

La molteplice natura delle relazioni interpersonali: la ricerca di un comune meccanismo neurofisiologico

Vittorio Gallese

vittorio.gallese@unipr.it <http://www.unipr.it/~mirror/english/staff/gallese.htm>
Dipartimento di Neuroscienze, Sezione di Fisiologia,
Università di Parma, Parma, Italy

Abstract. It has been proposed that the capacity to code the “like me” analogy between self and others constitutes a basic prerequisite and a starting point for social cognition. It is by means of this self/other equivalence that meaningful social bonds can be established, that we can recognize others as similar to us, and that imitation can take place.

In the present article I will discuss recent neurophysiological and brain imaging data on monkeys and humans, showing that the “like me” analogy may rest upon a series of “mirror matching” mechanisms. A new conceptual tool able to capture the richness of the experiences we share with others will be introduced: the *shared manifold* of intersubjectivity. I will propose that all kinds of interpersonal relations —imitation, empathy and the attribution of intentions — depend, at a *basic* level, on the constitution of a shared manifold space. This shared space is functionally characterised by automatic, unconscious embodied simulation routines.

Sommario. In quest’articolo delinearò un’ipotesi generale riguardante i meccanismi neurofisiologici alla base dell’intersoggettività. L’assunto principale di questa ipotesi è il seguente: Molto di ciò che accade nel corso dei nostri rapporti interpersonali sarebbe il risultato della capacità di creare uno spazio “noi-centrico” condiviso con gli altri. La creazione di questo spazio condiviso sarebbe il risultato dell’attività di “simulazione incarnata” (“embodied simulation”), definita a sua volta in termini sub-personali dall’attività di neuroni mirror che permettono di mappare sullo stesso substrato nervoso azioni eseguite ed osservate, sensazioni ed emozioni esperite personalmente ed osservate negli altri. Ogni volta che osserviamo qualcuno eseguire un’azione, oltre all’attivazione delle aree visive, si ha una concomitante attivazione di circuiti corticali motori che sono normalmente attivi durante l’esecuzione di quelle stesse azioni. In altri termini, l’osservazione di un’azione implica la *simulazione* della stessa. Il fatto che il sistema motorio si attivi non solo durante l’esecuzione, ma anche durante l’osservazione delle azioni suggerisce che possa esistere una relazione tra *controllo* e *rappresentazione* dell’azione, tale relazione derivando dalla necessità degli organismi viventi di costruire dei *modelli di sé*.

L’azione tuttavia non è sicuramente l’unico mezzo di cui disponiamo per empatizzare con gli altri. Ogni relazione interpersonale significativa implica, infatti, la condivisione di una molteplicità di stati: le emozioni, il nostro essere soggetti al dolore così come alle altre sensazioni somatiche. Nel presente articolo introdurrò uno strumento concettuale che possa rendere conto della ricchezza e della molteplicità delle esperienze che condividiamo ogni volta che ci mettiamo in relazione con gli altri: il *Sistema Multiplo di Condivisione dell’Intersoggettività*. La mia ipotesi è che i neuroni mirror – o neuroni equivalenti nell’uomo –costituiscono un elemento importante di questo sistema per la creazione di relazioni empatiche tra i diversi individui. Evidenze preliminari suggeriscono che le stesse strutture nervose coinvolte nell’analisi delle nostre emozioni

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

e sensazioni si attivano anche quando le stesse sono esperite negli altri. Sembra quindi che una varietà di differenti sistemi “mirror” siano presenti nel nostro cervello. Questa architettura, descritta a livello sub-personale, ed in origine scoperta e descritta in relazione alle azioni, potrebbe costituire un’*organizzazione di base* del nostro cervello sociale, in grado di spiegare in modo parsimonioso aspetti apparentemente diversi delle relazioni interpersonali, quali l’imitazione, l’empatia, e l’ascrizione di intenzioni agli altri individui.

1 Introduzione

L’intersoggettività costituisce uno degli argomenti più controversi del corrente dibattito all’interno delle scienze cognitive. Discipline diverse quali le neuroscienze, la psicologia cognitiva e dello sviluppo, la filosofia della mente, e la psichiatria hanno nel corso degli anni rivolto la propria attenzione alle varie e diverse modalità di instaurazione delle relazioni interpersonali, sia nell’ambito della “normalità”, che in quello degli aspetti più francamente psicopatologici.

L’imitazione, l’empatia ed il mentalismo, cioè la capacità di “leggere la mente” altrui, denotano, tra gli altri, differenti livelli e modalità di inter-azione mediante i quali il singolo individuo stabilisce legami dotati di senso con gli altri. Per questo motivo queste modalità di inter-azione sono state variamente usate per caratterizzare i modi e i meccanismi della relazione intersoggettiva.

Per quale motivo il tema dell’intersoggettività ha progressivamente occupato il centro del dibattito? Forse a causa del crescente senso di insoddisfazione provato da molti studiosi nei confronti del valore euristico fornito da concezioni della mente umana che ne hanno esclusivamente focalizzato gli aspetti solipsistici, senza prestare alcun’attenzione alla sua dimensione squisitamente sociale. Lo studio delle relazioni interpersonali è estremamente importante non solo in quanto illumina un tratto essenziale della mente umana — il suo carattere sociale —, ma anche e soprattutto perché consente di comprendere come la mente *individuale* sia organizzata e come sia evoluta.

Imitazione, empatia e mentalismo differiscono indubbiamente sotto molti punti di vista. Quando ripetiamo le azioni di qualcun altro, traduciamo i movimenti osservati in movimenti eseguiti. Quando stabiliamo una relazione empatica con gli altri, comprendiamo cosa essi provino, sia essa un’emozione o una sensazione. Infine, quando osserviamo il comportamento altrui, siamo verosimilmente in grado di comprenderne il significato e le ragioni che lo hanno prodotto. In ognuno di questi tre diversi tipi di relazione interpersonale ci confrontiamo con oggetti apparentemente diversi (rispettivamente, azioni, emozioni e sensazioni, e pensieri), cui replichiamo con diverse modalità di inter-azione (rispettivamente, azioni, emozioni e sensazioni, e pensieri). Sulla base di queste differenze, potrebbe apparire legittimo assumere che imitazione, empatia e mentalismo dipendano da meccanismi totalmente differenti.

Nel presente capitolo sosterrò una tesi differente. Mostrerò come imitazione, empatia e mentalismo condividano —ad un livello di base — una cruciale comune caratteristica: la loro dipendenza dalla costituzione di uno spazio intersoggettivo di senso condiviso. Proporrò che questo spazio condiviso, il Sistema Multiplo di Condivisione, trasversale ad imitazione empatia e mentalismo, sia sostenuto da uno specifico meccanismo funzionale: la “simulazione incarnata” (“embodied simulation”). Questo stesso meccanismo costituisce un ingrediente essenziale della

capacità di ogni sistema cervello/corpo di modellare le proprie inter-azioni con il mondo.

Chiarirò inoltre come questo meccanismo di simulazione incarnata possa essere caratterizzato da un punto di vista neurofisiologico, proponendo che il sistema dei neuroni mirror, originariamente scoperto nella corteccia premotoria della scimmia — ma la cui presenza è stata accertata sperimentalmente anche nel cervello umano — possa costituire parte del correlato neuronale della simulazione, fornendo quindi una visione neuroscientificamente integrata degli aspetti di base dell'intersoggettività.

2 L'importanza dell'identità sociale

Dall'inizio della nostra vita la dimensione sociale esercita un ruolo decisivo all'interno delle inter-azioni che caratterizzano il nostro rapporto col mondo. Il comportamento sociale non è una prerogativa dei primati; esso è infatti diffuso in specie diverse ed evolutivamente lontane da noi quali le api e le formiche. All'interno di specie animali differenti le inter-azioni sociali giocano ruoli diversi, e sono probabilmente sostenute da meccanismi diversi. Tuttavia, la nozione d'identità degli individui occupa un ruolo centrale in tutte le specie sociali e — all'interno delle specie più evolute di primati — in tutte le culture sociali. Da ciò consegue che tutti i livelli d'inter-azione sociale usati per caratterizzare le facoltà cognitive dei singoli individui, devono intersecarsi o sovrapporsi per consentire lo sviluppo di un mutuo riconoscimento e di una mutua intelligibilità.

In qualità di esseri umani noi sappiamo implicitamente che tutti gli esseri umani sono dotati di quattro arti, camminano in un certo modo, agiscono e pensano in modi caratteristici. Se, ad esempio, condividiamo con altri individui la stessa cultura, tatueremo il nostro corpo allo stesso modo, oppure indosseremo la stessa sciarpa assistendo alla partita della nostra squadra del cuore. Se condividiamo con altri cittadini una certa prospettiva su come la nostra società dovrebbe essere governata, voteremo con loro per lo stesso partito politico.

L'identità sociale può quindi essere articolata su differenti livelli di complessità: può essere analizzata utilizzando tests di crescente complessità, cui specie diverse possono rispondere in maniera differente. Tuttavia, indipendentemente dalla loro complessità, le relazioni d'identità sociale sono imprescindibili per ingenerare quel senso d'appartenenza ad una stessa comunità di altri individui. Ora, possiamo chiederci per quale motivo questa caratteristica sia stata preservata nel corso dell'evoluzione.

L'identità sociale è importante perché garantisce agli individui la capacità di meglio predire le conseguenze del comportamento altrui. L'attribuzione di uno status di identità agli altri individui consente infatti di contestualizzare automaticamente il loro comportamento. Ciò, a sua volta, riduce le variabili che devono essere computate, ottimizzando l'impiego di risorse cognitive attraverso la riduzione dello "spazio del significato" che deve essere computato. Attraverso la contestualizzazione del contenuto significativo, l'identità sociale consente di ridurre la quantità d'informazione che il nostro cervello deve analizzare. Nella prossima sezione esaminerò il problema dell'identità da un punto di vista ontogenetico.

3 La “rivoluzione cognitiva” nella psicologia dello sviluppo

Uno dei maggiori contributi alla comprensione dell'intelligenza sociale è stato fornito negli ultimi vent'anni dalla ricerca svolta nell'ambito della psicologia dell'età evolutiva. La psicologia dell'età evolutiva ha letteralmente rivoluzionato le nostre concezioni sulle capacità cognitive di neonati e bambini. I risultati di queste ricerche hanno mostrato, tra l'altro, che fin dall'inizio della nostra vita siamo capaci di comportamenti che, se manifestati da individui adulti, ascriverebbero prontamente alle risorse più astratte del nostro sistema cognitivo.

Un aspetto interessante della propensione dei neonati all'astrazione è rappresentato dalla sorprendente capacità di operare un'integrazione cross-modale dell'informazione sensoriale. Neonati di tre settimane sono infatti in grado di identificare visivamente ciucciotti che avevano precedentemente tenuto in bocca senza poterli vedere (Meltzoff e Borton 1979). Ciò che era stato in precedenza esperito come differente da un punto di vista tattile, viene successivamente riconosciuto anche come visivamente diverso. Altri studi hanno mostrato che i neonati sono perfettamente in grado di determinare l'intensità e l'andamento temporale di una stimolazione sensoriale, indipendentemente dalla specifica modalità (tattile, uditiva o visiva) attraverso cui viene convogliata (per una rassegna di questa letteratura, (Stern 1985). Il trasferimento cross-modale dell'informazione sembra essere quindi una capacità innata, o quantomeno a sviluppo molto precoce.

Questa capacità sembra svolgere un ruolo chiave nello sviluppo dell'intelligenza sociale, in quanto utilizzata per la costituzione di relazioni interpersonali. Come è stato infatti mostrato da Meltzoff e Moore, neonati di 18 ore sono in grado di riprodurre movimenti della faccia e della bocca mostrati da adulti (Meltzoff e Moore 1977; vedi anche Meltzoff e Moore 1997; Meltzoff 2002). Uno degli aspetti più sorprendenti è costituito dal fatto che i neonati sono in grado di imitare movimenti della faccia e della bocca, cioè utilizzando parti corporee cui non hanno alcun accesso visivo. L'informazione visiva relativa al comportamento osservato è tradotta nei comandi motori richiesti per riprodurre quel comportamento.

Meltzoff e Moore (1997) hanno definito questo meccanismo apparentemente innato come “mapping attivo inter-modale”. Secondo Meltzoff (2002), il mapping inter-modale può essere concepito come uno “spazio d'azione supra-modale”, non condizionato da alcuna particolare modalità di interazione, sia essa visiva o motoria. Modalità di inter-azione così diverse quali vedere o fare qualcosa devono condividere alcune caratteristiche in modo da rendere possibile il processo di equivalenza caratteristico del mapping inter-modale.

L'imitazione precoce sembra costituire un ulteriore esempio della capacità del neonato di stabilire relazioni d'equivalenza fra diverse modalità d'esperienza. L'imitazione precoce ci aiuta a capire meglio l'intelligenza sociale in quanto mostra che i legami e le relazioni interpersonali sono stabiliti all'esordio della vita, quando non è ancora disponibile alcuna rappresentazione soggettiva del mondo, per il semplice motivo che il soggetto cosciente dell'esperienza non si è ancora costituito.

L'assenza di un soggetto auto-cosciente non preclude, tuttavia, la costituzione di uno spazio primitivo “sé/altro”, caratterizzando così una forma paradossale d'intersoggettività priva di soggetto. Il neonato condivide questo spazio “noi-centrico” con gli altri individui che popolano il suo mondo.

Le scoperte della psicologia dell'età evolutiva sono rilevanti per la nostra discussione dell'intelligenza sociale anche per un'altra regione: questi dati mostrano infatti che il nostro sistema cognitivo è in grado di costruire una mappa multi-

modale astratta che utilizza disparate sorgenti sensoriali, ben prima dello sviluppo del linguaggio (lo strumento d'astrazione per eccellenza) e di altre forme sofisticate di inter-azione sociale.

4 Imitazione precoce e matura

Una caratteristica interessante del precoce tipo di imitazione descritto nel neonato da Meltzoff e collaboratori consiste nella sua scomparsa attorno al terzo mese di vita. Più tardi, tuttavia, si svilupperà una forma più matura di comportamento imitativo, una forma di imitazione che implica la capacità di comprendere il significato di ciò che viene imitato.

E' proprio questa forma più matura d'imitazione ad essere al centro di un controverso dibattito in psicologia e primatologia, un dibattito tutto incentrato sul quesito se tale capacità imitativa possa essere ascritta anche alle specie animali non umane, o non sia invece una prerogativa esclusiva della nostra specie (per una discussione dell'imitazione da un punto di vista etologico, vedi Whiten e Custance 1996; Tomasello e Call 1997; Byrne 1995; Visalberghi e Fragaszy 1990, 2001).

Non entrò nel merito di questo dibattito. Vorrei invece mettere in evidenza il fatto che entrambe le forme d'imitazione, quella precoce del neonato e quella più matura, condividono una caratteristica comune, che è evidentemente indipendente dalla presenza di facoltà cognitive sofisticate quali il linguaggio, o la capacità di riconoscere l'altro come altro. Cosa accomuna entrambe le forme di comportamento imitativo? Che cosa hanno in comune comportamenti così diversi come quello del neonato che protrude la lingua in risposta ad analogo comportamento della madre, o il comportamento dell'adolescente che ripete al pianoforti gli accordi mostratigli dall'insegnante di musica? Entrambi i comportamenti sono resi possibili unicamente in virtù della capacità di "tradurre" la prospettiva corporea del dimostratore in quella dell'imitatore. Questo problema può però essere superato se entrambe le azioni del dimostratore e dell'imitatore condividono lo stesso "formato neuronale." Vedremo tra breve come questo sia proprio il caso. Per il momento, possiamo affermare che sia le forme precoci che quelle mature di comportamento imitativo condividono la presenza di uno spazio condiviso, multi-modale, noi-centrico. Nella prossima sezione mostrerò come questa caratteristica sia alla base anche di un altro tipo di relazione interpersonale: l'empatia.

5 Empatia

Quando osserviamo il comportamento altrui siamo esposti ad una varietà d'espressioni, che non si risolvono unicamente nella tipologia delle azioni osservate, ma comprendono anche le emozioni e le sensazioni che accompagnano tali azioni. Quando ciò accade, si crea automaticamente un legame affettivo interpersonale dotato di significato. L'empatia è precisamente la capacità di stabilire questo legame (per una discussione recente dell'origine storica del concetto di empatia, vedi Prigman 1995; vedi anche Gallese 2001, 2003a,b).

Il legame empatico non è limitato alla nostra capacità di comprendere quando qualcuno sia triste, felice od arrabbiato. L'empatia — se considerata in modo ampio — consente anche di comprendere implicitamente le sensazioni esperite dall'altro.

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

Se facciamo nuovamente riferimento ai risultati della ricerca in psicologia dell'età evolutiva, scopriremo che a partire dal secondo mese di vita, i bambini instaurano con la madre ciò che Stern (1985) ha definita come "consonanza affettiva" ("affective attunement"): un tipo particolare di equivalenza cross-modale delle espressioni affettive interpersonali. Più precisamente, ciò che è riprodotto in modo sincronizzato è "...qualche aspetto del comportamento che riflette lo stato affettivo della persona" (Stern, 1985). Queste espressioni affettive (movimenti corporei, espressioni facciali, vocalizzazioni, ecc.) possono differire nella forma e nell'intensità, ma condividendo sempre la stessa dimensione di risonanza emotiva. Incidentalmente, vale la pena di osservare che secondo Lipps (1903) l'empatia (Einfühlung) può essere considerata come una forma di "imitazione interiore".

Fin dall'inizio della nostra vita noi abitiamo e condividiamo con gli altri uno spazio interpersonale multidimensionale, che secondo la mia ipotesi continua ad occupare anche in età adulta una consistente porzione del nostro spazio semantico sociale. Quando osserviamo il comportamento di altri individui e n'esperiamo la piena gamma espressiva (dal modo in cui agiscono, alle emozioni o sensazioni che manifestano), si viene a creare automaticamente un legame interpersonale dotato di significato intelligibile.

Ora il punto cruciale è come caratterizzare questa particolare forma di comprensione interindividuale. Applicando forse le nostre capacità logiche? Forse utilizziamo teorie per comprendere che tipo d'emozione o sensazione sia esperita dall'interlocutore che ci sta davanti? Nell'esperienza quotidiana in realtà siamo perfettamente in grado di decodificare la *qualità* delle sensazioni ed emozioni contenute ed espresse dal comportamento altrui, senza fare ricorso ad espliciti sforzi cognitivi. Il significato delle espressioni del comportamento affettivo sembra essere compreso automaticamente ed implicitamente dall'osservatore senza la necessità d'alcuna complessa mediazione cognitiva. Cosa rende possibile tutto ciò? E qual è il meccanismo funzionale alla base della nostra capacità di empatizzare? Proporrò in seguito che anche questo meccanismo possa essere considerato come una forma di simulazione.

6 Mentalismo

Le relazioni inter-individuali hanno svolto un ruolo fondamentale nell'evoluzione delle facoltà cognitive dei primati. Humphrey (1976) ha suggerito che l'origine dell'intelligenza dei primati vada rintracciata primariamente nell'esigenza di risolvere problemi di natura sociale. Questa prospettiva è sostenuta da dati empirici. Numerosi studi etologici hanno dimostrato la straordinaria capacità dei primati non umani di apprezzare la *qualità* delle relazioni all'interno di un gruppo sociale, non solo in termini di rapporti di parentela, ma anche in termini di coalizioni, amicizie ed alleanze. Come sottolineato da Tomasello e Call (1997), i primati sono in grado di categorizzare e comprendere anche le relazioni sociali che interessano individui terzi.

Una letteratura sempre più corposa ha sollevato il problema della possibilità che il comportamento sociale dei primati non umani possa essere guidato da intenzioni e che la loro comprensione del comportamento altrui possa essere di natura intenzionale. Vi è un consenso pressoché generale circa il fatto che scimmie e primati antropomorfi si comportino *come se* possedessero scopi ed obbiettivi. Tuttavia, a differenza degli umani, la loro *consapevolezza* di fini e scopi è negata.

La capacità di interpretare il comportamento dei conspecifici come finalizzato all'ottenimento di scopi fornisce un considerevole vantaggio agli individui,

consentendogli di predire le conseguenze del comportamento altrui. Il vantaggio di possedere un simile tratto cognitivo consentirebbe agli individui di influenzare e manipolare il comportamento dei conspecifici (vedi l'ipotesi dell'Intelligenza Machiavellica: Whiten e Byrne 1997).

Il problema dell'intenzionalità dei primati non umani è stato affrontato quasi simultaneamente da Humphrey (1978, 1980) e Premack e Woodruff (1978). La visione tradizionale delle scienze cognitive sostiene che gli esseri umani siano in grado di comprendere il comportamento altrui in termini dei loro stati mentali, attraverso l'impiego di quella che viene comunemente definita come "Psicologia del Senso Comune" ("Folk Psychology"). La capacità di attribuire agli altri stati mentali — intenzioni, credenze, e desideri — è stata definita Teoria della Mente (ToM) (Premack e Woodruff, 1978). Le caratteristiche della Psicologia del Senso Comune sono state in gran parte identificate con quelle della ToM (vedi Carruthers e Smith 1996). Comunemente si è sottolineato come i primati non umani — scimmie antropomorfe comprese — non utilizzino una caratterizzazione mentalistica del comportamento altrui (vedi Hayes 1998; Povinelli 2000).

La nozione di ToM è stata affrontata da molteplici prospettive. Possiamo caratterizzare la ToM come una capacità specifica di un dominio cognitivo particolare, supportata da un modulo a sua volta specifico ed incapsulato, le cui funzioni sono segregate dalle altre capacità intellettive dell'individuo (Leslie, 1997; Baron-Cohen, 1995; Fodor, 1992, 1994). Alternativamente, possiamo concepire la ToM come lo stadio finale di un processo di sviluppo evolutivo durante il quale diverse teorie scientifiche sul mondo e sui suoi abitanti sono messe alla prova, ed eventualmente abbandonate, per sceglierne di nuove che si dimostrino più efficaci (vedi l'ipotesi del "bambino come scienziato" di Gopnik e Meltzoff 1997). Entrambe le versioni della ToM sono spesso designate come "Teoria della Teoria".

Oppure, infine, possiamo concepire la ToM come il risultato di *una routine di simulazione* per mezzo della quale possiamo fingere di metterci nei "panni mentali" degli altri ed usare la nostra mente come un modello per comprendere la mente altrui (Gordon, 1986; Harries, 1989; Goldman 1989, 1992, 1993, 2000).

Entrambi gli approcci della Teoria della Teoria possono legittimamente essere considerati varianti del cognitivismo classico. Il cognitivismo classico, infatti, concepisce la mente come un sistema funzionale i cui processi possono essere descritti come manipolazioni di simboli informativi, sulla base di una serie di regole sintattiche formali (Fodor, 1981; Pylyshyn, 1984). Secondo le tesi del cognitivismo classico, le rappresentazioni sono intrinsecamente simboliche ed il pensiero può essere ridotto ad un processo meramente computazionale. Non è quindi sorprendente che, date tali premesse, il processo dell'attribuzione di stati mentali sia concepito esclusivamente in termini predicativi e di logica inferenziale, in tutto quindi simile ad una teoria. L'approccio caratteristico della Teoria della Teoria sottolinea la fondamentale discontinuità cognitiva tra esseri umani e primati non umani. La ToM è considerata come una sorta di Rubicone mentale che sanziona l'unicità delle capacità cognitive della nostra specie.

L'approccio simulazionista, al contrario, sembra più incline ad ammettere una continuità evolutiva tra comportamentismo e mentalismo. Ciò aiuta forse a capire perché la Teoria della Simulazione ha progressivamente guadagnato consensi tra i neuroscienziati e quegli scienziati cognitivi — ancora una minoranza! — pienamente consapevoli dell'intima relazione tra meccanismi cerebrali e facoltà cognitive.

Affrontare il problema di come gli individui comprendano il comportamento altrui esclusivamente in termini di una contrapposizione tra specie che si limitano a

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

“leggere il comportamento” e specie che invece sono in grado di “leggere la mente” altrui, appare oltremodo semplicistico. Sostenere, come si fa da più parti, che gli umani sono in grado di attribuire stati mentali, mentre tutti gli altri animali ne sarebbero incapaci, equivale a negare la possibilità che l’attitudine al mentalismo possa essere considerata parte di un modello più generale delle facoltà cognitive.

Se qualcosa di simile alla Teoria della Mente davvero sottende la nostra capacità di comprendere e interpretare l’agire altrui, questo tratto cognitivo deve in ogni modo essere evoluto da un progenitore non umano che condivideva con gli attuali primati, uomo incluso, numerose caratteristiche cognitive. Secondo la prospettiva che sto cercando di delineare, lo studio delle facoltà cognitive applicate all’ambito sociale dai primati non umani, e lo studio dei meccanismi nervosi che le sottendono, divengono imprescindibili per una comprensione di come la mente umana si sia evoluta e funzioni.

E’ ragionevole ipotizzare che questo processo evolutivo abbia proceduto in modo non discontinuo (vedi Gallese e Goldman 1998; Gallese 2000a, 2000b, 2001; Gallese et al. 2002). A mio parere si dovrebbe utilizzare una differente logica d’indagine: indagare, cioè, se le apparentemente diverse strategie cognitive applicate in ambito sociale da specie diverse non possano invece essere sottese da simili meccanismi funzionali. Ciò costituisce per l’appunto lo scopo principale di quest’articolo.

Ogni volta che ci troviamo di fronte al comportamento altrui, e tale comportamento richiede una risposta da parte nostra, sia essa reattiva o semplicemente attentiva, quasi mai ci vediamo coinvolti in un processo di *esplicita e deliberata* interpretazione. Nella maggior parte dei casi, in realtà, la nostra comprensione della situazione è immediata ed automatica.

Secondo l’approccio proprio della Teoria della Teoria, quando ci confrontiamo col problema di comprendere il senso del comportamento altrui, dobbiamo *necessariamente* tradurre le informazioni sensoriali ad esso relative in una serie di *rappresentazioni mentali* che condividono col linguaggio lo stesso formato proposizionale. Ciò ci consentirebbe di attribuire ad altri intenzioni, desideri, e credenze, e perciò ci metterebbe in grado di comprendere gli antecedenti mentali del comportamento altrui.

Se mentre siedo in un ristorante vedo qualcuno dirigere la mano verso una tazzina di caffè, comprenderò immediatamente che il mio vicino di tavolo sta per sorseggiare quella bevanda. Il punto cruciale è: come faccio? Secondo l’approccio cognitivista classico, dovrei tradurre i movimenti del mio vicino in una serie di rappresentazioni mentali riguardanti il suo *desiderio* di bere caffè, le sue *credenze* circa il fatto che la tazzina che sta per afferrare sia effettivamente piena di caffè, e la sua intenzione di portare la tazza alla bocca per bere. Anche se reso in modo forse un po’ caricaturale, questo rendiconto cattura essenzialmente la caratterizzazione delle relazioni interpersonali propria della Teoria della Teoria.

Penso che questa caratterizzazione, in base alla quale la nostra capacità di interpretare le intenzioni alla base del comportamento altrui sia esclusivamente determinata da metarappresentazioni create ascrivendo agli altri atteggiamenti proposizionali, sia del tutto implausibile da un punto di vista biologico. L’approccio del cognitivismo classico — di cui la Teoria della Teoria è un’espressione — esemplifica la visione di una mente umana totalmente disincarnata. Penso che oggi disponiamo di sufficienti evidenze empiriche per rigettare una tale visione.

Osserviamo il comportamento degli altri individui e nella maggior parte dei casi comprendiamo cosa stiano facendo o stiano per fare. Il punto cruciale consiste nel

chiarire che cosa si debba intendere con il termine “comprensione”. Il comportamento osservato costituisce ovviamente il punto di partenza per la nostra comprensione. E’ l’oggetto del comprendere, però, che definisce la qualità di questa comprensione e le sue modalità di strutturazione.

Il punto è che il comportamento altrui non costituisce un *datum* oggettivo. Se accettassimo questo postulato, dovremmo coerentemente ammettere che per rappresentare una realtà esterna ed oggettiva, la nostra mente dovrebbe operare secondo i rigidi dettati della razionalità. Secondo quest’accezione, per così dire disincarnata della mente umana, le intenzioni mentali invisibili che governano il comportamento osservabile degli individui dovrebbero essere *interpretate* utilizzando gli strumenti cognitivi della mente razionale.

Ma le cose stanno diversamente. Non esiste una realtà totalmente oggettiva e distinta dal soggetto che la rappresenta, o meglio, anche se esistesse non saremmo mai in grado di conoscerla in quanto tale. Ad esempio non vi sono colori oggettivi nel mondo. Il colore non è altro che il risultato di una serie di fattori quali la lunghezza d’onda della luce riflessa dagli oggetti, le condizioni di illuminazione circostanti, i coni contenuti nella nostra retina ed i circuiti nervosi ad essi connessi. Non vi è nessun colore là fuori, indipendentemente dalla nostra facoltà di percepirlo. Il colore non è nel mondo ma nasce dall’interazione tra il mondo e chi lo percepisce.

Possiamo utilizzare lo stesso argomento per le relazioni interpersonali. E’ impossibile la costituzione di altre persone indipendentemente da noi. Quando cerchiamo di comprendere il significato del comportamento altrui il nostro cervello *crea dei modelli del comportamento altrui allo stesso modo in cui crea modelli del nostro comportamento*. Il risultato finale di questo processo di modellizzazione ci consente di comprendere e predire le conseguenze dell’agire altrui, così come ci consente di comprendere e predire il nostro comportamento.

Se l’unica opzione disponibile fosse la Psicologia del Senso Comune, un’ulteriore difficoltà sarebbe rappresentata dalla necessità di spiegare le eccezionali capacità di consonanza sociale dimostrate dai bambini ad un’età in cui la capacità di ascrivere atteggiamenti proposizionali non è ancora sviluppata.

Ovviamente non sto sostenendo che noi non ascriviamo *mai* intenzioni, desideri, o credenze agli altri. Sto semplicemente affermando che queste forme *esplicite* di mentalismo, qualunque esse siano, occupano solo una parte del nostro spazio mentale sociale. Questo spazio è multidimensionale, e le molteplici dimensioni individuano differenti specificazioni relazionali, a loro volta determinate dai vari tipi d’inter-azione dell’individuo — un sistema biologico — con il mondo esterno.

Le specificazioni relazionali costituiscono i modi praticamente infiniti con cui possiamo *agire* nel mondo o *simulare* di farlo. Gli stessi tipi d’inter-azione, quando ascritti agli altri, appartengono ad esseri altri da noi che, tuttavia, noi sentiamo, riconosciamo e rappresentiamo essere *persone simili a noi*. Non dobbiamo necessariamente applicare teorie per conseguire questo risultato.

La mia proposta è che tutti i possibili livelli d’inter-azione interpersonale, quale che sia il grado di complessità delle specificazioni relazionali che li definiscono, riposino essenzialmente sullo stesso meccanismo funzionale: la *simulazione incarnata* (embodied simulation). La simulazione incarnata, cioè una simulazione imprescindibilmente legata a come siamo fatti e come funzioniamo nel mondo, consente di costituire un bagaglio comune di certezze implicite su noi stessi e contemporaneamente sugli altri. Nella prossima sezione mostrerò come questo sia un meccanismo cerebrale di base, intimamente legato agli aspetti apparentemente più astratti delle nostre facoltà cognitive.

7 I molteplici aspetti della simulazione

Il termine “simulazione” ha fondamentalmente due differenti accezioni:

1. Descrive azioni intraprese con l'intento di ingannare gli altri.
2. Connota il tentativo di imitare le caratteristiche di un processo o situazione, impiegando mezzi o strategie analoghe, col fine di comprenderlo meglio.

E' la seconda accezione del termine che intendo sviluppare qui. La simulazione come modellizzazione d'eventi o circostanze, volta ad una loro comprensione per così dire “dall'interno”. L'accezione di simulazione come processo di modellizzazione è tra l'altro vicina all'etimologia del termine. Simulare deriva infatti dal latino “simulare”, che a sua volta deriva da “*similis*”. Questa accezione di simulazione appare consonante con l'approccio epistemico del mondo classico greco-romano, per cui la conoscenza è concepita come un processo mediante il quale chi conosce *assimila* ciò che si presume debba conoscere (per una discussione della storia filosofica del concetto di simulazione, vedi Romano 2002).

Utilizzerò il termine *simulazione* per connotare un meccanismo implicito di modellizzazione degli oggetti ed eventi che il sistema organismo controlla o cerca di controllare nel corso della costante inter-azione con essi. Il termine *inter-azione* va inteso nella sua accezione più ampia. La simulazione può essere considerata come espressione di un meccanismo funzionale di controllo, la cui funzione è di modellare gli “oggetti” del processo di controllo. Secondo un autorevole modello di controllo motorio attualmente molto popolare, la simulazione è considerata come il meccanismo impiegato dai modelli proiettivi anticipatori (“forward models”) per predire le conseguenze sensoriali delle azioni prima che queste siano intraprese. Il processo di simulazione consente di produrre delle conseguenze simulate che divengono “predizioni” (Wolpert et al. 2001).

La caratterizzazione del processo di simulazione che sto presentando in questo articolo si discosta sensibilmente dalla concezione di simulazione proposta in filosofia della mente dai propugnatori della Teoria della Simulazione. Secondo questa teoria infatti, il processo di simulazione intrapreso dall'osservatore nell'atto di comprendere il comportamento altrui, è il risultato di un suo deliberato atto di volontà. Il processo di simulazione incarnata che sto descrivendo qui è invece *automatico, inconscio e pre-riflessivo*.

Come vedremo meglio tra breve, inoltre, la simulazione non è una prerogativa funzionale del sistema motorio. In altre parole, la simulazione non è espressione esclusiva delle strategie del controllo esecutivo che guidano il nostro comportamento di agenti nel mondo. La simulazione è verosimilmente — questa almeno è l'ipotesi che intendo proporre — la principale strategia epistemica disponibile per organismi viventi come noi che derivano la propria conoscenza del mondo in virtù delle interazioni con esso intraprese. Ciò che definiamo la *rappresentazione della realtà* non è una copia dell'oggettivamente dato, ma un modello inter-attivo di ciò che non può essere conosciuto in sé stesso. Ciò vale a maggior ragione per la dimensione sociale che occupa tanta parte della nostra vita.

Uno dei requisiti più importanti della percezione è rappresentato dalla capacità di predire gli eventi sensoriali futuri. Vari risultati neuroscientifici mostrano, infatti, che neuroni visivi nel lobo parietale sono in grado di anticipare con la propria scarica dove andrà a cadere il proprio campo recettivo quando il movimento oculare saccadico — ancora solo programmato — sarà in seguito eseguito (Goldberg et al., 1999). Allo stesso modo ogni azione intrapresa implica la capacità di predirne le conseguenze. Entrambi i tipi di predizione sono il risultato di un processo

automatico ed inconscio di simulazione. Un vantaggio offerto dalla presente ipotesi consiste nel suo carattere di estrema parsimonia. Se la mia ipotesi è corretta, un singolo meccanismo — la *simulazione incarnata* (“embodied simulation”) — è in grado di fornire un sostrato funzionale comune ad aspetti apparentemente differenti delle relazioni interpersonali.

Introdurrò ora una serie di risultati neuroscientifici mostranti come la simulazione costituisca una caratteristica funzionale pervasiva nel cervello dei primati, uomo compreso.

Immaginazione Mentale

In quanto esseri umani, abbiamo la facoltà di immaginare mondi che possiamo avere o non avere visto prima, immaginare di fare cose che possiamo avere o non avere compiuto prima. Il potere della nostra immaginazione può dirsi pressoché infinito. L’immaginazione mentale è non a caso stata utilizzata come evidenza palese del carattere incorporeo della mente umana e del suo particolare status ontologico.

Alla luce dei risultati della ricerca neuroscientifica, tuttavia, le cose appaiono alquanto differenti. Abbiamo infatti appreso che l’immaginazione visiva condivide con la reale percezione diverse caratteristiche (per una rassegna esaustiva, vedi Farah 2000; Kosslyn e Thompson 2000). Ad esempio, il tempo impiegato per scrutare attivamente con gli occhi una scena visiva coincide con quello impiegato per limitarsi ad immaginarla (Kosslyn et al. 1978). Una serie di studi di brain imaging hanno dimostrato che quando immaginiamo una scena visiva attiviamo regioni del nostro cervello che sono normalmente attive durante la reale percezione della stessa scena (Farah 1989; Kosslyn et al. 1993; Kosslyn 1994), comprese aree corticali che sono coinvolte nell’analisi delle caratteristiche elementari dello stimolo visivo, come la corteccia visiva primaria (LeBihan et al. 1993).

Come nel caso dell’immaginazione visiva, anche l’immaginazione motoria condivide diverse caratteristiche con la propria controparte “attiva” nel mondo reale. La simulazione mentale di un esercizio fisico, ad esempio, induce un incremento della forza muscolare che è paragonabile a quello ottenuto col reale esercizio fisico (Yu e Cole 1992). Quando immaginiamo di compiere una data azione, vari parametri fisiologici corporei si comportano come se noi stessi effettivamente eseguendo quella stessa azione. (Decety et al. 1991) hanno dimostrato che la frequenza cardiaca e respiratoria aumentano durante l’immaginazione di compiere esercizi motori. Tali aumenti inoltre, così come accade nel reale esercizio fisico, crescono linearmente col crescere dello sforzo immaginato. Infine, studi di brain imaging hanno mostrato che sia l’immaginazione di esercizi fisici che la loro reale esecuzione attivano una rete di centri corticali e sottocorticali comprendente la corteccia motoria primaria, l’area motoria supplementare, la corteccia premotoria, i gangli della base, ed il cervelletto (Roland et al. 1980; Fox et al. 1987; Decety et al. 1990; Parsons et al. 1995; Porro et al. 1996; Roth et al. 1996; Schnitzler et al. 1997).

Questi dati dimostrano che attività cognitive tipicamente umane quali l’immaginazione visiva o motoria, lungi dall’essere caratterizzate da una natura simbolico-proposizionale, riposano invece e dipendono dall’attivazione di regioni sensori-motorie del cervello. L’immaginazione visiva è equivalente alla simulazione di una reale esperienza visiva, così come l’immaginazione motoria è equivalente alla simulazione di una reale ed attiva esperienza motoria. Dobbiamo tuttavia porre l’accento su di un aspetto molto importante: nell’immaginazione motoria il processo di simulazione non è automatico ed implicito, ma è il risultato di un deliberato atto di volontà del soggetto.

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

La comprensione delle azioni altrui

L'osservazione d'azioni costituisce un altro esempio di simulazione. Vediamo perché. Circa dieci anni fa, il nostro gruppo ha scoperto nel cervello di scimmia l'esistenza di una popolazione di neuroni premotori che si attivavano non solo quando la scimmia eseguiva azioni finalizzate con la mano (ad es. afferrare un oggetto), ma anche quando osservava le stesse azioni eseguite da un altro individuo (uomo o scimmia che fosse). Abbiamo denominato questi neuroni, "neuroni mirror" (Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996a; vedi anche Gallese 2000a, 2001; Gallese et al. 2002b; Rizzolatti, Fogassi e Gallese 2000, 2001).

Perché i neuroni mirror siano attivati durante l'osservazione di un'azione, questa deve consistere nell'interazione tra la mano di un agente ed un oggetto. La semplice presentazione visiva d'oggetti non evoca alcuna risposta. Similmente inefficace è l'osservazione d'azioni eseguite mediante l'impiego d'utensili (ad es. afferrare un oggetto con una pinza, Gallese et al. 1996). Neuroni con proprietà simili sono successivamente stati scoperti anche nel lobo parietale posteriore, nell'area 7B o PF, reciprocamente connessa all'area premotoria F5. Questi neuroni sono stati definiti "neuroni mirror di PF" (Gallese et al. 2002b).

La scoperta dei neuroni mirror ha modificato il nostro modo di concepire i meccanismi alla base della comprensione delle azioni osservate. Vediamo come. L'osservazione di un'azione induce l'attivazione dello stesso circuito nervoso deputato a controllarne l'esecuzione: l'osservazione dell'azione induce quindi nell'osservatore l'automatica simulazione della stessa azione. Abbiamo proposto che questo meccanismo possa essere alla base di una forma implicita di comprensione del comportamento altrui (Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996a; vedi anche Gallese 2003a, 2003b; Gallese et al. 2002a, 2002b).

La relazione tra simulazione dell'azione e sua comprensione emerge ancora più chiaramente dai risultati di una serie di recenti esperimenti effettuati nei nostri laboratori. Nella prima serie d'esperimenti, Umiltà e collaboratori (2001) hanno studiato i neuroni mirror dell'area F5 di scimmia in due condizioni sperimentali: nella prima condizione, la scimmia poteva vedere l'intera azione (ad es. una mano che afferra un oggetto). Nella seconda condizione, invece, la scimmia osservava la stessa azione, che tuttavia veniva oscurata nella sua parte terminale, quella cioè in cui la mano dello sperimentatore interagiva con l'oggetto. In questa seconda condizione "oscurata", la scimmia era al corrente del fatto che l'oggetto target dell'azione fosse nascosto dietro ad uno schermo oscurante, ma non era in grado materialmente di vedere la mano dello sperimentatore afferrare l'oggetto. Nonostante quest'impedimento, oltre la metà dei neuroni registrati ha continuato a rispondere anche nella condizione oscurata (Umiltà et al. 2001).

Una serie di dati comportamentali ha dimostrato che anche le scimmie, come gli umani, sono in grado di inferire lo scopo di un'azione, anche quando l'informazione visiva a disposizione è incompleta (Fillion et al. 1996). I nostri dati rivelano quale meccanismo neurale sia verosimilmente alla base di questa facoltà cognitiva. L'inferenza circa gli scopi delle azioni altrui sembra essere mediata dall'attività di neuroni premotori (neuroni mirror) che codificano nel cervello dell'osservatore gli scopi di quelle stesse azioni. Mediante la simulazione, la parte non vista dell'azione può essere ricostruita e quindi il suo scopo può essere inferito.

Alcune azioni dirette su oggetti sono caratteristicamente accompagnate da un suono. Immaginiamo di sentire il suono del campanello della nostra porta di casa. Questo suono ci indurrà a pensare che c'è qualcuno fuori della porta che attende di

entrare in casa nostra. Quel suono particolare ci consente di comprendere ciò che sta avvenendo anche se siamo privi di qualsiasi informazione visiva al riguardo. Il suono del campanello ha il potere di consentirci di inferire l'azione di qualcuno che non vediamo.

Una serie recente d'esperimenti intrapresi nel nostro laboratorio ci ha consentito di indagare i meccanismi nervosi alla base di questa capacità. I neuroni mirror dell'area premotoria F5 di scimmia sono stati registrati durante 4 differenti condizioni sperimentali: quando la scimmia eseguiva azioni rumorose (ad es. rompere una nocciolina, strappare un foglio di carta, ecc.); quando la scimmia vedeva e sentiva l'azione; e infine quando la scimmia vedeva soltanto o udiva soltanto la stessa azione. I risultati hanno dimostrato che una consistente percentuale di neuroni mirror scaricavano sia quando la scimmia eseguiva l'azione, sia quando la scimmia udiva il rumore prodotto dall'azione o osservava la stessa azione priva del rumore caratteristico (Kohler et al. 2001, 2002; Keysers et al. 2003).

Questi neuroni, che abbiamo definito "neuroni mirror audio-visivi", non rispondevano solamente al suono prodotto da una particolare azione, ma erano in grado di discriminarlo anche dai suoni prodotti da azioni diverse. Le azioni il cui suono evocava la più forte risposta acustica erano anche quelle che producevano la più forte risposta quando erano osservate od eseguite. In altre parole, per questi neuroni non fa alcuna differenza se una data azione è udita, osservata, oppure eseguita. L'attivazione del circuito neuronale premotorio che normalmente controlla l'esecuzione dell'azione A anche in sola presenza del suono o della visione relativa alla stessa azione A, può essere caratterizzato in termini di simulazione della stessa azione A.

La simulazione multi-modale dello scopo d'azioni da parte dei neuroni mirror mostra caratteristiche e proprietà straordinariamente simili alle proprietà simboliche caratteristiche del pensiero umano. La somiglianza con il contenuto concettuale appare, infatti, significativa: lo stesso contenuto concettuale ("lo scopo dell'azione A") appare essere il risultato di una molteplicità di stati differenti, come suoni o azioni osservate o eseguite. Questi diversi stati, a loro volta, sono sostenuti dall'attivazione multi-modale di un gruppo di neuroni mirror audio-visivi.

La simulazione dell'azione incarnata dai neuroni mirror audio-visivi appare molto simile all'uso dei predicati: il verbo "rompere" è utilizzato per trasmettere un significato che può essere utilizzato in contesti differenti: "Vedere qualcuno rompere una nocciolina", "Udire qualcuno rompere una nocciolina", "Rompere una nocciolina". Il significato del predicato, similmente alla risposta dei neuroni mirror audio-visivi, non cambia al cambiare del contesto cui è applicato, nè al cambiare del soggetto/agente che esegue l'azione. Ciò che cambia è semplicemente il contesto o il soggetto cui il predicato si applica.

Il quadro generale che emerge da queste recenti evidenze empiriche è il seguente: L'integrazione sensori-motoria conseguita dal sistema di neuroni mirror contenuti nel circuito F5-PF mette in essere simulazioni di azioni che vengono utilizzate non solo per il controllo esecutivo delle stesse azioni, ma anche per la loro comprensione implicita.

Quale rilevanza hanno questi risultati per la comprensione delle facoltà cognitive sociali della specie umana? Molteplici studi neuroscientifici utilizzando tecnologie diverse hanno dimostrato come anche il cervello umano sia dotato di un sistema mirror che mappa le azioni osservate sugli stessi circuiti nervosi che ne controllano l'esecuzione attiva (Fadiga et al., 1995); (Grafton et al., 1996); (Rizzolatti et al.,

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

1996b); (Cochin et al., 1998); (Decety et al., 1997); (Hari et al., 1999); (Iacoboni et al., 1999); (Buccino et al., 2001).

Nell'uomo, come nella scimmia, l'osservazione dell'azione costituisce una forma di simulazione della stessa. Questo tipo di simulazione differisce, tuttavia, sotto molti punti di vista dai processi simulativi che sottendono l'immaginazione visiva o motoria. L'osservazione dell'azione altrui induce automaticamente la simulazione della stessa. Nell'immaginazione mentale, invece, il processo di simulazione è evocato da un atto della volontà: uno decide di proposito di immaginare di fare o vedere qualcosa.

Una convalida empirica di questa differenza proviene dagli esperimenti di brain imaging. Se compariamo infatti quali centri motori si attivino durante l'osservazione di un'azione con quelli attivati dalla sua semplice immaginazione, noteremo che solo la seconda condizione induce l'attivazione dell'area pre-SMA, che si trova al davanti dell'area motoria supplementare, e della corteccia motoria primaria.

Ciò detto, è altresì evidente che l'immaginazione mentale e l'osservazione delle azioni altrui costituiscano tipi di simulazione. La differenza principale consiste nell'evento che induce il processo di simulazione: un evento interno, nel caso dell'immaginazione, ed un evento esterno nel caso dell'osservazione. Questa differenza si traduce in alcune differenze nel tipo di aree corticali attivate. Tuttavia, entrambe le condizioni condividono lo stesso meccanismo di base: la simulazione di azioni mediante l'attivazione dei circuiti corticali parieto-premotori descritti prima. Questo processo di simulazione automatica costituisce anche un livello di comprensione, un livello che non implica l'uso esplicito di alcuna teoria o rappresentazione simbolica.

Imitazione

La recente introduzione delle metodiche di brain imaging ci ha permesso di iniziare a comprendere quali siano le basi neurali dell'imitazione nell'uomo. Il primo studio che abbia mostrato quali siano le aree corticali coinvolte nel processo di osservazione ed imitazione non differita di azioni è infatti apparso solo pochi anni fa (Iacoboni et al. 1999). Iacoboni e collaboratori hanno messo a confronto una condizione in cui soggetti umani adulti e sani osservavano azioni di mano (alzare il dito indice), con un'altra condizione in cui i soggetti dovevano imitare l'azione osservata. I risultati hanno dimostrato che sia l'osservazione che l'imitazione dell'azione inducevano l'attivazione di uno stesso circuito corticale comprendente la corteccia premotoria ventrale, la corteccia parietale posteriore, e la corteccia contenuta all'interno della parte posteriore del solco temporale superiore. Un risultato inatteso dello studio di Iacoboni e collaboratori (1999) è stato il seguente: la regione del Solco Temporale Superiore (STS), tradizionalmente considerata una regione puramente sensoriale, risultava più attivata durante l'imitazione che durante l'osservazione dell'azione. Se la funzione di STS si esaurisse nel fornire una descrizione visiva dell'azione, non si capisce perché questa regione dovrebbe essere più attiva durante l'imitazione, dal momento che l'azione imitata è identica a quella osservata.

Una possibile spiegazione è che l'attivazione di STS durante l'imitazione dell'azione rifletta le conseguenze visive attese dell'azione imitata. Cioè, rappresenti il correlato neurale dell'attivazione del modello proiettivo-anticipatorio ("forward model") dell'azione, *simulando le conseguenze sensoriali dell'azione da imitare*.

Questa ipotesi è stata corroborata dai risultati di un secondo studio fMRI recentemente pubblicato dallo stesso gruppo (Iacoboni et al. 2001). In questo secondo studio, i soggetti dovevano osservare ed imitare azioni eseguite con la mano in due configurazioni. Durante la configurazione *speculare*, i soggetti dovevano osservare o imitare con la mano destra un'azione eseguita dalla mano sinistra. Durante la configurazione *anatomica*, invece, dovevano osservare o imitare con la mano destra un'azione eseguita dalla mano destra. I risultati hanno mostrato che: 1) Nella condizione di osservazione, l'attivazione di STS era più forte quando la mano osservata era la destra; 2) nella condizione d'imitazione, l'attivazione di STS era più forte quando la mano da imitare era la sinistra. Gli autori hanno interpretato questi risultati come una prova del fatto che per imitare l'azione osservata il modello interno dell'azione predica, per mezzo di simulazione, le conseguenze sensoriali dell'azione che verrà imitata, premettendo in questo modo di stabilire un confronto tra il modello e l'azione imitata, ed eventualmente apportare le necessarie correzioni per adeguare l'esecuzione al modello.

Questi risultati sembrano suggerire che l'imitazione d'azioni coinvolga un circuito di aree corticali la cui attivazione può essere interpretata in termini di *simulazione*.

Empatia

Damasio (1994, 1999) ha ripetutamente sottolineato come uno dei meccanismi che permettono di provare emozioni consista nell'attivazione di un circuito nervoso di tipo "come se", cioè un circuito di simulazione. Questi meccanismi di simulazione creano una *rappresentazione/modellizzazione* delle modificazioni corporee indotte dall'esperienza delle emozioni attraverso un'attivazione *dall'interno* delle mappe corporee sensoriali. Secondo la mia ipotesi, è possibile che l'attivazione di questi circuiti "come se" possa avvenire non solo dall'interno, ma essere indotta anche dall'osservazione degli altri (Adolphs, 1999; Goldman e Gallese, 2000; Gallese, 2001).

Risultati preliminari sembrano suggerire che le stesse strutture nervose attive durante l'esperienza soggettiva di sensazioni ed emozioni, siano attive anche quando cerchiamo di decodificare negli altri quelle stesse sensazioni ed emozioni. Questo tipo d'attivazione "eterocettiva" rappresenta un ulteriore esempio di simulazione.

Ciò m'induce ad ipotizzare che il nostro cervello possa contenere innumerevoli sistemi mirror che confrontano e mappano le sensazioni e le emozioni provate dagli altri sulle nostre, utilizzando routines di simulazione. Vediamo ora più da vicino su quali basi empiriche si fonda questa mia ipotesi.

Evidenze preliminari sembrano suggerire che gli esseri umani siano dotati di neuroni che rispondono al dolore con un meccanismo dotato appunto di caratteristiche "mirror". Hutchison et al. (1999) hanno registrato nell'uomo singoli neuroni attivati dall'applicazione di stimoli dolorosi. Questi neuroni erano localizzati nella corteccia cingolata, che si trova nella superficie mesiale del lobo frontale. L'occasione per questo studio è stata offerta da interventi neurochirurgici di ablazione della corteccia cingolata (cingolotomia). Prima di asportare questa porzione della corteccia frontale, gli autori dello studio hanno registrato l'attività di singoli neuroni in pazienti svegli, anestetizzati solo localmente. Nel corso di queste registrazioni è stato notato che un neurone che rispondeva durante l'applicazione di stimoli dolorosi alla mano del paziente, rispondeva ugualmente quando il paziente osservava uno dei

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

neurochirurghi applicare uno stimolo doloroso alle dita della propria mano. Gli stimoli dolorosi, indipendentemente dal fatto che fossero applicati al corpo del paziente o ad altri individui da lui osservati, evocavano la stessa risposta nello stesso neurone. Non è difficile interpretare l'attività di questa cellula nervosa umana nei termini funzionali di *un processo di simulazione: simulazione dell'esperienza dolorosa*.

Uno studio recente pubblicato da Calder et al. (2000) descrive un paziente che in seguito ad emorragia cerebrale mostrava danni evidenti a strutture corticali e sottocorticali quali l'insula e il putamen. In seguito a queste lesioni il paziente era incapace di identificare il disgusto, indipendentemente dalla modalità sensoriale con cui quest'emozione gli era trasmessa, come le espressioni facciali, suoni non verbali, oppure la prosodia. Lo stesso paziente, di fronte a stimoli inducenti, era anche selettivamente incapace di *provare soggettivamente disgusto*, e perciò di reagire in maniera appropriata a quegli stessi stimoli. Questo caso clinico, pur con tutte le cautele da riservarsi ai casi singoli, sembra suggerire che una volta persa la capacità di provare ed esprimere una data emozione, diventi impossibile anche rappresentarla e riconoscerla quando espressa dagli altri.

Come abbiamo appreso dalla psicologia dell'età evolutiva, le emozioni costituiscono per l'individuo uno degli strumenti più precoci per acquisire conoscenze circa il proprio stato interno, consentendogli di apportare, ove necessario, aggiustamenti comportamentali volti a conseguire un'ottimizzazione dello stesso stato interno. Ciò indica una forte interazione tra emozioni ed azione. L'azione coordinata dei circuiti nervosi sensori-motori ed affettivi, consente di semplificare ed automatizzare innumerevoli strategie comportamentali messe in essere dagli organismi per garantirsi la sopravvivenza.

Lo stretto accoppiamento tra emozioni ed integrazione sensori-motoria è messo in evidenza da uno studio di Adolph e collaboratori (2000). In questo studio è stata condotta una meta analisi su oltre 100 pazienti con danni cerebrali di varia origine. Uno dei risultati più sorprendenti di questo studio è che i pazienti che dimostrarono le prestazioni peggiori in compiti in cui dovevano riconoscere o denominare una serie di espressioni emotive di volti umani osservati erano quelli che avevano sofferto danni all'amigdala e alle corteccie sensori-motorie.

Un ulteriore supporto empirico all'ipotesi esplorata in questo articolo di uno stretto rapporto tra simulazione ed empatia, proviene da un recente studio fMRI di Iacoboni e collaboratori condotto su soggetti adulti sani (Carr et al. 2001; vedi anche Iacoboni 2003). Questo studio mostra che sia l'osservazione che l'imitazione di emozioni facciali attivano lo stesso ristretto gruppo di strutture cerebrali, comprendenti la corteccia premotoria, l'insula, e l'amigdala. E' possibile ipotizzare che questa doppia attivazione per osservazione ed imitazione sia dovuta all'attività di un meccanismo mirror, costituente un altro tipo di simulazione incarnata.

La mia ipotesi predice anche l'esistenza di neuroni mirror "somato-sensoriali" che potrebbero contribuire a darci la capacità di identificare le diverse parti corporee altrui, riferendole a parti equivalenti del nostro corpo. Siamo attualmente conducendo una serie di esperimenti volti a saggiare empiricamente quest'ipotesi.

Per riassumere, l'immaginazione motoria, l'osservazione d'azioni, l'imitazione d'azioni, e l'empatia sembrano condividere lo stesso meccanismo di base: una simulazione incarnata. Simulazione di azioni, di sensazioni e di emozioni. La simulazione incarnata consente di creare modelli del mondo reale o immaginario. Questi modelli costituiscono l'unico modo a nostra disposizione di stabilire un nesso significativo con questi mondi, che non sono mai "dati" oggettivamente, ma

sempre ricreati per mezzo di modelli simulati. Nella prossima sezione fornirò una descrizione articolata della simulazione che mi consentirà di fornire un quadro unitario per l'interpretazione e caratterizzazione delle diverse modalità di relazione interpersonale.

8 Il sistema multiplo di condivisione

Ho precedentemente suggerito che il costituirsi dell'identità sé-altro rappresenti una formidabile spinta per lo sviluppo di forme più articolate e sofisticate d'intersoggettività. E' questa relazione d'identità che ci consente di comprendere il comportamento altrui, di imitarlo, di apprezzare le sensazioni e le emozioni esperite dagli altri.

Propongo quindi di caratterizzare questa relazione d'identità, trasversale a tutte le forme di relazione interpersonale, in termini di un "sistema multiplo di condivisione" ("shared manifold"). E' questo sistema che rende possibile il riconoscimento degli altri umani come nostri simili, che promuove la comunicazione intersoggettiva, l'imitazione e l'attribuzione d'intenzioni agli altri. Questo sistema può essere definito a tre diversi livelli: un livello fenomenologico, un livello funzionale, ed un livello sub-personale.

Il *livello fenomenologico* è quello caratterizzato dal senso di familiarità, dall'impressione soggettiva di essere individui facenti parte di una più larga comunità sociale composta da altri individui simili a noi. Potrebbe essere definito anche come il livello empatico, a patto di caratterizzare l'empatia secondo quell'accezione ampliata cui accennavo prima. Le azioni eseguite, le emozioni e le sensazioni esperite dagli altri acquistano per noi un significato in virtù della possibilità che abbiamo di dividerle, grazie alla presenza di un comune formato rappresentazionale.

Il *livello funzionale*, che abbiamo esplorato durante tutto il corso della nostra esposizione, è rappresentato da routines di simulazione incarnata, modalità "come-se" di inter-azione che consentono di creare modelli del sé/altro. La stessa logica funzionale all'opera nel controllo del proprio agire, opererebbe anche durante la comprensione dell'agire altrui. Entrambi sarebbero espressione di *modelli d'inter-azione*, che mappano i propri referenti su identici nodi funzionali relazionali. Ogni modalità d'inter-azione interpersonale condivide il carattere relazionale. Al livello di descrizione funzionale del sistema multiplo di condivisione, la logica operativa relazionale produce l'identità sé/altro, permettendo al sistema di identificare coerenza, predicibilità e regolarità, indipendentemente dalla loro sorgente.

Il *livello sub-personale*, è infine costituito dall'attività di una serie di circuiti neurali mirror. L'attività di questi circuiti neurali a sua volta è interconnessa con una serie di cambiamenti di stato corporei a più livelli. *I neuroni mirror sono il correlato sub-personale della condivisione multimodale dello spazio intenzionale.* Questo spazio condiviso ci consente di apprezzare, esperire e comprendere le azioni che osserviamo, e le sensazioni ed emozioni che riteniamo esperite dagli altri.

Vi è un punto importante che deve essere chiarito. Il sistema multiplo di condivisione da me descritto non implica che noi esperiamo gli altri *come* esperiamo noi stessi. Il sistema multiplo di condivisione semplicemente costituisce e promuove il processo di mutua intelligibilità. Ovviamente, l'identità sé/altro costituisce solo un aspetto dell'intersoggettività. Come sottolineato da Husserl (1989; vedi anche Zahavi 2001), è il carattere d'*alterità* dell'altro che fornisce oggettività alla realtà. La qualità della nostra esperienza vitale (*Erlebnis*) del "mondo esterno" ed il suo

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

contenuto sono condizionati dalla presenza di altri soggetti che risultano intelligibili, pur mantenendo la propria alterità.

Il carattere di alterità dell'altro può essere identificato anche al livello sub-personale, prendendo in considerazione, ad esempio, i differenti circuiti corticali attivati quando io agisco rispetto a quando lo fanno gli *altri*.

9 Conclusioni

In questo articolo ho esaminato tre aspetti fondamentali che caratterizzano le relazioni interpersonali: imitazione; empatia, ed attribuzione di intenzioni o mentalismo. Ho suggerito che tutti e tre questi differenti livelli e modi d'inter-azione sociale condividono un comune meccanismo di base che individua e definisce uno spazio interpersonale condiviso: la simulazione incarnata. Ho anche suggerito che questo meccanismo è automatico, pre-riflessivo ed inconscio.

La simulazione incarnata, sulla base della caratterizzazione che ho tentato di delineare, è una caratteristica funzionale distintiva del sistema cervello/corpo. Il suo ruolo sarebbe quello di fornire modelli delle inter-azioni che s'instaurano tra un organismo ed il suo ambiente. Secondo questa mia specifica caratterizzazione della simulazione, la nostra comprensione delle relazioni interpersonali riposa sulla capacità basilare di modellare il comportamento *altrui* attraverso l'impiego delle stesse risorse neurali utilizzate per modellare il *nostro* comportamento.

La notevole messe di dati neuroscientifici qui brevemente riassunti, suggerisce l'esistenza di un *livello di base* delle nostre relazioni interpersonali che non prevede l'uso esplicito di atteggiamenti proposizionali. Questo livello di base consiste dei processi di simulazione incarnata mediante i quali possiamo costituire uno spazio interpersonale condiviso ed intelligibile. Questo spazio condiviso non si esaurisce nel mondo delle azioni. Coinvolge una dimensione più globale, comprendendo cioè tutti quegli aspetti che definiscono un organismo vivente, dalla forma del suo corpo alle sue sensazioni ed emozioni. Questo multiforme spazio condiviso definisce l'ampia gamma di certezze implicite che nutriamo riguardo i nostri simili. Sé ed altro da sé sono correlati, in quanto entrambi rappresentano opposte estensioni di uno stesso spazio "noi-centrico". Osservatore ed osservato sono entrambi parte di un sistema dinamico guidato da regole di reversibilità.

Lo spazio interpersonale in cui viviamo fin dalla nascita continua a costituire per tutta la nostra vita una parte sostanziale del nostro spazio semantico. Quando osserviamo il comportamento altrui, e siamo esposti al potere espressivo di questo agire (il modo in cui gli altri agiscono, le loro sensazioni ed emozioni), grazie ad un processo automatico di simulazione, si viene a formare un ponte interpersonale carico di significato. L'importanza della simulazione è sottolineata anche da una recente serie di studi in psicologia sociale. Molti di questi studi (per una recente rassegna, vedi Barsalou et al. 2003) dimostrano che tendiamo ad accompagnare la nostra comprensione linguistica o la nostra attività immaginativa con reazioni corporee che simulano le esperienze reali. Gli stimoli, indipendentemente dalla loro natura esterna o interna, inducono forme di simulazione incarnata con la modalità di una reazione automatica, quasi riflessa. Questi studi mostrano insomma una sorprendente relazione tra differenti aspetti delle nostre funzioni cognitive più elevate e la simulazione incarnata.

Vittorio Gallese

E' un problema empirico indagare fino a che punto questi meccanismi di simulazione possano spiegare la sofisticata — ed apparentemente unicamente umana — capacità di interpretare il mondo interiore degli altri.

10 Ringraziamenti

Versioni preliminari di questo lavoro sono state presentate ai Munich Encounters in Cognition and Action al Max Planck Institute in Monaco di Baviera, Germania, nel Dicembre 2000; al 31st Annual Meeting of the Jean Piaget Society, tenutosi a Berkeley, California, USA, nel Maggio del 2001; al Second Meeting of the McDonnell Project in Philosophy and the Neurosciences, tenutosi a Tofino, Canada nel Giugno del 2001; ed alla Royaumont Conference on Imitation, tenutasi a Royaumont, Francia, nel Maggio del 2002. L'autore desidera ringraziare i partecipanti a tutti questi incontri scientifici per il contributo di discussione offerto. Questo lavoro è stato realizzato con finanziamenti del MIURST e del Programma Eurocores della European Science Foundation.

Riferimenti bibliografici

- Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., e Damasio, A.R. (2000), "A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping", *J. Neurosci*, 20, pp. 2683-2690.
- Baron-Choen, S. (1995), *Minblindness. An Essay on Autism and Theory of Mind*, Cambridge, MIT Press.
- Barsalou, L.W., Niedenthal, P.M., Barbey, A.K., e Ruppert, J.A. (2003), "Social embodiment", in pubblicazione in Ross, B.H. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 43), San Diego, CA, Academic Press, in corso di stampa.
- Bremner, F., Schlack, A., Jon Shah, N., Zafiris, O., Kubischik, M., Hoffmann, K.P., Zilles, K. e G.R. Fink. (2001), "Polymodal motion processing in posterior parietal and premotor cortex: a human fMRI study strongly implies equivalences between humans and monkeys", *Neuron*, 29, pp. 287-296.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G., e Freund, H.-J., (2001). "Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study", *European Journal of Neuroscience*, 13, pp. 400-404.
- Byrne, R.W. (1995), *The Thinking Ape. Evolutionary Origins of Intelligence*, Oxford, Oxford University Press.
- Calder, A.J, Keane, J., Manes, F., Antoun, N. e Young, A.W. (2000), "Impaired recognition and experience of disgust following brain injury", *Nature Neuroscience*, 3, pp. 1077-1078.
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.-C. Mazziotta, J.C. e Lenzi, G.L. (2001), "Observing and Imitating Emotion: Implications for the Neurological Correlates of Empathy". Articolo presentato alla *First International Conference of Social Cognitive Neuroscience*, Los Angeles, 24-26 April, 2001.
- Carruthers, O. e Smith, P.K. (eds.) (1996), *Theories of Theories of Mind*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Chao, L.L. e Martin, A. (2000), "Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream", *Neuroimage*, 12, pp. 478-484.

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

- Cochin, S., Barthelemy, C., Lejeune, B., Roux, S. e Martineau, J. (1998), "Perception of motion and qEEG activity in human adults", *Electroenc. Clin. Neurophysiol.*, 107, pp. 287-295.
- Colby, C. L., Duhamel, J.-R., e Goldberg, M. E. (1993), "Ventral intraparietal area of the macaque: anatomic location and visual response properties", *J. Neurophysiol.*, 69, pp. 902-914.
- Damasio A.R. (1994), *Descartes' Error*, New York, G.P. Putnam's Sons.
- Damasio A.R. (1999), *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, New York, Harcourt Brace.
- Decety, J e Grèzes, J. (1999), "Neural mechanisms subserving the perception of human actions", *Trends in Cognitive Sciences*, 3, pp. 172-178.
- Decety, J., Jeannerod, M. e Prablanc, C. (1989), "The timing of mentally represented actions", *Behav. Brain Res.*, 34, pp. 35-42.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M. e Pastene, J. (1991), "Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort", *Behav. Brain Res.*, 34, pp. 35-42.
- Decety, J., Sjöholm, H., Ryding, E., Stenberg, G. e Ingvar, D. (1990), "The cerebellum participates in cognitive activity: Tomographic measurements of regional cerebral blood flow", *Brain Res.*, 535, pp. 313-317.
- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F. e Fazio, F. (1997), "Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy", *Brain*, 120, pp. 1763-1777.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G. e Rizzolatti, G. (1995), "Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study", *J Neurophysiol.*, 73, pp. 2608-2611.
- Farah, M. J. (1989), "The neural basis of mental imagery", *Trends in Neuroscience*, 12, pp. 395-399.
- Farah, M.J. (2000), "The neural bases of mental imagery", in Gazzaniga M.S. (ed.), *The Cognitive Neurosciences*, second edition. Cambridge, MA: MIT Press.
- Filion, C.M., Washburn, D.A. e Gullledge, J.P. (1996), "Can monkeys (*Macaca mulatta*) represent invisible displacement?", *J. Comp. Psychol.*, 110, pp. 386-395.
- Fodor, J. (1992), "A theory of the child's theory of mind", *Cognition*, 44, pp. 283-296.
- Fodor, J. (1994), *The Elm and the Expert: mentalese and its Semantics*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Fox, P., Pardo, J., Petersen, S. e Raichle, M. (1987), "Supplementary motor and premotor responses to actual and imagined hand movements with Positron Emission Tomography", *Soc. Neurosci. Abstr.*, 13, pp. 14-33.
- Gallese, V. (2000a), "The acting subject: towards the neural basis of social cognition", in Metzinger, T. (ed.), *Neural Correlates of Consciousness. Empirical and Conceptual Questions*, Cambridge, MA. MIT Press, pp. 325-333.
- Gallese, V. (2000b), "The inner sense of action: agency and motor representations", *Journal of Consciousness Studies*, 7, 10, pp. 23-40.
- Gallese, V. (2001), "The "Shared Manifold" Hypothesis: from mirror neurons to empathy", *Journal of Consciousness Studies*, 8, 5-7, pp. 33-50.
- Gallese, V. (2003a), *A neuroscientific grasp of concepts: from control to representation*, London, Phil Trans. Royal Soc. (in stampa).
- Gallese V. (2003b), "'Being like me': Self-other identity, mirror neurons and empathy", in Hurley, S. e Chater, N. (eds.), *Perspectives on Imitation: From Cognitive Neuroscience to Social Science*, Boston, MA, MIT Press, in stampa.
- Gallese, V. e Goldman, A. (1998), "Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading", *Trends in Cognitive Sciences*, 12, pp. 493-501.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. e Rizzolatti, G. (1996), "Action recognition in the premotor cortex", *Brain*, 119, pp. 593-609.

- Gallese, V., Ferrari, P.F., Kohler, E. e Fogassi, L. (2002a), "The eyes, the hand, and the mind: behavioral and neurophysiological aspects of social cognition", in Bekoff, M., Allen, C. e Burghardt, G. (eds.), *The Cognitive Animal*, MIT Press.
- Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., e Rizzolatti, G. (2002b), "Action Representation and the inferior parietal lobule", in Prinz, W. e Hommel, B. (eds.), *Attention and Performance XIX*, Oxford, Oxford University Press, pp. 247-266.
- Gentilucci, M., Fogassi, L., Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R. e Rizzolatti, G. (1988), "Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: I. Somatotopy and the control of proximal movements", *Exp. Brain Res.*, 71, pp. 475-490.
- Goldman, A. (1989), "Interpretation psychologized", *Mind and Language*, 4, pp. 161-185.
- Goldman, A. (1992), "In defense of the simulation theory", *Mind and Language*, 7, pp. 104-119.
- Goldman, A. (1993a), "The psychology of folk psychology", *Behavioral Brain Sciences*, 16, pp. 15-28.
- Goldman, A. (1993b), *Philosophical Applications of Cognitive Science*, Boulder, Colo., Westview Press.
- Goldman, A. (2000), "The mentalizing folk", in Sperber, D. (ed.), *Metarepresentation*, London, Oxford University Press.
- Goldman, A. e Gallese, V. (2000), "Reply to Schulkin", *Trends in Cognitive Sciences*, 4, pp. 255-256.
- Gopnik, A., e Meltzoff, A.N. (1997), *Words, Thoughts, and Theories*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Gordon, R. (1986), "Folk psychology as simulation", *Mind and Language*, 1, pp. 158-171.
- Grafton S.T., Arbib, M.A., Fadiga, L. e Rizzolatti, G. (1996), "Localization of grasp representations in humans by PET: 2. Observation compared with imagination", *Exp. Brain Res.*, 112, pp. 103-111.
- Grafton ST, Fadiga L, Arbib M.A. e Rizzolatti G. (1997), "Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools", *Neuroimage*, 6, pp. 231-236.
- Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, S., Salenius, S. e Rizzolatti, G. (1998), "Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, pp. 15061-15065.
- Harris, P. (1989), *Children and Emotion*, Oxford, Blackwell Publishers.
- Hayes C.M. (1998), "Theory of mind in nonhuman primates", *Behavioral Brain Sciences*, 21, pp. 101-148.
- Hepp-Reymond, M.-C., Hüsler, E.J., Maier, M.A. e Qi, H.-X. (1994), "Force-related neuronal activity in two regions of the primate ventral premotor cortex", *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 72, pp. 571-579.
- Humphrey, N.K. (1976), "The social function of intellect" in: Bateson, P. e Hinde, R.A. (eds.), *Growing points in ethology*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 303-321.
- Humphrey, N. K. (1978), "Nature's Psychologists", *The New Scientist*, 29 June 1978.
- Humphrey, N. K. (1980), "Nature's Psychologists". In Josephson, B.D. e Ramachandran, V.S. (eds.) *Consciousness and the Physical World*, Oxford, Pergamon, pp. 57-75.
- Husserl, E. (1989), *Ideas Pertaining to a Pure Phenomenology and to a Phenomenological Philosophy, Second Book: Studies in the Phenomenology of Constitution.*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. (Citato come *Ideen II*).
- Hutchison, W.D. (1999), "Pain related neurons in the human cingulate cortex", *Nature Neuroscience*, 2, pp. 403-405.
- Iacoboni, M. (2003), "Imitazione: meccanismi neurali e cognitivi", *Sistemi Intelligenti*, in corso di stampa.

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

- Iacoboni, M., Woods R.P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C. e Rizzolatti, G. (1999), "Cortical mechanisms of human imitation", *Science*, 286, pp. 2526-2528.
- Iacoboni, M., Koski, L.M., Brass, M., Bekkering, H., Woods, R.P., Dubeau, M.C., Mazziotta, J.C. e Rizzolatti, G. (2001), "Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex", *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98, 24, pp. 13995-13999.
- Jeannerod, M. (1994), "The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery", *Behav. Brain Sci.*, 17, pp. 187-245.
- Jeannerod, M., Arbib, M.A., Rizzolatti, G. e Sakata, H. (1995), "Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation", *Trends in Neuroscience*, 18, pp. 314-320.
- Keysers, C., Kohler, E., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Rizzolatti, G. e Gallese, V. (2003), "Audio-visual mirror neurones and action recognition", *Exp. Brain Res.*, in corso di stampa.
- Kohler, E., Umiltà, M. A., Keysers, C., Gallese, V., Fogassi, L. e Rizzolatti G. (2001), "Auditory mirror neurons in the ventral premotor cortex of the monkey", *Soc. Neurosci. Abs.*, 27.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Gallese, V. e Rizzolatti, G. (2002), "Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons", *Science*, 297, pp. 846-848.
- Kosslyn, S. M. (1994), *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Kosslyn, S.M. e Thompson, W.L. (2000), "Shared mechanisms in visual imagery and visual perception: Insights from cognitive science", in Gazzaniga, M.S. (ed.), *The Cognitive Neurosciences*, second edition, Cambridge, MA, MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Ball, T. M. e Reiser, B. J. (1978), "Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning", *J. Exp. Psychol.: Human Percept. Perform.*, 4, pp. 47-60.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Maljkovic, V., Weise, S., Chabris, C., Hamilton, S. E., Rauch, S. L. e Buonanno, F. S. (1993), "Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations", *J. Cogn. Neurosci*, 5, pp. 263-287.
- Le Bihan, D., Turner, R., Zeffiro, T. A., Cuenod, C. A., Jezzard, P. e Bonnerot V. (1993), "Activation of human primary visual cortex during visual recall: A magnetic resonance imaging study", *Proc. Natl. Acad. Sci*, 90, pp. 11802-11805.
- Leslie, A.M. (1987), "Pretence and representation. The origins of "theory of mind"", *Psychol. Rev.* 94, pp. 412-426.
- Lipps, T. (1903), *Einfulung, innere nachahmung und organenempfindung*, Archiv. F. die Ges. Psy., vol I, part 2. Leipzig, W. Engelmann.
- Martin, A. e Chao, L.L. (2001), "Semantic memory and the brain: structure and processes", *Current Opinion in Neurobiology 2001*, 11, pp. 194-201.
- Martin, A., Ungerleider, L.G. e Haxby, J.V. (2000), "Category specificity and the brain: the sensory/motor model of semantic representations of objects", in Gazzaniga, M.S. (ed.), *The New Cognitive Neurosciences*, 2nd Edition, Cambridge, Ma, A Bradford Book, MIT Press, pp. 1023-1036.
- Matelli M., Luppino G. e Rizzolatti, G. (1985), "Patterns of cytochrome oxidase activity in the frontal agranular cortex of the macaque monkey", *Behavioral Brain Research*, 18, pp. 125-137.
- Matelli, M., Camarda, R., Glickstein, M. e Rizzolatti, G. (1986), "Afferent and efferent projections of the inferior area 6 in the Macaque Monkey", *J. Comp. Neurol.*, 251, pp. 281-298.

- Meltzoff, A. N. (2002), "Elements of a developmental theory of imitation", in: Prinz, W. e Meltzoff, A., (eds.), *The Imitative Mind: Development, Evolution and Brain Bases*, Cambridge University Press, (19-41).
- Meltzoff, A. N. e Borton, R.W. (1979), "Intermodal matching by human neonates", *Nature*, 282, pp. 403-404.
- Meltzoff, A. N. e Brooks, R. (2001), "'Like Me" as a building block for understanding other minds: Bodily acts, attention, and intention", in Malle, B. F., Moses, L. J. e Baldwin, D. A. (eds.), *Intentions and intentionality: Foundations of social cognition*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 171-191.
- Meltzoff, A. N. e Moore, M. K. (1977), "Imitation of facial and manual gestures by human neonates", *Science*, 198, pp. 75-78.
- Meltzoff, A. N. e Moore, M. K. (1994), "Imitation, memory, and the representation of persons", *Infant Behavior and Development*, 17, pp. 83-99.
- Meltzoff, A. N. e Moore, M. K. (1997), "Explaining facial imitation: a theoretical model", *Early Development and Parenting*, 6, pp. 179-192.
- Nishitani, N. e Hari, R. (2000), "Temporal dynamics of cortical representation for action", *Proceedings of National Academy of Sciences*, 97, pp. 913-918.
- Parsons, L., Fox, P., Downs, J., Glass, T., Hirsch, T., Martin, C., Jerabek, J. e Lancaster, J. (1995), "Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET", *Nature*, 375, pp. 54-58.
- Perani, D., Schnur, T., Tettamanti, M., Gorno-Tempini, M., Cappa, S.F. e Fazio, F. (1999), "Word and picture matching: a PET study of semantic category effects", *Neuropsychologia*, 37, pp. 293-306.
- Porro, C.A., Francescano, M.P., Cettolo, V., Diamone, M.E., Baraldi, P., Zuiani, C., Bazzocchi, M., e di Prampero, P.E. (1996), "Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery. A functional magnetic resonance study", *J Neurosci*, 16, pp. 7688-7698.
- Povinelli, D.J. e Eddy, T.J. (1996), "Chimpanzees: joint visual attention", *Psychol. Sci.*, 7, pp. 129-135.
- Povinelli, D.J., Bering, J.M. e Giambrone, S. (2000), "Toward a science of other minds: escaping the argument by analogy", *Cognitive Science*, 24, 3, pp. 509-541.
- Premack, D. e Woodruff, G. (1978), "Does the chimpanzee have a theory of mind?", *Behav. Brain Sci.*, 1, pp. 515-526.
- Prigman, G.W. (1995), "Freud and the history of empathy", *Int. J. Psycho-Anal.*, 76, pp. 237-252.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. e Gallese, V. (2000), "Cortical mechanisms subserving object grasping and action recognition: a new view on the cortical motor functions", in Gazzaniga, M.S. (ed.), *The Cognitive Neurosciences*, second edition, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 539-552.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. e Gallese, V. (2001), "Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action", *Nature Neuroscience Reviews*, 2, pp. 661-670.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. e Gallese, V. (2002), "Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex", *Curr. Op. Neurobiol.*, 12, pp. 149-154.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. e Fogassi, L. (1996a), "Premotor cortex and the recognition of motor actions", *Cog. Brain Res.*, 3, pp. 131-141.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D. e Fazio, G. (1996b), "Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution", *Exp. Brain Res.*, 111, pp. 246-252.
- Rizzolatti G., Camarda R., Fogassi M., Gentilucci M., Luppino G. e Matelli M. (1988), "Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: II. Area F5 and the control of distal movements", *Exp. Brain Res.*, 71, pp. 491-507.

La molteplice natura delle relazioni interpersonali

- Roland, P., Larsen, B., Lassen, N. e Skinhoj, E. (1980), "Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man", *J Neurophysiol.*, 43, pp. 118-136.
- Romano, G. (2002), *La Mente Mimetica: Riflessioni e Prospettive sulla Teoria della Simulazione Mentale*. PhD Thesis, Cognitive Sciences, University of Siena, Italy.
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C., Morand, S., Gemignani, A., Decorps, M. e Jeannerod, M. (1996), "Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study", *Neuroreport*, 7, pp. 1280-1284.
- Schnitzler, A., Salenius, S., Salmelin, R., Jousmaki, V. e Hari, R. (1997), "Involvement of primary motor cortex in motor imagery: a neuromagnetic study", *Neuroimage*, 6, 3, pp. 201-208.
- Stern, D.N. (1985), *The Interpersonal World of the Infant*, London, Karnac Books.
- Tomasello, M. e Call, J. (1997), *Primate Cognition*, Oxford Univ. Press, Oxford.
- Umiltà, M.A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C. e Rizzolatti, G. (2001), "'I know what you are doing': A neurophysiological study", *Neuron*, 32, pp. 91-101.
- Visalberghi E. e Fragaszy, D. (1990), "Do monkeys ape?", in Parker, S.T. e Gibson, K.R. (eds.), *"Language" and Intelligence in Monkeys and Apes*, Cambridge, MA, Cambridge University Press, pp. 247-273.
- Visalberghi E. e Fragaszy, D. (2001), "Do monkeys ape? Ten years after", in Dautenhahn, K. e Nehaniv, C. (eds.), *Imitation in animals and Artifacts*, Boston, MA, MIT Press, in corso di stampa.
- Whiten, A. e Custance, D. (1996), "Studies of imitation in chimpanzees and children", in: Hayes, C. M. e Galef, B. G. (eds.), *Social Learning in Animals: The Roots of Culture*, Academic Press.
- Whiten, A. e Byrne, R.W. (1997), *Machiavellian Intelligence 2: Evaluations and Extensions*, Cambridge University Press.
- Yue, G. e Cole, K. (1992), "Strenght increases from the motor program: Comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions", *J Neurophysiol*, 67, pp. 1114-1123.
- Zahavi, D. (2001), "Beyond empathy. Phenomenological approaches to intersubjectivity", *J. Consc. Studies*, 8, pp. 151-167.