

*DEDALUS 2006, in corso di stampa.*

## **La consonanza Intenzionale: Una prospettiva neurofisiologica sull'intersoggettività e sulle sue alterazioni nell'autismo infantile.**

**Vittorio Gallese**  
**Dipartimento di Neuroscienze**  
**Università di Parma**

### **Sinossi**

Una forma diretta di comprensione esperienziale degli altri, la "consonanza intenzionale", è realizzata modellando il comportamento altrui come relazione intenzionale. Questa conoscenza diretta dell'intenzionalità altrui è promossa dall'attivazione di sistemi neurali condivisi – i sistemi dei neuroni-specchio – il cui funzionamento è alla base sia di ciò che gli altri fanno o sentono che di ciò che noi facciamo e sentiamo. Il meccanismo che consente la modellazione del proprio e dell'altrui comportamento è la simulazione incarnata ("embodied simulation"). Nell'osservatore, in parallelo con la distaccata descrizione sensoriale oggettiva degli stimoli sociali esperiti, si attivano anche le rappresentazioni interne degli stati corporei associati alle azioni, emozioni, o sensazioni altrui. L'attivazione di queste rappresentazioni interne genera l'esperienza in prima persona di quelle stesse azioni, emozioni, o sensazioni. I sistemi dei neuroni-specchio sono il correlato neurofisiologico di questo meccanismo di simulazione. Attraverso uno stato neurale condiviso da due corpi estranei, l' "altro oggetto" diventa "un altro sé". Si propone che un'alterata consonanza intenzionale, causata da un deficit a più livelli dei meccanismi di simulazione promossi dai sistemi dei neuroni-specchio, sia all'origine di molti dei problemi sociali tipici degli individui affetti da autismo.

### **Introduzione**

Nelle specie dei primati la relazione tra la complessità sociale e l'intelligenza sociale (social cognition) è un fatto ben consolidato. Humphrey [1] originariamente suggerì che l'intelligenza dei primati sia evoluta primariamente per risolvere problemi sociali. Questa ipotesi è sostenuta da dati empirici. Molti studi hanno infatti rivelato la capacità unica dei primati non-umani di comprendere la qualità delle relazioni all'interno del proprio gruppo sociale, non solo in termini di ristretto gruppo familiare, ma anche in termini di coalizioni, amicizie ed alleanze. La capacità di vedere i comportamenti di membri della propria specie come determinati da uno scopo offre considerevoli benefici agli individui, poiché li mette in grado di predire le azioni altrui. Il vantaggio di una simile abilità cognitiva permetterebbe agli individui di influenzare e manipolare il comportamento di individui della propria specie (si veda l'ipotesi dell'Intelligenza Machiavellica [2]), o di realizzare meglio la cooperazione sociale all'interno di un gruppo.

Come indicato da Tomasello e Call [3], i primati possono categorizzare e comprendere le relazioni sociali di terzi. L'evoluzione di questo tratto cognitivo sembra essere riferita alla necessità di rapportarsi alle complessità sociali sorte quando gli individui di un gruppo dovevano competere per risorse scarse e distribuite disomogeneamente. Dunbar [4] ha avanzato l'ipotesi di una relazione tra la dimensione dei gruppi sociali dei primati e il grado di espansione della neocorteccia. L'aumento della complessità del gruppo sociale ha quindi verosimilmente esercitato una forte pressione sullo sviluppo di abilità cognitive sociali più sofisticate.

Il problema dell'intenzionalità nei primati fu sollevato quasi simultaneamente ed in modo indipendente da Humphrey [5, 6], e Premack e Woodruff [7]. L'ipotesi tradizionale nelle scienze cognitive sostiene che gli esseri umani sono capaci di comprendere il comportamento altrui in rapporto ai loro stati mentali sfruttando ciò che è designato comunemente come "Psicologia del Senso Comune" (Folk Psychology). La capacità di attribuire stati mentali –intenzioni, credenze e desideri – agli altri è stata definita teoria della mente (Tom, [7]). Gli attributi della "Psicologia del Senso Comune" sono stati così identificati fundamentalmente con la nozione di Teoria di Mente [8]. Una tendenza comune a proposito di questo problema è stata quella di enfatizzare che i primati non umani, scimmie incluse, non utilizzino il mentalismo per comprendere il comportamento degli altri [9, 10]. Secondo questa prospettiva, l'intelligenza sociale diviene quasi sinonimo di abilità di lettura della mente altrui (mind-reading).

La spiegazione dicotomica dell'intelligenza sociale dei primati basata su una acuta discontinuità evolutiva tra specie di lettori del comportamento (primati non-umani) e specie di lettori della mente (uomini) appare tuttavia semplicistica.

Come recentemente indicato da Barrett e Henzi [11, p. 1866], questo approccio tradizionale è "... fortemente orientato verso un particolare modello di intelligenza sociale che si concentra solamente su rappresentazioni mentali interne, mentre recenti studi nelle scienze cognitive e neurobiologiche sostengono un approccio più distribuito e incarnato."

Nel presente saggio propongo una prospettiva diversa. Propongo che l'intelligenza sociale non sia solo "meta-cognizione sociale", ovvero, pensare esplicitamente ai contenuti della mente altrui attraverso rappresentazioni astratte. Le relazioni interpersonali contengono anche una dimensione esperienziale che ci consente una comprensione diretta del senso delle azioni, delle emozioni e delle sensazioni altrui. Questa dimensione dell'intelligenza sociale è incarnata in modo tale da mediare tra la conoscenza esperienziale multimodale che noi traiamo dal nostro corpo vivo, e l'esperienza che facciamo degli altri.

Ho proposto che la nostra capacità di condividere esperienze con altri riposi sulla costituzione di uno spazio di significato interpersonale condiviso. Questo "sistema della molteplicità condivisa" (Shared manifold) [12-14] può essere caratterizzata al livello funzionale come simulazione incarnata [14], un meccanismo specifico attraverso il quale il nostro sistema cervello/corpo modella le sue interazioni col mondo. Propongo che la simulazione incarnata costituisca un meccanismo funzionale cruciale nell'intelligenza sociale, condizione necessaria per la capacità di empatizzare con gli altri (vedi anche[15]).

La distinzione sé/altri, a parer mio, non costituisce il problema più difficile, né da un punto di vista teorico, né da un punto di vista empirico. Il "problema cruciale" nell'intelligenza sociale è capire come l'abisso epistemico separante i singoli individui possa essere superato. L'atteggiamento solipsistico, ispirato dalla Psicologia del Senso Comune ed esplicitamente condiviso dall'approccio delle scienze cognitive classiche, lascia questo arduo problema insoluto. I risultati di recenti ricerche neuroscientifiche suggeriscono risposte alternative. Nel presente saggio discuterò questi risultati ed offrirò uno schema teorico per la loro interpretazione. Prima di continuare, voglio però discutere brevemente il problema dell'intelligenza sociale da un punto di vista ontogenetico, guardando cioè a come si sviluppa nel bambino.

### **L'ontogenesi dell'intelligenza sociale**

La nozione di "intelligenza sociale" suona pressoché come un pleonasma, dato il legame strettissimo che fin dai primi mesi di vita si stabilisce tra sviluppo cognitivo e dimensione sociale.

All' inizio della nostra vita, le relazioni interpersonali si stabiliscono ben prima della costituzione di una soggettività pienamente auto-cosciente. L'assenza di un soggetto pienamente autocosciente tuttavia non preclude la presenza di un primitivo "spazio noi-centrico". Il neonato condivide questo spazio con gli adulti con cui si relaziona, ed *in primis* con la madre. Poche ore dopo la nascita, i neonati mostrano segni di imitazione facciale [16]. Inoltre, ricerche empiriche hanno mostrato che madri e neonati stabiliscono sistematicamente attività mutuamente coordinate durante le quali i loro movimenti, le loro espressioni facciali, e la loro intonazione vocale si sincronizzano [17]. Dai 4 mesi in poi, madre e figlio mostrano comportamenti proto-dialogici nei quali programmano il loro comportamento in maniera coordinata e bi-direzionale [18]. Approssimativamente alla stessa età, i neonati divengono sensibili alle contingenze sociali [19]. Secondo Daniel Stern [20], queste prove suggeriscono che tali comportamenti proto-dialogici permettono a madre e figlio di stabilire una consonanza affettiva attraverso la quale possono essere condivisi stati affettivi interni.

Secondo la mia ipotesi, lo spazio comune noi-centrico sostiene e promuove lo sviluppo cognitivo ed affettivo dell'individuo perché offre un potente strumento per scoprire ed incorporare coesione, regolarità, e prevedibilità nel corso delle interazioni con l'ambiente sociale. Lo spazio noi-centrico è successivamente affiancato dallo sviluppo di spazi prospettici egocentrici definiti dallo stabilirsi della capacità di distinguere se stessi dagli altri, culminanti con lo sviluppo pieno dell'auto-controllo sensori-motorio. All'interno di ognuno di questi spazi prospettici di recente acquisizione le informazioni possono essere veicolate in canali sensoriali distinti (visuale, somatosensoriale, acustico ecc.) rendendo la percezione del mondo più raffinata. Lo sviluppo concomitante del linguaggio probabilmente contribuisce all'ulteriore enucleazione dall'originale mondo percettivo multimodale di singole e specifiche modalità esperienziali. Tuttavia, la matura facoltà di delimitare diverse e molteplici modalità di interazione col mondo esterno non cancella la dimensione originariamente condivisa e noi-centrica, ed è un bene che ciò non avvenga.

L'affermazione di una prospettiva egocentrica è infatti affiancata dalla creazione di un divario epistemico tra il sé e gli altri. L'abisso che disgiunge il sé dal non-sé pone una sfida per ogni ipotesi che cerchi di spiegare intersoggettività e intelligenza sociale. Secondo la mia ipotesi, lo spazio noi-centrico intersoggettivo fornisce all'individuo uno strumento potente per aiutarlo a superare tale divario epistemico. Se la mia ipotesi è corretta, l'identità sociale, lo statuto di "altro sé" che noi prontamente attribuiamo agli altri, il sentimento interno di "essere-come-te" evocato in ogni nostro incontro con gli altri, sono il risultato di meccanismi che garantiscono il preservarsi di quell'originale spazio condiviso noi-centrico.

A prima vista il sostenere che lo sviluppo della dimensione intersoggettiva sia plasmato e condizionato da una serie di condizioni fisiche e biologiche condivise suona quasi banale. Meno banale secondo me è il fatto che il carattere relazionale comune ad ogni forma di intersoggettività sia sostenuto, al livello del cervello, da reti neurali condivise – i sistemi dei neuroni-specchio – che comprimono le specificazioni "chi ha fatto cosa", "chi è cosa" in un contenuto informazionale più "leggero". Questo contenuto specifica che tipo di interazione o stato sia in atto. Nelle prossime sezioni verrà offerta una concisa veduta d'insieme dei risultati delle ricerche che hanno svelato l'esistenza dei sistemi dei neuroni-specchio.

### **Il sistema dei neuroni-specchio per le azioni in scimmia ed uomo: evidenze empiriche**

Approssimativamente dieci anni fa una nuova classe di neuroni pre-motori fu scoperta dal nostro gruppo di ricerca al Dipartimento di Neuroscienze dell'Università di Parma nell'area F5 della corteccia premotoria ventrale del macaco. Questi neuroni si attivano non solo quando la scimmia esegue azioni manuali legate ad uno scopo come afferrare oggetti, ma anche quando osserva altri individui (scimmie o uomini) che eseguono azioni simili. Questi neuroni sono chiamati neuroni-specchio [21, 22]. Neuroni con proprietà simili furono scoperti più tardi in un settore della corteccia parietale posteriore connessa reciprocamente con l'area F5 [23-25].

L'osservazione di alcune azioni causa nell'osservatore l'attivazione automatica dello stesso meccanismo neurale attivato dall'esecuzione delle stesse azioni. E' stato proposto che questo meccanismo possa essere alla base di una forma diretta di comprensione dell'azione [21, 24 26].

Ulteriori studi portati avanti dal nostro gruppo hanno avvalorato ed esteso l'ipotesi originale. In un lavoro di Umiltà et al. [28] è stato mostrato che i neuroni-specchio dell'area F5 vengono attivati anche quando la parte critica finale dell'azione osservata, ovvero l'interazione mano-oggetto, è nascosta. In un secondo studio, Kohler et al. [29] mostrarono che una particolare classe di neuroni-specchio F5, i "neuroni-specchio audio-visivi", non solo sono attivati dall'esecuzione ed osservazione delle azioni, ma anche dal suono da esse prodotto.

Più recentemente, è stata esplorata la parte più laterale dell'area F5 dove è stata scoperta una popolazione di neuroni-specchio attivati dall'esecuzione/osservazione di azioni della bocca [30]. La maggioranza di questi neuroni si attiva quando la scimmia esegue ed osserva azioni transitive, azioni cioè ingestive legate ad un oggetto, come afferrare un oggetto con la bocca, mordere o leccare. Una piccola percentuale di neuroni-specchio legati alla bocca si attiva però anche durante l'osservazione di azioni facciali intransitive e comunicative compiute dallo sperimentatore di fronte alla scimmia ("neuroni-specchio comunicativi" [30]). Ciò sembra suggerire che i neuroni-specchio possano anche essere alla base di alcuni aspetti della comunicazione facciale sociale delle scimmie.

Molti studi utilizzando differenti metodologie e tecniche sperimentali hanno dimostrato l'esistenza nel cervello umano di un sistema di neuroni-specchio che mappa la percezione ed esecuzione di azioni. Durante l'osservazione dell'azione c'è un'attivazione di aree pre-motorie e parietali, probabilmente l'omologo umano delle aree della scimmia nelle quali i neuroni-specchio furono descritti originariamente [24, 26, 27]. Inoltre il sistema dei neuroni-specchio per le azioni nell'uomo è organizzato in maniera somatotopica, con distinte regioni corticali all'interno della corteccia premotoria e parietale posteriore che sono attivate dall'osservazione/esecuzione di azioni legate rispettivamente alla bocca, alla mano, e al piede [31].

Il coinvolgimento del sistema motorio durante l'osservazione di azioni comunicative della bocca nell'uomo è testimoniato dai risultati di recenti studi di risonanza magnetica funzionale (fMRI) e di stimolazione magnetica transcranica (TMS) [32, 33]. L'osservazione di azioni comunicative della bocca, o relative al discorso, determina l'eccitazione del sistema motorio coinvolto nella produzione delle stesse azioni.

Un recente studio di Buxbaum et al. [34] condotto su pazienti con aprassia ideo-motoria in seguito a lesioni cerebrali nel lobo parietale posteriore ha mostrato che questi pazienti associavano ad un'incapacità di imitare gesti transitivi l'incapacità di riconoscere azioni manuali finalizzate al conseguimento di uno scopo, quando eseguite da altri. Come indicato dagli autori di questo studio, questi risultati rinforzano ancora di più la nozione che le stesse rappresentazioni motorie dell'azione siano a fondamento non solo della produzione ma anche della sua comprensione. In altre parole, la simulazione incarnata presiede al controllo esecutivo delle azioni ed anche alla loro comprensione. Nella prossima sezione presenterò nuovi risultati empirici che suggeriscono che la simulazione incarnata può avere un ruolo anche in abilità cognitive sociali più complesse.

### **Neuroni-specchio e la comprensione delle intenzioni**

Le scimmie possono sfruttare il sistema dei neuroni-specchio per ottimizzare le loro interazioni sociali. Come abbiamo visto nella sezione precedente, neuroni-specchio audio-visivi possono essere attivati non solo dall'esecuzione e dalla osservazione di azioni, ma anche dal suono prodotto dalla stessa azione [29]. Questo meccanismo di rispecchiamento può sostenere la facilitazione sociale nelle scimmie. È stato mostrato infatti recentemente che l'osservazione e la percezione acustica di azioni rumorose legate all'alimentazione facilita l'alimentazione nel macaco (*Macaca nemestrina*) [35].

Un altro studio pubblicato recentemente ha mostrato che i macachi riconoscono quando vengono imitati da uno sperimentatore umano [36]. I macachi guardano infatti preferenzialmente uno sperimentatore che imita le loro azioni dirette verso un oggetto piuttosto che uno sperimentatore che contemporaneamente manipola un oggetto identico ma che non sta imitando le loro azioni. Siccome entrambi gli sperimentatori agiscono in sincronia, le scimmie hanno basato questa preferenza non su una contingenza temporale, ma hanno preso in considerazione le componenti strutturali delle azioni degli sperimentatori.

Può essere bene il caso, come è stato sostenuto ripetutamente, che le scimmie non siano capaci di imitazione motoria - sebbene recenti prove mostrino che sono capaci di imitazione cognitiva [37].

Ciononostante lo studio di Paukner et al. [36] mostra che i macachi hanno la capacità di discriminare tra azioni finalizzate osservate molto simili sulla base del loro grado di somiglianza con le azioni che i macachi stessi hanno appena eseguito. Questa capacità sembra essere cognitivamente piuttosto sofisticata, in quanto implica un certo grado di metacognizione relativo al dominio delle azioni finalizzate.

Ritengo possibile che le scimmie posseggano una forma rudimentale di "attitudine teleologica" (teleological stance), precursore probabile di una più matura attitudine intenzionale (intentional stance). Questa ipotesi estende al dominio filogenetico lo scenario ontogenetico proposto per i neonati umani [38]. Nuovi esperimenti sono stati progettati nel mio laboratorio per verificare questa ipotesi. Certamente le scimmie non utilizzano una mentalizzazione esplicita. Quindi, cosa le rende diversi gli uomini? Il linguaggio ha certamente un ruolo chiave. Tuttavia, attualmente possiamo fare solamente ipotesi sui meccanismi neurali alla base delle abilità di mentalizzazione umane, ancora poco compresi da un punto di vista funzionale. In particolare non abbiamo un modello neuroscientifico chiaro di come gli uomini possono capire le intenzioni che promuovono le azioni altrui da loro osservate.

Quando un individuo inizia un movimento allo scopo di conseguire uno scopo, come raccogliere una penna, ha chiaro in mente quel che sta per fare con l'oggetto, per esempio scrivere una nota su un pezzo di carta. In questa semplice sequenza di atti motori lo scopo finale dell'intera azione è presente nella mente dell'agente ed è riflesso in qualche modo in ogni atto motorio della sequenza. La specificazione di una data intenzione alla base di un'azione, perciò, precede l'inizio dei movimenti. Questo però significa che quando stiamo per eseguire una determinata azione noi possiamo predirne anche le conseguenze. Ma una determinata azione può essere indubbiamente originata da intenzioni molto diverse. Supponiamo che qualcuno veda qualcun'altro afferrare una tazza. I neuroni-specchio per l'azione di afferramento verranno probabilmente attivati nel cervello dell'osservatore. Il collegamento diretto tra l'azione osservata e la sua rappresentazione motoria nel cervello dell'osservatore, in ogni modo, può dirci solamente cosa è l'azione (afferrare) e non perché accade l'azione, cioè quale sia l'intenzione che ha indotto l'agente ad afferrare la tazza. Ciò ha indotto taluni a sollevare obiezioni circa la rilevanza dei neuroni-specchio nell'intelligenza sociale e, in particolare, nella determinazione delle intenzioni degli altri [39].

Ma cos'è un'intenzione d'azione? Determinare perché un'azione A (afferrare la tazza) sia stata eseguita, cioè, determinare la sua intenzione, può essere equivalente a scoprire lo scopo dell'azione susseguente ancora non eseguita, (ad esempio, bere dalla tazza). In uno studio fMRI recentemente pubblicato [40], abbiamo tentato di affrontare sperimentalmente questi problemi. I soggetti in questo studio hanno osservato tre generi di sequenze filmate che illustravano: azioni manuali di afferramento di una tazza senza un contesto, solo contesto (due scene contenenti oggetti disposti su di un tavolo che suggeriscono il contesto di una colazione da cominciare o già ultimata), e azioni manuali di afferramento della stessa tazza all'interno dei due diversi contesti. Nell'ultima condizione il contesto suggeriva quale diversa intenzione potesse essere associata all'azione di afferramento della tazza (rispettivamente, per bere o per sprecchiare la tavola). L'osservazione delle azioni all'interno del proprio contesto rispetto alle altre due condizioni, ha determinato un significativo incremento dell'attività della parte posteriore del giro frontale inferiore e del settore adiacente della corteccia premotoria ventrale dove sono rappresentate le azioni manuali. Da ciò risulta che le aree premotorie dotate di proprietà caratteristiche dei neuroni-specchio - aree cioè che si attivano sia durante l'esecuzione che l'osservazione di un'azione - che prima si ritenevano coinvolte solamente nel riconoscimento di azioni - sono coinvolte anche nella comprensione del "perché" dell'azione, cioè dell'intenzione che l'ha promossa.

Un altro risultato interessante di questo studio è che essere o non essere istruito esplicitamente per determinare l'intenzione delle azioni osservate di altri non fa differenza in termini dell'attivazione delle aree-specchio premotorie. Questo vuole dire che - almeno per semplici azioni come quelle oggetto di questo studio - l'attribuzione di intenzioni si verifica automaticamente ed è messa in moto dall'attivazione obbligatoria di un meccanismo di simulazione incarnato.

Il meccanismo neurofisiologico alla base della relazione tra predizione dello scopo di un'azione ed attribuzione d'intenzioni è stato recentemente svelato. Fogassi et al. [25] hanno descritto nella scimmia una classe di neuroni-specchio parietali la cui scarica durante l'osservazione di un atto motorio (afferrare un oggetto), è condizionato dal tipo di atti motori susseguenti non ancora osservati (per esempio, portare l'oggetto alla bocca), specificando così l'intenzione distale dell'azione complessiva. Questo studio mostra che il lobo parietale inferiore della scimmia contiene neuroni-specchio che si attivano in associazione con gli atti motori della scimmia (afferrare) solamente quando questi sono parte di una specifica azione tesa a conseguire uno scopo distale diverso (portare l'oggetto alla bocca o introdurlo in un contenitore). Un dato neurone cioè si attiva quando la scimmia afferra un oggetto solamente se l'azione di afferrare ha lo scopo di portare l'oggetto alla bocca e non se è mirata a metterlo in una tazza, o viceversa. Sembra perciò che questi neuroni programmino uno stesso atto motorio in modo differente a seconda dello scopo distale dell'azione globale in cui tale atto motorio è inserito. I singoli atti motori sono legati gli uni gli altri in quanto occupano stadi diversi all'interno dell'azione globale di cui fanno parte, costituendo così catene intenzionali predeterminate nelle quali ogni atto motorio seguente è facilitato da quelli precedentemente eseguiti.

La risposta visiva di molti di questi neuroni-specchio parietali è simile alla loro risposta motoria. Infatti si attivano differenzialmente a seconda che l'atto di afferramento dell'oggetto da parte dello sperimentatore osservato dalla scimmia sia seguito dal portare l'oggetto afferrato alla bocca o all'interno di una tazza. Deve essere sottolineato che i neuroni si attivano prima che la scimmia osservi lo sperimentatore avviare il secondo atto motorio (portare l'oggetto alla bocca o metterlo nella tazza). Questa nuova proprietà dei neuroni-specchio parietali suggerisce che oltre a riconoscere lo scopo dell'atto motorio osservato, questi neuroni sono in grado di discriminare atti motori identici a seconda dell'azione globale in cui sono collocati. Perciò questi neuroni non solo codificano l'atto motorio osservato, ma sembrano anche permettere alla scimmia che osserva di predire il successivo atto motorio dell'agente, e quindi la sua intenzione complessiva. È possibile interpretare questo meccanismo come il correlato neurale dei primi segni di quelle sofisticate abilità di mentalizzazione che caratterizzano la nostra specie.

Il meccanismo di comprensione dell'intenzione appena descritto sembra essere piuttosto semplice: a seconda di quale catena motoria è stata attivata, l'osservatore attiverà lo schema motorio di ciò che, probabilmente, l'agente farà. Come può essersi formato tale meccanismo? Attualmente possiamo fare solo delle ipotesi al riguardo. Può essere ipotizzato che l'individuazione statistica di quali atti motori seguano più frequentemente altri atti motori, nel modo in cui sono abitualmente compiuti od osservati nell'ambiente sociale, può creare percorsi preferenziali che collegano insieme schemi motori diversi. A livello neurale ciò può essere compiuto dalla concatenazione di popolazioni diverse di neuroni-specchio che non solo programmano l'atto motorio osservato, ma anche quelli che normalmente seguirebbero in un determinato contesto.

Attribuire semplici intenzioni consisterebbe perciò nel predire lo scopo di un incipiente nuovo atto motorio. Secondo questa prospettiva, la predizione di azioni e l'attribuzione di intenzioni sarebbero fenomeni collegati, sostenuti dallo stesso meccanismo funzionale, la simulazione incarnata. In contrasto con quanto affermato dalla scienza cognitiva classica, la predizione di un'azione e l'attribuzione di intenzioni - almeno di semplici intenzioni - non sembrano appartenere a domini cognitivi diversi, ma entrambi concernono meccanismi di simulazione incarnata sostenuti dall'attivazione di catene logicamente collegate di neuroni-specchio [25, 40].

Se questo è vero, ne consegue che un'importante differenza tra uomini e scimmie potrebbe essere il livello più alto di ricorsività raggiunto nella nostra specie dal sistema dei neuroni-specchio per le azioni. Una simile proposta è stata recentemente avanzata a proposito della facoltà linguistica, contrapponendo la nostra specie, capace di dominare gerarchicamente le complesse "grammatiche di struttura di frase" (phrase structure grammars), con le altre specie di primati non-umani, confinate all'uso di assai più semplici "grammatiche di stato limitate" (finite state grammars) [41, 42]. Una differenza quantitativa computazionale ed in termini di ricorsività potrebbe produrre un salto qualitativo nell'intelligenza sociale.

### **Il rispecchiamento di emozioni e sensazioni**

Come già suggerito da Charles Darwin [43], l'attività coordinata dei sistemi neurali sensori-motorio ed affettivo dà luogo alla semplificazione e all'automatizzazione delle risposte comportamentali che gli organismi viventi producono per sopravvivere. Le emozioni costituiscono una delle prime modalità disponibili all'individuo per acquisire conoscenza sulla sua situazione, abilitando così una riorganizzazione di questa conoscenza sulla base delle relazioni da lui intrattenute con gli altri. L'integrità del sistema sensori-motorio sembra davvero essere critica per il riconoscimento delle emozioni mostrate da altri [44], perché il sistema sensori-motorio consente la ricostruzione di ciò che si proverebbe in una particolare emozione, attraverso la simulazione dello stato corporeo relativo. L'implicazione di questo processo per l'empatia dovrebbe essere ovvia.

In uno studio fMRI recentemente pubblicato abbiamo mostrato che sia provare soggettivamente disgusto che essere testimoni della stessa emozione espressa dalla mimica facciale di qualcun altro attivano lo stesso settore della stessa struttura cerebrale nel lobo frontale- l'insula anteriore - [45]. Quando osserviamo l'espressione facciale di qualcun altro, e questa percezione ci conduce ad identificare nell'altro un particolare stato affettivo, l'emozione dell'altra persona è costruita, esperita e perciò compresa direttamente attraverso una simulazione incarnata che produce uno stato corporeo condiviso dall'osservatore. Questo stato corporeo comprende l'attivazione di meccanismi visceromotori neurovegetativi, come nel caso del nostro studio fMRI, o dei muscoli facciali coinvolti nell'espressione dell'emozione osservata. È quindi l'attivazione di un meccanismo neurale condiviso dall'osservatore e dall'osservato che permette una comprensione esperienziale diretta. Un simile meccanismo basato sulla simulazione è stato proposto da Goldman e Sripada [46] come "risonanza non mediata".

Esaminiamo adesso le sensazioni somatiche come oggetto delle nostre percezioni sociali. Come enfatizzato ripetutamente dalla fenomenologia, il tatto ha uno status privilegiato nel rendere possibile l'attribuzione sociale ad altri di una personalità vissuta. "Teniamoci in contatto" è una frase comune nel linguaggio di ogni giorno che metaforicamente descrive l'auspicio di avere un rapporto, restare in qualche modo legati a

qualcun'altro. Tali esempi mostrano come la dimensione tattile sia intimamente connessa alla dimensione dell'intersoggettività.

Come previsto dall'ipotesi della molteplicità condivisa (*shared manifold hypothesis*) [12-14], l'evidenza empirica suggerisce che l'osservazione delle sensazioni tattili altrui attiva gli stessi circuiti nervosi eccitati durante l'esperienza in prima persona di essere toccato sul proprio corpo [47, 48]. Questo doppio modalità di attivazione delle stesse regioni somatosensoriali del cervello suggerisce che la nostra capacità di esperire o comprendere direttamente l'esperienza tattile di altri è mediata da una simulazione incarnata, cioè, dall'attivazione degli stessi circuiti nervosi che mediano le nostre sensazioni tattili. Il recentissimo studio di Blakemore et al. [48] mostra che il grado d'attivazione delle stesse aree somatosensoriali attivate sia durante l'esperienza tattile soggettiva sia durante la sua osservazione in altri, potrebbe essere un importante meccanismo che permette al soggetto di distinguere *chi* viene toccato. Infatti, questo studio mostra che la differenza tra empatizzare con la sensazione tattile di qualcun'altro, e sentire davvero sul proprio corpo la stessa sensazione (ciò che prova un soggetto sinestesico) è solamente il portato di una diversa intensità dell'attivazione delle stesse aree condivise del cervello. Questi dati dimostrano come il problema di distinguere chi è chi (persona toccata od osservatore) non costituisce un problema per la mia ipotesi.

Propongo che un simile meccanismo di simulazione incarnata sia alla base della nostra capacità di comprendere il contenuto esperienziale delle sensazioni dolorose degli altri. Esperimenti di registrazione di singoli neuroni eseguiti su pazienti neurochirurgici [49], ed esperimenti fMRI [50-53] e TMS [54] eseguiti su soggetti sani, mostrano tutti che le stesse strutture cerebrali sono attivate sia durante l'esperienza soggettiva del dolore che l'osservazione diretta, o la conoscenza simbolicamente mediata che qualcun'altro sta patendo la stessa sensazione dolorosa.

Si deve sottolineare che i risultati degli studi fMRI [50-53] e TMS [54] mostrano che la sovrapposizione dell'attivazione nelle condizioni di esperienza sensoriale di sé e degli altri può variare in base al tipo di compito. Quando ai soggetti viene infatti richiesto di guardare semplicemente la stimolazione dolorosa di una parte del corpo di qualche estraneo [54], l'osservatore estrae le qualità sensoriali di base del dolore sperimentate dall'altro, attivando regioni corrispondenti del proprio sistema sensori-motorio. Tuttavia, quando ai soggetti viene richiesto di *immaginare* il dolore sofferto dal proprio partner che non vedono direttamente [50], solamente le aree del cervello che influenzano la qualità affettiva del dolore (la corteccia cingolata anteriore e l'insula anteriore) sono attive. In particolare, la corteccia cingolata anteriore (ACC) sembra influenzare la dimensione affettiva del processo del dolore e gli aspetti motivazionali di selezione della risposta. Quindi, nel contesto della percezione del dolore, l'ACC potrebbe avere un ruolo nel collegare le azioni con le loro conseguenze, permettendo di prevedere ed evitare gli stimoli potenzialmente nocivi (si veda [50]). Come è stato convincentemente sostenuto [55], si può concludere che il particolare atteggiamento mentale degli individui può essere la variabile fondamentale nel determinare il grado e la qualità dell'attivazione dei circuiti neurali condivisi nel momento dell'esperienza di sensazioni altrui, come nel caso del dolore.

### **Consonanza intenzionale, Simulazione Incarnata ed Empatia**

Un meccanismo funzionale deve fare da mediatore tra la conoscenza esperienziale multimodale che possediamo del nostro corpo vivo, e l'esperienza che facciamo degli altri. Tale conoscenza esperienziale relativa al corpo consente una comprensione diretta del senso delle azioni compiute da altri, e delle emozioni e sensazioni da questi provate.

Mentre assistiamo al comportamento intenzionale degli altri, noi esperiamo uno specifico stato fenomenico di "consonanza intenzionale". Questo stato fenomenico genera una qualità particolare di familiarità con gli altri individui, prodotta dal collassamento delle intenzioni altrui in quelle dell'osservatore. Ciò costituisce un'importante componente di cosa significa empatizzare con gli altri (per una recente definizione simile di empatia, si veda [15]).

Chiaramente, l'identità sé-altri non esaurisce tutto ciò che c'è nell'empatia. L'empatia, a differenza del contagio emotivo, comporta la capacità di esperire ciò che gli altri provano, ed essere al contempo capaci di attribuire queste esperienze agli altri e non a se stessi. La qualità della nostra esperienza viva del mondo esterno ed il suo contenuto sono limitate dalla presenza di altri soggetti che sono intelligibili, pur preservando il loro carattere di alterità. Questa alterità è d'altra parte evidente anche a livello sub-personale, essendo sostanziata dai diversi circuiti nervosi che entrano in gioco, e/o dal loro diverso grado di attivazione, quando agisco rispetto a quando gli altri agiscono, o quando provo un'emozione o una sensazione rispetto a quando sono gli altri a farlo.

La simulazione incarnata costituisce un meccanismo funzionale cruciale nell'intelligenza sociale, e può essere caratterizzata neurobiologicamente. I diversi sistemi di neuroni-specchio rappresentano i suoi correlati sub-personali. Grazie alla simulazione incarnata non vediamo solo un'azione, un'emozione, o una sensazione. In parallelo alla descrizione sensoriale degli stimoli sociali osservati, nell'osservatore vengono generate delle rappresentazioni interne degli stati corporei associati a quelle stesse azioni, emozioni e sensazioni, "come se" stesse compiendo un'azione simile o provando una simile emozione o sensazione.

Ogni relazione intenzionale può essere vista come una relazione tra un soggetto e un oggetto. I sistemi di neuroni-specchio descritti in questo saggio stabiliscono una corrispondenza tra le diverse relazioni intenzionali in modo neutro rispetto alla specifica qualità o identità del parametro dell'agente/soggetto. Attraverso uno stato funzionale condiviso da due corpi diversi che tuttavia ubbidiscono alle stesse regole funzionali, l' "altro oggettuale" diventa "un altro se stesso".

La simulazione incarnata non è probabilmente l'unico meccanismo funzionale alla base dell'intelligenza sociale. Il significato degli stimoli sociali può essere decodificato anche sulla base dell'elaborazione cognitiva esplicita delle loro caratteristiche percettive contestuali, sfruttando una conoscenza già acquisita su aspetti rilevanti della situazione da analizzare. La nostra capacità di attribuire false credenze agli altri, le nostre più sofisticate abilità metacognitive, probabilmente comportano l'attivazione di vaste regioni del nostro cervello, certamente più grandi di un ipotetico e dominio-specifico Modulo della Teoria della Mente. Questi settori cerebrali certamente includono il sistema sensori-motorio. E' stato infatti osservato che aree cerebrali come la regione del solco temporale superiore (STS) e la corteccia paracingolata, notoriamente attive durante compiti di attribuzione di stati mentali agli altri, si attivano anche in un semplice compito di predizione di un'azione [56].

Dobbiamo inoltre sottolineare come l'utilizzo nel corso delle nostre quotidiane relazioni interpersonali degli atteggiamenti proposizionali tipici della Psicologia del Senso Comune, quali desideri e credenze, è probabilmente sopravvalutato [57]. Come enfatizzato da Bruner [58, p. 40], "Quando le cose sono come dovrebbero essere, i resoconti della Psicologia del Senso Comune sono inutili". Inoltre recenti prove mostrano che neonati di 15 mesi riconoscono le false credenze [59]. Questi risultati sembrano suggerire che gli aspetti tipici dell' attribuzione di stati mentali agli altri, come l'attribuzione di false credenze, può essere spiegato sulla base di meccanismi di basso livello che si sviluppano pienamente prima di una competenza linguistica matura.

L'idea proposta da Gergely e Csibra [38] che l'atteggiamento intenzionale possa essere preceduto da un "atteggiamento teleologico" sviluppato molto prima, è coerente con questa teoria. Si può tuttavia aggiungere che è possibile avanzare interpretazioni non-mentalistiche del cosiddetto "atteggiamento teleologico" mostrato dai neonati. Questo potrebbe infatti più semplicemente dipendere da meccanismi quali l'attenzione, la causalità fisica, la rilevanza degli stimoli, e così via. Ciò potrebbe così corroborare l'idea che l'uso di atteggiamenti proposizionali nel corso delle nostre quotidiane relazioni intersoggettive sia molto meno frequente di quanto presunto dalla scienza cognitiva classica. Un obiettivo per la ricerca futura sarà determinare come la simulazione incarnata, che è basata sull'esperienza ed è probabilmente il meccanismo più antico da un punto di vista evolutivo, possa essere il fondamento di forme più sofisticate e linguisticamente-mediate della nostra capacità di interpretare il comportamento altrui in termini di stati mentali.

Una possibilità è che i meccanismi di simulazione incarnata siano cruciali nel corso del lungo processo di apprendimento richiesto per divenire completamente competenti nell'uso degli atteggiamenti proposizionali, come durante l'esposizione ripetitiva dei bambini alla narrazione di storie (per un ruolo ipotetico delle pratiche narrative nello sviluppo di un uso competente della Psicologia del Senso Comune, si veda [57]). Va comunque detto che la simulazione incarnata è certamente in atto durante i processi di elaborazione del linguaggio [14, 24 60].

Se la consonanza intenzionale ha davvero un ruolo cruciale nell'intersoggettività, ci si dovrebbe aspettare che il suo malfunzionamento possa provocare problemi a vari livelli nell'intelligenza sociale. Nella prossima sezione esplorerò la possibilità di applicare l'ipotesi della consonanza intenzionale nell'interpretazione di aspetti patologici dell'intelligenza sociale, come quelli esemplificati dal Disturbo dello Spettro Autistico (ASD).

### **Implicazioni Psicopatologiche della consonanza intenzionale: Il Disturbo dello Spettro Autistico come un malfunzionamento della simulazione incarnata.**

Il Disturbo dello Spettro Autistico (ASD) è un grave e cronico disturbo dello sviluppo, caratterizzato da deficit sociali e comunicativi e da un interesse ridotto per l'ambiente, verso il quale vengono prese iniziative limitate e spesso stereotipate [61]. Essere un bambino autistico vuole dire, con gradi variabili di gravità, essere incapace di stabilire comunicazioni sociali e legami significativi con gli altri, di stabilire un contatto visuale col mondo degli altri, di condividere l'attenzione con gli altri; essere incapaci di imitare il comportamento degli altri o comprenderne le intenzioni, emozioni e sensazioni.

Concentriamoci brevemente su alcuni dei primi sintomi. Verso la fine del primo anno di vita, i bambini autistici sperimentano difficoltà o anche l'impossibilità di orientarsi sulla base di indicazioni provviste da altri. Sono incapaci di condividere l'attenzione con altri e sono incapaci di reagire in maniera adeguata alle emozioni altrui. Hanno grandi difficoltà anche nel riconoscere visi umani o nell'esibire comportamenti imitativi. Tutte queste prime manifestazioni di autismo hanno una radice comune: le abilità cognitive richieste per stabilire legami significativi con gli altri sono assenti o gravemente danneggiate.

La mia ipotesi è che questi deficit, come quelli osservati nella correlata Sindrome di Asperger, debbano essere attribuiti ad un deficit o malfunzionamento della "consonanza intenzionale", a causa di un malfunzionamento dei meccanismi della simulazione incarnata, a sua volta prodotto da una disfunzione dei sistemi dei neuroni-specchio. Se è vero - come sostenuto in tutto il saggio - che alla base della nostra competenza sociale sta in primis la capacità di costituire un implicito e direttamente condiviso spazio noi-centrico, che ci permette di stabilire un collegamento con le molteplici relazioni intenzionali istanziate dagli altri, ne segue che una disgregazione di questa molteplicità condivisa e la conseguente incapacità di sviluppare una piena e comprensiva consonanza intenzionale con gli altri, potrebbero costituire il nocciolo dei problemi della mente autistica.

La mancanza di una consonanza intenzionale matura produrrà vari e differenziati deficit cognitivi ed esecutivi, tutti accomunati dalla stessa origine funzionale: una mancanza o malfunzionamento dei programmi di simulazione incarnata, probabilmente causati da danni alla connessione e/o al funzionamento dei sistemi dei neuroni-specchio. Se la mia ipotesi è corretta, il deficit di consonanza intenzionale postulato dovrebbe manifestarsi a vari livelli dell'intelligenza sociale. Una serie di dati sperimentali sembrano confermarlo.

Un recente studio concentratosi sugli aggiustamenti posturali dei bambini autistici ha mostrato che, a differenza degli individui sani, essi usano strategie motorie che contano fondamentalmente sulle informazioni a feed-back, piuttosto che su modi di controllo anticipatorio o a feed-forward. Tale disturbo delle strategie di controllo esecutive impedisce ai bambini autistici di adottare rettifiche anticipate dell'atteggiamento posturale [62]. Data la caratterizzazione funzionale della simulazione incarnata come meccanismo anticipatorio, è difficile non interpretare questi dati come evidenza di un deficit di simulazione. Naturalmente questi deficit non sono intrinsecamente sociali, ma potrebbero comunque scaturire da un deficit di simulazione all'interno del dominio del controllo motorio esecutivo.

Due recenti studi che fanno uso di tecniche diverse come l'elettroencefalogramma (EEG) [63] e la stimolazione magnetica transcranica (TMS) [64] mostrano che individui autistici soffrono di un deficit del meccanismo di simulazione indotto da una disfunzione del loro sistema neuroni-specchio per le azioni. Lo studio di Oberman et al. [63] ha mostrato che gli individui affetti da ASD, a differenza di soggetti sani, non mostrano alcuna soppressione della frequenza mu sulla corteccia sensori-motoria, normalmente riscontrata sia durante l'esecuzione che l'osservazione di azioni di afferramento con la mano. Lo studio di Theoret et al. [64] ha altresì dimostrato che, di nuovo differentemente rispetto a soggetti sani, gli individui autistici non mostrano l'usuale facilitazione dei muscoli della mano indotta da TMS durante l'osservazione di un'azione manuale eseguita da altri.

Un'ulteriore indicazione di deficit della simulazione incarnata nell'autismo è esemplificata dai problemi che i bambini autistici mostrano sia nei comportamenti imitativi simbolici che non-simbolici, nell'imitare l'uso di oggetti, nell'imitare espressioni facciali e nell'imitazione vocale [65]. Questi deficit caratterizzano forme di autismo sia ad alto che a basso funzionamento. Inoltre i deficit d'imitazione risultano evidenti non solo rispetto ai soggetti sani, ma anche rispetto a soggetti mentalmente ritardati non autistici. Secondo la mia ipotesi, i deficit d'imitazione nell'autismo sono determinati dall'incapacità di stabilire un'equivalenza motoria tra il soggetto imitatore e il dimostratore da imitare, molto probabilmente a causa di un malfunzionamento del sistema dei neuroni-specchio, e/o a causa di una malfunzionante regolazione emozionale/affettiva dello stesso sistema.

Ora rivolgiamoci brevemente ai deficit emotivo-affettivi. Molti studi hanno messo in luce i gravi problemi che i bambini autistici hanno nell'espressione facciale delle emozioni e nel comprendere quelle degli altri [66-69]. In un recente studio fMRI, Dapretto et al. [70] hanno specificamente condotto indagini sulle basi neurali della capacità di imitare le espressioni facciali delle emozioni di base negli individui con autismo ad alto funzionamento. I risultati di questo studio hanno mostrato che durante l'osservazione e l'imitazione di emozioni i bambini autistici non mostrano un'attivazione del sistema dei neuroni-specchio nella pars opercularis del giro frontale inferiore, conosciuto anche come area 44 di Brodmann. Va sottolineato che l'attivazione di questa area è risultata essere inversamente correlata con la gravità dei deficit di socializzazione mostrati da questi bambini. Gli autori di questo studio hanno concluso che "... una disfunzione del sistema dei neuroni-specchio può essere alla base dei deficit sociali osservati nell'autismo". McIntosh et al. [71] grazie alla registrazione elettromiografica (EMG) dei muscoli della mimica facciale hanno recentemente dimostrato che individui autistici, a differenza dei soggetti sani, quando osservano volti che esprimono le emozioni di base non attivano automaticamente i muscoli della mimica facciale coinvolti nell'espressione della stessa emozione. Hobson e Lee [72] riportano inoltre che i bambini autistici ottengono risultati molto peggiori rispetto a soggetti sani nel riprodurre le qualità affettive delle azioni osservate.

Ritengo che tutti questi deficit possano essere spiegati come manifestazioni di un deficit di consonanza intenzionale, prodotte da una simulazione incarnata difettosa, probabilmente causata da un malfunzionamento dei sistemi dei neuroni-specchio. Questa ipotesi è corroborata ulteriormente dalla recente scoperta che i cervelli degli individui autistici mostrano un anormale assottigliamento della sostanza grigia nelle aree corticali note come facenti parte del sistema dei neuroni-specchio [73], quali l'area premotoria ventrale, il lobo parietale posteriore e la regione del solco temporale superiore. Ciò che è più interessante



notare è che l'assottigliamento corticale del sistema dei neuroni-specchio sembra correlare con la gravità dei sintomi dell'autismo.

La mia ipotesi per interpretare l'autismo come un deficit di consonanza intenzionale è piuttosto divergente da molte delle principali teorie circa l'origine di questo disturbo dello sviluppo. Una delle teorie più accreditate, nonostante le sue diverse - non sempre congruenti - articolazioni, ritiene che l'autismo e la sindrome di Asperger siano causate da un deficit di uno specifico modulo mentale, il modulo della Teoria della Mente, selezionato nel corso dell'evoluzione per costruire teorie sulla mente degli altri [74-76]. Questa teoria è a mio parere oggi totalmente indifendibile, e lo è ancor di più alla luce di un recente studio eseguito su una paziente affetta da una lesione focale bilaterale della corteccia cingolata Anteriore (ACC), precedentemente identificata come la sede corticale del supposto Modulo della Teoria della Mente. Lo studio in questione ha infatti dimostrato che la paziente non mostrava alcun deficit nell'interpretare i contenuti mentali altrui, false credenze incluse [77].

Un ulteriore problema della teoria dell'autismo come deficit della Teoria di Mente è che non può essere facilmente riconciliata con quanto riferiscono soggetti autistici ad alto funzionamento od individui affetti dalla sindrome di Asperger come Temple Grandin [78]. Essi infatti affermano che, per comprendere come gli altri si sentano e come loro stessi dovrebbero presumibilmente sentirsi in determinati contesti e situazioni sociali, devono basarsi sulla formulazione di teorie. Quello che questi rapporti sembrano suggerire è che, come ho ipotizzato altrove [12], formulare una teoria circa la mente degli altri non è affatto il deficit di base dell'autismo o della sindrome di Asperger, ma l'unica strategia compensativa disponibile in assenza di più elementari e basilari facoltà che rendano possibile un contatto esperienziale diretto con il mondo degli altri.

### Conclusioni

Il sistema multiplo di condivisione dell'intersoggettività e la consonanza intenzionale da esso generata costituiscono un'ipotesi generale su molti aspetti dell'intelligenza sociale [14, 79] che, come abbiamo visto, ha già una base empirica a molti livelli, sia nel modello animale che in individui sani che in individui affetti da autismo. Questa proposta e gli approcci che essa consente hanno il merito di dischiudere la possibilità di stabilire legami terapeutici più efficaci con pazienti con problemi nella dimensione dell'intersoggettività, e più in generale, in ogni contesto psicoterapeutico.

Il fascino di questo scenario non risiede solo nella sua parsimonia, ma anche nel proporre per la prima volta un unico meccanismo neurofisiologico per spiegare l'attivazione di molte delle regioni corticali coinvolte nell'intelligenza sociale. Non possiamo infatti accontentarci di sapere che una determinata area corticale si attiva durante compiti cognitivi sociali. Così facendo ci esponiamo concretamente al rischio di riesumare la Frenologia. Le neuroscienze cognitive sociali devono cercare di comprendere perché, come, e a causa di quale meccanismo funzionale una particolare area cerebrale o un circuito nervoso corticale si attivino in un particolare compito cognitivo sociale. La scoperta del sistema dei neuroni-specchio consente finalmente di dare una risposta a queste domande.

Ovviamente la simulazione incarnata e le sue basi neurali non possono spiegare completamente ciò che è implicato nelle nostre sofisticate abilità di mentalizzazione. Quello che i risultati qui presentati indicano, tuttavia, è che i meccanismi di simulazione incarnata che coinvolgono l'attivazione del sistema sensorimotorio sembrano esercitare un ruolo notevole nell'intelligenza sociale. Ciò dovrebbe persuaderci che l'ingenua traduzione automatica dei dogmi della Psicologia del Senso Comune in moduli cerebrali o circuiti specificamente dedicati alle abilità di lettura della mente altrui dovrebbe essere considerata in modo estremamente critico, in quanto foriera di una strategia epistemica molto male equipaggiata per svelare ciò che l'intelligenza sociale realmente è.

### Riconoscimenti

Questo lavoro è stato sostenuto dal MIUR e, come parte del programma EUROCORES OMLL, è stato sostenuto da fondi a V.G. dal C.N.R italiano.

### Bibliografia

- [1] Humphrey, N. K. (1976) The social function of intellect. In: Bateson, P. & Hinde, R.A. (eds.) *Growing points in ethology*. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 303-321.
- [2] Whiten, A. & Byrne, R.W. (1997) *Machiavellian Intelligence 2: Evaluations and Extensions*. Cambridge University Press.
- [3] Tomasello, M., & Call, J. (1997). *Primate Cognition*. (Oxford Univ. Press, Oxford).
- [4] Dunbar, R.I.M. (1992) Neocortex size as a constraint on group size in primates. *J Hum. Evol.* 20: 469-493.
- [5] Humphrey, N. K. (1978). *Nature's Psychologists*. *The New Scientist*, 29 June 1978.

- [6] Humphrey, N. K. (1980). Nature's Psychologists. In Josephson, B.D. and Ramachandran, V.S. (Eds.) *Consciousness and the Physical World*, Oxford: Pergamon, p. 57-75.
- [7] Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav. Brain Sci.*: 1; 515-526.
- [8] Carruthers O. and Smith P.K. (Eds.) (1996) *Theories of Theories of Mind*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Hayes C.M. Theory of mind in nonhuman primates. (1998) *Behavioral Brain Sciences* 21: 101-148.
- [10] Povinelli, D.J., Bering, J.M., Giambone, S. (2000). Toward a science of other minds: escaping the argument by analogy. *Cognitive Science*: 24(3); 509-541.
- [11] Barrett, L., and Henzi, P. (2005) The social nature of primate cognition. *Proc. Royal Soc. Biol.* 272: 1865-1875.
- [12] Gallese, V. (2001) The "Shared Manifold" Hypothesis: from mirror neurons to empathy. *Journal of Consciousness Studies*: 8, N° 5-7; 33-50.
- [13] Gallese, V. (2003) The manifold nature of interpersonal relations: The quest for a common mechanism. *Phil. Trans. Royal Soc. London B.*, 358: 517-528.
- [14] Gallese, V. (2005) Embodied simulation: from neurons to phenomenal experience. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 4: 23-48.
- [15] Preston, S. D., and De Waal, F. B. M. (2002) Empathy: its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, 25: 1-72.
- [16] Meltzoff, A. N., & Brooks, R. (2001). "Like Me" as a building block for understanding other minds: Bodily acts, attention, and intention. In B. F. Malle, L. J. Moses, and D. A. Baldwin (Eds.), *Intentions and intentionality: Foundations of social cognition* (pp. 171-191). Cambridge, MA: MIT Press.
- [17] Reddy, V., Hay, D., Murray, L., & Trevarthen C. (1997). Communication in infancy: mutual regulation of affect and attention. In G. Bremner, A. Slater, & G. Butterworth (Eds.), *Infant development: recent advances*. (pp. 247-273). East Sussex: Psychology Press
- [18] Trevarthen, C. (1979). Communication and cooperation in early infancy: a description of primary intersubjectivity. In: M. Bullowa (Ed.), *Before Speech: The Beginning of Interpersonal Communication* (pp. 321-347). New York: Cambridge University Press.
- [19] Striano, T., Henning, A., and Stahl, D. (2005) Sensitivity to social contingencies between 1 and 3 months of age. *Developmental Science*, 8: 509-518.
- [20] Stern, D.N. (1985/2000). *The interpersonal world of the infant*. New York: Basic Books.
- [21] Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. and Rizzolatti, (1996) G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119: 593-609.
- [22] Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. and Fogassi, L. (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cog. Brain Res.*, 3: 131-141.
- [23] Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., and Rizzolatti, G. (2002) Action Representation and the inferior parietal lobule. In Prinz, W., and Hommel, B. (Eds.) *Attention and Performance XIX*. Oxford, Oxford University Press, pp. 247-266.
- [24] Rizzolatti G., Craighero L. (2004). The mirror neuron system. *Ann Rev Neurosci* 27: 169-192.
- [25] Fogassi, L., Ferrari, P.F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F. and Rizzolatti, G. (2005) Parietal lobe: From action organization to intention understanding. *Science* 302: 662-667.
- [26] Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. (2001) Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Neuroscience Reviews*, 2, 661-670.
- [27] Gallese, V., Keysers, C., and Rizzolatti, G. (2004) A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8: 396-403.
- [28] Umiltà, M.A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., and Rizzolatti, G. (2001) "I know what you are doing": a neurophysiological study. *Neuron*: 32; 91-101.
- [29] Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Gallese, V., and Rizzolatti, G. (2002) Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science* 297: 846-848.
- [30] Ferrari P.F., Gallese V., Rizzolatti G., and Fogassi L. (2003) Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience* 17: 1703-1714.
- [31] Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H.-J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 13, 400-404.
- [32] Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C.A., and Rizzolatti, G. (2004) Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: An fMRI study. *J Cogn. Neurosci.* 16: 114-126.
- [33] Watkins KE, Strafella AP, Paus T. (2003) Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*. 2003;41(8):989-94.
- [34] Buxbaum, L.J., Kyle, K.M., and Menon, R. (2005) On beyond mirror neurons: Internal representations subserving imitation and recognition of skilled object-related actions in humans. *Cog. Brain Res.* (in press).

- [35] Ferrari, P.F., Maiolini, C., Addessi, E., Fogassi, L., and Visalberghi, E. (2005) The observation and hearing of eating actions activates motor programs related to eating in macaque monkeys. *Behav. Brain Res.* 161: 95-101.
- [36] Paukner, A., Anderson, J.R., Borelli, E., Visalberghi, E., and Ferrari, P.F. (2005) Macaques (*Macaca nemestrina*) recognize when they are being imitated. *Biol. Lett.* 1: 219-222.
- [37] Subiaul, F., Cantlon, J.F., Holloway, R.L., and Terrace, H.S. (2004) Cognitive imitation in Rhesus macaque. *Science* 305: 407-410.
- [38] Gergely, G. and Csibra, G. (2003) Teleological reasoning in infancy: the naive theory of rational action. *TICS* 7: 287-292.
- [39] Jacob, P. and Jeannerod, M. (2005) The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cog. Neurosci.* 9: 21-25.
- [40] Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J., and Rizzolatti, G. (2005) Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLOS Biology*, 3: 529-535.
- [41] Hauser, MD, Chomsky, N., and Fitch, WT. (2002) The faculty of language: What is it, Who has it, and How did it evolve? *Science* 298: 1569-1579.
- [42] Hauser, MD and Fitch, WT. (2004) Computational constraints on syntactic processing in a non human primate. *Science* 303: 377-380.
- [43] Darwin, C. (1872) *The expressions of the emotions in man and animals*. London: Albemarle.
- [44] Adolphs R. (2003) Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nat Rev Neurosci*, 4(3):165-178.
- [45] Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J-P., Gallese, V., and Rizzolatti, G. (2003) Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40: 655-664.
- [46] Goldman, A., and Sripada, C.S. (2005) Simulationist Models of Face-based Emotion Recognition. *Cognition*, 94: 193-213.
- [47] Keysers, C., Wickers, B., Gazzola, V., Anton, J-L., Fogassi, L., and Gallese, V. (2004) A Touching Sight: SII/PV Activation during the Observation and Experience of Touch. *Neuron* : Vol. 42, April 22, 1-20.
- [48] Blakemore, S.-J., Bristow, D., Bird, G., Frith, C. and Ward J. (2005) Somatosensory activations during the observation of touch and a case of vision–touch synaesthesia. *Brain* 128: 1571-1583.
- [49] Hutchison, W.D., Davis, K.D., Lozano, A.M., Tasker, R.R., and Dostrovsky, J.O. (1999) Pain related neurons in the human cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 403-405.
- [50] Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R.J., and Frith, C.F. (2004) Empathy for pain involves the affective but not the sensory components of pain. *Science* 303, 1157-1162.
- [51] Morrison, I., Lloyd, D., DiPellegrino, G., Roberts, N. (2004). Vicarious responses to pain in anterior cingulate cortex: Is empathy a multisensory issue? *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 4, 270-278.
- [52] Jackson, P. L., Meltzoff, A. N. and Decety, J. (2005) How do we perceive the pain of others: A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, 24: 771–79.
- [53] Botvinick, M., Jha, A. P., Bylsma, L. M., Fabian, S.A., Solomon, P. E., and Prkachin, K. M. (2005) Viewing facial expressions of pain engages cortical areas involved in the direct experience of pain. *Neuroimage*, 25: 315-319.
- [54] Avenanti, A., Bueti, D., Galati G., and Aglioti S.M. (2005) Transcranial magnetic stimulation highlights the sensorimotor side of empathy for pain. *Nat Neurosci.* 8: 955-60.
- [55] Singer, T., and Frith, C. (2005) The painful side of empathy. *Nature Neurosci.* 8: 845-846.
- [56] Ramnani, N., and Miall, C.R. (2004) A system in the human brain for predicting the actions of others. *Nature Neurosci.* 7: 85-90.
- [57] Hutto, D. H. (2004) The limits of spectatorial Folk Psychology. *Mind and Language*, 19: 548-573.
- [58] Bruner, J. (1990) *Acts of Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [59] Onishi, K. H., and Baillargeon, R. (2005) Do 15 months-old understand false beliefs ? *Science*, 308: 255-258.
- [60] Gallese, V., and Lakoff, G. (2005) The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Reason and Language. *Cognitive Neuropsychology*, 22: 455-479.
- [61] Dawson, G., Webb, S., Schellenberg, G.D., Dager, S., Friedman, S., Aylward, E., and Richards, T. (2002) Defining the broader phenotype of autism: Genetic, brain, and behavioral perspectives. *Dev. and Psychopathol.* 14: 581-611.
- [62] Schmitz, C., Martineau, J., Barthélemy, C., and Assaiante, C. (2003) Motor control and children with autism: deficit of anticipatory function? *Neurosci. Lett.* 348: 17-20.
- [63] Oberman L.M., Hubbard E.H., McCleery, J.P., Altschuler E., Ramachandran, V.S., Pineda J.A. (2005) EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cog Brain Res* 24: 190-198.
- [64] Theoret H., Halligan E., Kobayashi M., Fregni F., Tager-Flusberg H., Pascual-Leone A. (2005) Impaired motor facilitation during action observation in individuals with autism spectrum disorder. *Curr Biology* 15: 84-85.
- [65] Rogers, S. (1999). An examination of the imitation deficit in autism. In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.), *Imitation in infancy* (pp. 254-279). Cambridge: Cambridge University Press.
- [66] Snow, M.E., Hertzog, M.E., & Shapiro, T. (1988). Expression of emotion in young autistic children. *Annual Progress in Child Psychiatry & Child Development*, 514-522.

- [67] Yirmiya, N., Kasari, C., Sigman, M., Mundy, P. (1989). Facial expressions of affect in autistic, mentally retarded and normal children. *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 30, 725-735.
- [68] Hobson, R. P., Ouston, J., & Lee, A. (1988). Emotion recognition in autism: Coordinating faces and voices. *Psychological Medicine*, 18, 911-923.
- [69] Hobson, R. P., Ouston, J., & Lee, A. (1989). Naming emotion in faces and voices: Abilities and disabilities in autism and mental retardation. *British Journal of Developmental Psychology*, 7, 237-250.
- [70] Dapretto, L., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S.Y., and Iacoboni, M. (2006) Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9: 28-30.
- [71] McIntosh, D. N., Reichman-Decker, A., Winkielman, P., and Wilbarger, J. (2005) When the Social Mirror Breaks: Deficits in Automatic, but not Voluntary Mimicry of Emotional Facial Expressions in Autism. *Developmental Science*, in press.
- [72] Hobson, R.P., & Lee, A. (1999). Imitation and identification in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40, 649-659.
- [73] Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Snyder, J., and Tager-Flusberg H. (2005) Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in Autism. *Cerebral Cortex*. Advanced On-line access, Nov. 23 2005.
- [74] Baron-Cohen, S., Leslie, A.M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition*, 21, 37-46.
- [75] Baron-Cohen, S. (1988). Social and pragmatic deficits in autism: Cognitive or affective? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 18, 379-402.
- [76] Baron-Cohen, S., Leslie, A.M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition*, 21, 37-46.
- [77] Bird, C.M., Castelli, C., Malik, O., Frith, U. and Husain, M. (2004) The impact of extensive medial frontal lobe damage on 'Theory of Mind' and cognition. *Brain* 127: 914-928.
- [78] Grandin, T. (1995) *Thinking in Pictures*. New York, Doubleday.
- [79] Gallese, V. (2005). "Being like me": self-other identity, mirror neurons and empathy. In S. Hurley & N. Chater (Eds.), *Perspectives on Imitation: From Cognitive Neuroscience to Social Science* (Vol. 1, pp. 101-118). Cambridge, MA: MIT Press.