggi sulla modularità*, Abramo Editore, Catanzaro.
- Flage D.E. (1990), *David's Hume theory of mind*, Routledge, London and New York.
- Gallagher S. (2007), "Simulation trouble", *Social Neuroscience*, 2:353-365.
- Gallese V., Goldman A. (1998), "Mirror neurons and the simulation theory of mindreading", *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 2, n. 12, pp. 493-501.
- Gallese V., Mingone P., Eagle M. N. (2006), "La simulazione incarnata: i neuroni specchio. Le basi neurofisiologiche dell'intersoggettività ed alcune implicazioni per la psicoanalisi", *Psicoterapia e Scienze Umane*, n.3, pp.543-580.
- Gallese V. (2007), "Dai neuroni specchio alla consonanza intenzionale", *Rivista di Psicoanalisi*, n.1, pp.197-208.

Gallese V., Rochat M., Cossu G., Sinigaglia C. (2009), "[Motor Cognition and its role in the phylogeny and ontogeny of intentional understanding](#)", *Developmental Psychology*, 45, pp.103-113.

Gallese V., Sinigaglia C. (2009), "Chi è senza peccato, scagli la prima pietra (merica)", *Giornale italiano di psicologia*, n.2, pp.293-297.

Giorello G., Sinigaglia C. (2007), "Perception in Action", *Acta Biomedica*, 78, Supplement 1, 2, pp. 49-57.

Goldman A. (2006), *Simulating Minds: The philosophy, psychology and neuroscience of mindreading*, Oxford University Press, Oxford.

Greene J., Haidt, J. (2002), "How (and where) does moral judgement work?", *Trends Cogn. Sci.*, 6, pp.517-523.

Haidt J. (2001), "The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgement", *Psychological Review*, CVIII, 4, pp.814-834.

Hauser M.D. (2007), *Menti morali. Le origini naturali del bene e del male*, il Saggiatore, Milano.

Hume D. [1739-1749], *A treatise of Human Nature*, Selby-Bigge L.A., Niditch P.H. (a cura di) (1978), Clarendon Press, Oxford; tr.it. di Carlini A., Mistretta E. (1987), "Trattato sulla natura umana", in *Opere filosofiche*, a cura di Lecaldano E., I, Laterza, Roma-Bari.

Hurley S. (2001), "Perception and Action", *Sinthese*, 129, pp. 3-40.

Keysers C., Kohler E., Umiltà M.A., Nanetti L., Fogassi L., Gallese V. (2003), "Audio-visual mirror neurons and action recognition", *Experimental Brain Research*, 153, pp. 628-836.

Kim J. (1998), *Mind in a Physical World*, MIT press, Cambridge; tr.it. (2000), *La mente e il mondo fisico*, Mc-Graw Hill, Milano.

Kohler E., Keysers C., Umiltà M.A., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. (2002), “Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons”, *Science*, 297, pp. 846-848.

Iacoboni M., Woods R.P., Mazziotta, J.C. (1998), “Bimodal (auditory and visual) left frontoparietal circuitry for sensorimotor integration and sensorimotor learning”, *Brain*, 121, 2135-2143.

Iacoboni M., Woods R.P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C., Rizzolatti G.(1999), “Cortical mechanisms of human imitation”, *Science*, 286, pp. 2526-8.

Iacoboni M., Molnar-Szakacs I., Gallese V., Buccino G., Mazziotta J.C. (2005), “Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system”, *PLoS Biology*, 3(3): e79.

Iacoboni M. (2008), *I neuroni specchio. Come capiamo ciò che fanno gli altri*, Bolla-ti Boringhieri Editore, Torino.

Jacob P. (2009), “The tuning-fork model of human social cognition: A critique”, *Consciousness and Cognition*, Volume 18, Issue 1, pp. 229-243.

Lavazza A. (2009), “Neuroni specchio. Oppure no?”, *Le Scienze*, n.491, pp. 18-21.

Lecaldano E. (2005), *Bioetica. Le scelte morali*, Laterza, Roma-Bari.

Lecaldano E. (2010), *Prima lezione di filosofia morale*, Laterza, Roma-Bari.

Lingnau A., Gesierich B., Caramazza A. (2009), “Asymmetric fMRI adaptation reveals no evidence for mirror neurons in humans”, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*; 106(24):9925-30.

Logothetis N.K. (2008), “What We Can Do and What We Cannot Do with fMRI”, *Nature*, Vol. 453, Issue 7197, pp. 869-878.

Luria A.R. (1967), *Le funzioni corticali superiori nell'uomo*, Firenze, Giunti.

Mattelli M., Umiltà C. (2007), *Il cervello*, Il Mulino, Bologna.

Marconi D. (a cura di) (1999), *Naturalismo e naturalizzazione*, Ed. Mercurio, Vercelli.

Marraffa M. (1999), “L’eterogeneità delle emozioni”, *Scuola Democratica*, 22, 3-4, pp. 99-110.

Marraffa M., Meini C (2005), *La mente sociale. Le basi cognitive della comunicazione*, Laterza, Roma-Bari.

Marraffa M. (2005), “Filosofia e scienza cognitiva: un’interazione necessaria”, *Sistemi Intelligenti*, vol. XVII, n. 2, pp. 279-88.

Marraffa M. (2011), “Evoluzione, cognizione e cultura”, in G. Sartori e A. Lavazza (a cura di), *Neuroetica. La scienze del cervello cambiano la visione dell’uomo?*, Il Mulino, Bologna.

Nannini S. (2002), *L’anima e il corpo. Una introduzione storica alla filosofia della mente*, Roma-Bari, Laterza.

Nannini S. (2007), *Naturalismo cognitivo. Per una teoria naturalistica della mente*, Quodlibet, Macerata.

Nichols S. (2004), *Sentimental Rules: On the Natural Foundations of Moral Judgment*, Oxford University Press, Oxford.

Oliverio A. (1987), “Dalle molecole al cervello”, *Scienza e Dossier (Suppl.)*, n. 15, pp.14-15.

- Oliverio A. (1995), [*Biologia e filosofia della mente*](#), Laterza, Roma e Bari .
- Oliverio A. (1999), *Esplorare la mente. Il cervello tra filosofia e biologia*, Raffaello Cortina, Milano.
- Oliverio A.(2003), *Dove ci porta la scienza*, Laterza, Roma e Bari.
- Oliverio A. (2008b), *Prima lezione di Neuroscienze*, Laterza, Roma e Bari.
- Oliverio A. (2008), “Neuroscienze ed etica”, *Iride*, n.53, pp. 193-215.
- Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. (1992), “Understanding motor events: a neurophysiological study”, *Exp. Brain Res*, 91(1), pp.176-80.
- Poldrack R.A. (2006), “Can Cognitive Processes Be Inferred from Neuroimaging Data?”, *Trends in Cognitive Science*, Vol.10, Issue 2, pp.59-63.
- Pollo S. (2008), *La morale della natura*, Laterza, Roma-Bari.
- Porter R. (a cura di) (1985-1988), *Dizionario Biografico della Storia della Medicina e delle Scienze Naturali* (tomo II), Franco Maria Ricci editore, Milano.
- Prather J.F., Peters S, Nowicki S., Mooney R. (2008), “Precise auditory-vocal mirroring in neurons for learned vocal communication”, *Nature*, Jan 17; 451(7176), pp. 305-310.
- Pressman J.D. (1998), *Last resort: psychosurgery and the limits of medicine*, England: Cambridge University Press, Cambridge.
- Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V. and Fogassi L. (1996), “Premotor cortex and the recognition of motor actions”, *Cog. Brain Res*, 3, pp. 131-141.
- Rizzolatti G., Gallese V. (1997), “From action to meaning: a neurophysiological perspective”, in Petit J.L., *Le Neuroscience et la Philosophie de l’Action*, Vrin, Paris.

Rizzolatti G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V. (1997), “The space around us”, *Science*, 277, pp. 190-191.

Rizzolatti G. et al. (2001), “Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action”, *Nature Reviews Neuroscience*, 2, pp. 661-670.

Rizzolatti G., Craighero L. (2004), “The mirror-neuron system”, *Annual Review of Neuroscience*, 27, pp. 169-192.

Rizzolatti G. (2005), “The mirror neuron system and its function in humans”, *Anatomy and Embryology*, 210(5-6), pp. 419-421.

Rizzolatti G., Ferrari P.F., Rozzi S., Fogassi L. (2006), “The inferior parietal lobule: where action becomes perception”, *Novartis Foundation Symposium*, 270, pp. 129-140.

Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V. (2006), “Mirrors of the mind”, *Scientific American*, 295, pp. 54-61.

Rizzolatti G., Sinigaglia C. (2006), *So quel che fai*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Rizzolatti G., Vozza L. (2007), *Nella mente degli altri. Neuroni specchio e comportamento sociale*, Zanichelli, Milano.

Rizzolatti G., Sinigaglia C. (2008), “Further reflections on how we interpret the actions of others”, *Nature*, pp. 455-589.

Rizzolatti G., Sinigaglia C. (2010), “The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations”, *Nature Reviews Neuroscience*, doi:10.1038/nrn2805, pp.1-10.

Sakata H. et al. (1995), “Neural mechanism of visual guidance of hand action in the parietal cortex of the monkey”, *Cerebral cortex*, 5, pp. 429-438.

Sinigaglia C.(2009), “Mirror in Action”, *Journal of Consciousness Studies*, 16, 6-8, pp. 309-334.

Sinigaglia C., Sparaci L. (2010), “Emotions in Action through the Looking Glass”, *Journal of Analytical Psychology*, 55, pp. 3-29.

Sinigaglia C.(2010), “Comprensione enattiva e intenzionalità motoria”, in Morganti F., Carassa A., Riva G. (a cura di), *Intersoggettività e interazione*, Bollati Boringhieri, Torino, pp. 37-58.

Tagliagambe S. (1997), *Epistemologia del confine*, Il Saggiatore, Milano.

Umiltà M.A., Escola L., Intskirveli I., Grammont F., Rochat M., Caruana F, Jezzini A., Gallese V., Rizzolatti G. (2008), “When pliers become fingers in the monkey motor system”, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*; 105(6):2209-13.

Vassallo N.(2002), *Conoscenza e natura*, De Ferrari, Genova.

Vivanti G., McCormick C., Young G.S., Abucayan F., Hatt N., Nadig A., Ozonoff S., Rogers S. J. (2011), “Intact and impaired mechanisms of action understanding in autism”, *Developmental Psychology*, 47:841-856.

Aphex.it è un periodico elettronico, registrazione n° ISSN 1827-5834. Il copyright degli articoli è libero. Chiunque può riprodurli. Unica condizione: mettere in evidenza che il testo riprodotto è tratto da www.aphex.it

Condizioni per riprodurre i materiali --> Tutti i materiali, i dati e le informazioni pubblicati all'interno di questo sito web sono "no copyright", nel senso che possono essere riprodotti, modificati, distribuiti, trasmessi, ripubblicati o in altro modo utilizzati, in tutto o in parte, senza il preventivo consenso di Aphex.it, a condizione che tali utilizzazioni avvengano per finalità di uso personale, studio, ricerca o comunque non commerciali e che sia citata la fonte attraverso la seguente dicitura, impressa in caratteri ben visibili: "www.aphex.it". Ove i materiali, dati o informazioni siano utilizzati in forma digitale, la citazione della fonte dovrà essere effettuata in modo da consentire un collegamento ipertestuale (link) alla home page www.aphex.it o alla pagina dalla quale i materiali, dati o informazioni sono tratti. In ogni caso, dell'avvenuta riproduzione, in forma analogica o digitale, dei materiali tratti da www.aphex.it dovrà essere data tempestiva comunicazione al seguente indirizzo (redazione@aphex.it), allegando, laddove possibile, copia elettronica dell'articolo in cui i materiali sono stati riprodotti.

In caso di citazione su materiale cartaceo è possibile citare il materiale pubblicato su Aphex.it come una rivista cartacea, indicando il numero in cui è stato pubblicato l'articolo e l'anno di pubblicazione riportato anche nell'intestazione del pdf. Esempio: Autore, *Titolo*, <<www.aphex.it>>, 1 (2010).