

In stampa su: Roberto Cubelli, Remo Job, I processi cognitivi. Roma: Carocci, 2012.

## Movimento e azione

Anna M. Borghi\*<sup>°</sup> e Roberto Nicoletti<sup>^</sup>

\* Dipartimento di Psicologia, Università di Bologna

<sup>°</sup> Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, CNR, Roma

<sup>^</sup>Dipartimento di Discipline della Comunicazione, Università di Bologna

1. Introduzione
  - 1.1. Movimento e azione
  - 1.2. Percezione, azione e cognizione
  - 1.3. Cognizione embodied e grounded
2. Embodiment e simulazione
  - 2.1 La simulazione
  - 2.2 Simulazione con oggetti, con altri, con parole
3. Embodiment, simulazione e oggetti: le affordances
  - 3.1 Affordances e micro-affordances
  - 3.2 Affordances automatiche o non automatiche?
  - 3.3 Tipi di affordances: stabili, canoniche e variabili
4. Embodiment, simulazione e interazione con altri: la risonanza motoria
  - 4.1. Paradigmi con “prime” ed effetti di compatibilità
  - 4.2. Somiglianza tra le nostre azioni e quelle altrui
5. Embodiment, simulazione e il linguaggio
6. Conclusione

Ringraziamo Gianluca Baldassarre, Larry Barsalou, Felice Cimatti, Elena Da prati, Cristina Iani, Art Glenberg, Daniele Nico, Giovanni Pezzulo, Sandro Rubichi, Andrea Serino, Luca Tummolini, tutti i membri del gruppo EMbodied COgnition Lab ([www.emco.unibo.it](http://www.emco.unibo.it)) e i partecipanti al progetto FP7 ROSSI ([www.rossiproject.eu](http://www.rossiproject.eu)) per le frequenti discussioni e il continuo confronto su questi temi. Fondi: progetto ROSSI (Emergence of communication in RObots through Sensorimotor and Social Interaction, Grant agreement n. 216125).

### 1. Introduzione

#### 1.1. Movimento e azione

**Azioni e scopi.** Fino a qualche anno fa l'argomento trattato in questo capitolo veniva più tradizionalmente definito “controllo motorio”. Nei suoi aspetti generali il sistema motorio era infatti visto come una sorta di controllore dei movimenti messi in atto (Gallese, in corso di stampa). Più recentemente invece, grazie in particolare agli studi effettuati nel campo della neurofisiologia e delle neuroscienze cognitive che hanno portato a scoperte come quella dei neuroni canonici e dei neuroni specchio, si è iniziato a sottolineare il fatto che le azioni sono rappresentate non tanto nei termini dei

movimenti che le compongono o del tipo di effettore (mano, bocca etc.) con cui vengono svolte, ma piuttosto nei termini dei loro scopi. Questo approccio è particolarmente consono ad una logica adattiva: ad esempio, sia per i nostri progenitori che per noi ciò che conta è procurarsi il cibo, mentre è meno importante con quale tipo di movimento e con quale arto l'azione venga resa possibile.

**Neuroni canonici e neuroni specchio.** I neuroni canonici e i neuroni specchio sono due tipi di neuroni visuomotori inizialmente rilevati nell'area F5 della corteccia premotoria della scimmia (Gallese, Fadiga, Fogassi e Rizzolatti, 1996; per una rassegna si veda Rizzolatti e Craighero, 2004; in italiano Rizzolatti e Sinigaglia, 2006). Se finora la ricerca si è concentrata primariamente sui neuroni specchio, anche i neuroni canonici hanno proprietà di grande interesse che devono ancora essere indagate in maniera esaustiva. I neuroni canonici codificano diversi tipi di prensione, come quella caratterizzata dall'opposizione pollice-indice, usata ad esempio quando si afferra una ciliegia (presa di precisione), o quella impiegata per l'afferramento di oggetti più grandi come ad esempio una mela (presa di forza) in cui vengono studiate le diverse fasi dell'apertura della mano e la chiusura delle dita sull'oggetto. E' interessante notare come questi neuroni si attivino anche quando l'azione non viene svolta, purché ci si trovi in presenza di oggetti afferrabili con un dato tipo di presa. Gli studi sulla scimmia dimostrano invece che i neuroni specchio "scaricano" sia quando l'animale compie un'azione con un oggetto sia quando vede un conspecifico o anche uno sperimentatore eseguire la stessa azione. Immaginiamo di registrare i neuroni che scaricano mentre la scimmia mangia una nocciolina. I neuroni specchio scaricano indipendentemente dal fatto che la scimmia afferri la nocciolina con la mano destra, con la mano sinistra o con la bocca, e indipendentemente dallo specifico movimento svolto. Questo significa che l'azione "afferrare la nocciolina" è codificata non tanto nei termini dei singoli movimenti che la compongono o degli "effettori" impiegati (la mano, la bocca), ma piuttosto in riferimento allo scopo generale. Diversi risultati, ottenuti in particolare con studi di risonanza magnetica funzionale e con la TMS (stimolazione magnetica transcranica), hanno rivelato la presenza di un sistema di neuroni canonici e specchio anche negli esseri umani (Buccino et al., 2001; 2005; per una rassegna, si veda Rizzolatti e Craighero, 2004; in italiano Rizzolatti e Sinigaglia, 2006).

**Atti motori e catene motorie.** Da quanto detto si può concludere che quello che rende un "movimento" un "atto motorio" è proprio il fatto che sia caratterizzato da uno scopo. Ogni singolo movimento può avere infatti scopi diversi: ad esempio possiamo aprire le dita per afferrare una tazza, una pallina, o per fare un segnale a qualcuno. Immaginiamo di prendere un bicchiere per bere. Se pensiamo allo scopo complessivo dell'azione, allora i singoli movimenti, come raggiungere il bicchiere, aprire le dita e poi richiuderle per afferrare il bicchiere con un dato tipo di presa, assumono uno scopo specifico, e possono essere intesi come dei veri e propri atti motori che sono iscritti in un'azione più generale. Oltre ad avere uno scopo per sé, infatti, i singoli atti motori sono motivati da uno scopo più generale, quello appunto di bere. Recentemente Fogassi

e collaboratori (2005) hanno dimostrato che, nella corteccia parietale della scimmia, esistono neuroni che codificano i singoli atti motori in maniera diversa a seconda dello scopo dell'azione nel suo complesso, come ad esempio afferrare qualcosa per metterlo in un contenitore o invece per portarlo alla bocca. Ovvero, in termini più tecnici, questi neuroni scaricano in maniera diversa a seconda della "catena motoria" in cui i singoli atti motori sono iscritti. Effetti simili sono stati registrati sia quando le scimmie dovevano eseguire un'azione, sia quando dovevano semplicemente osservarla. L'idea che le azioni siano organizzate in "catene motorie" è stata inizialmente limitata alle osservazioni fatte sulle scimmie, ma ora si è estesa anche agli umani. In uno studio di risonanza magnetica funzionale, Iacoboni e collaboratori (2005) hanno infatti dimostrato che il sistema di neuroni specchio degli umani risponde in modo diverso a seconda, ad esempio, che si afferrino una tazza per bere o per spostarla da una posizione ad un'altra. Il sistema umano di neuroni specchio è dunque sensibile alle diverse intenzioni di chi sta compiendo un'azione.

**Dal movimento all'azione.** L'idea che ci rappresentiamo le azioni in termini dei loro scopi, piuttosto che dei movimenti che le compongono, è avvalorata da diverse evidenze sperimentali. Un chiaro esempio di questa organizzazione basata sugli scopi è dato da uno studio recente condotto sulle scimmie da Umiltà, Escola, Intskirveli et al. (2008). Gli sperimentatori registravano l'attività dei neuroni premotori dell'area F5 mentre la scimmia afferrava oggetti con una pinza adatta a mangiare le lumache. Lo strumento induceva a eseguire movimenti opposti rispetto a quelli che di solito vengono svolti, cioè l'animale per afferrare il cibo doveva allargare anziché chiudere la pinza. Evidentemente quello che contava era lo scopo finale dell'azione, e i neuroni scaricavano nello stesso modo alla vista del cibo, indipendentemente dal tipo di movimento che dovevano mettere in atto per afferrarlo.

L'esempio riportato chiarisce bene come sia la presenza di uno scopo a trasformare un "movimento" in un "atto motorio". Lo scopo cioè spiega come dal movimento si passi ad un'azione.

## 1.2. Percezione, azione e cognizione

**Rapporti tra percezione e azione.** Proviamo a immaginare un sandwich. All'esterno due fette di pane, all'interno la parte farcita, più gustosa. Questo è il modo in cui le teorie cognitiviste tradizionali intendevano la cognizione: la percezione e l'azione rappresentavano le due fette di pane, periferiche e meno gustose rispetto a quando stava in mezzo, la parte importante del panino, la cognizione (Hurley, 2008). Questa visione partiva da alcuni presupposti. In primo luogo presupponeva che percezione e azione fossero sfere separate (Sternberg, 1969; Pylyshyn, 1999), e che la percezione avvenisse sempre nello stesso modo, indipendentemente dal tipo di risposta motoria prevista. Più recentemente, molte ricerche hanno invece dimostrato che le cose non stanno così. Siamo esseri adattivi, non percepiamo per percepire e basta ma percepire ci serve per agire, per interagire con gli oggetti e con gli altri. Quindi ciò che percepiamo non è

indipendente dai nostri scopi, e la percezione non viene necessariamente prima dell'azione ma vi è una relazione circolare, di mutua interdipendenza, tra percezione e azione (Berthoz, 1997). In secondo luogo la teoria tradizionale presupponeva una rigida separazione tra processi di livello basso, percezione e azione, e processi di livello alto, come la concettualizzazione, la memoria e il linguaggio. L'idea di base era che l'esperienza sensorimotoria venisse "tradotta" in simboli arbitrari, e che la mente fosse una sorta di macchina adatta a manipolare simboli arbitrari. In antitesi con questa visione, da 10-15 anni è emersa l'idea per cui non esistono processi di livello alto e di livello basso; la cognizione è "embodied", cioè non è astratta e arbitraria, separabile dall'esperienza di possedere un corpo e un particolare tipo di sistema sensorimotorio (Barsalou, 1999; Glenberg, 1997), ed è "grounded", contestualizzata, situata, ancorata alla nostra esperienza (Barsalou, 2008).

### 1.3. Cognizione embodied e grounded

**Cognizione "embodied" e "grounded".** L'etichetta Embodied Cognition (la traduzione italiana non verrà usata perché riteniamo che sia cognizione incarnata che cognizione incorporata siano piuttosto brutti) è stata utilizzata negli ultimi 10-15 anni per riferirsi a diverse teorie che coinvolgono ambiti disciplinari molto diversi, dall'intelligenza artificiale alla robotica, dalle neuroscienze cognitive alla psicologia cognitiva, dalla filosofia alla linguistica e all'antropologia cognitiva. In generale, ciò che le accomuna è il fatto di sottolineare l'importanza che ha il corpo per la cognizione; l'idea di fondo è che i nostri processi cognitivi siano vincolati non solo dal nostro cervello ma più in generale dal nostro corpo, in particolare dal nostro sistema sensorimotorio. A seconda dei diversi ambiti e dei diversi autori questa posizione può però assumere livelli più o meno radicali (si veda ad esempio Goldman e de Vignemont, 2009). Alcuni autori infatti enfatizzano l'importanza del corpo e la centralità per la cognizione dell'azione guidata da scopi (Gallese, 2009; Glenberg, 1997; per una critica dall'interno della nozione di azione usata nell'ambito delle teorie embodied si veda Borghi e Cimatti, 2010), altri tendono invece a preferire l'etichetta "grounded", sottolineando così che la cognizione può essere situata non solo nel corpo (Barsalou, 2008).

**Rappresentazione degli oggetti.** Le prospettive embodied e grounded, parzialmente diverse, portano a intendere in diverso modo come ci rappresentiamo gli oggetti. In entrambi i casi si ritiene che, quando ad esempio pensiamo ad un telefono, o anche quando sentiamo e produciamo la parola "telefono", riattiviamo le esperienze che abbiamo svolto con quell'entità o quell'oggetto. Attraverso queste esperienze multimodali riattiveremo (e il nostro cervello risponderà di conseguenza) l'esperienza acustica di sentire lo squillo del telefono, quella motoria di sollevare la cornetta, quella visiva di distinguerne il colore e così via. Però, per la posizione embodied nel pensare al telefono attiviamo immediatamente le parti del telefono legate alle azioni che più frequentemente svolgiamo con esso: ad esempio, la cornetta, che di solito solleviamo.

Secondo la versione grounded abbiamo invece una rappresentazione del telefono più globale, non direttamente legata all'azione. Solo in seguito, in funzione dell'azione specifica che dobbiamo svolgere, attiviamo le caratteristiche del telefono più rilevanti.

Questi due modi in cui ci rappresentiamo gli oggetti secondo la posizione embodied e grounded non sono necessariamente in contrasto, ed è probabile che siano entrambi corretti. Ad esempio è possibile che vengano attivate prima le caratteristiche del telefono legate alle azioni più frequenti e poi, se è necessario per raggiungere il nostro scopo attuale, le altre (per una articolata discussione di questo aspetto si veda Borghi, 2005).

## 2. Embodiment e simulazione

### 2.1. La simulazione

**Diverse nozioni di simulazione.** Una nozione molto importante per le teorie embodied e grounded è quella di simulazione. Nel contesto delle teorie embodied la nozione di simulazione è stata intesa in modi diversi (per una rassegna, si veda Decety e Grezes, 2006). Nell'ambito della filosofia della mente, si usa questo termine per riferirsi alle nostre capacità di leggere la mente altrui (vedi ad esempio Gallese e Goldman, 1998). In pratica la simulazione aiuterebbe a mettersi nei panni degli altri e a comprendere i loro stati mentali. Di maggiore interesse per il tema affrontato in questo capitolo sono le proposte che ancorano la nozione di simulazione alla cognizione motoria e all'azione. In questo quadro, questa nozione viene vista almeno in due accezioni. Alcuni autori (es. Decety e Ingvar, 1990) la intendono come processo consapevole volto non tanto a comprendere le mente altrui ma piuttosto a riattivare in modo deliberato azioni eseguite in precedenza, mentre altri autori la intendono come processo implicito, non consapevole. Tra questi ultimi una posizione particolarmente interessante è quella di Jeannerod (2007) che definisce la simulazione come "recupero off-line delle reti neurali coinvolte in operazioni specifiche come percepire o agire". Ovviamente però, la simulazione differisce dall'azione esplicita: prevede un'attivazione più debole di questi sistemi rispetto a quanto accade con l'azione esplicita. Nella simulazione deve poi essere presente un meccanismo che impedisce all'azione effettiva di aver luogo e, inoltre, a differenza di quando svolgiamo un'azione, quando simuliamo non c'è feedback sensoriale.

**Simulazione come predizione e come ri-attivazione.** Concorde con l'idea che la simulazione non sia esplicita, né che sia costruita deliberatamente per comprendere gli stati mentali altrui, Gallese (2009) propone che la simulazione motoria si configuri come un meccanismo embodied e automatico. In generale, si può sostenere che, nell'ambito delle teorie embodied, vengano usate due nozioni parzialmente diverse di simulazione, o meglio che vengano sottolineate due diverse funzioni che la simulazione può svolgere. Secondo la prima (Gallese, 2009), la simulazione ha primariamente una funzione predittiva: formarsi una simulazione è utile a prepararsi per agire e a comprendere le azioni che gli altri stanno compiendo. Ad esempio prima di interagire con un oggetto nuovo potrei simularne l'uso, e la simulazione può aiutarmi a prevedere come fare, facilitandomene l'impiego.

In base alla seconda (Barsalou, 1999), l'aspetto predittivo è meno rilevante. Simulare serve piuttosto a riattivare esperienze sensorimotorie compiute con un oggetto o un'entità. I concetti di oggetti ed entità, osserva Barsalou, sono delle specie di simulatori, utili ad attivare simulazioni che possono, per esempio, facilitare la nostra interazione con gli oggetti. Per esempio, il concetto di cane mi consente di simulare di interagire con esso riattivando, anche se in modo parziale, l'esperienza di accarezzarlo, di osservarlo, di sentirlo mentre guaisce o abbaia.

Al di là di queste lievi differenze, in generale la nozione di simulazione fa riferimento al coinvolgimento di reti neurali percettive, motorie ed emozionali senza che questa attivazione si traduca in una risposta motoria esplicita.

## 2.2. Simulazione con oggetti, con altri, con parole

**Simulazione e risonanza motoria.** Nei paragrafi che seguono, faremo riferimento alla nozione di simulazione in contesti differenti. Questo termine può essere utilizzato, infatti, sia per riferirsi alla simulazione motoria che ha luogo durante l'osservazione di oggetti, sia durante l'osservazione di altri organismi, sia durante la comprensione del linguaggio. Si pensi a quando, osservando oggetti, attiviamo automaticamente un'azione implicita che non necessariamente si traduce in un'azione vera e propria. Ad esempio osservare una tazza può indurci a simulare l'azione di afferrarla per il manico, o osservare una ciliegia può attivare automaticamente una data postura della mano atta ad afferrarla. La simulazione in questo caso può fungere da meccanismo anticipatorio che ci facilita nelle nostre future interazioni con gli oggetti, e ci aiuta a usare la nostra conoscenza per agire.

Si pensi a quando osserviamo qualcuno compiere un movimento complesso, come danzare, o un'azione, come afferrare una mela e portarla alla bocca. Anche in questo caso attiviamo una simulazione, una forma di risonanza motoria; il nostro sistema motorio "risuona" con quello che osserviamo. In questo caso, simulare ci può aiutare a predire e comprendere le azioni degli altri, le intenzioni sottostanti e, secondo alcuni autori, addirittura i loro stati mentali. Inoltre, simulare ci può portare a porci in sintonia con gli altri, ad essere empatici con loro, a comprendere le loro emozioni, a metterci nei loro panni. Insomma, la simulazione motoria può costituire un importantissimo meccanismo alla base della cognizione sociale (Gallese, 2008). Si pensi infine a quando comprendiamo una frase, per esempio "mangiare la mela": anche in questo caso simuliamo, ovvero riattiviamo l'esperienza che conosciamo bene e che la frase descrive.

**Basi neurali della simulazione.** Tra le basi neurali sottostanti la simulazione, il sistema dei neuroni canonici e quello dei neuroni specchio giocano un ruolo di rilievo. Sono state infatti riportate numerose prove secondo le quali durante l'osservazione di oggetti si attiva il sistema di neuroni canonici, durante l'osservazione di azioni altrui il sistema che si attiva è quello dei neuroni specchio. Durante la comprensione del linguaggio è probabile che entrambi i sistemi si attivino.

### 3. Embodiment, simulazione e oggetti: le affordances

Come descritto nella prima parte del capitolo, i neuroni canonici si attivano mentre osserviamo oggetti con cui possiamo potenzialmente interagire. In questo paragrafo introdurremo la nozione di “affordance”, che rende conto di come percezione e azione siano interconnesse. In particolare, discuteremo alla luce delle prove sperimentali se l’attivazione di affordances è automatica e se esistono differenti tipi di affordances.

#### 3.1 Affordances e micro-affordances

**Osservazione di oggetti e azioni.** Cosa succede quando osserviamo oggetti con cui possiamo potenzialmente eseguire azioni? Secondo le teorie della cognizione embodied e grounded, osservare una mela ci porta a simulare riattivando le esperienze sensorimotorie precedenti avute con altre mele, o con altri oggetti simili. Così, il percepire una mela diventa un’esperienza di azione potenziale (che si può o meno tradurre in azione reale), e la percezione è influenzata dal tipo di risposta motoria che possiamo fornire (da qui si capisce come percezione e azione siano intimamente relate). Come scrive Glenberg in uno dei primi articoli in favore della cognizione embodied (Glenberg, 1997), una tazza non è una tazza in sé ma una tazza per me, ad una certa distanza da me sul tavolo, con il manico orientato in un certo modo e così via. In altre parole, la tazza costituisce un pattern di azione potenziale, noi la percepiamo in virtù delle potenzialità motorie.

La nozione di affordance proposta originariamente da Gibson (1979), consiste proprio nel fatto che la tazza “si offra” a noi per essere afferrata. Le affordances sono le possibilità che l’ambiente fornisce agli organismi per perseguire i loro obiettivi. Le affordances quindi non sono proprietà intrinseche degli oggetti (delle tazze per esempio), ma emergono dall’interazione tra le caratteristiche degli oggetti e quelle degli organismi. Lo stelo di un fiore per esempio rappresenta per noi una buona affordance in quanto possiamo adattare la nostra mano per coglierlo; per altri esseri viventi, come le api, lo stesso stelo può avere una buona affordance, ma per scopi diversi (per esempio per percorrerlo fino a raggiungere il fiore). La diversità tra il corpo umano e quello delle api, e il fatto che umani ed api hanno scopi differenti, provocherà per lo stesso oggetto diversi tipi di affordance.

**Affordance secondo Gibson.** Secondo Gibson, il nostro sistema percettivo si è adattato alla nicchia ecologica in cui la nostra specie è vissuta così da essere in grado di registrare in modo diretto e immediato le affordances, cioè le possibilità che l’ambiente ci offre. Ne consegue che, secondo Gibson, per rispondere alle affordances degli oggetti, non è necessario che riconosciamo gli oggetti stessi: non occorre riconoscere che un’arancia è un’arancia perché le nostre mani si adattino ad afferrarla. Scrive Gibson: `You do not have to classify and label things in order to perceive what they afford` (Gibson, 1979, p. 134). La nozione di affordance nella forma proposta da Gibson è accettata ancora oggi dagli psicologi che si interessano di “psicologia

ecologica”, ma nella gran parte della ricerca contemporanea questa nozione è stata reinterpretata in maniera parzialmente diversa.

**La nozione di micro-affordance.** Due psicologi inglesi, Ellis e Tucker (2000), hanno coniato il termine “micro-affordances” che, pur rifacendosi alla nozione di Gibson, se ne allontana principalmente per due ragioni. In primo luogo, gli autori sottolineano che le affordances si attivano automaticamente, ma presuppongono l’accesso alla conoscenza dell’oggetto. In altri termini, per rispondere alle affordances di afferramento che un bicchiere ci offre, dobbiamo riconoscere che si tratta di un bicchiere e che possiamo usarlo per bere. In secondo luogo, Ellis e Tucker sostengono che le micro-affordances sono il prodotto della “congiunzione, nel cervello, tra stimoli visivi e risposte motorie” che si sono sviluppate nel corso della vita dell’individuo e della specie, durante il processo di adattamento all’ambiente. Così, un oggetto evoca la rappresentazione delle possibili azioni da svolgere con esso; tuttavia, non è chiamato in causa solo il corpo ma anche il cervello, il modo in cui ci rappresentiamo gli oggetti a livello neurale. Il cervello giocava invece un ruolo relativamente marginale nella visione di affordances alla Gibson, che, in un’ottica più “esternista”, poneva l’accento sulle relazioni tra gli organismi e l’ambiente (“Ask not what is inside the observers head, but what the observers head is inside of”). In particolare, alcuni studi hanno dimostrato che la base neurale sottostante la risposta alle affordances degli oggetti è costituita dal sistema di neuroni canonici, ovvero di quei neuroni che scaricano sia durante l’esecuzione di specifiche azioni con oggetti (ad esempio l’afferramento), sia durante la mera osservazione degli oggetti quando non è richiesta una risposta esplicita (Murata, Fadiga, Fogassi, Gallese, Raos, e Rizzolatti, 1997).

### 3.2. Affordances automatiche o non automatiche?

**Manipolazione e funzione.** Circa il primo punto, ovvero il fatto che rispondere alle affordances degli oggetti evoca la conoscenza degli oggetti stessi, sono state raccolte diverse prove. In particolare, è rilevante la distinzione tra affordances basate sulla funzione degli oggetti e affordances legate al modo in cui gli oggetti si manipolano (Bub et al., 2008). Prendiamo ad esempio un coltello. Mentre noi, che usiamo il coltello di frequente, sappiamo che per utilizzarlo al meglio occorre afferrarlo dalla parte del manico e tenerlo saldamente impugnato con una presa di forza, chi lo vedesse per la prima volta potrebbe afferrarlo dalla parte della lama con una presa di precisione (Klatzky, McCloskey, Doherty e Pellegrino, 1987). Non c’è quindi totale corrispondenza tra le affordances evocate semplicemente osservando un oggetto e quelle evocate riattivando la nostra conoscenza di quell’oggetto; la nostra conoscenza deve integrare l’informazione visiva per consentirci di interagire adeguatamente con gli oggetti. Creem e Proffitt (2001) hanno messo in luce questo aspetto con un paradigma di doppio compito, in cui chiedevano ai partecipanti di afferrare oggetti quotidiani, come i pettini e le spazzole, mentre svolgevano un compito che occupava il loro sistema semantico (la loro conoscenza) o il loro sistema spaziale. Quando il compito interferente

teneva occupato il loro sistema di conoscenza, i partecipanti non riuscivano ad afferrarlo nel modo più idoneo, e questo suggerisce che l'utilizzo appropriato degli oggetti necessita di un'integrazione tra l'informazione visiva che riceviamo osservando l'oggetto e l'informazione che ci deriva dalla memoria delle nostre interazioni passate con l'oggetto stesso (Buxbaum, Schwartz e Carew, 1997; Buxbaum, Sirigu, Schwartz e Klatzky, 2003).

**Brain imaging a affordances.** Sulla base delle evidenze precedenti, si potrebbe concludere che l'attivazione delle affordances funzionali non è automatica ma legata alla conoscenza dell'oggetto; altri lavori però ottengono risultati diversi, dimostrando che l'attivazione delle affordances è automatica. Per esempio studi di brain imaging (fMRI, PET) hanno rivelato che, osservando utensili come martelli, cacciaviti e simili, si attiva automaticamente informazione motoria (Boronat, Buxbaum, Coslett, Tang, Saffran, Kimberg e Detre, 2005; Grezes e Decety, 2002; Johnson-Frey, 2003). Questo avviene sia quando ai partecipanti viene richiesto di riconoscere oggetti di diverse categorie, sia durante l'osservazione passiva di strumenti (Creem-Regehr e Lee, 2005). Inoltre, osservare utensili attiva la corteccia motoria in maniera significativamente maggiore rispetto ad osservare altri oggetti come case, animali o facce (Chao e Martin, 2000; Martin, Wiggs, Ungerleider e Haxby, 1996; per una rassegna si veda Martin, 2007). Anche il ricordo di azioni associate a utensili attiva la corteccia premotoria sinistra (Grafton, Arbib, Fadiga e Rizzolatti, 1996). Negli esseri umani ci sono prove a favore di un circuito parietale-premotorio attivo durante l'osservazione di oggetti manipolabili (Grezes et al., 2003). La corteccia premotoria sinistra risponde preferenzialmente agli oggetti manipolabili, come gli utensili, gli indumenti e la frutta, rispetto a quelli non manipolabili (Gerlach, Law e Paulson, 2002; Kellenbach, Brett e Patterson, 2003).

**Effetti di compatibilità e affordances.** Oltre agli studi di brain imaging, anche diversi lavori comportamentali suggeriscono che l'attivazione di affordances sia automatica. Buona parte delle prove comportamentali a favore delle affordances sono ottenute con paradigmi di compatibilità tra le caratteristiche dello stimolo (ad esempio le dimensioni) e la risposta motoria (ad esempio l'utilizzo di una presa adatta alle dimensioni dell'oggetto; si veda ad esempio Tipper et al. 2006). In alcuni studi Tucker e Ellis (1998; 2001) hanno trovato effetti di compatibilità tra le caratteristiche percettive di oggetti, come l'orientamento del manico, e il tipo di risposta motoria fornita (per un modello computazionale di questi effetti, si veda Caligiore et al, in corso di stampa). Così, se ai partecipanti viene chiesto di decidere premendo un diverso tasto se oggetti con il manico, come le tazze, sono diritti o rovesciati, anche se la collocazione del manico non è rilevante per il compito si tende a rispondere più velocemente con la mano destra se il manico è collocato a destra e con la mano sinistra se il manico si trova sulla sinistra. Ancora, se i partecipanti devono premere una sorta di joystick esercitando una presa di precisione o di forza per decidere se gli oggetti presentati sono artefatti (es. chiodo, cacciavite) o oggetti naturali (es. ciliegia, mela), sono più veloci a decidere che

la mela è un oggetto naturale usando una presa di forza rispetto ad una precisione, mentre accade l'opposto per le ciliegie. I risultati indicano quindi che quando osserviamo gli oggetti, o anche le immagini degli oggetti, riattiviamo esperienze sensorimotorie precedenti evocando le loro affordances.

In sintesi, una delle questioni più dibattute nell'ambito degli studi sulle affordances è se siano frutto dell'esperienza online (attivazione automatica), o se siano invece generate dalla conoscenza generata dall'esperienza.

### 3.3. Affordances stabili, canoniche e variabili

**Affordances stabili e variabili.** Gli studi fin qui riportati fanno riferimento ad affordances differenti. Si consideri la differenza tra le dimensioni e l'orientamento di un oggetto. Ci può essere utile ricordare che le ciliegie si afferrano con una presa di precisione, così come ricordare che per scrivere occorre che la penna abbia una certa inclinazione, mentre non ci serve ricordare in che direzione è orientato il manico di una tazza, dato che l'orientamento del manico può variare di volta in volta. Sulla base di considerazioni come questa Borghi e Riggio (2009) hanno proposto la distinzione tra affordances stabili e affordances variabili, distinzione che è poi stata ripresa ed ampliata nell'ambito del progetto europeo ROSSI ([www.rossiproject.eu](http://www.rossiproject.eu)). Va precisato che si tratta di una distinzione sfumata, non di una dicotomia o di una demarcazione netta (tutte le affordances, anche quelle "stabili", hanno caratteristiche di variabilità). Le affordances stabili emergerebbero da proprietà relativamente stabili, invarianti, che possono essere incorporate in una rappresentazione dell'oggetto immagazzinata in memoria, come ad esempio le dimensioni. Ci può essere utile tenere in memoria l'informazione che le ciliegie sono relativamente piccole rispetto al nostro corpo, e che possiamo afferrarle con una presa di precisione. Le affordance variabili emergono da caratteristiche dell'oggetto temporanee, come l'orientamento attuale del manico della tazza che ho sul tavolo, e sono rilevanti per le azioni che compiamo sul momento, non sono parte della rappresentazione dell'oggetto.

**Diverse affordances: basi neurali.** E' possibile che questi due tipi diversi di affordances siano rappresentati diversamente anche a livello neurale. Così come Young (2006) ritiene che il sistema dorsale sia più rilevante per le affordances legate alla manipolazione degli oggetti, e il sistema ventrale, legato alla conoscenza degli oggetti, per le affordances legate alla funzione, così è possibile che esistano due diversi circuiti anche per le affordance variabili e stabili. Le prime, infatti, dovrebbero essere più rappresentate nel sistema dorsale o dorso-dorsale (Rizzolatti e Matelli, 2003), dato che riguardano la nostra interazione online con gli oggetti, le seconde nel sistema ventrale o dorso-ventrale, dato che riguardano come ciò che sappiamo degli oggetti influenza il modo in cui ce li rappresentiamo e interagiamo con essi. Una recente meta-analisi condotta su diversi studi con risonanza magnetica funzionale (Sakreida et al, in preparazione) sembra mostrare che esistono due reti di aree neurali chiaramente separate, anche se ovviamente interconnesse, una volta a rappresentare le affordances

stabili, l'altra le affordances variabili. Sul piano teorico, questo può portare a ritenere che il dibattito circa il fatto che l'attivazione delle affordances sia automatica o meno vada riformulato. Ad esempio, è possibile che quando osserviamo un oggetto a distanza, si attivino automaticamente le affordances stabili e canoniche (es. la grandezza tipica degli oggetti, l'orientamento tipico in cui vengono utilizzati e così via). Ugualmente, affordances stabili e canoniche verrebbero ad attivarsi quando pensiamo ad un oggetto, o quando parliamo o sentiamo parlare di un oggetto. Le affordances variabili, invece, dovrebbero essere implementate più tardi, durante la pianificazione dell'azione.

In sintesi, la questione se le affordances implicino l'accesso alla conoscenza concettuale o meno, così come quella se siano attivate in modo automatico o no, è piuttosto complessa. Questo può dipendere anche dal fatto che il termine affordance viene utilizzato sia in compiti in cui si chiede ai partecipanti di interagire con gli oggetti, sia in compiti in cui in qualche modo si chiede loro di simulare l'interazione con gli oggetti stessi (per esempio presentando immagini anziché oggetti reali, e chiedendo loro di categorizzarli).

**Affordances stabili e variabili, funzione e manipolazione.** Si può comunque ipotizzare che queste dicotomie possano essere ricomposte ricorrendo ad una distinzione tra tipi differenti di affordances: alcune legate alla funzione, e dunque alla conoscenza, altre alla manipolazione diretta degli oggetti. Alcune stabili, emergenti da caratteristiche relativamente permanenti degli oggetti come la grandezza, altre variabili e temporanee. Si può ipotizzare che a queste affordances siano sottesi sistemi neurali differenti. Secondo una teoria molto nota (Milner e Goodale, 1995) esisterebbero due sistemi separati che analizzano le caratteristiche visive degli oggetti per obiettivi distinti: una via diretta percezione-azione mediata dal sistema dorsale (via del How), e una via indiretta, percezione-conoscenza-azione, che passa attraverso il lobo temporale e presuppone il riconoscimento degli oggetti e l'accesso all'informazione concettuale, per poi arrivare al lobo parietale, area deputata all'invio dei comandi motori (via del What). Le affordance vengono tipicamente attribuite alla via dorsale, ma la nostra ipotesi è che affordances diverse attivino sistemi differenti. A questo proposito è utile la proposta di Rizzolatti e Matelli (2003) di distinguere la via dorsale in 2 sottosistemi, la via dorso-dorsale, e quella dorso-ventrale. Evidenze preliminari portano a ritenere che tipi diversi di affordance siano mediati da sistemi neurali differenti. Uno, il sistema dorsale (o dorso-dorsale), più rapido, online; l'altro, il sistema ventrale (o più probabilmente ventro-dorsale), più lento, connette percezione e azione tenendo conto anche della conoscenza immagazzinata sugli oggetti (Borghi e Riggio, 2009; Sakreida et al., in prep.; Young, 2006). Questi due sistemi potrebbero anche attivarsi in parallelo, ed essere utilizzati in modo diverso a seconda che il compito richieda un'interazione diretta con l'oggetto o se invece richieda di attivarne la rappresentazione.

#### 4. Embodiment, simulazione e interazione con altri: la risonanza motoria

Come si è detto più sopra, i neuroni specchio si attivano mentre osserviamo altri che agiscono. In questo paragrafo prenderemo in rassegna studi che dimostrano come osservare un effettore altrui (solitamente una mano) attiva informazione motoria. Riporteremo poi evidenze che indicano che questa attivazione avviene con più facilità quanto più le azioni altrui sono simili a quelle del nostro repertorio motorio. Le basi neurali di questo processo sembrano risiedere nel sistema dei neuroni specchio. Si parla appunto di “risonanza motoria”, dato che è come se il nostro sistema motorio risuonasse di fronte alle azioni altrui, riconoscendo la similarità tra ciò che osserviamo e le azioni che potremmo compiere.

##### 4.1. Paradigmi con “prime” ed effetti di compatibilità

**Effettori e oggetti.** Immaginiamo di osservare una mano che sta per compiere un'azione con un oggetto. Molti risultati dimostrano che osservare una mano attiva il sistema motorio, e che della mano automaticamente registriamo la postura, anche quando non è rilevante per il compito che dobbiamo eseguire (Craigheo, Bello, Fadiga e Rizzolatti, 2002). In un recente lavoro (Borghi, Bonfiglioli, Lugli, Ricciardelli, Rubichi e Nicoletti, 2007), ai partecipanti veniva chiesto di premere un diverso tasto per categorizzare immagini di oggetti distinguendoli in artefatti e oggetti naturali. L'effetto di compatibilità tra il “prime” (l'immagine di una mano con la postura di presa di precisione o di forza) e il “target” (l'immagine di un oggetto naturale o di un artefatto afferrabili con una presa di precisione o di forza, ad esempio la ciliegia e la mela o il chiodo e il martello) rivela che osservare una mano seguita da un oggetto attiva informazione motoria. Questo risultato comportamentale suggerisce che due diversi sistemi neurali sono attivi contemporaneamente: l'osservazione della mano attiva il sistema di neuroni specchio, mentre l'osservazione dell'oggetto attiva quello dei neuroni canonici.

**Effettori in movimento.** Un effetto di compatibilità più marcato è stato trovato in una replica dell'esperimento condotta con videoclip invece che con immagini statiche della mano; l'effetto più marcato potrebbe però essere dovuto al fatto che gli oggetti non venivano mostrati in grandezza standard ma nella loro grandezza naturale, ad esempio, le ciliegie apparivano più piccole delle mele (Vainio, Symes, Ellis, Tucker e Ottoboni, 2008). Inoltre, analoghi effetti di compatibilità tra la postura della mano e l'oggetto sono stati ritrovati in una varietà di compiti (Yoon e Humphreys, 2005; Fischer, Prinz e Lotz, 2008). L'attenzione alle caratteristiche della mano-prime, per esempio al fatto che il prime fosse unimanuale o bimanuale e che indicasse un'azione (es. afferrare un oggetto) piuttosto che un semplice movimento, è stata dimostrata anche in uno studio recente in cui il target era costituito da nomi di oggetti dotati o meno di movimento autonomo (ad esempio animali vs. piante) anziché da immagini di oggetti (Setti, Borghi e Tessari, 2009). In generale, questi studi mostrano che l'osservazione di

effettori (come le mani) in potenziale interazione con oggetti, attiva un processo di risonanza motoria. Tuttavia, non è implicito che tale processo avvenga in modo automatico; perché si abbia risonanza motoria infatti, è necessario che si noti la similarità e si combinino le azioni che si osservano con le azioni che siamo in grado di compiere. Per esempio, nello studio di Borghi e collaboratori (2007) l'effetto di compatibilità emergeva solo quando, prima dell'esperimento, i partecipanti riproducevano con entrambe le mani le posture delle mani che osservavano. Sembra dunque che, perché vi sia risonanza motoria, i partecipanti debbano "fare" i gesti che osservano.

Gli studi sul movimento implicito ci danno informazioni sulle basi neurali di questo fenomeno. Ci sono evidenze che il sistema dei neuroni specchio si attiva anche in presenza di immagini statiche di effettori che implicano un movimento (Freyd, 1983; Kourtzi e Kanwisher, 2000). In un lavoro condotto con la risonanza magnetica funzionale (Johnson-Frey, Maloof, Newman-Norlund, Farrer, Inati e Grafton, 2003) gli autori mettono in luce come l'attivazione di questo sistema non è dovuta al fatto che l'azione sia rappresentata in modo dinamico, ma piuttosto alla presenza dell'obiettivo dell'azione. Ad esempio, osservare un'immagine statica di una mano che afferra una bottiglia, è sufficiente per attivare il sistema frontoparietale dei neuroni specchio, dimostrando che non è necessario che l'azione sia rappresentata in modo dinamico.

**Effettori senza oggetti.** Cosa accade quando osserviamo gli effettori, senza che sia presente un oggetto? Evidenze con la TMS completano il quadro descritto fin qui e rivelano che le aree motorie e premotorie che sono parte del sistema dei neuroni specchio si attivano quando si osserva una mano in procinto di afferrare qualcosa, rispetto a quando si osserva una mano ferma o una mano che ha già terminato un movimento di afferramento. Questo accade anche senza che siano presenti oggetti; dunque è come se il sistema motorio si attivasse per estrapolare la traiettoria futura delle azioni. L'assenza di una modulazione dei potenziali evocati motori (MEP) quando si osserva la mano nella fase finale dell'azione suggerisce come l'attivazione del sistema abbia preferenzialmente una funzione predittiva (Urgesi, Moro, Candidi e Aglioti, 2006).

In generale si può quindi concludere che non tutti i dati sperimentali convergono nel dimostrare che l'attivazione del sistema dei neuroni specchio a seguito dell'osservazione di un effettore che sta per eseguire un'azione sia automatica.

#### 4.2. Somiglianza tra le nostre azioni e quelle altrui

**Teorie ideomotorie.** Alcuni autori (Prinz, 1990; 1997; Hommel et al, 2001), hanno proposto diverse teorie basate sul principio ideomotorio; la base neurale comune a queste teorie è rappresentata dal sistema dei neuroni specchio. Tratteremo qui brevemente la principale di queste teorie: la Theory of Event Coding (TEC). Secondo la teoria TEC, percezione e azione sono così strettamente connesse da venir rappresentate in un formato (o codice) comune. Più sovrapposizione c'è tra quanto percepiamo e il

nostro repertorio motorio, più gli eventi che osserviamo (gli stimoli) e gli eventi che siamo in grado di produrre (le azioni) sono simili, più i codici comuni sono attivati, e questo fa sì che la percezione e il riconoscimento di azioni ci risultino più semplici. Così, se ci vengono sottoposti degli stimoli acustici e ci viene chiesto di riconoscere l'azione che li ha prodotti, siamo facilitati se ascoltiamo il battito delle nostre mani anziché il battito delle mani di altri, dato che l'evento che percepiamo e il suono che con il nostro movimento riusciamo a produrre sono simili (Flach et al., 2003). Analogamente, identifichiamo più facilmente la nostra modalità di scrittura rispetto a quella altrui (Sebanz, Knoblich e Prinz, 2003).

**Azioni e prospettiva.** Negli ultimi anni sono stati ottenuti diversi risultati a supporto di questa teoria. In primo luogo, alcuni studi hanno rivelato l'importanza della prospettiva con cui si osserva un'azione. E' stato dimostrato che c'è un vantaggio quando osserviamo ad esempio una mano nella nostra prospettiva piuttosto che nella prospettiva di un altro (Vogt, Taylor e Hopkins, 2003). Per esempio, Bruzzo, Borghi e Ghirlanda (2008) presentavano la foto di una mano "prime" seguita da una mano che interagiva con un oggetto; ai partecipanti veniva chiesto di decidere premendo un diverso tasto se l'azione compiuta con la mano era o meno adeguata all'oggetto. La mano, sia "prime" che "target", veniva presentata in prospettiva egocentrica o allocentrica, come se fosse la mano di un altro. I tempi di risposta erano più veloci quando la mano-target veniva presentata in prospettiva egocentrica, in particolare quando era preceduta da una mano-prime in prospettiva egocentrica. Questo suggerisce che tendiamo a simulare più facilmente le azioni che sono parte del nostro repertorio motorio, rispetto alle azioni altrui (si vedano i lavori di Liuzza, Setti e Borghi, 2012, sulla risonanza motoria in bambini e adulti, e di Ranzini, Borghi e Nicoletti 2011; e di Anelli, Nicoletti, Kalkan, Sahin e Borghi, in press, sulla risonanza motoria nell'osservare mani di umani e di robot).

Jackson, Meltzoff e Decety (2006) hanno trovato che aree neurali differenti si attivano selettivamente per la prospettiva egocentrica (corteccia sensorimotoria sinistra) o per quella non egocentrica (lingual gyrus). Inoltre, studi con pazienti rivelano che cambiare la prospettiva può portare ad attribuire erroneamente le nostre azioni ad altri (Daprati, Frank, Georgieff et al., 1997). In generale gli studi comportamentali confermano che la prospettiva egocentrica è facilitata, probabilmente perché più legata alle azioni in prima persona. Analogamente, sono stati pubblicati studi che mostrano che siamo in grado di predire meglio gli effetti futuri delle nostre azioni rispetto a quelli delle azioni altrui; per esempio siamo in grado di predire con più facilità la traiettoria di una freccia se l'azione di lancio è stata compiuta da noi anziché da altri (Knoblich e Flach, 2001). Questo suggerisce che ognuno di noi, oltre a riconoscere il modo e lo stile con cui agisce, genera predizioni più accurate basandosi sulle proprie azioni che su quelle altrui.

**Azioni e risonanza motoria.** Altri studi hanno mostrato che se i movimenti che

osserviamo sono parte del nostro repertorio motorio riusciamo a simulare meglio. Calvo-Merino e collaboratori (2005) chiedevano a danzatori esperti di balletto classico e danzatori inesperti di osservare diversi video di ballo. Il sistema di neuroni specchio era più attivato quando i danzatori osservavano la danza che conoscevano bene; questo suggerisce che quando osserviamo altri compiere un movimento complesso tendiamo a formarci una simulazione motoria di quel movimento, e che questa simulazione viene influenzata dalla nostra competenza motoria. L'effetto non dipendeva dalla familiarità, ma dall'attivazione di una simulazione motoria: in uno studio di controllo l'effetto di risonanza motoria era maggiore quando i danzatori osservavano ballare persone dello stesso genere, anche se avevano uguale familiarità con l'osservazione di movimenti maschili e femminili.

Il fenomeno della risonanza motoria ha interessanti implicazioni sociali. Molnar-Szakacs, Wu, Robles e Iacoboni (2007) hanno dimostrato che il sistema dei neuroni specchio si attiva maggiormente quando partecipanti europei e nord-americani osservano gesti simbolici realizzati da un attore euro-americano rispetto a gesti realizzati da un attore nicaraguense, nonostante fossero ugualmente familiari.

**Empatia per il dolore.** Gli effetti dell'abbinamento tra le proprie azioni e le azioni altrui sono stati studiati anche quando i partecipanti non svolgono direttamente né osservano un agente che svolge un'azione, ma quando si concentrano piuttosto su qualcuno che è oggetto di un'azione altrui. Ad esempio, cosa succede se osserviamo che un oggetto potenzialmente doloroso come una siringa trafigge una mano? Oppure cosa succede se osserviamo il volto nostro o quello di un altro mentre viene toccato? Impiegando la tecnica della TMS, Avenanti e collaboratori (2005) hanno messo in luce che il sistema di neuroni specchio si attiva quando osserviamo un video con una mano che viene trafitta da una siringa, mentre non proviamo alcuna empatia se, invece di una mano, è un pomodoro ad essere trafitto, o se la mano è trafitta da uno stimolo non doloroso come un cotton-fioc.

L'effetto di risonanza visuotattile è particolarmente forte quando nell'immagine viene presentato il nostro volto, o quando il viso della persona che osserviamo è simile a noi per caratteristiche etniche (volto italiano vs. volto marocchino) o anche per appartenenza politica (Berlusconi vs. Prodi). Insomma, più è simile a noi colui o colei che osserviamo, più il nostro sistema motorio e il nostro sistema visuotattile risuonano, più tendiamo a provare empatia e a sentire come lui/lei (Serino, Pizzoferrato e Ladavas, 2008).

Un tema importante, legato ai precedenti, è in che modo l'azione rappresenti un elemento fondamentale per l'emergere del senso del corpo (Tsakiris et al., 2006), e per la costituzione del senso della propria identità. Riconoscere noi stessi come agenti, causa di un'azione, è basilare per la formazione del sé e la formazione dell'idea di identità (Knoblich e Sebanz, 2005; per un'ampia trattazione vedi il numero speciale "Sense of body" sulla rivista *Neuropsychologia*, a cura di Tessari, Serino, Tsakiris e Borghi).

## 5. Embodiment simulazione e linguaggio

**Teorie embodied del linguaggio.** In questa ultima parte del capitolo tratteremo del linguaggio. Affronteremo il tema limitatamente alla sua relazione con il sistema motorio concentrandoci in particolare sull'aspetto della comprensione, anche se recenti studi con la TSM hanno rivelato che lo stesso sistema fronto-parietale è coinvolto sia nella produzione che nella percezione del linguaggio, attività quindi che non sono da considerare come nettamente distinte. In questo quadro ha un ruolo particolare l'area di Broca, probabile omologo negli umani dell'area F5 della corteccia premotoria della scimmia: ancora i neuroni specchio!

Alcuni recenti lavori hanno affrontato questo specifico aspetto (D'Ausilio et al., 2009; Fadiga et al., 2002; Gallese, 2008). Le teorie embodied e grounded della comprensione sono state studiate molto diffusamente e hanno mostrato che comprendere parole e frasi, e in particolare frasi che rimandano ad azioni, attiva il nostro sistema sensorimotorio ed evoca una simulazione interna delle situazioni che le parole descrivono (Aziz-Zadeh e Damasio, 2008; per rassegne si vedano Barsalou, 2008; Fischer e Zwaan, 2008). Ad esempio, quando comprendiamo verbi e frasi che rimandano ad azioni, ci formiamo una simulazione che tiene conto del tipo di effettore (mano/braccio, gamba/piede, bocca) coinvolto nell'azione. Pulvermüller et al. (2001) hanno trovato differenze nel tipo di attivazione neurale legata alla comprensione di verbi che rimandano a effettori differenti, come la bocca (to lick), le gambe (to kick) e le braccia (to pick). E' interessante notare che da un punto di vista temporale queste differenze emergono molto presto: 250 millesimi di secondo dalla presentazione di una parola.

Il fatto che vi sia un'attivazione somatotopica delle cortecce motorie e premotorie durante la comprensione di verbi e di frasi di azione è stato confermato con diverse tecniche, dalla fMRI alla MEG alla TMS, e con compiti differenti (vedi ad esempio Buccino et al., 2005; Tettamanti et al., 2005, Hauk et al., 2004; Pulvermüller et al., 2005). Studi comportamentali e di cinematica (Borghi e Scorolli, 2009; Buccino et al., 2005; Dalla Volta et al., 2009; Scorolli e Borghi, 2007), indicano che quando comprendiamo siamo sensibili alla congruenza tra l'effettore coinvolto nella frase (es. la bocca per masticare la caramella, il piede per calciare la palla) e quello chiamato in causa per rispondere (ad esempio rispondere che la frase è sensata usando un microfono oppure un pedale).

Una recente meta-analisi (Jirak et al, in corso di stampa) rivela che il coinvolgimento delle aree motorie durante l'elaborazione del linguaggio è coerente con compiti e soggetti diversi. Il fatto che la comprensione del linguaggio comporti il coinvolgimento del sistema motorio è confermato da studi con pazienti che dimostrano che, in presenza di lesioni nelle aree premotorie o di malattie degenerative come il Parkinson, si perde selettivamente la capacità di elaborare verbi di azione (Boulenger et al., 2008).

**Problemi delle teorie embodied.** In generale, il fatto che le parole che rimandano

ad azioni attivino il sistema motorio in modo somatotopico e assai precoce fa ritenere che tale attivazione sia parte costitutiva della comprensione del linguaggio (per una diversa posizione si vedano Mahon e Caramazza, 2008; Toni et al., 2008). Numerosi studi comportamentali e neurali vanno a sostegno delle teorie embodied della comprensione (per una rassegna in italiano vedi Nicoletti e Borghi, 2007; Borghi e Nicoletti, 2008). Va però tenuto conto che le teorie embodied del linguaggio devono affrontare alcuni problemi ancora aperti. In primo luogo gli aspetti sociali che caratterizzano l'acquisizione e l'uso delle parole. In secondo luogo, non sono ancora in grado di spiegare in modo adeguato alcuni fenomeni, come ad esempio il modo in cui ci rappresentiamo le parole astratte, come ad esempio libertà e giustizia. Infine, non tengono conto a sufficienza di come le diverse lingue influenzano il modo in cui ci rappresentiamo i significati delle parole. Non è affatto scontato, infatti, che ci sia equivalenza tra come noi ci rappresentiamo per esempio i contenitori e come se li rappresentano gli spagnoli o i nigeriani. Naturalmente questo aspetto è ancora più cruciale in relazione a come ci rappresentiamo i concetti astratti come ad esempio la libertà; è infatti assai probabile che la differenza tra diverse lingue emerga in particolare con le parole astratte, come "verità", con parole cioè il cui referente non è un oggetto (Borghi, 2009; Liuzza, Cimatti e Borghi, 2010; Borghi e Cimatti, 2009).

## 6. Conclusione

**Movimento, azione e scopi.** In questo capitolo abbiamo trattato di movimento, di azione e di processi cognitivi. Dapprima abbiamo cercato di chiarire come si può intendere oggi la distinzione tra movimento e azione. In particolare, abbiamo sostenuto che il sistema motorio non va più inteso come una specie di controllore dei movimenti, ma va invece analizzato alla luce di una prospettiva adattiva. Per consentire la sopravvivenza dobbiamo adattarci all'ambiente e a questo fine il nostro sistema motorio si organizza sulla base degli scopi che intendiamo perseguire. Le azioni vengono quindi codificate in termini di scopi, e non sulla base dei movimenti che compiamo per svolgerle. La stessa azione può essere portata a compimento con movimenti diversi, e gli esseri umani sono sufficientemente flessibili da riuscire a farlo. Se dobbiamo salire con l'ascensore e abbiamo le mani occupate, possiamo premere il pulsante di chiamata con il gomito. Quello che conta è che il nostro scopo, quello di chiamare l'ascensore, sia raggiunto.

Ci siamo poi concentrati sulle teorie “embodied” e “grounded”, e sulle evidenze che negli ultimi anni hanno dimostrato che percezione e azione non sono indipendenti ma interrelate tra loro, e che la cognizione, profondamente radicata nell'azione, si fonda sul nostro sistema sensorimotorio. Anche questa idea ha una base chiaramente adattiva. Dato che dobbiamo interagire al meglio con quello che ci circonda è importante che quando, ad esempio, pensiamo ai computer o qualcuno ci dice “computer”, riattiviamo immediatamente le nostre esperienze pregresse con i computer. Questo ci consentirà di riconoscerli facilmente e ci faciliterà nell'interagire con essi.

**Simulazione.** A partire dalla prospettiva delle teorie embodied e grounded abbiamo trattato la nozione fondamentale di simulazione. Simulare significa reclutare gli stessi sistemi percettivi, motori e emozionali che utilizziamo quando impieghiamo gli oggetti o interagiamo con gli altri. Simulare non porta necessariamente ad un'azione esplicita, può rimanere una forma di azione virtuale, implicita. Abbiamo visto che l'idea di simulazione sta alla base di processi differenti. Simuliamo di agire quando osserviamo oggetti, simuliamo di compiere azioni quando osserviamo altri che svolgono le stesse azioni. Infine, simuliamo quando ascoltiamo qualcuno che parla, o quando leggiamo, in generale quando comprendiamo il linguaggio. Questa simulazione coinvolge il nostro sistema sensorimotorio, ed è la dimostrazione che i processi percettivi, motori e cognitivi sono un unico insieme e non sono separabili.

Ecco, vorremmo che questo fosse il “take home message” di questo capitolo.



## Riferimenti bibliografici

- Anelli F., Nicoletti R., Kalkan S., Sahin E., Borghi A.M. (in corso di stampa). Humans and robotics hands grasping danger, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN).
- Avenanti, A., Buetti, D., Galati, G., & Aglioti, S.M. (2005). Transcranial magnetic stimulation highlights the sensorimotor side of empathy for pain. *Nature Neuroscience*, 8, 955–960.
- Aziz-Zadeh L., e Damasio A. (2008). Embodied semantics for actions: findings from functional brain imaging. *Journal of Physiology Paris*, 102 (1-3), 35-39.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual Symbol Systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 577-609.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Berthoz, A. (1997). *Le sens du mouvement*. Paris: Odile Jacob.
- Borghi, A.M. (2005). Object concepts and action. In D. Pecher & R.A. Zwaan (Eds). *Grounding Cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking* (pp. 8-34). Cambridge University Press.
- Borghi, A.M. (2009). Comprensione del linguaggio: movimento, azione, socialità. *Teorie e modelli*, XIV, 1, 67-77.
- Borghi, A., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? Studies with hand primes. *Neuroscience Letters*, 411, 17-21 .
- Borghi, A.M., Cimatti, F. (2010). Embodied cognition and beyond: Acting and sensing the body. *Neuropsychologia*, 48, 763-773.
- Borghi, A.M., Cimatti, F. (2009). Words as tools and the problem of abstract words meanings. In N. Taatgen & H. van Rijn (eds.). *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2304-2309). Amsterdam: Cognitive Science Society.
- Borghi, A.M., Nicoletti, R. (2008). Se leggo cappello mi muovo verso l'alto - Movimento e comprensione di parole e frasi. *Giornale Italiano di Psicologia*, 3, 563-588.
- Borghi, A.M., Riggio, L. (2009). Sentence comprehension and simulation of object temporary, canonical and stable affordances. *Brain Research*, 1253, 117-128.
- Borghi, A.M., Scorolli, C. (2009). Language comprehension and hand motion simulation. *Human Movement Science*, 28, 12-27.
- Boronat, C.B., Buxbaum, L.J., Coslett, H.B., Tang, K., Saffran, E.M., Kimberg, D.Y., & Detre, J.A. (2005). Distinction between manipulation and function knowledge of objects: Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 23, 361-73.
- Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S., Broussolle, E., Jeannerod, M., &

- Nazir, T.A.(2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, *46*, 743–756.
- Bruzzo, A., Borghi, A.M., & Ghirlanda, S. (2008). Hand-object interaction in perspective. *Neuroscience Letters*, *441*, 61-5.
- Bub, D.N., Masson, E.J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, *106*, 27-58.
- 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.
- Buccino G., Riggio L., Melli G., Binkofski F., Gallese V., e Rizzolatti G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, *24* (3), 355-363.
- Buxbaum, L. J., Schwartz, M. F., & Carew, T. G. (1997). The role of semantic memory in object use. *Cognitive Neuropsychology*, *14*, 219-254.
- Buxbaum, L. J., Sirigu, A., Schwartz, M.F., & Klatzky, R. (2003). Cognitive representations of hand posture in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia*, *41*, 1091-1113.
- Caligiore, D., Borghi, A.M., Parisi, D. & Baldassarre, G. (in corso di stampa). TRoPICALS: A Computational Embodied Neuroscience Model of Experiments on Compatibility Effects. *Psychological Review*.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grezes, J., Passingham, R.E., & Haggard, P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*, *15*, 1242-1249.
- Chao, L.L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, *12*, 478-484.
- Craighero, L., Bello, A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (2002). Hand action preparation influences the responses to hand pictures. *Neuropsychologia*, *40*, 492-502.
- Creem, S.H., Proffitt, D.R. (2001). Grasping objects by their handles: a necessary interaction between perception and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 218-228.
- Creem-Regehr SH, Lee JN. (2005), Neural representation of graspable objects: are tools special? In "Cognitive Brain Research", *22*(3), pp.457-69.
- Dalla Volta R., Gianelli C., Campione G.C., Gentilucci M. (2009), Action word understanding and overt motor behavior. *Experimental Brain Research*, *196*(3), 403-12.
- Daprati, E., Frank, N., Georgieff, N., Proust, J., Pacherie, E., Dalery, E. e Jannerod, M. (1997). Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition*, *65*, 71-86.
- D'Ausilio, A., Pulvermüller F., Salmas P., Bufalari I., Begliomini C., Fadiga L., (2009)

- The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, 19 (5):381-5.
- Decety, J. & Grèzes, J. (2006). The power of simulation : Imagining one's own and other's behaviora. *Brain Research*, 1079, 4-14.
- Decety, J., Ingvar, D.H., (1990). Brain structures participating in mental simulation of motor behavior: a neuropsychological interpretation. *Acta Psychologica*, 73, 13–24.
- Ellis R., Tucker M. (2000), Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91, pp. 451-471.
- Fadiga, L., Craighero, L., Buccino, G., & Rizzolatti, G. (2002). Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. *European Journal of Neuroscience*, 15, 399-402.
- Fischer, M., Prinz, J., Lotz, K. (2008) Grasp cueing shows obligatory attention to action goals. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 860-868.
- Fischer, M., and Zwaan, R. (2008). Embodied Language: A Review of the Role of the Motor System in Language Comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 825-850.
- Flach, R., Knoblich, G., Prinz, W. (2003). Off-line autorships effect in action recognition. *Brain & Cognition*, 53, 503-513.
- Fogassi L., Ferrari P.F., Gesierich B., Rozzi S., Chersi F., Rizzolatti G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 308(5722), 662-7.
- Freyd, J. J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception and Psychophysic*, 33, 575-81.
- Gallese, V. (2008). Mirror neurons and the social nature of language: the neural exploitation hypothesis. *Soc Neurosci*, 3(3-4), 317-333.
- Gallese, V. (2009). Motor abstraction: a neuroscientific account of how action goals and intentions are mapped and understood. *Psychological Research*, 73, 486-98.
- Gallese, V. (2010). Neuroscienze e fenomenologia. Treccani, Terzo millennio.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593-609.
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind reading. *Trends in Cognitive Science*, 2, 493-501.
- Gerlach, C., Law, I., Paulson, O.B. (2002). When action turns into words. Activation of motor-based knowledge during categorization of manipulable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1230-1239.
- Glenberg, A.M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 1-55.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goldman, A., & de Vignemont, F. (2009). Is social cognition embodied ? *Trends in Cognitive Science*, 13, 154-159.
- Grafton, S.T., Arbib, M.A., Fadiga, L. Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp

- representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Experimental Brain Research*, 112, 103-111.
- Grèzes J., Decety J. (2002), Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study. *Neuropsychologia*, 40(2), pp. 212-22.
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action: an fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, 17, 2735–2740.
- Hauk, O., Johnsrude, I. and Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41, 301–307.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-878.
- Hurley, S. (2008), The shared circuits model (SCM): How control, mirroring, and simulation can enable imitation, deliberation, and mindreading. *Behavioral and Brain Sciences*, 31, 1-22.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, 3(3), e79.
- Jackson, P.L., Meltzoff, A.N., & Decety, J. (2006). Neural circuits involved in imitation and perspective taking. *Neuroimage*, 31, 429-439.
- Jeannerod, M. (2007). *Motor Cognition: What actions tell the self*. Oxford: Oxford University Press.
- Jirak D., Menz M., Buccino G., Borghi A.M., Binkofski F. (2010), Grasping language. A short story on embodiment. *Consciousness and Cognition*, 19, 711-720.
- Johnson-Frey, S.H. (2003). Cortical representations of human tool use. In S. H. Johnson-Frey (Ed.), *Taking action: Cognitive neuroscience perspectives on intentional acts* (pp. 185–217). Cambridge, MA: MIT Press.
- Johnson-Frey, S., Maloof, F., Newman-Norlund, R., Farrer, C., Inati, S., & Grafton, S. (2003). Actions or Hand-Object Interactions? Human Inferior Frontal Cortex and Action Observation *Neuron*, 39, 1053-1058.
- Kellenbach, M.L., Brett, M., & Patterson, K. (2003). The Importance of Manipulability and Action in Tool Representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 30-46.
- Klatzky, R.L., McCloskey, B.P., Doherty, S., Pellegrino, J.W.(1987). Knowledge about hand shaping and knowledge about objects. *Journal of Motor Behavior*, 19, 187-213.
- Knöblich, G., Flach, R. (2001). Predicting the effects of actions: perception and action. *Psychological Science*, 12, 467-472.
- Knöblich, G., Sebanz, N. (2005). Agency in the face of errors. *Trends in Cognitive Science*, 9, 320.
- Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 48-55.

- Liuzza, M.T., Cimatti, F., Borghi, A.M. (2010). *Lingue, corpo e pensiero: Le ricerche contemporanee*. Roma: Carocci.
- Liuzza M.T., Setti A., Borghi A.M. (2012). Kids observing other kids' hands: visuomotor priming in children. *Consciousness & Cognition*, 21, 383-392.
- Mahon, B.Z., Caramazza, A. (2008). A Critical Look at the Embodied Cognition Hypothesis and a New Proposal for Grounding Conceptual Content. *Journal of Physiology Paris*, 102, 59-70.
- Martin, A., Wiggs, C.L, Ungerleider, L.G., & Haxby, G.V. (1996). Neural correlates of category specific knowledge. *Nature*, 379, 649-652.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, 58, 25-45.
- Milner, A.D. e Goodale, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford Psychology Series, No. 27. Oxford: Oxford University Press.
- Molnar-Szakacs, Wu, Robles and Iacoboni (2007). Do you see what I mean? Corticospinal excitability during observation of culture-specific gestures. *PlosOne*, 7, e626, 1-7.
- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., & Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78, 2226-2230.
- Nicoletti, R., Borghi, A.M. (2007). *Il controllo motorio*. Bologna: Il Mulino.
- Prinz, W. (1990). A common-coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action: Current approaches* (pp. 167-201).
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(2), 129-154.
- Pulvermüller, F., Härle, M., e Hummel, F., (2001). Walking or talking? Behavioral and electrophysiological correlates of action verb processing. *Brain & Language*, 78, 143-168.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., e Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 884-892.
- Pylyshyn, Z. (1999). Is vision continuous with cognition? The case for cognitive impenetrability of visual perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 341-423.
- Ranzini M., Borghi A.M., Nicoletti R. (2011), With hands I don't centre! Action- and object-related effects of hand-cueing in the line bisection. *Neuropsychologia*, 49, 2918-2928.
- Rizzolatti, G., Craighero, L. (2004). The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Rizzolatti, G., Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Experimental Brain Research*, 153, 146-157.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2006). *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni*

- specchio*. Milano: Cortina, 2006.
- Sakreida, K., Menz, M., Thill, S., Jirak, D., Buccino, G., Borghi, A.M., Ziemke, T., & Binkofski, F. (in preparation). Neural Pathways of Stable and Variable Affordances – A Meta-Analysis.
- Scorolli, C., Borghi, A.M. (2007). Sentence comprehension and action: Effector specific modulation of the motor system. *Brain research*, 1130, 119-124.
- Sebanz, N., Knöblich, G., Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own? *Cognition*, 88, B11-B21.
- Serino, A., Pizzoferrato, F., e Ladavas, E. (2008). Viewing a Face (Especially One's Own Face) Being Touched Enhances Tactile Perception on the Face. *Psychological Science*, 19, 434-438.
- Setti, A., Borghi, A.M., Tessari, A. (2009). Moving hands, moving entities. *Brain and Cognition*, 70, 253-258.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Doder's method. In W.G. Koster (Ed.), *Attention and Performance II*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Tessari, A., Tsakiris, M., Borghi, A.M., Serino, A. (2010). The sense of body: A multidisciplinary approach to body representation. Introduction to the special issue: Tessari, A., Serino, A., Tsakiris, M., Borghi, A.M., The sense of body. *Neuropsychologia*, 48.
- Tettamanti M., Buccino G., Saccuman M. C., Gallese V., Danna M., Scifo P., Fazio F., Rizzolatti G., Cappa S. F., and Perani D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2), 273-281.
- Tipper, S., Paul, M., & Hayes, A. (2006) Vision-for-action: The effects of object property discrimination and action state on affordance compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 493-498.
- Toni, I., de Lange, F. P., Noordzij, M. L., & Hagoort, P. (2008). Language beyond action. *Journal of Physiology - Paris*, 102, 71-79.
- Tsakiris, M., Prabhu, G., & Haggard, P. (2006). Having a body *versus* moving your body: How agency structures body-ownership. *Consciousness and Cognition*, 15, 423-432.
- Tucker, M. & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 24, 3, 830-846.
- Tucker, M. & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, 8, 769-800.
- Umiltà M.A., Escola L., Intskirveli I., Grammont F., Rochat M., Caruana F., Jezzini A., Gallese V., Rizzolatti G. (2008) When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of the National Academy of Science U S A*", 105(6), 2209-13.

- Urgesi, C., Moro, V., Candidi, M., & Aglioti, S.M. (2006). Mapping implied body action in human motor system. *The Journal of Neuroscience*, *26*, 7942-7949.
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, *108*, 444-465.
- Vogt, S., Taylor, P., & Hopkins, B. (2003). Visuomotor priming by pictures of hand pictures: perspective matters. *Neuropsychologia*, *41*, 941-951.
- Yoon, E.Y., & Humphreys, G.W. (2005). Direct and indirect effects of action on object classification. *Memory & Cognition*, *33*, 1131-1146.
- Young, G. (2006). Are different affordances subserved by different neural pathways? *Brain and Cognition*, *62*, 134-142.