

Titolo

Imitazione speculare e imitazione anatomica: un'ipotesi unificata

Autore

Claudia CHIAVARINO

Affiliazione

Centro di Scienza Cognitiva, Dipartimento di Psicologia, Università degli Studi di Torino,

Via Po 14 - 10123 Torino. Tel: 011 6703068; fax: 011 8146231; e-mail:

claudia.chiavarino@unito.it

ABSTRACT – *From action observation to action reproduction: comparing imitative mechanisms* – Humans are imitative animals, and the processes which allow them to reproduce others' movements have long been investigated. Albeit numerous studies have been produced so far, we are still trying to understand whether imitation depends upon a substantially automatic dedicated system or whether it is realized by a more general mechanism, which also regulates other types of stimulus-response associations. The aim of the present work is to examine the most recent empirical evidence on imitation in light of a scarcely acknowledged distinction, that between specular and anatomical imitation. This work intends to emphasize the implications of this distinction for the development of an integrated model of human imitative competence. **KEY WORDS:** Automatic imitation, Spatial compatibility, Mirror neurons, Frontal brain lesions, Autism Spectrum Disorders.

RIASSUNTO – L'uomo possiede una spiccata capacità imitativa e i processi che consentono di riprodurre i movimenti altrui sono da tempo oggetto di indagine. Nonostante tutti gli studi finora effettuati, si cerca ancora di accertare se l'imitazione dipenda da un sistema dedicato e sostanzialmente automatico o se invece sia realizzata da un meccanismo più generale, che regola anche altri tipi di associazione stimolo-risposta. Il presente lavoro si propone di esaminare le più recenti evidenze empiriche su questo argomento alla luce di una distinzione finora scarsamente valorizzata, quella tra imitazione speculare e imitazione anatomica. Il lavoro intende evidenziare come tale distinzione abbia implicazioni importanti per lo sviluppo di un modello integrato della competenza imitativa umana. **PAROLE CHIAVE:** Imitazione automatica, Compatibilità spaziale, Neuroni specchio, Lesioni cerebrali frontali, Disturbi dello spettro autistico.

Introduzione

L'essere umano è il più grande imitatore del pianeta. Imitare ci aiuta a sintonizzarci con i nostri conspecifici e ad acquisire nuove abilità attraverso il loro esempio. Nel corso del tempo, svariate discipline si sono occupate di questo fenomeno da molteplici prospettive, restituendo un'immagine della competenza imitativa che sarebbe semplicistico considerare come unitaria.

Il presente lavoro si focalizza su una distinzione finora relativamente poco esplorata, quella tra imitazione speculare e imitazione anatomica, al fine di proporre un'ipotesi unitaria dei meccanismi che sottendono l'abilità imitativa umana. L'imitazione speculare si basa sulla corrispondenza spaziale tra il corpo del modello e quello dell'imitatore (ad esempio, tra il braccio destro del modello e il braccio sinistro dell'imitatore), mentre l'imitazione anatomica si basa, appunto, sulla corrispondenza anatomica (ad esempio, tra il braccio destro del modello e il braccio destro dell'imitatore). Nel corso del lavoro verrà evidenziato come tale distinzione sia rilevante ai fini della comprensione del comportamento imitativo. In particolare, verranno analizzati i dati disponibili in letteratura a sostegno dell'ipotesi che due processi distinti e complementari possano essere elicitati dall'osservazione dei movimenti dei nostri conspecifici: un processo automatico di risonanza motoria, che si attiva in modo anatomicamente congruente quando la nostra attenzione è diretta alla postura o alla caratteristiche cinematiche delle azioni altrui (come, ad esempio, quando semplicemente osserviamo i movimenti di un'altra persona), e un meccanismo di associazione stimolo-risposta basato sull'apprendimento, che si attiva in modo speculare – vale a dire, spazialmente corrispondente – quando dirigiamo la nostra attenzione verso lo scopo delle azioni altrui (come, ad esempio, quando imitiamo i movimenti diretti verso un oggetto eseguiti da un'altra persona).

Imitazione speculare e imitazione anatomica

La letteratura sull'imitazione sembra suggerire che nelle interazioni *vis-a-vis* esista una forte preferenza per l'imitazione speculare. Alla richiesta di imitare un modello o di “fare come fa” un adulto, la risposta imitativa spontanea dei bambini è speculare; lo stesso avviene anche quando il bambino è invitato genericamente ad agire insieme all'adulto in assenza di un'istruzione esplicita a muoversi nello stesso modo (Gleissner, Meltzoff e Bekkering, 2000; Schofield, 1976; Wapner e Cirillo, 1968). La preferenza per l'imitazione speculare sembra mantenersi nell'età adulta ed è stato osservato che utilizzare la modalità speculare porta, rispetto a quella anatomica, a rispondere più velocemente e a produrre un numero minore di

errori. Ad esempio, in uno studio del 2003, Avikainen, Wohlschläger, Liuhanen, Hänninen e Hari hanno chiesto a un gruppo di soggetti sperimentali di imitare i movimenti di un modello che, usando la mano sinistra o la mano destra, prendeva una penna dal tavolo e la metteva in una tazza verde o in una blu, con un movimento in direzione oraria o antioraria. La prestazione nella condizione speculare era significativamente migliore rispetto alla condizione anatomica per ciascuna delle tre componenti dell'azione (mano, tazza, movimento). Il dato più interessante di questo studio deriva, tuttavia, dal confronto con i risultati ottenuti nelle due condizioni (imitazione speculare e imitazione anatomica) da un gruppo di pazienti affetti da disturbi dello spettro autistico (ASD), notoriamente caratterizzati da difficoltà nell'interazione sociale e nella comunicazione e da modalità stereotipate di comportamento, e attualmente al centro di un vivace dibattito relativo alla presenza di deficit a carico anche della competenza imitativa (Southgate e Hamilton, 2008; Williams, Whiten, Suddendorf e Perrett, 2001). La prestazione dei partecipanti con ASD nell'imitazione anatomica era simile a quella del gruppo dei soggetti sani, ma quella nell'imitazione speculare era marcatamente inferiore (con l'importante eccezione della selezione della tazza, che costituiva il punto finale del movimento).

Sembra dunque esistere una propensione per l'imitazione speculare rispetto a quella anatomica, ma ben poco si sa riguardo ai meccanismi che la sottendono, tanto che molti studi riportano semplicemente che l'imitazione speculare è "più naturale" di quella anatomica, senza spiegare i motivi alla base di tale vantaggio. Di fatto, la letteratura ha finora perlopiù trascurato la distinzione fra questi due comportamenti imitativi, considerando l'imitazione come un fenomeno unitario e concentrandosi sul problema generale della corrispondenza tra stimoli osservati e movimenti eseguiti durante il processo imitativo, vale a dire: come fa l'imitatore a sapere quale pattern di attivazione motoria farà assomigliare la sua azione a quella del modello? Per rispondere a questo quesito sono state avanzate sia proposte "specialiste" che "generaliste". Secondo gli approcci specialisti esiste un meccanismo dedicato, a livello sia funzionale che anatomico, all'imitazione. Gli approcci generalisti sostengono invece che l'imitazione sia basata su meccanismi generali di apprendimento associativo e controllo dell'azione. Di seguito verranno analizzate le evidenze a favore di ciascun approccio e verranno valutate le rispettive proposte sui meccanismi che sono alla base dell'imitazione speculare e di quella anatomica. Seguirà una proposta di conciliazione fra queste due posizioni, tesa a valorizzare le interazioni fra processi "specialisti" e "generalisti" nella realizzazione del comportamento imitativo.

Approcci specialisti all'imitazione

Secondo i sostenitori dell'approccio specialista, l'imitazione dipende da un meccanismo specificamente dedicato a questa funzione. Una delle teorie specialiste più influenti è quella dell'*Active Intermodal Matching* (AIM; Meltzoff e Moore, 1979, 1997), che risolve la fondamentale questione di come sia possibile realizzare la corrispondenza fra azioni osservate e azioni eseguite durante l'imitazione proponendo che l'informazione visiva derivata dall'osservazione dell'azione del modello e l'informazione propriocettiva originata dall'esecuzione dell'azione da parte dell'imitatore vengano confrontate all'interno di un comune sistema rappresentazionale sopramodale. Tale sistema, secondo la AIM, è innato e codifica le azioni in termini di "relazioni fra organi" (effettori). Evidenze a favore dell'esistenza di un tale sistema sopramodale innato provengono da studi che mostrano che, già a poche ore di vita, i neonati sono in grado di imitare alcune espressioni facciali, come la protrusione della lingua, eseguite da un modello adulto (Meltzoff e Moore, 1977, 1979, 1983).

Il substrato anatomico di questo meccanismo è stato identificato nel sistema dei neuroni specchio, così chiamati perché si attivano sia quando si esegue un'azione diretta a uno scopo (ad esempio, afferrare un oggetto), sia quando si osserva un altro individuo compiere la stessa azione. I neuroni specchio sono stati inizialmente scoperti nella corteccia premotoria ventrale (area F5) del cervello della scimmia macaco (di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese e Rizzolatti, 1992; Gallese, Fadiga, Fogassi e Rizzolatti, 1996; Rizzolatti, Fadiga, Fogassi e Gallese, 1996). Circa il 60% di questi neuroni è "genericamente congruente", vale a dire risponde anche se l'azione osservata è simile, ma non identica, a quella eseguita (Gallese et al., 1996). Successivamente, sono state individuate popolazioni di neuroni specchio anche nella parte rostrale del lobo parietale inferiore (area PF): questa regione contiene, in aggiunta a neuroni analoghi a quelli localizzati nell'area F5, neuroni che rispondono a movimenti – piuttosto che ad azioni dirette a uno scopo – osservati ed eseguiti (Fogassi, Gallese, Fadiga e Rizzolatti, 1998; Gallese, Fadiga, Fogassi e Rizzolatti, 2002).

Per quanto riguarda gli esseri umani, un'ampia serie di esperimenti ha mostrato che le azioni di un individuo sono modulate, quando non addirittura indotte, dalla percezione di azioni simili. Ad esempio, osservare un'azione, o il suo obiettivo, facilita l'esecuzione di movimenti simili da parte dell'osservatore, anche quando questi stimoli sono irrilevanti ai fini dell'esecuzione del compito (Brass, Zysset e von Cramon, 2001; Prinz, 2005). Inoltre, il fenomeno noto come "effetto camaleonte", per via del quale le persone tendono a replicare atteggiamenti, posture ed espressioni di coloro con cui interagiscono, ben rappresenta la propensione umana a riprodurre le azioni osservate (Chartrand e Bargh, 1999). Questi risultati

sono solitamente interpretati come indicatori dell'esistenza di un meccanismo automatico che, alla vista del movimento di un conspecifico, immediatamente attiva una rappresentazione motoria dello stesso movimento. A sostegno di tale ipotesi sono portati anche i "comportamenti di imitazione", talvolta esibiti a seguito di lesioni cerebrali del lobo frontale, che consistono nella tendenza involontaria a imitare i gesti e le espressioni altrui (Lhermitte, Pillon e Serdaru, 1986). Questo disturbo comportamentale viene ricondotto alla perdita della capacità di inibire, a seguito dell'osservazione delle azioni eseguite da altre persone, l'automatica attivazione e messa in atto delle corrispondenti rappresentazioni motorie (Brass, Zysset e von Cramon, 2001). Evidenze più dirette dell'esistenza di un sistema di neuroni specchio nel cervello umano provengono da alcuni recenti studi di neuroimmagine che, impiegando la *repetition suppression* (fenomeno per cui l'elaborazione di un dato stimolo determina una riduzione dell'attivazione cerebrale elicitata da un successivo stimolo con caratteristiche analoghe), hanno individuato popolazioni neuronali con proprietà specchio nella corteccia parietale inferiore (Chong, Cunnington, Williams, Kanwisher e Mattingley, 2008) e nel giro frontale inferiore (Kilner, Neal, Weiskopf, Friston e Frith, 2009) che codificano, rispettivamente, azioni intransitive e azioni transitive. In accordo con questi dati, Cattaneo, Caruana, Jezzini e Rizzolatti (2009) hanno suggerito che il sistema dei neuroni specchio umano sia organizzato in due distinti meccanismi di risonanza motoria: un meccanismo di risonanza motoria per i movimenti e un meccanismo di risonanza motoria per le azioni dirette ad uno scopo.

Relativamente alla distinzione tra imitazione speculare e anatomica, è stato proposto che il vantaggio in termini di accuratezza e velocità dell'imitazione speculare derivi dal fatto che le azioni speculari sono elicitate con più forza di quelle anatomiche attraverso l'azione del sistema dei neuroni specchio. In uno studio di neuroimmagine, Koski, Iacoboni, Dubeau, Woods e Mazziotta (2003) hanno chiesto a un campione di volontari adulti di eseguire movimenti del dito indice o del dito medio della mano destra in risposta a movimenti del dito indice o del dito medio della mano sinistra (azione speculare) o della mano destra (azione anatomica) di un modello. L'unica attivazione cerebrale comune tra imitazione speculare e imitazione anatomica – rispetto a una condizione di controllo di osservazione dei medesimi movimenti – è stata rilevata nell'opercolo del lobo parietale destro. Tuttavia, durante l'esecuzione delle azioni speculari, in confronto all'esecuzione delle azioni anatomiche, è stata osservata una maggiore attivazione nell'opercolo parietale e nel solco intraparietale dell'emisfero destro e nell'opercolo frontale di entrambi gli emisferi, in aggiunta a una serie di altre attivazioni in aree visive, motorie e integrative (ad esempio, l'area motoria

supplementare, il solco temporale superiore e la corteccia parietale posteriore). La conclusione degli autori è che l'imitazione speculare sia "più naturale" dell'imitazione anatomica perché può contare su una maggiore attivazione del sistema dei neuroni specchio (Koski et al., 2003), anche se ancora una volta non vengono chiariti i presupposti alla base di tale vantaggio.

In accordo con l'ipotesi specialista, studi recenti rivelano che individui con disturbi dello spettro autistico (ASD) tendono a mostrare, rispetto a soggetti sani, differenze strutturali nel circuito cerebrale che si ritiene contenga i neuroni specchio (Hadjikhani, Joseph, Snyder e Tager-Flusberg, 2006) e, inoltre, che in compiti di imitazione speculare i loro pattern di attivazione cerebrale risultano anomali rispetto a quelli evidenziati in soggetti di controllo (Williams, Waiter, Gilchrist, Perrett, Murray e Whiten, 2006). Tali ricerche sembrano fornire un riscontro anatomico alle difficoltà comportamentali osservate da Avikainen et al. (2003) nello studio precedentemente descritto, che identifica la principale difficoltà imitativa delle persone con ASD nell'assenza di facilitazione per l'imitazione speculare (piuttosto che nella difficoltà ad affrontare la "meno naturale" imitazione anatomica).

Approcci generalisti all'imitazione

I sostenitori dell'approccio generalista propongono invece che il comportamento imitativo sia fondato su corrispondenze senso-motorie apprese attraverso meccanismi associativi che sottendono, oltre l'imitazione, una varietà di altri processi mentali. In quest'ottica, fenomeni come l'effetto camaleonte (Chartrand e Bargh, 1999) e la facilitazione/interferenza delle azioni osservate sulle azioni eseguite (Brass et al., 2001; Prinz, 2005) dipenderebbero da ripetute esperienze di esecuzione e osservazione simultanea delle stesse azioni (Heyes, Bird, Johnson e Haggard, 2005). Privilegiando il ruolo dei processi di apprendimento, gli approcci generalisti propongono che anche il sistema dei neuroni specchio non sia un meccanismo innato, ma che acquisisca per gradi le sue proprietà nel corso dello sviluppo (Brass e Heyes, 2005).

Rappresentativa di questo approccio è la teoria ideomotoria (IM), originariamente proposta da James (1890) e successivamente rielaborata da Prinz (1997), il cui assunto centrale è che le azioni sono rappresentate in memoria sulla base dei loro effetti, vale a dire delle loro conseguenze sensoriali. La corrispondenza tra ciascuna azione e i suoi effetti viene appresa gradualmente nel corso dello sviluppo, sulla base dell'associazione tra i cambiamenti osservati nell'ambiente e le azioni che li hanno prodotti. Queste rappresentazioni anticipatorie, a loro volta, vengono utilizzate per modulare il controllo sull'esecuzione

dell'azione. La teoria ideomotoria spiega l'imitazione proponendo che l'osservazione dell'azione compiuta dal modello attivi nella memoria dell'imitatore la rappresentazione del suo effetto, rappresentazione che viene poi utilizzata per guidare la riproduzione dell'azione osservata (Prinz, 2002).

Le teorie generaliste postulano che qualunque dimensione dello stimolo (non solo, quindi, caratteristiche topologiche quali l'effettore utilizzato o il tipo di movimento realizzato) possa influire sui movimenti dell'osservatore, inclusa ad esempio la sua posizione nello spazio relativamente a quella dell'osservatore stesso (Heyes et al., 2005). Si definisce appunto compatibilità spaziale il fenomeno per cui una risposta tende a essere più veloce e accurata se viene eseguita in risposta a uno stimolo localizzato dallo stesso lato dello spazio (Simon, Hinrichs e Craft, 1970). In quest'ottica, il vantaggio dell'imitazione speculare su quella anatomica nelle situazioni *vis-a-vis* non deriverebbe tanto dalla maggiore attivazione di uno specifico sistema deputato all'imitazione, quanto più generalmente dal fatto che la relazione spaziale tra stimoli (i movimenti del modello) e risposte (i movimenti dell'imitatore) è compatibile nel caso dell'imitazione speculare e incompatibile nel caso dell'imitazione anatomica. A sostegno di questa ipotesi, è stato osservato che le difficoltà imitative di pazienti con lesioni frontali tendono a essere circoscritte all'imitazione anatomica, e che sembrano derivare da una difficoltà nel formare associazioni stimolo-risposta spazialmente incompatibili piuttosto che dall'incapacità di inibire risposte speculari automatiche (Chiavarino, Apperly e Humphreys, 2007). Inoltre, uno studio di Heyes e Ray (2004) ha evidenziato che, a seconda dell'istruzione che viene fornita, l'imitazione speculare può, sorprendentemente, risultare più soggetta a errori dell'imitazione anatomica. Questo avveniva, in particolare, quando i partecipanti erano istruiti a rispondere in modo spazialmente incongruente ai movimenti dimostrati dal modello. La spiegazione degli autori è che si tratti di un fenomeno di ricodifica logica, vale a dire dell'inversione del normale effetto di compatibilità spaziale che si verifica in conseguenza della ripetuta associazione spazialmente incompatibile tra stimolo e risposta (Hedge e Marsh, 1975). Questo dimostra, secondo Heyes e Ray (2004), che l'imitazione è mediata dagli stessi meccanismi generali che regolano tutti i processi di associazione arbitraria tra stimoli e risposte.

Coerente con questi risultati è un recente studio realizzato da Catmur, Walsh e Heyes (2007) che dimostra che è possibile invertire, attraverso l'esperienza, l'attivazione del sistema dei neuroni specchio. In una prima fase sono stati misurati gli effetti della stimolazione magnetica transcranica (TMS) sull'ampiezza dei potenziali motori evocati (MEP) registrati dal muscolo primo interosseo dorsale del dito indice e dal muscolo abducente del dito mignolo

dei soggetti sperimentali mentre osservavano il movimento del dito indice o del dito mignolo di un modello. Come prevedibile, in risposta all'osservazione del movimento del dito indice del modello, i MEP registrati dal primo interosseo dorsale dello stesso dito dei soggetti sperimentali erano più ampi di quelli registrati dall'abducente del dito mignolo; opposto risultato si otteneva all'osservazione del movimento del dito mignolo. In altre parole, i MEP riflettevano l'attivazione di specifiche popolazioni di neuroni specchio. I partecipanti sono stati quindi sottoposti a un training motorio che consisteva nel rispondere con il movimento del dito mignolo al movimento del dito indice del modello e con il movimento del dito indice al movimento del dito mignolo del modello, per un totale di 864 trial. Al termine del training sono stati nuovamente misurati gli effetti della TMS sull'ampiezza dei MEP registrati dai muscoli del dito indice e del dito mignolo dei partecipanti in risposta alla semplice osservazione dei movimenti delle dita del modello. Questa volta, i risultati hanno rivelato un'inversione degli effetti iniziali, per cui i MEP del primo interosseo dorsale del dito indice degli osservatori erano più ampi in risposta al movimento del dito mignolo del modello, e viceversa per i MEP dell'abducente del dito mignolo. Tale inversione dell'attivazione dei neuroni specchio suggerisce che questo sistema non sia innato o, quantomeno, che il suo funzionamento sia sensibile all'apprendimento senso-motorio (Catmur et al., 2007).

Se così fosse, l'assenza di facilitazione per l'imitazione speculare osservata negli individui con ASD (Avikainen et al., 2003) potrebbe essere ricondotta alla scarsità di esperienze di reciprocità sociale in condizioni *vis-a-vis* che contraddistinguono questo disturbo, e alle conseguenti minori occasioni di apprendimento di associazioni stimolo-risposta spazialmente compatibili da parte del loro sistema di neuroni specchio.

Imitazione automatica e compatibilità spaziale: una conciliazione possibile

Come è possibile dunque dirimere la questione se l'imitazione dipenda da un meccanismo innato e automatico, che si attiva in modo privilegiato quando dobbiamo riprodurre un movimento in modo speculare, oppure da un meccanismo appreso e governato da regole generali di associazione senso-motoria, che favorisce le condizioni caratterizzate da compatibilità spaziale tra stimoli e risposte?

Bertenthal, Longo e Kosobud (2006) hanno ideato un interessante esperimento per confrontare direttamente il contributo dell'imitazione automatica e quello della compatibilità spaziale nella riproduzione di semplici movimenti intransitivi (non diretti a un oggetto) mostrati in terza persona. Tutti i partecipanti osservavano gli stessi stimoli, movimenti verso il basso del dito indice o del dito medio della mano destra o della mano sinistra di un modello,

e rispondevano nello stesso modo, con un movimento verso il basso del dito indice o del dito medio della loro sola mano destra. Tuttavia, a metà dei partecipanti veniva fornita l'istruzione di imitare il dito utilizzato dal modello (indice o medio; istruzione imitativa), mentre agli altri veniva chiesto di rispondere con il dito dallo stesso lato dello spazio di quello usato dal modello (sinistro o destro; istruzione di compatibilità spaziale). Nel caso dell'istruzione imitativa, la differenza tra i tempi di reazione agli stimoli spazialmente compatibili (ad esempio, rispondere con il dito medio della propria mano destra al dito medio della mano sinistra del modello) e quelli agli stimoli spazialmente incompatibili (ad esempio, rispondere con il dito medio della propria mano destra al dito medio della mano destra del modello) consente di valutare l'effetto della compatibilità spaziale. Viceversa, nel caso dell'istruzione di compatibilità spaziale, la differenza tra i tempi di reazione agli stimoli imitativamente compatibili (ad esempio, rispondere con il dito medio della propria mano destra al dito medio della mano sinistra del modello) e quelli agli stimoli imitativamente incompatibili (ad esempio, rispondere con il dito medio della propria mano destra al dito indice della mano destra del modello) consente di valutare l'effetto dell'imitazione automatica. I risultati hanno evidenziato la presenza sia di un effetto di compatibilità spaziale, sia di un effetto di imitazione automatica, ma l'effetto della compatibilità spaziale era decisamente maggiore di quello dell'imitazione automatica e tendeva ad aumentare nel corso dei trial, mentre l'effetto dell'imitazione automatica diminuiva piuttosto velocemente (Bertenthal et al., 2006). Questi dati suggeriscono che l'imitazione automatica e la compatibilità spaziale non siano due processi mutualmente esclusivi, ma che anzi entrambi contribuiscano, attraverso schemi di attivazione e modalità operative differenti, a determinare la forma finale del comportamento imitativo.

Del resto, la letteratura indica che la capacità umana di comprendere e interpretare il comportamento altrui si fonda sull'abilità di fare previsioni su quali aspetti delle azioni che osserviamo possano essere rilevanti (Jackson e Decety, 2004), e queste aspettative inevitabilmente variano in base al contesto e agli scopi che ci prefiggiamo. Ad esempio, il modo in cui elaboriamo un'azione può essere piuttosto diverso se il nostro compito è unicamente di osservarla o se ci proponiamo di riprodurla, e se si tratta di un semplice movimento intransitivo o invece di un'azione diretta a modificare lo stato di un oggetto. È dunque plausibile ipotizzare che nell'essere umano coesistano due distinti meccanismi, che si esprimono secondo modalità diverse in base alle specifiche richieste della situazione da affrontare: uno responsabile dell'imitazione automatica e l'altro della compatibilità spaziale.

coinvolto più in generale nell'apprendimento e nella replicazione di associazioni senso-motorie.

La sfida diventa allora comprendere le modalità di funzionamento e le condizioni di attivazione di ciascuno di questi due meccanismi. Utili indicazioni in proposito derivano dagli studi che hanno confrontato condizioni di imitazione speculare e anatomica. Ad esempio, lo studio di Koski et al. (2003) precedentemente descritto ha rilevato una maggiore attivazione dell'area supplementare motoria, del solco temporale superiore e della corteccia parietale posteriore durante l'imitazione speculare di movimenti delle dita rispetto all'imitazione anatomica. Tuttavia, gli autori hanno anche individuato, in un compito di sola osservazione delle medesime azioni, una maggiore attivazione di queste stesse tre aree cerebrali nella condizione anatomica (osservazione di movimenti della mano destra) rispetto alla condizione speculare (osservazione di movimenti della mano sinistra). Questa inversione nei pattern di attivazione cerebrale suggerisce che i processi coinvolti nell'osservazione di azioni attivino delle rappresentazioni motorie anatomicamente corrispondenti, ma che queste rappresentazioni possano essere modificate in senso speculare nel momento in cui entrano in gioco esigenze di tipo imitativo. Rappresentazioni di tipo anatomico in compiti osservativi, con movimenti presentati in prospettiva sia egocentrica (in prima persona) che allocentrica (in terza persona), sono state individuate utilizzando paradigmi comportamentali (Belopolsky, Olivers e Theeuwes, 2008) e di neuroimmagine (Kilner, Vargas, Duval, Blakemore e Sirigu, 2004). Questi dati, che indicano che l'osservazione di semplici movimenti biologici tende a produrre una rappresentazione anatomica dell'effettore, sono in accordo con l'accento posto dalle teorie specialiste come la AIM (Meltzoff e Moore, 1979, 1997) sulle "relazioni fra organi" (gli effettori, appunto) che realizzano le azioni. Tuttavia, è plausibile, come suggeriscono i risultati di Koski et al. (2003), che i compiti imitativi veri e propri siano più sensibili allo scopo dell'azione che non ai mezzi utilizzati e che in tali circostanze le rappresentazioni dell'azione osservata vengano trasformate in modo da poter "accomodare" gli scopi dell'azione imitativa. Questa ipotesi è in sintonia con il rilievo dato dalle teorie generaliste come la IM (Prinz, 1997) alla rappresentazione degli effetti prodotti dalle azioni e trova supporto anche in uno studio di Sambrook (1998), che ha mostrato che la prospettiva di osservazione non aveva alcun effetto sul livello di prestazione di partecipanti intenti ad apprendere a formare diversi tipi di nodi con una corda.

Ovviamente non tutte le situazioni sono così nette. È possibile, ad esempio, che alcuni compiti osservativi attivino rappresentazioni speculari anziché anatomiche. È questo il caso di un recente studio realizzato da Shmuelof e Zohary (2008), che ha replicato i risultati di Kilner

et al. (2004) rilevando una rappresentazione di tipo anatomico nella condizione di prospettiva egocentrica, ma ha evidenziato una rappresentazione di tipo speculare (anziché anatomico, come in Kilner et al., 2004) nella condizione di prospettiva allocentrica. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che Kilner e collaboratori (2004) hanno utilizzato un compito in cui i partecipanti dovevano decidere se nell'immagine che stavano osservando, in cui l'oggetto target era sempre identico, la mano era posizionata in modo diverso rispetto all'immagine precedente, mentre il compito di discriminazione utilizzato da Shmuelof e Zohary (2008) era incentrato sul tipo di azione, con oggetti target variabili, rappresentato nell'immagine. Analogamente, compiti imitativi in cui lo scopo dell'azione coincide con i mezzi utilizzati per realizzarla possono elicitare rappresentazioni anatomiche anziché speculari. A questo riguardo, Franz, Ford e Werner (2007) hanno dimostrato che, in un compito di imitazione, mantenere costante l'effettore (variando il target) favoriva l'imitazione speculare, mentre mantenere costante il target dell'azione (variando l'effettore) facilitava l'imitazione anatomica.

Conclusioni e nuove prospettive per la ricerca

Allo stato attuale, la letteratura sull'imitazione suggerisce che il contrasto tra teorie specialiste e teorie generaliste sia più apparente che reale. Il comportamento imitativo umano è articolato e flessibile e solo un modello integrato, in grado di chiarire il contributo di – e le interazioni tra – processi specifici di risonanza motoria e processi associativi generali, può rendere conto di tale complessità. I dati a disposizione, principalmente derivati da studi che hanno indagato le differenze tra imitazione speculare e imitazione automatica, suggeriscono che i compiti che inducono i partecipanti a prestare attenzione alla postura o alle caratteristiche cinematiche delle azioni compiute da un'altra persona favoriscano l'attivazione, anatomicamente congruente, di un meccanismo di imitazione automatica, il cui effetto tende però a svanire rapidamente nel tempo. Invece, compiti che richiedono di concentrarsi sullo scopo delle azioni eseguite dall'altra persona sembrano chiamare in causa meccanismi più generali di associazione stimolo-risposta, primo tra tutti la compatibilità spaziale, il cui effetto tende ad aumentare nel corso dei trial.

Alcuni interrogativi rimangono però ancora senza risposta. Per prima cosa, andrebbero approfondite le modalità di funzionamento di questi due meccanismi. A questo proposito, la letteratura suggerisce che il tipo di compito (ad esempio, osservativo o imitativo, si veda Koski et al., 2003) e le istruzioni somministrate (ad esempio, rispondere con lo stesso dito del modello o rispondere con il dito dallo stesso lato dello spazio del modello, si veda Bertenthal

et al., 2006) rivestano una notevole importanza nel determinare quanto e come si attiveranno l'imitazione automatica e la compatibilità spaziale. Questo dato è particolarmente significativo, perché in letteratura spesso si definiscono “imitativi” anche compiti in cui al partecipante non viene affatto fornita l'istruzione di imitare i movimenti di un modello, ma in cui, ad esempio, gli si chiede di eseguire un movimento predefinito in risposta a stimoli visivi irrilevanti ai fini del compito da svolgere. Un questione collegata riguarda i tempi di attivazione dell'imitazione automatica e della compatibilità spaziale: alcuni dati suggeriscono che l'imitazione automatica si attivi anche solo in previsione di un dato movimento da parte di un'altra persona e che questo effetto sia piuttosto labile, mentre la compatibilità spaziale sembra rilevabile solo al momento della produzione della risposta, appare più persistente e può anche rafforzarsi nel tempo (Bertenthal et al., 2006; Kilner et al., 2004). Approfondire tale aspetto appare particolarmente rilevante per poter definire con maggiore precisione l'architettura funzionale di ciascuno dei due meccanismi.

In secondo luogo, sarebbe importante comprendere gli effetti sul comportamento imitativo conseguenti al malfunzionamento di questi processi. È possibile individuare pazienti adulti con danni acquisiti del sistema automatico di risonanza motoria? O pazienti che non mostrano effetti di facilitazione per associazioni stimolo-risposta spazialmente compatibili? Quali sono i circuiti cerebrali coinvolti? Allo stato attuale, sembra che le aree frontali svolgano un ruolo primario nel comportamento imitativo (Brass et al., 2001; Chiavarino et al., 2007; Lhermitte et al., 1986), ma le esatte localizzazioni cerebrali e dinamiche di funzionamento devono ancora essere chiarite. A questo fine possono contribuire in maniera determinante anche nuovi studi su individui con ASD, le cui peculiari difficoltà imitative non hanno ancora trovato una spiegazione univoca e concorde da parte degli studiosi. Un modello recentemente proposto da Antonia Hamilton (2008) suggerisce che le persone con ASD possano contare su un intatto circuito di neuroni specchio a livello occipito-frontale, che consente loro di comprendere e imitare azioni dirette a uno scopo, ma che presentino disfunzioni del sistema dei neuroni specchio a livello parietale, con conseguenti difficoltà nell'imitazione automatica di azioni intransitive. È probabile che una visione dell'imitazione non come un'abilità tutto o nulla, ma come una competenza complessa risultante dall'interazione fra processi distinti possa contribuire a chiarificare le basi funzionali e anatomiche di questa abilità.

Infine, non è ancora chiaro se l'imitazione automatica sia veramente una competenza innata. Gli studi di Meltzoff e Moore (1977, 1979, 1983) sembrano puntare in questa direzione, ma diversi autori sostengono che l'imitazione neonatale non sia una vera forma di

imitazione, quanto piuttosto un comportamento riflesso. Secondo questa ipotesi, il comportamento imitativo del neonato è elicitato in modo automatico dal comportamento dell'adulto, che non agisce da modello, bensì da meccanismo di rilascio, provocando nel bambino la produzione di un movimento analogo (Anisfeld, 1991). Questo spiegherebbe come mai i comportamenti imitativi spontanei osservati alla nascita sembrano scomparire verso i due mesi di età, al pari di altri riflessi primitivi, per poi ricomparire, con caratteristiche diverse, più avanti nel corso dello sviluppo (Abravanel e Sigafos, 1984). Sarebbe inoltre interessante capire se questa tendenza imitativa presente nei neonati si basi esclusivamente su una corrispondenza in termini anatomici tra movimenti del modello e movimenti dell'imitatore, e quando comincino a entrare in gioco i processi di compatibilità spaziale che tanta parte hanno nella preferenza infantile per l'imitazione speculare.

Ringraziamenti

Il progetto è stato finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Torino, progetto Alfieri.

Riferimenti bibliografici

Abravanel, E., Sigafos, A.D. (1984). Exploring the presence of imitation during early infancy. *Child Development*, 55, 381-392.

Anisfeld, M. (1991). Neonatal imitation. *Developmental Review*, 11, 60-97.

Avikainen, S., Wohlschläger, A., Liuhanen, S., Hänninen, R., Hari, R. (2003). Impaired mirror-image imitation in Asperger and high-functioning autistic subjects. *Current Biology*, 13, 339-341.

Belopolsky, A.V., Olivers, C.N.L., Theeuwes, J. (2008). To point a finger: Attentional and motor consequences of observing pointing movements. *Acta Psychologica*, 128, 56-62.

Bertenthal, B.I., Longo, M.R., Kosobud, A. (2006). Imitative response tendencies following observation of intransitive actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 210-225.

Brass, M., Heyes, C. (2005). Imitation: Is cognitive neuroscience solving the correspondence problem? *Trends in Cognitive Science*, 9, 489-495.

Brass, M., Zysset, S., von Cramon, G.M. (2001). The inhibition of imitative response tendencies. *NeuroImage*, 14, 1416-1423.

Catmur, C., Walsh, V., Heyes, C. (2007). Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Current Biology*, 17, 1527-1531.

Cattaneo, L., Caruana, F., Jezzini, A., Rizzolatti, G. (2009). Representation of Goal and Movements without Overt Motor Behavior in the Human Motor Cortex: A Transcranial Magnetic Stimulation Study. *The Journal of Neuroscience*, 29, 11134-11138.

Chartrand, T.L., Bargh, J.A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 893-910.

Chiavarino, C., Apperly, I.A., Humphreys, G.W. (2007). Exploring the functional and anatomical bases of mirror-image and anatomical imitation: the role of the frontal lobes. *Neuropsychologia*, 45, 784-795.

Chong, T.T.-J., Cunnington, R., Williams, M.A., Kanwisher, N., Mattingley, J.B. (2008). fMRI adaptation reveals mirror neurons in human inferior parietal cortex. *Current Biology*, 18, 1576-1580.

di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176-180.

Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Rizzolatti, G. (1998). Neurons responding to the sight of goal-directed hand/arm actions in the parietal area PF (7b) of the macaque monkey. *Society of Neuroscience Abstracts*, 24, 654.

Franz, E.A., Ford, S., Werner, S. (2007). Brain and cognitive processes of imitation in bimanual situations: making inferences about mirror neuron systems. *Brain Research*, 1145, 138-149.

Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593-609.

Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (2002). Action representation and the inferior parietal lobule. In Prinz, W., Hommel, B., editors. *Common mechanisms in perception and action*. New York: Oxford University Press, 334-355.

Gleissner, B., Meltzoff, A.N., Bekkering, H. (2000). Children's coding of human action: Cognitive factors influencing imitation in 3-year-olds. *Developmental Science*, 3, 405-414.

Greenwald, A.G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideo-motor mechanisms. *Psychological Review*, 77, 73-99.

Hadjikhani, N., Joseph, R.M., Snyder, J., Tager-Flusberg, H. (2006). Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in autism. *Cerebral Cortex*, 16, 1276-1282.

Hamilton, A.F. (2008). Emulation and mimicry for social interaction: a theoretical approach to imitation in autism. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 101-115.

Hedge, A., Marsh, N.W.A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Acta Psychologica*, 39, 427-439.

Heyes, C., Bird, G., Johnson, H., Haggard, P. (2005). Spatial S-R compatibility effects in an intentional imitation task. *Cognitive Brain Research*, 22, 233-240.

Heyes, C., Ray, E. (2004). Spatial S-R compatibility effects in an intentional imitation task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 703-708.

Jackson, P.L., Decety, J. (2004). Motor cognition: A new paradigm to study self-other interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 259-263.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt.

Kilner, J.M., Neal, A., Weiskopf, N., Friston, K.J., Frith, C.D. (2009). Evidence of mirror neurons in human inferior frontal gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 29, 10153-10159.

Kilner, J.M., Vargas, C., Duval, S., Blakemore, S.-J., Sirigu, A. (2004). Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nature Neuroscience*, 7, 1299-1301.

Koski, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.-C., Woods, R.P., Mazziotta, J.C. (2003). Modulation of cortical activity during different imitative behaviours. *Journal of Neurophysiology*, 89, 460-471.

Lhermitte, F., Pillon, B., Serdaru, M. (1986). Human autonomy and the frontal lobes. Part I. Imitation and utilization behaviour: A neuropsychological study of 75 patients. *Annals of Neurology*, 19, 326-334.

Meltzoff, A.N., Moore, M.K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75-78.

Meltzoff, A.N., Moore, M.K. (1979). Interpreting “imitative” responses in early infancy. *Science*, 205, 217-219.

Meltzoff, A.N., Moore, M.K. (1983). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child Development*, 54, 702-709.

Meltzoff, A.N., Moore, M.K. (1979). Interpreting “imitative” responses in early infancy. *Early Science*, 205, 217-219.

Meltzoff, A.N., Moore, M.K. (1997). Exploring facial imitation: A theoretical model. *Early Development and Parenting*, 6, 179-192.

Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.

Prinz, W. (2002). Experimental approaches to imitation. In Meltzoff, A.N., Prinz, W., editors. *The imitative mind: Development, evolution, and brain bases*. Cambridge UK: Cambridge University Press, 143-163.

Prinz, W. (2005). An ideomotor approach to imitation. In Hurley, S., Chater, N., editors. *Perspectives on imitation: From neuroscience to social science* (Vol. 1: Mechanisms of imitation and imitation in animals). Cambridge MA: MIT Press, 141-156.

Sambrook, T.M. (1998). Does visual perspective matter in imitation? *Perception*, 27, 1461-1473.

Simon, J.R., Hinrichs, J.V., Craft, J.L. (1970). Auditory S-R compatibility: Reaction time as a function of ear-hand correspondence and ear-response-location correspondence. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 97-102.

Shmuelof, L., Zohary, E. (2008). Mirror-image representation of action in the anterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 11, 1267-1269.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.

Schofield, W.N. (1976). Do children find movements which cross the body midline difficult? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28, 571-582.

Wapner, S., Cirillo, L. (1968). Imitation of a model's hand movement: Age changes in transposition of left-right relations. *Child Development*, 39, 887-894.

Williams, J.H.G., Waiter, G.D., Gilchrist, A., Perrett, D.I., Murray, A.D., Whiten, A. (2006). Neural mechanisms of imitation and "mirror neuron" functioning in autistic spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 44, 610-621.

Williams, J.H.G., Whiten, A., Suddendorf, T., Perrett, D.I. (2001). Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25, 287-295.