

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
DIPARTIMENTO STUDI UMANISTICI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA LUIGI VANVITELLI
DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA

TESI DI DOTTORATO IN
HUMAM MIND AND GENDER STUDIES
XXIX CICLO

**DAL MOVIMENTO AL SIGNIFICATO:
OSSERVAZIONE DI AZIONI ED ELABORAZIONE
SEMANTICA DEGLI UTENSILI**

TUTOR

Prof. Luigi Trojano

CANDIDATO

De Bellis Francesco

Indice.

Capitolo 1 – Il retroterra teorico: gli utensili e le azioni d’uso di utensili.....	3
1.1. Le azioni d’uso di utensili.....	3
1.2. Correlati neuro-funzionali delle azioni d’uso di utensili.....	8
1.3. La rappresentazione cognitiva e neurale di oggetti e utensili.....	15
1.4. Relazioni semantiche tra oggetti: somiglianza funzionale e associazione tematica.....	23
1.5. Dall’oggetto all’azione, dall’azione all’oggetto: interazioni reciproche tra conoscenze motorie e concettuali durante l’elaborazione cognitiva degli oggetti.....	30
Capitolo 2 - Studio 1: Osservare azioni funzionali influenza l’elaborazione semantica degli oggetti.....	37
2.1. Panoramica degli studi.....	37
2.2. Esperimento 1.....	40
2.2.1. Metodi.....	40
2.2.2. Risultati e commenti	44
2.3. Esperimento 2.....	48
2.3.1. Metodi.....	48
2.3.2. Risultati e commenti.....	49
2.4. Studio 3.....	52
2.4.1. Metodi.....	52
2.4.2. Risultati e commenti.....	53
2.5. Discussione generale.....	56

Capitolo 3 - Studio 2: La stimolazione del giro temporale medio durante l'osservazione di azioni funzionali ostacola l'elaborazione semantica degli oggetti: dati preliminari di uno studio con TMS.....	61
3.1. Obiettivi.....	61
3.2. Metodi.....	64
3.3. Risultati.....	72
3.4. Discussione.....	75
Bibliografia.....	79

Capitolo 1

Il retroterra teorico: gli utensili e le azioni d'uso di utensili

1.1. Le azioni d'uso di utensili.

L'abilità di fabbricare ed utilizzare utensili (*tool*) è una caratteristica distintiva della specie umana (Osiurak e Massen, 2014; Peeters et al., 2009; Vaesen, 2012). Vaesen (2012) ha esaminato le differenze tra essere umani e primati superiori non umani nei diversi prerequisiti cognitivi dell'utilizzo di oggetti e ha trovato che gli esseri umani sono superiori agli scimpanzé in tutti i tratti (coordinazione occhio-mano, ragionamento causale, rappresentazione della funzione degli oggetti, funzioni esecutive, apprendimento sociale, intelligenza sociale, capacità di insegnamento, reciprocità contingente e linguaggio), con la sola eccezione della plasticità dello schema corporeo, rispetto alla quale le due specie si equivarrebbero. Particolarmente interessante è il rilievo che l'autore attribuisce alla capacità umana di rappresentarsi la *funzione* degli oggetti (*function representation*). I primati superiori sono in grado di utilizzare oggetti di fortuna come ramoscelli o pietre per perseguire scopi contingenti, ma non assegnano ad essi una funzione stabile, non li conservano né li portano con sé in vista di successivi utilizzi; diversamente gli esseri umani tendono ad assegnare stabilmente ad un oggetto una specifica funzione e una volta fatto ciò trovano difficile utilizzare il dato oggetto per uno scopo diverso da quello designato (fenomeno noto come fissità funzionale). La *function representation* sembrerebbe essere uno dei prerequisiti per lo sviluppo della straordinaria varietà di artefatti fabbricati appositamente per assolvere a scopi specifici, che caratterizza la storia della specie umana.

La funzione è d'altra parte considerata da alcuni autori come la caratteristica centrale che definisce il concetto di un dato utensile (Garcea e Mahon, 2012); l'altra caratteristica distintiva è che allo scopo funzionale dell'utensile sono strettamente associate sia le sue caratteristiche strutturali, sia le azioni (i.e., gli atti motori) necessarie per il suo utilizzo (Buxbaum et al., 2005; Johnson-Frey e Grafton, 2003). Lo stretto legame tra funzione e azione è ciò che caratterizza questa speciale classe di oggetti rispetto ad altri oggetti manipolabili, come gli oggetti naturali (Buxbaum e Saffran, 2002; Kalenine et al., 2012).

Si ritiene (Gainotti, 2013; Peeters et al., 2009; Vaesen, 2012) che la capacità di rappresentazione della funzione degli oggetti e di associare ad essa specifici atti motori sia legata alla specializzazione funzionale di determinate strutture cerebrali, avvenuta nel corso dell'evoluzione della specie umana. A riprova del fatto che l'utilizzo di utensili richieda abilità cognitive specifiche, legate all'attività di circuiti cerebrali dedicati, è l'evidenza che lesioni cerebrali focali possono colpire selettivamente tale capacità, in assenza di deficit motori elementari, del riconoscimento degli oggetti o del recupero delle conoscenze semantiche ad essi relative, condizione neuropsicologica nota come aprassia ideomotoria¹ (Rothi et al., 1991; Cubelli et al., 2000; Leiguarda and Marsden, 2000; Goldenberg, 2009).

In letteratura si usa distinguere tra due classi di azioni associate agli utensili: le azioni "strutturali" o "volumetriche" e le azioni "funzionali" (Bub e Masson, 2008, 2010; Buxbaum et al. 2006; Buxbaum and Kalénine 2010; Frey 2007). Le prime non sono finalizzate all'utilizzo dell'oggetto secondo la sua funzione specifica (si considerino, ad esempio, azioni intese ad afferrare gli oggetti, sollevarli, spostarli, sorreggerli, lanciarli e così via); in questo tipo di azioni la configurazione dei movimenti di prensione è guidata *on-line* dalle caratteristiche strutturali intrinseche (i.e., dimensioni e forma) ed estrinseche (i.e., posizione ed orientamento spaziali) degli oggetti. Le azioni funzionali invece si riferiscono all'utilizzo dell'oggetto in accordo con la sua funzione e sono associate a

¹ L'aprassia ideomotoria è in realtà caratterizzata da dissociazione automatico-volontario, per cui la diagnosi si basa per lo più su prove di dimostrazione o pantomima dell'uso di oggetti su imitazione o comando verbale. E' stato comunque documentato che i pazienti aprassici mostrano un certo grado di deficit anche nell'uso spontaneo di oggetti quotidiani in situazioni ecologiche (Foundas et al., 1995).

specifici programmi motori atti a produrre gli opportuni movimenti per l'uso. La distinzione tra azioni funzionali e strutturali si ritrova, con terminologia diversa, nella distinzione già operata da Foundas e colleghi (1995) tra *tool-actions* e *non-tool actions*, e in quella formulata da Johnson-Frey e Grafton (2003) tra “agire *con* gli oggetti” (“*acting with object*”) e “agire *sugli* oggetti” (“*acting on object*”). Mentre per eseguire azioni strutturali non è in linea di principio necessario accedere alle conoscenze semantiche relative all'oggetto (e difatti un soggetto sano è perfettamente in grado di afferrare e sollevare virtualmente qualsiasi oggetto mai visto in precedenza), per le azioni funzionali è invece necessario l'accesso alle informazioni semantiche, al fine di configurare la prensione più adatta a produrre i successivi movimenti per l'utilizzo dell'oggetto (Buxbaum and Kalénine 2010; Jax e Buxbaum, 2010). Creem e Proffitt (2001) hanno fornito un'elegante dimostrazione comportamentale di ciò utilizzando un compito in cui si richiedeva a partecipanti sani semplicemente di afferrare alcuni oggetti posti su un tavolo, col manico diretto lontano dal loro busto. La maggior parte dei soggetti effettuava la prensione ruotando il polso in modo da dirigere il pollice verso l'estremità funzionale dell'oggetto; tale movimento consentiva di configurare l'impugnatura più utile per un immediato uso dell'utensile (i.e., un'impugnatura funzionale), benché tale utilizzo non fosse richiesto dall'istruzione sperimentale. Questo comportamento è interpretabile come un esempio di “effetto da stato finale confortevole” (*end-state comfort effect*; Cohen and Rosenbaum, 2004; Janssen and al., 2009), secondo il quale le azioni dirette verso gli oggetti vengono programmate in maniera tale da terminare i movimenti di prensione nella postura più comoda per l'azione finale che si intende svolgere, anche quando ciò comporti l'esecuzione di movimenti scomodi nelle fasi iniziali. L'aspetto cruciale del lavoro di Creem e Proffitt (2001) è la dimostrazione che tale comportamento veniva significativamente ridotto quando in concomitanza con il compito di prensione veniva somministrato un secondo compito verbale di natura semantica, mentre tale riduzione non si osservava quando i soggetti eseguivano un concomitante compito immaginativo di natura visuo-spaziale. Questo risultato dimostrava che una piena elaborazione

semantica dell'oggetto è necessaria per la produzione di una prensione funzionale (i.e., compatibile con l'uso).

E' da notare che la prensione e i movimenti caratteristici per impiegare in maniera funzionale un oggetto non sono sempre deducibili dalle sue caratteristiche strutturali, per tale ragione si ritiene che tali programmi d'azione debbano essere appresi e conservati in maniera stabile in substrati neurali dedicati (Buxbaum et al., 2005, 2006; Johnson & Grafton, 2003; Kalenine e Buxbaum, 2010; Ramayya et al., 2010; Schubotz et al., 2014; Vingerohets, 2014). Si assume inoltre che tali programmi motori specifichino sequenze di movimenti del braccio e della mano relativamente invariati (Buxbaum et al., 2005; Johnson-Frey, 2004; Ramayya et al., 2010; Valeyear, 2007), tali da rendere ragione sia delle loro caratteristiche costanti, sia della loro adattabilità ad *esemplari* diversi di una certa categoria di oggetti e a contingenze contestuali diverse (ad esempio, la rappresentazione dell'azione funzionale "martellare" consente di utilizzare tutti gli esemplari di martello e di infiggere un chiodo su un piano sia verticale, sia orizzontale). In sintesi, diversamente dalle azioni strutturali, le azioni funzionali richiedono l'accesso a specifiche conoscenze semantiche e motorie.

Numerose evidenze accumulate in oltre un secolo di letteratura neurologica suggeriscono che il recupero delle azioni funzionali intese all'uso degli oggetti coinvolga un sistema funzionalmente ed anatomicamente separato da quello che controlla le azioni strutturali, quali i movimenti di raggiungimento (*reaching*) e prensione non funzionale o "volumetrica" (*grasping*) degli oggetti (Johnson-Frey, 2003; Johnson-Frey e Grafton, 2003). Ad esempio, pazienti con atassia ottica riscontrano difficoltà nell'usare informazioni visive per controllare le azioni di *reaching* e *grasping*, ma nonostante queste difficoltà nel controllo *on-line* dell'azione, questi pazienti riescono tipicamente a mimare o produrre i movimenti associati all'utilizzo di oggetti familiari (Jakobson et al., 1991; Jeannerod et al., 1994). Al contrario, pazienti con aprassia ideomotoria possono mostrare la dissociazione inversa, fallendo nell'imitazione e nella pantomima di gesti d'uso, così come nella dimostrazione d'uso reale su richiesta verbale o su presentazione dell'oggetto, pur in presenza di

corrette traiettorie e posture delle braccia durante i movimenti di *reaching* verso l'oggetto (Sirigu et al., 1995). E' stata inoltre descritta negli aprassici una possibile dissociazione tra la compromessa capacità d'uso di oggetti familiari e la risparmiata capacità di *grasping* di oggetti "nuovi", sulla base delle loro caratteristiche strutturali (Buxbaum et al., 2003). In sintesi, la dissociazione manifestata da pazienti con atassia ottica e aprassia ideomotoria suggerisce l'esistenza di due sistemi cerebrali indipendenti che mediano le azioni intenzionali dirette verso gli oggetti (Buxbaum e Saffran, 2002).

1.2. Correlati neuro-funzionali delle azioni d'uso di utensili.

Come si è visto, le azioni funzionali richiedono l'integrazione di conoscenze semantiche relative agli oggetti (quali le loro proprietà funzionali, i loro contesti d'uso e così via), con le conoscenze motorie relative ai programmi motori appresi necessari per l'esecuzione dei giusti movimenti.

Evidenze neuropsicologiche dimostrano la dissociabilità di questi due ordini di conoscenze; sono descritti infatti sia casi di perdita delle abilità motorie apprese con risparmio della conoscenza concettuale sugli oggetti, (i.e., i quadri di aprassia degli arti generalmente associata a danni fronto-parietale nell'emisfero sinistro), sia il quadro inverso in cui, a fronte di risparmiate abilità nella manipolazione di utensili, si riscontrano deficit nell'identificazione (i.e., agnosia) e nel recupero delle informazioni semantiche sugli oggetti (i.e., amnesia semantica conseguente ad encefalite erpetica)

Gli studi di neuroimmagine hanno mostrato che questi due tipi di conoscenze sono rappresentati in sistemi neurali distinti, entrambi fortemente lateralizzati nell'emisfero di sinistra, che insieme formano un rete corticale ampiamente distribuita, includente aree fronto-parietali e temporali (Buxbaum et al., 2006; Creem-Regehret al., 2005; Frey, 2007; Johnson-Frey 2004; Johnson-Frey et al., 2005; Lewis, 2006). Nell'emisfero sinistro, la corteccia prefrontale dorsolaterale (*Dorsolateral prefrontal cortex* - DLPFC) e la corteccia premotoria ventrale (*ventral premotor cortex* - vPMC), il lobulo parietale superiore (*superior parietal lobule* - SPL) ed inferiore (*inferior parietal lobule* - IPL), la corteccia temporale, in particolare nelle porzioni posteriori del giro temporale medio (*posterior middle temporal gyrus* - pMTG), il cervelletto e la corteccia occipito-temporale bilateralmente sono le regioni più spesso attivate nella maggior parte dei compiti impiegati nei diversi studi (Lewis, 2006; Ishibashi et al., 2016). Una meta-analisi di Lewis (2006) in cui sono stati presi in esame 35 studi pubblicati tra il 1996 e il 2006, fissa i seguenti punti: 1) per quanto riguarda le regioni frontali, la DLPFC conterrebbe una memoria di lavoro sia per i programmi motori che per le informazioni semantiche attivate durante l'uso di oggetti; la vPM, invece, sarebbe coinvolta nella

pianificazione, selezione e preparazione dei movimenti della mano; 2) il lobulo parietale superiore sarebbe coinvolto nella rappresentazione dinamica dello schema corporeo, ossia dei cambiamenti di posizione reciproca delle varie parti del corpo durante il movimento. Inoltre, a livello dell'SPL avverrebbe l'integrazione, secondo un sistema di coordinate comuni, delle informazioni visive, uditive e propriocettive; 3) l'IPL rappresenterebbe il substrato neurale in cui sono conservati gli schemi d'azione appresi connessi con i diversi oggetti. L'insieme di queste regioni costituirebbero il sistema-prassico fronto-parietale che elabora e controlla gli aspetti motori dell'azione e risulta attivo soprattutto quando i compiti sperimentali richiedono esplicitamente di accedere alla rappresentazione del gesto (e.g., la pantomima d'uso, l'utilizzo reale o immaginato di oggetti). Accanto al sistema fronto-parietale implicato nella rappresentazione delle "conoscenze motorie", Lewis (2006) descrive un secondo circuito deputato alla rappresentazione di conoscenze più propriamente simboliche e proposizionali relative agli oggetti e alle azioni d'uso. Esempi di compiti suscettibili di attivare questo "circuito concettuale" sono la lettura di parole associate ad oggetti o azioni, oppure compiti semantici sugli oggetti, come l'associazione di utensili sulla base della loro funzione. Le aree cerebrali che compongono tale sistema sarebbero la porzione posteriore del giro temporale medio (pMTG) e il giro frontale inferiore (*inferior frontal gyrus* – IFG), soprattutto nell'emisfero sinistro. Il pMTG sarebbe coinvolto nella rappresentazione delle conoscenze lessicali e semantiche relative ad oggetti e azioni; lesioni in questa regione sono state associate ad un impoverimento delle conoscenze linguistiche nel dominio degli oggetti (Damasio et al., 1996); analogamente, l'IFG è stato associato all'elaborazione del significato dei verbi d'azione e nella codifica dell'obiettivo (*goal*) finale delle azioni che implicano l'utilizzo di oggetti. Più recentemente Ramayya e collaboratori (2010), in uno studio di neuroimmagine con tensore di diffusione (*diffusor tensor imaging* – DTI), hanno delineato uno schema delle connessioni anatomiche tra le aree corticali coinvolte nell'uso di utensili. Anche secondo questa proposta il giro temporale medio (MTG) costituirebbe il substrato neurale deputati alla rappresentazione della conoscenza semantica sugli oggetti, mentre nei giri sopramarginale posteriore (*posterior*

supramarginal gyrus - pSMG) e angolare (*angular gyrus* - AG) sarebbero rappresentate le caratteristiche spazio-temporali invariante degli atti motori appresi. L'informazione proveniente da questi due nodi convergerebbero nella porzione anteriore del giro sopramarginale (*anterior supramarginal gyrus* - aSMG) dove il piano d'azione verrebbe generato. Questa rappresentazione verrebbe a sua volta inviata, attraverso le connessioni tra aSMG e vPM, alla corteccia premotoria e ventrale inferiore per la conversione in atti motori fisici.

Questa proposta è largamente compatibile con il modello a “tre vie” per la rappresentazione delle azioni connesse agli oggetti (Binfosky e Buxbaum, 2012; Buxbaum e Kalenine, 2010; Hoeren et al., 2013, 2014; Rizzolatti e Matelli, 2003). Tale modello rappresenta uno sviluppo del classico modello delle due vie, dorsale e ventrale, di elaborazione visiva. Nella formulazione originale (Ungerleider e Mishkin, 1982), la via dorsale occipito-parietale superiore era deputata alla analisi delle relazioni spaziali tra stimoli ambientali (via del “dove”), mentre la via ventrale rappresentava la via per il riconoscimento visivo (via del “cosa”); la successiva revisione del modello ad opera di Milner e Goodale (1995) ridefiniva le funzioni della via dorsale, assegnandole il controllo visuo-motorio per l'azione (via del “come”). L'ulteriore revisione di Rizzolatti e Matelli (2003), nata dagli studi sulle scimmie, distingue all'interno della percorso dorsale due ulteriori vie di elaborazione: una via dorso-dorsale, che dalla corteccia occipitale raggiunge la corteccia premotoria dorsale passando per il solco intraparietale (*intraparietal sulcus* – IPS) e il lobulo parietale superiore, e una via dorso-ventrale che dalla corteccia occipitale giunge alla vPM attraverso il lobulo parietale inferiore. La prima sarebbe deputata all'elaborazione spaziale degli aggiustamenti *on-line* dell'azione, la seconda sarebbe la via in cui vengono conservati a lungo termine i piani d'azione appresi. Accanto a queste due percorsi, la terza “via”, il percorso ventrale decorrente dal lobo occipitale alla corteccia prefrontale ventrale, lungo la corteccia temporale media e inferiore, conserverebbe la sua tradizionale funzione di rappresentazione delle conoscenze semantiche sugli oggetti e sugli scopi delle azioni (Binfosky e Buxbaum, 2012).

Alcuni autori (Binfosky e Buxbaum, 2012; Buxbaum and Kalenine, 2010) assegnano alle due vie dorsali, la dorso-dorsale e la dorso-ventrale, la funzione di elaborare e controllare rispettivamente le azioni strutturali e funzionali, sostenendo quindi l'esistenza di un doppio sistema per il controllo dell'azione (*two action systems model*). Il sistema strutturale è quindi deputato al controllo *on-line* dei movimenti e degli aggiustamenti posturali ed alla conversione delle informazioni visive sulla struttura degli oggetti in adeguati programmi motori per il *reaching* e il *grasping*. Questo sistema è bilateralmente rappresentato nel cervello ed è dotato di una memoria sensorimotoria a rapido decadimento (Nowak et al., 2007), per cui mantiene le informazioni per un tempo molto limitato (da pochi millisecondi a secondi); esso può inoltre operare indipendentemente dalle conoscenze concettuali rappresentate a lungo termine (Cant et al., 2005; Garofeanu et al., 2004; Milner e Goodale, 2008). La relativa evanescenza delle informazioni elaborate all'interno di questo sistema si giustifica in considerazione della sua specializzazione per l'aggiornamento *on-line* delle rappresentazioni sensorimotorie relative alla posizione delle diverse parti corporee ed il rapido aggiustamento dei movimenti in relazione al flusso costante di informazioni visive e propriocettive durante l'esecuzione delle azioni. Le strutture chiave all'interno della via dorso-dorsale sarebbero la corteccia occipito-parietale (*parieto-occipital junction* – POJ), il lobulo parietale superiore e la porzione anteriore del solco intraparietale (*anterior intraparietal sulcus* – aIPS; Blangero et al., 2009; Cavina-Patresi et al., 2010; Filimon et al., 2010; Vingerohets, 2014). L'aIPS sarebbe l'omologo funzionale umano dell'area intraparietale (*anterior intraparietal area* – AIP) delle scimmie (Binfoski e Buxbaum, 2012; Rizzolatti e Matelli, 2003; Vingerohets, 2014) che sarebbe specializzata per realizzare il *grasping* volumetrico nelle azioni dirette verso oggetti (Rizzolatti e Matelli, 2003). In maniera analoga si suppone che quest'area, nell'uomo, controlli la configurazione dei movimenti manuali per il *grasping* volumetrico ed il controllo dinamico dell'azione (Buxbaum e Kalenine, 2010; Tunik et al., 2005, 2008b; Vingerohets, 2014). L'SPL potrebbe a sua contribuire a guidare e correggere *on-line* i piani di prensione elaborati nell'aIPS (Tunik et al, 2008b).

Il sistema funzionale legato alla via dorso-ventrale è invece fortemente lateralizzato nell'emisfero sinistro, si affida prevalentemente ad informazioni conservate a lungo termine ed ha la sua struttura chiave nell'IPL, (Buxbaum e Kalenine, 2010). L'IPL, posizionato tra la via visiva dorso-dorsale e quella ventrale e connesso con entrambe, costituirebbe il substrato in cui avviene l'integrazione delle informazioni sull'identità dell'oggetto, elaborate nella via ventrale, con le informazioni visuo-spaziali e visuo-motorie elaborate nella via dorso-dorsale (Binfosi e Buxbaum, 2012; Buxbaum e Kalenine, 2010; Frey, 2007; Ramayya et al., 2010; Valeyear, 2007). Ciò consentirebbe la selezione di movimenti che siano appropriati rispetto alla categoria di appartenenza dell'oggetto, piuttosto che essere basati semplicemente sui suoi attributi strutturali (Buxbaum et al., 2006). Le rappresentazioni motorie elaborate e poi conservate in maniera stabile nell'IPL catturerebbero solo quegli aspetti dell'azione che non variano rispetto alla postura corporea del soggetto e alle determinanti spazio-temporali dell'azione contingenti al momento in cui essa ha luogo (Buxbaum et al., 2007).

Come si è detto in precedenza, la letteratura neuropsicologica offre sostegno alla distinzione anatomo-funzionale tra un sistema per l'azione strutturale (principalmente *reaching* e *grasping*) e funzionale (i.e., per l'uso di oggetti). L'atassia ottica, infatti, caratterizzata da errori nel raggiungimento di un oggetto per lo più quando esso si trova nel campo visivo periferico (Balint, 1909; Garcin et al., 1967; Ratcliff, 1990), risulta tipicamente associate a lesioni bilaterali lungo la via dorso-dorsale, a livello del SPL, del IPS o del solco parieto-occipitale (*parieto-occipital sulcus* – POS; Karnath e Perenin, 2005; Perenin e Vighetto, 1988); i danni della via dorso-ventrale (ed in particolare a livello del IPL di sinistra) rappresentano il correlato lesionale più tipico dell'aprassia degli arti e dei relativi deficit nella pantomima e nella dimostrazione d'uso di oggetti (Heilman et al., 1982; Rothi et al., 1985; Buxbaum et al., 2005; 2007; Goldenberg e Spatt, 2009; Hoeren et al., 2014). Una proposta interpretativa dell'aprassia suggerisce che il deficit nucleare del disturbo riguardi proprio la perdita degli schemi motori appresi che sono connessi ai diversi oggetti, ed in particolare delle informazioni riguardo il posizionamento delle dita e la corretta configurazione

della mano necessarie ad impugnare in maniera funzionale l'oggetto (Buxbaum et al., 2003, 2005, 2007; Buxbaum e Saffran, 2002).

Non c'è tuttavia un accordo unanime su dove siano rappresentati gli schemi motori invariati all'interno del IPL. Valyear e colleghi (2007) hanno confrontato l'attività di regioni distinte entro l'IPS, durante la denominazione di oggetti afferrabili o non afferrabili, oppure di utensili. La porzione più anteriore della corteccia intraparietale (AIP), corrispondente al margine estremo anteriore dell'aIPS descritta in precedenza, è risultata sensibile alla generale possibilità di manipolare gli oggetti, mostrando un'attivazione comparabile in risposta agli utensili e ad altri oggetti afferrabili, e maggiore per queste due categorie di stimoli rispetto agli oggetti non afferrabili. Una seconda area, appena posteriore alla precedente, si è dimostrata invece selettivamente sensibile agli utensili, essendo attivata in egual misura da oggetti afferrabili e non, ma incrementando l'attività a seguito dell'esposizione agli utensili. In un più recente studio di Schubotz e collaboratori (2014), soggetti sani sono stati sottoposti a risonanza magnetica funzionale (*functional magnetic resonance imaging* – fMRI) mentre osservavano video in cui degli oggetti venivano utilizzati in maniera corretta o incorretta. I risultati hanno mostrato un incremento dell'attivazione nell'aIPS sinistra proporzionale al numero di possibili schemi d'azione potenzialmente associati ad un determinato oggetto. Secondo gli autori, tale incremento metabolico rifletterebbe l'automatica attivazione dei diversi schemi d'azione appresi, evocati dalla vista degli oggetti (tuttavia la selezione di un determinato schema tra i diversi disponibili sarebbe poi a carico della vPM). Questi studi quindi dimostrerebbero che l'IPS, pur essendo una componente della via dorso-dorsale implicata nella elaborazione della prensione strutturale o volumetrica degli oggetti, conterrebbe specifiche popolazioni neurali deputate alla codifica della manipolazione funzionale degli utensili.

Altri autori (Johnson-Frey et al., 2005; Rumiati et al., 2004; Vingerhoets et al., 2009) rintracciano nella regione pSMG/AG il nodo dove le sequenze di movimenti apprese, associate all'utilizzo di oggetti, sarebbero conservate. Un secondo focus all'interno dell'IPL, corrispondente all'aSMG, è

stata indicato invece come il substrato dove sarebbero rappresentate specificamente le configurazioni posturali della mano per la prensione funzionale dell'oggetto (Hermsdorfer et al., 2007; Johnson-Frey et al., 2005; Rumiati et al., 2004). L'aIPS e l'aSMG, quindi, pur essendo regioni anatomicamente molto vicine e deputate entrambe a configurare le posture di prensione della mano, sarebbero funzionalmente distinte, appartenendo l'una al sistema dorso-dorsale e l'altra al sistema dorso-ventrale. Quest'idea sarebbe suffragata dal fatto che l'aSMG di sinistra risulta robustamente attivato durante le pantomime d'uso eseguite indipendentemente con la mano destra o sinistra, mentre l'aIPS si attiva principalmente nell'emisfero controlaterale alla mano utilizzata durante compiti di *grasping* volumetrico. Attualmente, tuttavia, il preciso ruolo funzionale della porzione anteriore del SMG è ancora dibattuto; i risultati di uno studio neuro-funzionale di Vingerhoets e colleghi (2013) disconfermerebbero l'ipotesi che l'aSMG contenga i programmi appresi per l'interazione funzionale tra mano ed oggetto, dal momento che in un compito di associazione tra immagini di oggetti e di configurazioni posturali della mano le aree maggiormente attivate risultavano essere la vPM insieme a porzioni posteriori dell'IPL. D'altra parte l'aSMG comprende le porzioni 1 e 4 dell'Opercolo Parietale (*Parietal Operculum*, OP; Eickhoff et al., 2006), regioni corticali che sono state associate alla rappresentazione di informazioni somato-sensoriali legate agli oggetti, acquisite mediante precedente esplorazione aptica degli stessi; queste aree sembrerebbero implicate nel richiamo e mantenimento delle memorie aptiche degli oggetti durante compiti di *reaching* e *grasping* ed è stato dimostrato che l'interferenza mediante TMS con tale attività produce alterazioni nella configurazione dell'apertura della mano durante la fase di *reaching* (Cattaneo et al., 2015). È stato quindi proposto che l'aSMG contribuisca alla pianificazione e al controllo dei movimenti di *grasping* fornendo il sistema motorio delle informazioni aptiche sugli oggetti (Cattaneo et al., 2015; Maule et al., 2015). Altri autori (Ramayya et al., 2010; Tunik et al., 2008a; Vingerhohets, 2014) hanno analogamente suggerito che l'aSMG potrebbe assolvere alla elaborazione e selezione dei piani d'azione, piuttosto che contenere schemi di manipolazione appresi. Ad esempio, Tunik et al., (2008a), in uno studio in cui si richiedeva a

partecipanti sani di afferrare una tazza alternativamente con una presa funzionale o strutturale (“afferrare per usare o per spostare”), hanno mostrato che la stimolazione magnetica transcranica dell’aSMG (e della corteccia frontale inferiore) produceva un ritardo nella selezione del tipo di prensione. L’aSMG dunque realizzerebbe la pianificazione motoria a seguito dell’integrazione di memorie aptiche, delle informazioni *on-line* provenienti dalla via dorso-dorsale, degli schemi d’azione conservati nell’IPL posteriore (pSMG/AG) e delle informazioni non-spaziali elaborate a livello della via ventrale (Ramayya et al., 2010; Vingerhoets, 2014).

1.3. La rappresentazione cognitiva e neurale di oggetti e utensili

Gli utensili costituiscono una speciale classe di oggetti, distinguibili da altri oggetti naturali o artificiali che non sono afferrabili o manipolabili e da altri oggetti manipolabili di origine naturale e non manufatti dall'uomo (Buxbaum e Saffran, 2002).

Il problema specifico di come venga rappresentata a livello cognitivo e neurale tale categoria di stimoli va inquadrato nel contesto più ampio di come avvengano i processi cognitivi e neurali di categorizzazione in generale (Gainotti, 2013).

Le teorie amodali della rappresentazione concettuale (Caramazza et al., 1990; Fodor, 1975; Patterson e Hodges, 2000; Pylyshyn, 1973) prevedono l'esistenza di un sistema semantico unitario ed astratto a cui si accederebbe attraverso rappresentazioni percettive di alto livello elaborate nelle varie modalità. Queste fornirebbero una descrizione percettiva completa dell'oggetto ("descrizione strutturale") propedeutica alla sua identificazione e all'attribuzione di significato. Inoltre, nel passaggio dal livello della descrizione strutturale al livello della rappresentazione concettuale, l'oggetto "verrebbe spogliato" di ogni caratteristica modalità-specifica, dal momento che il formato delle rappresentazioni semantiche sarebbe simbolico, amodale e proposizionale.

Una proposta alternativa prende corpo negli anni 80 a partire dai lavori di Warrington, e collaboratori sui deficit semantici per categorie specifiche determinati da lesioni cerebrali. Le dissociazioni tra disturbi categoria-specifici più documentate, come quella tra nomi e verbi (Baxter e Warrington, 1985; McCarthy e Warrington, 1985), e tra oggetti naturali e artificiali (McCarthy and Warrington, 1991; Warrington e McCarthy, 1983, 1987; Warrington e Shallice, 1984), sono esaminate facendo riferimento a un nuovo modello teorico, secondo il quale i diversi attributi percettivi e motori sono mantenuti nella rappresentazione concettuale degli oggetti e rappresentati nei sistemi percettivi e motori che li codificano quando se ne fa esperienza.

Queste nuove teorie sensori-motorie (Barsalou, 2003, 2008; Beauchamp e Martin, 2007; Gainotti, 2013; Martin, 2007), propongono che la categorizzazione sia basata sui seguenti principi: 1) una categoria di oggetti è definita da un numero determinato e relativamente limitato di attributi e proprietà universali (detti “primitivi semantici”, Martin, 1998) che ne consentono il rapido ed efficiente riconoscimento e 2) tali attributi sono rappresentati nel cervello nei medesimi sistemi neurali che sono attivi quando essi vengono elaborati e appresi la prima volta. Nei sopra citati lavori, i disturbi categoria-specifici sono spiegati da Warrington e collaboratori con l’ipotesi del “differente peso” che diversi attributi, sensoriali o funzionali, possono assumere nella caratterizzazione delle diverse categorie (teoria “sensoriale-funzionale”, Farah and McClelland, 1991; Warrington and Shallice, 1984). Ad esempio, per la categoria delle entità biologiche (animali, piante e oggetti inanimati di origine biologica) potrebbero assumere un peso maggiore le informazioni visive che consentono di discriminare i diversi membri all’interno della categoria; per la categorizzazione di oggetti manufatti dall’uomo, potrebbero assumere maggiore rilevanza gli attributi funzionali (Warrington e Shallice, 1984) oppure sensori-motori legati alle ripetute esperienze di interazione manuale con essi (Buxbaum e Saffran, 2002). I diversi deficit categoria-specifici, dunque, sarebbero dovuti ai danni nei diversi substrati neurali che codificano per queste differenti fonti di conoscenza.

Ritornando agli utensili, Beauchamp e Martin (2007) identificano tre tipi di informazioni (i.e., primitivi semantici) essenziali per il riconoscimento di un oggetto come appartenente alla categoria degli utensili: 1) l’aspetto visivo, ovvero le caratteristiche strutturali; 2) il movimento, ovvero “come si muovono quando vengono usati “ (ad esempio, l’oscillare su e giù di un martello); 3) come si manipolano, ovvero gli schemi motori associati alle “azioni funzionali” prima descritte. Questi primitivi semantici sarebbero rappresentati nei sistemi percettivi responsabili dell’elaborazione visiva del movimento e della forma degli oggetti e nei sistemi senso-motori responsabili delle trasformazioni visuo-motorie necessarie per la manipolazione strutturale e funzionale. Alle proprietà indicate da Beauchamp e Martin, come detto in precedenza, può essere

inoltre affiancata la rappresentazione della funzione (“a cosa serve l’oggetto”; Garcea e Mahon, 2012).

Gli studi di neuroimmagine (Beauchamp e Martin, 2007; Boronat et al., 2005; Canessa et al., 2008; Chao e Martin, 2000; Creem-Regehr e Lee, 2005; Grafton et al., 1997; Ishibashi et al., 2016; Kellenbach et al., 2003) forniscono un generale sostegno alla teoria sensori-motoria, mostrando che l’elaborazione degli oggetti è correlata all’attività di un ampio sistema corticale, con un alto grado di lateralizzazione nell’emisfero sinistro, che include il sistema fronto-parietale coinvolto nella rappresentazione dell’azione ed aree temporali implicate nell’elaborazione dell’identità dell’oggetto. Questa sistema è attivato virtualmente in tutti i compiti utilizzati, indipendente dalla loro natura (osservazione passiva, riconoscimento, denominazione, categorizzazione e così via) e dalla modalità di presentazione (visiva, verbale scritta, verbale uditiva, eccetera), e può essere ricondotto alle due vie di elaborazione visiva dorsale e ventrale (Milner e Goodale, 1995, 2008; Ungerleider e Mishkin, 1982)

Gli attributi percettivi visivi degli oggetti, come forma e movimento sarebbero elaborati lungo la via ventrale occipito-temporale. Più in dettaglio, nella porzione mediale del giro fusiforme, verrebbero elaborati gli attributi strutturali degli oggetti (forma e colore); questa regione infatti risponde maggiormente alla presentazione di oggetti artefatti manipolabili rispetto ad altre categorie di oggetti, come quelli di origine biologica (Beauchamp et al., 2002, 2003, Chao et al., 1999; 2002). Sempre nel lobo temporale, ma stavolta nella corteccia laterale, è stato individuato un focus che sembrerebbe deputato specificamente all’analisi del movimento degli oggetti. Questo sito sarebbe distinto da un altro focus temporale, posto nel solco temporale superiore (*superior temporal sulcus* - STS), coinvolto selettivamente nell’analisi del movimento biologico. Questa specializzazione funzionale si giustifica con le peculiarità dei due tipi di movimento. Gli oggetti infatti restano rigidi quando si muovono, il loro movimento non è articolato e consiste per lo più in traslazioni lungo diverse traiettorie e rotazioni che non implicano un cambio di forma dell’oggetto. Al contrario il movimento degli esseri viventi implica un costante mutamento della configurazione corporea per

via dei cambiamenti di posizione reciproca delle diverse parti corporee, che avvengono in corrispondenza delle numerose articolazioni (come quelle degli arti e delle dita). Beauchamp e Martin (2003), in un esperimento fMRI, hanno mostrato a soggetti sani il movimento di oggetti o di parti corporee riprodotto con la tecnica dei “punti luminosi” (*point-light display*) ed hanno riscontrato un’attivazione selettiva per il movimento rigido e inarticolato degli utensili nella porzione del MTG appena anteriore alla corteccia MT/V5, nota per essere un area cruciale per l’analisi visiva del movimento. L’osservazione del movimento biologico, invece, era correlato all’attivazione della porzione posteriore del STS (pSTS), confermando la differenziazione funzionale all’interno della via ventrale per le due forme di movimento.

Di contro, specifiche regioni all’interno della via dorsale, quali la corteccia del giro precentrale e del IPS sinistri, sono state associate alla codifica delle conoscenze motorie legate agli oggetti.

Kellenbach e colleghi. (2003) hanno esaminato in uno studio con tomografia ad emissione di positroni (*positron emission tomography – PET*) il substrato neurale associato alla elaborazione della manipolazione e della funzione di oggetti. Ai partecipanti è stato richiesto di emettere dei giudizi sulla funzione di artefatti manipolabili (ad esempio un martello) e non manipolabili (ad esempio un semaforo), e giudizi sul tipo di manipolazione richiesta dagli oggetti afferrabili.

Nessuna regione cerebrale è risultata più attiva durante i giudizi sulla funzione rispetto ai giudizi motori, ma la vPM e il giro pMTG sinistri sono risultati più attivi per gli oggetti manipolabili che per quelli non manipolabili, suggerendo che queste due aree siano importanti nella rappresentazione degli oggetti afferrabili. In particolare l’attività nella corteccia premotoria potrebbe riflettere l’attivazione automatica di schemi motori associati agli utensili. L’ IPS sinistro, invece, non risultava attivo durante i giudizi sulla funzione, ma risultava robustamente attivato quando il compito prevedeva un giudizio motorio. Secondo gli autori, ciò indica che tale area non sarebbe attivata automaticamente dalle caratteristiche visive degli oggetti, ma sarebbe piuttosto implicata nel richiamo intenzionale delle informazioni riguardo ai movimenti della mano associati al loro uso. Questa interpretazione è coerente con uno studio di Creem-Regehr e Lee (2005); gli autori

sottoponendo a fMRI i loro partecipanti mentre osservavano passivamente utensili familiari ed oggetti manipolabili non familiari, hanno dimostrato che la corteccia che circonda l'IPS sinistro risponde esclusivamente agli utensili familiari e non ad oggetti impugnabili non conosciuti. Questa attività, quindi, non rifletterebbe semplicemente la possibilità di manipolare gli oggetti, bensì sarebbe correlata a rappresentazioni motorie apprese, legate alle precedenti esperienze con oggetti familiari. Anche Boronat e colleghi(2005), nel loro studio fMRI hanno esaminato i correlati neurali dell'elaborazione delle caratteristiche funzionali e visuo-motorie degli utensili, utilizzando un paradigma leggermente diverso da quello di Kellenbach et al. (2003). Questa volta ai soggetti venivano presentate coppie di oggetti e il compito consisteva nel decidere se i due oggetti avessero in comune la funzione o la manipolazione. Nello studio sono stati impiegati due set di stimoli in modalità differenti: immagini e parole scritte (nomi di oggetti). L'inclusione di stimoli verbali serviva a verificare se l'elaborazione della manipolazione dipendesse strettamente dall'elaborazione visiva dello stimolo o se invece il tipo di prensione associata all'oggetto fosse una caratteristica evocabile anche attraverso una modalità non visiva. Entrambi i compiti (giudizio sulla funzione e sulla manipolazione) in entrambe le modalità sono risultati correlati all'attivazione della rete di aree descritte in precedenza (il giro temporale medio posteriore, corteccia premotoria ventrale e solco intraparietale), a riprova che il coinvolgimento di questo sistema neurale nell'elaborazione degli oggetti è indipendente dal tipo di compito. Tuttavia, in coerenza coi risultati di Kellenbach et al (2003), durante i giudizi motori si è registrata una maggiore attivazione del lobo parietale sinistro (compreso l'IPS), mentre nessuna regione corticale è risultata più attiva per i giudizi sulla funzione. Tutti questi dati risultano coerenti con gli studi sulla rappresentazione delle azioni dirette verso oggetti; come si è visto nel paragrafo precedente, infatti, l'IPS viene ritenuto cruciale sia per i processi di trasformazione visuo-motoria necessari a configurare azioni di *grasping* volumetrico conformi alla struttura degli oggetti (Tunik et al., 2007; 2008a,b), sia per lo stoccaggio di rappresentazioni apprese relative alla manipolazione funzionale di specifici utensili (Schubotz et al., 2014; Valeyear, 2007).

I lavori di Kellenbach et al. (2003) e Boronat et al. (2005) hanno permesso di identificare un'area nella via dorsale particolarmente attiva quando il compito richiedeva l'analisi della manipolazione associata agli oggetti, ma non hanno trovato regioni preferenzialmente attivate da compiti in cui era necessario giudicare loro funzione. Gli autori di entrambi gli studi hanno concluso che per la categorie degli utensili le conoscenze motorie, più che quelle funzionali, potrebbero rivestire maggiore importanza. Tuttavia, altri studi che hanno impiegato paradigmi simili sono riusciti ad evidenziare una regione nella via ventrale (nel MTG sinistro) che sembrerebbe implicata nella rappresentazione di caratteristiche più astratte (non percettive o motorie) come il contesto d'uso (Canessa et al., 2008) e la funzione dell'oggetto (Yee et al., 2010). Canessa e collaboratori (2008), nell'ambito di uno studio fMRI hanno richiesto a soggetti sani di valutare se coppie di oggetti potevano essere manipolati allo stesso modo o se condividevano lo stesso contesto d'uso. Ancora una volta il richiamo delle conoscenze motorie è risultato associato ad attivazioni in aree frontoparietali sinistre (porzione caudale del solco intraparietale – Area di Brodmann (*Broadman area* –BA) 7 – parte anteriore dell'IPL – BA 40 – e corteccia premotoria – BA 6), mentre il recupero della conoscenza circa il contesto d'uso degli oggetti è risultato correlato selettivamente all'attività nella corteccia inferotemporale laterale anteriore di sinistra.

Yee e colleghi (2010) hanno ancora utilizzato un compito di giudizi su coppie di oggetti (manipolazione vs funzione) abbinato ad un paradigma di adattamento fMRI (*fMRI adaptation*). In coerenza con gli studi precedenti gli autori hanno rilevato che il grado di somiglianza della manipolazione di oggetti diversi correlava col grado di adattamento nella corteccia precentrale e nel IPS sinistri, mentre il grado di somiglianza della funzione correlava col grado di adattamento in tre regioni: il lobo temporale mediale, il giro temporale medio, e il giro frontale superiore sinistri. Secondo gli autori questi dati dimostrano che oggetti con caratteristiche simili (sensorimotorie o concettuali) hanno rappresentazioni neurali sovrapposte; detto in altri termini esistono popolazioni neurali codificanti per specifiche proprietà, in linea con le teorie sensori-motorie. Tuttavia sia Canessa e colleghi (2008), sia Yee e collaboratori (2010) sostengono l'esistenza di aree di

integrazione multimodale nel lobo temporale che, integrando informazioni percettive e senso-motorie elaborate in altri substrati neurali, pervengono alla rappresentazioni sovramodale di attributi astratti degli oggetti, come la funzione. E' stato suggerito che nella via ventrale esisterebbe un gradiente postero-anteriore di astrazione dell'informazione, per cui a partire dalla corteccia occipito-temporale, dove vengono codificati gli attributi eminentemente percettivi degli stimoli (forma, colore e movimento), si procederebbe con informazioni via via più integrate seguendo il decorso della via verso il polo temporale. Lungo tale percorso, quindi, si andrebbero formando rappresentazioni sempre più astratte (i.e., sovramodali o anche amodali) degli attributi concettuali degli oggetti (Kalenine e Buxbaum, 2016; Tarhan et al., 2015).

La distinzione tra l'elaborazione dorsale delle caratteristiche senso-motorie e l'elaborazione ventrale degli attributi concettuali (oltre che visivi) degli oggetti, emersa dagli studi di neuroimmagine, trova riscontro nella clinica. Buxbaum e Saffran (2002), infatti, hanno mostrato una doppia dissociazione tra la conoscenza sulla manipolazione e sulla funzione degli oggetti in pazienti con cerebrolesione sinistra. In particolare, in un compito in cui era richiesto di accoppiare oggetti per manipolazione o per funzione, i pazienti aprassici con lesioni parietali risultavano maggiormente deficitari nel recupero della conoscenza sulla manipolazione, mentre erano relativamente risparmiati nel recupero della conoscenza funzionale. Questo risultato dimostrava che al deficit nella programmazione motoria (l'aprassia) corrispondeva un parallelo deficit nella conoscenza degli oggetti, per quanto concerneva appunto gli aspetti motori. All'opposto pazienti con lesioni in regioni temporali che risparmiavano il lobo parietale tendevano ad esibire la dissociazione opposta, mostrando una maggiore difficoltà nel recuperare l'attributo più astratto della funzione degli oggetti (Buxbaum Saffran, 2002). Infine una simile dissociazione è stata riprodotta sperimentalmente su soggetti sani in studi di stimolazione magnetica transcranica (*transcranial magnetic stimulation* – TMS); Pelgrims e colleghi (2011), infatti, hanno trovato che la stimolazione del SMG sinistro di partecipanti sani impegnati nei consueti giudizi sulla similarità motoria o funzionale degli oggetti, riduceva la prestazione nei giudizi sulla manipolazione. Questo

dato è stato replicato da Andres e collaboratori (2013), i quali hanno anche documentato il complementare decadimento della prestazione nei giudizi sulla funzione quando la stimolazione era diretta sul pMTG di sinistra. Questi ultimi studi, grazie all'impiego di metodiche di stimolazione funzionale non invasiva, dimostrerebbero il ruolo causale di questi due nodi corticali nel codificare attributi motori e semantici degli oggetti.

1.4. Relazioni semantiche tra oggetti: somiglianza funzionale e associazione tematica.

In tempi più recenti lo studio della rappresentazione concettuale degli oggetti si è esteso all'indagine sulle relazioni semantiche tra più concetti. Due tipi di relazione sono stati in particolare oggetto di attenzione: le relazioni tassonomiche e tematiche (Nelson, 1983). Le prime si riferiscono al legame semantico intercorrente tra oggetti appartenenti alla stessa categoria (ad., esempio, “cane” – “orso”; “martello” – “sega”); la seconda si riferisce al rapporto che lega oggetti appartenenti a categorie diverse ma che partecipano in maniera ricorrente ad uno stesso schema di evento o co-occorrono frequentemente in una certa situazione (ad esempio, “cane” - “cuccia”; “martello” - “chiodo”; Estes, 2011; Lin e Murphy, 2001; Nelson, 1983). Mentre le relazioni tassonomiche si basano per lo più sulla similarità, per cui oggetti correlati tassonomicamente condividono diverse caratteristiche percettive e non percettive, le relazioni tematiche si basano su relazioni spazio-temporali e sulla complementarietà (Kalenine et al., 2009; Mirman & Graziano, 2012).

Esistono prove che i due tipi di relazione vengano elaborati in circuiti neurali distinti e che siano soggetti a compromissione selettiva a seguito di lesioni cerebrali. Schwartz e colleghi (2011) hanno condotto un'analisi dell'accoppiamento sintomo-lesione a livello di singoli voxel (*voxel based lesion symptom mapping* VLSM) in un ampio campione di pazienti afasici alla ricerca delle lesioni associate a parafasie semantiche di natura tassonomica (ad esempio, dire “pera” al posto di “mela”) e tematiche (ad esempio, “verme” in luogo di “mela”). È risultato che, sebbene la gran parte degli errori commessi dai pazienti fossero di tipo tassonomico, lesioni nella porzione anteriore del lobo temporale sinistro (*anterior temporal lobe* – aTL) si associavano ad una quota significativamente maggiore di errori tassonomici, mentre una quota significativamente maggiore di errori di tipo tematico era associata a lesioni nella giunzione temporo-parietale sinistra (*temporo-parietal junction* – TPJ). L'associazione tra l'elaborazione di relazioni tassonomiche e tematiche rispettivamente con l'aTL e la corteccia temporo-parietale è stata confermata da Mirman e Graziano

(2012) usando un paradigma di ricerca visiva in uno studio su pazienti cerebrolesivi sinistri. Ai partecipanti venivano mostrati quattro oggetti comprendenti un “bersaglio” (*target*) da individuare su stimolo verbale, un distrattore associato tassonomicamente o tematicamente (a seconda dei *trial*), e due distrattori non semanticamente relati col *target*. Lo studio dei movimenti oculari (*eye-tracking*) permetteva di determinare l’effetto di competizione semantica tra *target* e distrattore (misurando la quota di fissazioni dirette su quest’ultimo). Questo effetto di competizione era a sua volta indice dell’elaborazione implicita della relazione concettuale tra gli stimoli. Inoltre l’*eye tracking* consentiva di esaminare l’andamento temporale degli effetti di competizione e quindi i tempi di elaborazione dei due tipi di relazione semantica. Gli autori hanno rilevato che le lesioni all’aTL e all’IFG si associavano ad effetti di competizione più lunghi tra gli oggetti in relazione tassonomica (i.e., il distrattore veniva fissato più a lungo e i partecipanti impiegavano più tempo a dirigere le fissazioni dal distrattore al *target*), mentre nessun effetto si registrava per l’elaborazione tematica. Diversamente, pazienti con lesioni alla TPJ (BA 39) mostravano una normale elaborazione delle relazioni tassonomiche, mentre gli effetti di competizione semantica tra stimoli in relazione tematica erano più ritardati e deboli, in segno di una ridotta e più lenta attivazione di questo tipo di relazione. Questa doppia dissociazione confermava, secondo gli autori, che la conoscenza tassonomica e tematica sono funzionalmente distinte e legate a diversi correlati neurali. E’ stato suggerito che l’elaborazione delle relazioni tra concetti possa seguire gli stessi principi sensori-motori che guidano l’elaborazione dei concetti. Questa estensione delle teorie sensori-motorie allo studio delle relazioni semantiche prevede che i due tipi di relazione possano essere più o meno salienti a seconda della categoria di oggetti considerata. (Kalenine et al., 2009). Più precisamente le relazioni tassonomiche, basate soprattutto sulla similarità di caratteristiche, potrebbero essere più rilevanti per categorie di oggetti definiti soprattutto da attributi percettivi (in special modo visivi), come gli oggetti naturali. Di contro le relazioni tematiche potrebbero essere più salienti per categorie definite maggiormente da attributi spazio-temporali o funzionali, come gli artefatti. Questa ipotesi è confermata da Kalenine et al.(2009) in uno studio fMRI in cui è stato

utilizzato un compito di accoppiamento di immagini di oggetti. Triplette di oggetti venivano mostrate a partecipanti sani, i quali dovevano identificare i due oggetti tra loro associati. Gli oggetti nelle triplette potevano essere naturali o artificiali, inoltre gli oggetti tra loro associati potevano essere in relazione tassonomica o tematica. I dati comportamentali mostrano che i soggetti hanno associato più velocemente gli oggetti naturali quando essi erano in relazione tassonomica e gli oggetti artificiali quando essi erano in relazione tematica. Inoltre, i *trial* in cui venivano elaborate azioni tassonomiche elicitavano un incremento dell'attività corticale bilateralmente, soprattutto nelle aree visive (cuneo, e regioni temporo-occipitali); invece i *trial* che richiedevano soprattutto un'elaborazione tematica erano associati ad un incremento metabolico attività-dipendente nel IPL (BA 40, 39) e nel MTG (BA: 21, 22) sinistri, confermando in parte i dati degli studi lesionali (Mirman e Graziano, 2012). Un dato interessante è che l'incremento dell'attività associata all'elaborazione di relazioni tematiche nell'IPS e nel MTG sinistri (regioni chiave nel sistema neurale che elabora gli utensili e le azioni d'uso) era maggiore per gli artefatti manipolabili (i.e., utensili) rispetto agli artefatti non-manipolabili (ad esempio, i veicoli).

E' stato proposto che la diversa salienza delle relazioni tassonomiche e tematiche possa dipendere non solo dal dominio degli oggetti (naturali vs artificiali), ma anche dalla caratteristica della manipolazione. L'idea è che mentre per gli oggetti non manipolabili la categorizzazione avvenga per lo più sulla base della somiglianza di caratteristiche, la possibilità di manipolare oggetti e di inserirli in schemi d'azione favorisca la costituzione di legami tematici tra di essi. Questa ipotesi sarebbe suffragata da uno studio di Kalenine e Bonthoux (2008) da cui emerge che sia i bambini (a partire dai 7 anni), sia gli adulti, sono più rapidi ad accoppiare oggetti naturali e artificiali non manipolabili sulla base di una relazione tassonomica, mentre sono più rapidi nell'elaborare la relazione tematica tra coppie di oggetti naturali o artificiali manipolabili. Considerando dunque congiuntamente il dominio (naturale vs artificiale) e l'attributo della manipolazione (oggetti manipolabili vs non manipolabili), risulta che gli oggetti naturali non manipolabili (ad esempio, gli animali), per i quali è massimo il peso delle caratteristiche percettive, sono più facilmente

raggruppabili in categorie tassonomiche, mentre gli artefatti manipolabili (i.e., gli utensili), per i quali sono essenziali le caratteristiche spazio-temporali e sensorimotorie legate alle azioni con le quali vengono usati, sono più facilmente associabili con altri oggetti sulla base di una relazione tematica (Kalenine et al., 2009; Kalenine e Bonthoux, 2008).

Kalenine e colleghi (2012) hanno specificamente esaminato l'elaborazione di relazioni semantiche tra utensili. Accanto alle relazioni tematiche che legano tra loro oggetti che compaiono nello stesso schema di azione (ad esempio le coppia “martello” – “chiodo”, “scopa” – “paletta”), è stato studiato un tipo particolare di relazione tassonomica, e cioè l'associazione basata sulla similarità della funzione. Ciò in considerazione del fatto che la categorizzazione degli oggetti artificiali si baserebbe maggiormente sulla somiglianza di caratteristiche funzionali, più che di caratteristiche percettive (Cree e McRae, 2003; Farah e McClelland, 1991; Warrington e Shallice, 1984). Gli autori, inoltre, hanno preso in considerazione il fatto che la somiglianza funzionale tra oggetti può essere più o meno stretta: due oggetti possono servire per svolgere la stessa azione specifica (ad esempio una scopa e un'aspirapolvere servono entrambi a pulire il pavimento) oppure per svolgere azioni più genericamente simili (ad esempio una scopa e una spugna servono entrambe per pulire). Nello studio condotto su soggetti sani, dunque, è stato utilizzato un paradigma di ricerca visiva in combinazione con una procedura di *eye-tracking*. Come nel compito impiegato da Mirman e Graziano (2012), ai partecipanti venivano presentati quattro oggetti, fra i quali dovevano individuare un target indicato verbalmente. A seconda del *trial*, tra gli oggetti veniva presentato un distrattore semanticamente associato al target in virtù di una relazione tematica, funzionale specifica o funzionale generale; le fissazioni oculari dirette verso il distrattore (effetto di competizione semantica) consentivano ai ricercatori di misurare l'elaborazione dei diversi tipi di relazione. I risultati hanno mostrato effetti di competizione semantica più precoci e transitori (tra i 500 e 1000 msec dopo che i soggetti ascoltavano il nome del target da ricercare) per la relazione tematica e più tardivi e duraturi (con insorgenza tra i 700 e 1200 msec) per la relazione basata sulla somiglianza funzionale generica. La competizione per distrattori in relazione funzionale specifica era intermedia

rispetto agli altri due tipi di associazione. Gli autori hanno dunque proposto una organizzazione gerarchica delle relazioni semantiche fra artefatti manipolabili; tale gerarchia prevede una più rapida attivazione delle relazioni tematiche, strettamente connesse alle esperienze concrete dell'uso degli oggetti, per proseguire con l'attivazione di relazioni basate sulla condivisione di proprietà via via più astratte (la funzione specifica e poi generale). Lo studio di Wamain e collaboratori (2015) ha documentato un correlato neurofisiologico del pattern comportamentale appena descritto. In uno studio con potenziali evento-correlati (*event-related potentials* – ERP) su soggetti sani, gli autori hanno impiegato un paradigma di *priming* semantico nel quale due oggetti (immagini) venivano presentati uno dopo l'altro per 300 msec ciascuno, separati da un intervallo inter-stimolo (*interstimulus interval* – ISI) di 66 o 250 msec. Il compito dei soggetti era di denominare i due oggetti nell'ordine di presentazione. I due oggetti potevano essere non associati semanticamente, oppure associati per una relazione tematica, funzionale specifica o funzionale generale. Il primo oggetto poteva fungere da *prime* per il secondo (target) e l'elaborazione della relazione semantica è stata misurata come l'attenuazione delle componenti ERP dopo i target preceduti da oggetti semanticamente correlati (effetto di *priming* semantico). Gli autori riportano un effetto di *priming* semantico per la sola relazione tematica nelle componenti più precoci (N1 e P3), indipendentemente dall'ISI. Nella componente più tardiva (N400), invece, con l'ISI di 66 msec era evidenziabile un effetto di *priming* graduato per i diversi tipi di relazione: più forte per la relazione tematica, intermedio per la funzione specifica e più debole per la funzione generale; quando infine l'ISI era più lungo (250 msec), i tre tipi di relazioni semantiche davano luogo ad effetti di *priming* di pari entità. In sostanza lo studio dimostrava una risposta neurale precoce alle relazioni semantiche di tipo tematico, e più tardiva per le relazioni basate su gradi via via più generici di similarità funzionale.

L'idea che emerge da questi studi, quindi, è che la relazione tematica sia più saliente per gli artefatti manipolabili in quanto ancorata ad esperienze concrete di interazione fisica con gli oggetti (e degli oggetti tra loro), che ha luogo nel contesto dell'azione. Su questa base, è stato proposto che, a

livello neurale, la rappresentazione di questo tipo di associazione sia largamente fondata sugli stessi substrati che elaborano la conoscenza motoria connessa alle azioni d'uso di oggetti (Kalenine et al., 2012; Wamain et al., 2015). Tsagkaridis e collaboratori (2014) hanno testato direttamente questa ipotesi. Accanto alle relazioni tassonomiche, gli autori distinguono ulteriormente tra associazioni tematiche basate sull'azione (*action-based*), che connettono oggetti che vengono manipolati insieme o interagiscono fisicamente tra loro durante l'azione (tipicamente le coppie "utensile-bersaglio", ad esempio "martello"- "chiodo", "cacciavite"- "vite"), da associazioni tematiche basate su relazione di prossimità spazio-temporale connesse alla partecipazione a contesti o eventi comuni ("*event-related*": ad esempio "palloncino" - "torta di compleanno", "martello" - "cacciavite"). In un primo studio, quindi, gli autori hanno dimostrato che in un compito di associazione semantica tra oggetti, i partecipanti sani tendono ad accoppiare utensili ed artefatti manipolabili preferenzialmente secondo relazioni tematiche *action-based*, piuttosto che *event-based* o tassonomiche. In un secondo studio, condotto su pazienti con lesioni corticali sinistre, gli autori hanno mostrato che questa preferenza per le relazioni *action-based* è ridotta in pazienti con un deficit di riconoscimento delle azioni funzionali e lesioni parietali e temporali posteriori sinistre, ovvero nei substrati connessi con l'elaborazione della conoscenza per l'uso degli oggetti. Questi risultati, congiuntamente, attestano la centralità dell'azione per l'elaborazione di relazioni tematiche tra utensili e individuano nel sistema corticale per le *tool-action* il substrato che elabora tali relazioni concettuali.

Ulteriori prove della relazione tra conoscenze motorie e elaborazione delle relazioni tematiche provengono da due studi in cui l'osservazione di azioni altrui è stata utilizzata per attivare nell'osservatore il sistema corticale per le azioni con gli oggetti (Borghi et al., 2012; Pluciennicka et al., 2015). Nel lavoro di Borghi e collaboratori (2012), sono presentati due studi in cui partecipanti sani osservavano coppie di oggetti in relazione tematica *action-based* (secondo la terminologia di Tsagkaridis et al., 2014; cioè coppie oggetto-bersaglio, come "coltello" - "burro") o "*event-based*" (ad esempio "coltello" - "bicchiere") e coppie di oggetti non relati, e dovevano giudicare se gli oggetti mostrati erano associati o meno (rispondendo "sì"/"no" con le mani nell'esperimento 1, e

con i piedi nell'esperimento 2). A seconda dei *trial*, negli stimoli era inclusa una mano destra in prospettiva egocentrica che impugnava uno dei due oggetti con una prensione funzionale o strutturale. I risultati hanno mostrato che, per le coppie in relazione *action-based*, i tempi di risposta erano più lenti nei trial con una prensione strutturale; viceversa, per le coppie in relazione *event-based*, i trial con prensione funzionale ottenevano risposte più lente. Secondo gli autori questi effetti di interferenza tra tipo di coppia e gesto osservato sono spiegabili ipotizzando un conflitto tra lo scopo dell'azione suggerito dal tipo di prensione e la coppia di oggetti mostrata. Inoltre poiché questa interazione tra tipo di manipolazione e tipo di relazione non emergeva quando la risposta veniva fornita coi piedi, gli autori hanno suggerito che gli effetti di interferenza erano mediati da fenomeni di risonanza motoria effettore-specifica, indotti dall'osservazione dell'azione.

Pluciennicka e collaboratori (2015), invece, hanno utilizzato un compito di ricerca visiva molto simile a quello impiegato in Kalenine et al. (2012), ma facevano precedere la presentazione degli oggetti in ogni *trial* da un video in cui era mostrata l'azione d'uso dell'oggetto *target* (resa con la tecnica dei *point light*). I risultati hanno mostrato che l'osservazione delle azioni funzionali dava luogo ad un effetto di competizione semantica maggiore e più precoce nei trial in cui gli oggetti erano in relazione tematica, mentre non aveva alcun effetto quando gli oggetti erano in relazione funzionale specifica o generale. Questo dato dimostrerebbe la rilevanza della conoscenza dell'azione per l'elaborazione di relazioni semantiche basate sui rapporti tematici ma non sulla funzione.

E' importante sottolineare che gli ultimi studi presentati (Borghi et al., 2012; Pluciennicka et al., 2015), oltre che offrire sostegno al legame tra azione e relazioni tematiche tra oggetti manipolabili, dimostrano anche che l'attivazione "dal basso" (*bottom-up*) di conoscenze motorie (indotta dall'osservazione di azioni altrui) influenza l'elaborazione di conoscenze semantiche sugli oggetti.

1.5. Dall'oggetto all'azione, dall'azione all'oggetto: interazioni reciproche tra conoscenze motorie e concettuali durante l'elaborazione cognitiva degli oggetti.

Diversi evidenze dimostrano che l'elaborazione sia visiva, sia lessicale di oggetti manipolabili comporta l'attivazione incidentale di programmi motori associati ad azioni dirette verso tali oggetti (Glover et al., 2004; Tucker e Ellis, 1998, 2001). Ad esempio, Glover e colleghi (2004) hanno mostrato che durante un semplice compito motorio (sollevare e riporre bastoncini di legno di vario spessore), la concomitante elaborazione di nomi di oggetti associati ad una prensione di precisione (i.e., con pollice ed indice), o con "mano intera", come ad esempio: "acino d'uva" o "mela", condiziona l'ampiezza dell'apertura della mano nelle fasi iniziali del *grasping*.

Nel caso di utensili, come visto nel capitolo precedente, i tipi di azioni che possono essere evocate sono di due tipi, strutturale e funzionale (Kalenine e Buxbaum, 2010). Esistono prove che nei soggetti sani gli utensili attivino di preferenza programmi motori per una prensione di tipo funzionale (Creem e Proffitt, 2001). Tuttavia è stato sostenuto che l'elaborazione di un oggetto (in qualsiasi modalità) dovrebbe elicitarne programmi motori sia di tipo funzionale, sia di tipo strutturale, dal momento che nel contesto dell'esecuzione di un'azione d'uso rientrano necessariamente una o più interazioni strutturali con l'oggetto (per prenderlo, sollevarlo, trasportarlo, eccetera), spesso propedeutiche alla formazione del piano motorio funzionale (Bub e Masson, 2006). Per verificare questa ipotesi, Bub e Masson (2006, 2008) hanno elaborato un interessante paradigma comportamentale che consente di evidenziare 1) l'attivazione incidentale ed automatica di programmi d'azione strutturale e funzionale alla presentazione di un oggetto; 2) gli effetti di interferenza di tali programmi con l'esecuzione di altre azioni. In una serie di esperimenti, soggetti sani venivano addestrati ad eseguire una determinata azione funzionale (schiacciare un tasto, premere un grilletto, eccetera) o strutturale (eseguire prensioni di precisione, "di forza" con tutta la mano, e così via) in risposta a determinati colori. Successivamente a tale fase di

addestramento i soggetti eseguivano un compito in cui venivano presentati immagini di oggetti colorati e i partecipanti dovevano eseguire l'azione associata al colore dello stimolo. Seguendo la stessa logica del test di Stroop (1935), nei *trial* congruenti l'oggetto presentato richiedeva un'azione strutturale o funzionale compatibile con quella indicata dal colore; nei *trial* incongruenti le azioni associate all'oggetto ed al colore erano differenti. Quanto alla modalità di risposta, nei primi esperimenti (Bub e Masson, 2006), i partecipanti mimavano l'azione indicata dal colore (cioè configuravano determinate posture della mano), più tardi (Bub e Masson, 2008) gli autori hanno introdotto nei loro esperimenti un apposito dispositivo (il "*Graspasaurus*"), consistente in un piano semicircolare a cui erano ancorati manici e impugnature di varia foggia e dimensione, sul quale i partecipanti eseguivano realmente le azioni. Differenze nei tempi di inizio ed esecuzione dei gesti tra *trial* congruenti ed incongruenti consentivano di rilevare l'eventuale interferenza tra piani motori elicitati in maniera implicita dall'oggetto (*bottom-up*) e piani motori programmati sulla base delle istruzioni ("dall'alto", *top-down*). In entrambi i lavori (Bub e Masson, 2006, 2008) sono riportati prove di interferenza motoria (maggiori latenze di risposta nei *trial* incongruenti rispetto ai congruenti), sia per le azioni strutturali che funzionali. Inoltre gli effetti di interferenza tra piani attivati dal basso (dall'oggetto) e programmati dall'alto (sulla base del colore) sono stati dimostrati sia quando l'oggetto era presentato in formato di immagine, sia in forma di parola scritta, dimostrando che l'attivazione motoria implicita è indipendente dalla modalità di presentazione (Bub e Masson, 2008). In un'interessante estensione di questi studi, Bub e Masson (2010) dimostrano che azioni strutturali e funzionali sono coerentemente evocate anche da frasi che si riferiscono ad azioni d'uso (ad esempio, "*Alice aggiunge un numero sulla calcolatrice*") o di manipolazione non funzionale di oggetti (ad esempio, "*Alice prende la calcolatrice*"), ed anche in questo caso le attivazioni indotte interferiscono con l'esecuzione di azioni incompatibili sul "*graspasaurus*". Questi studi dimostrerebbero che l'elaborazione visiva e lessicale di oggetti, così come la comprensione di frasi, comportano obbligatoriamente l'attivazione di azioni funzionali e strutturali congruenti e che i gesti attivati influenzano il comportamento motorio manifesto del soggetto.

Poiché sia azioni strutturali, sia funzionali risultano attivate nei loro esperimenti, Bub e Masson, (2006, 2008, 2010) ritengono che entrambe rientrino nella rappresentazione cognitiva e neurale degli oggetti. Sono state tuttavia evidenziate delle importanti differenze nella dinamica temporale dell'attivazione dei due tipi di azione (Jax e Buxbaum, 2010). In questo studio è emerso che soggetti sani esibiscono latenze di risposta maggiori quando pianificano azioni strutturali o funzionali dirette verso oggetti associati a movimenti marcatamente diversi per i due tipi di gesti (ad esempio una calcolatrice), dimostrando che la co-attivazione di gesti funzionali e strutturali dà luogo ad effetti di competizione. Tuttavia gli autori hanno dimostrato che l'interferenza di azioni strutturali, implicitamente attivate, con le azioni funzionali eseguite dai soggetti si manifesta prima ed è di più breve durata; viceversa l'interferenza di azioni funzionali con azioni di *grasping* strutturale insorge più lentamente (solo quando nel corso del compito i soggetti ripetono più volte azioni d'uso dello stesso oggetto), ma dura molto più a lungo (fino a 20 minuti). Questo pattern si spiega, secondo gli autori, col fatto che le azioni strutturali non richiedono il recupero di conoscenze concettuali sull'oggetto, per cui si attivano rapidamente lungo la via dorso-dorsale e rapidamente decadono; al contrario le azioni funzionali richiedono l'accesso al sistema semantico ma una volta attivate perdurano più a lungo.

Accanto alle evidenze circa l'effetto che l'elaborazione di oggetti può avere sul comportamento motorio del soggetto, esistono anche prove di un'influenza inversa, e cioè che l'attivazione di conoscenze motorie condiziona i processi di elaborazione percettiva e concettuale di oggetti manipolabili. I primi esempi di effetti di facilitazione dall'azione alla percezione (*action-to-perception priming*) provengono da studi che riguardavano semplici azioni volumetriche (*grasping*) dirette verso oggetti manipolabili che non rientrano nella categoria degli utensili. Craighero e colleghi (1999), hanno mostrato che la programmazione di azioni di *grasping* di barre con diversi orientamenti diagonali (tali da richiedere rotazioni del polso in senso orario o antiorario) facilitava la percezione di stimoli visivi compatibili con l'azione da svolgere (cioè, immagini di barre con un orientamento congruente allo stimolo da afferrare). Similmente Symes e collaboratori (2008),

utilizzando un paradigma di *cecità per il cambiamento* (“*change-blindness*”), in cui i cambiamenti di elementi di una scena visiva avvengono in maniera tanto rapida da non essere rilevati, hanno mostrato che la programmazione di specifiche azioni di *grasping* (presa di precisione o a mano intera) diminuiva la cecità per il cambiamento di oggetti nella scena che erano congruenti, per dimensione e forma, con il tipo di prensione da effettuare.

In questi ed altri paradigmi simili, l’istruzione sperimentale portava alla generazione di programmi motori in maniera *top-down*, e questi al loro volta influenzavano i processi di natura percettiva. Gli studi che hanno indagato simili effetti di *priming* nell’ambito della categoria degli utensili hanno seguito generalmente un approccio diverso. Sfruttando il fatto l’elaborazione di un oggetto attiva le conoscenze motorie ad esso associate, in questi studi in genere l’attivazione motoria viene elicitata in maniera *bottom up*, mediante la presentazione di immagini o nomi di oggetti, oppure di frasi riferite all’uso di utensili. L’effetto di *priming* viene poi misurato sull’elaborazione di un nuovo oggetto presentato successivamente. Ad esempio nello studio di Myung e colleghi (2006), sono stati impiegate coppie *prime - target* di nomi di oggetti presentati per via uditiva; i partecipanti sani dovevano eseguire un compito di decisione lessicale sulle parole *target*. L’oggetto *target* e quello usato come *prime* potevano condividere lo stesso tipo di manipolazione funzionale (ad esempio “macchina da scrivere” – “pianoforte”) oppure no. I risultati hanno mostrato che il giudizio lessicale era più veloce quando il *target* era preceduto da un oggetto simile per manipolazione funzionale. Secondo gli autori l’attivazione della conoscenza motoria indotta dal *prime* favoriva la successiva elaborazione di un oggetto che condivideva le stesse caratteristiche motorie. Similmente Helbig e colleghi (2006) hanno mostrato che l’accesso alle rappresentazioni di azioni funzionali facilita il riconoscimento visivo di oggetti. Nel loro studio i partecipanti osservavano l’immagine di un oggetto (*prime*) seguita dall’immagine di un secondo oggetto (*target*) presentate entrambe per pochi centesimi di secondo. Il compito consisteva nel denominare i due oggetti nell’ordine di presentazione. I risultati hanno mostrato una maggiore accuratezza nel compito di denominazione quando gli oggetti condividevano lo stesso tipo di manipolazione funzionale rispetto a quando

evocavano differenti tipi di manipolazione. Gli stessi autori, in uno studio successivo (Helbig et al., 2010), hanno dimostrato che lo stesso effetto di facilitazione può essere ottenuto attivando la conoscenza motoria direttamente attraverso l'osservazione di azioni funzionali, invece che presentando altri oggetti. In un compito di denominazione, le immagini degli oggetti *target* erano precedute da brevi video (2 secondi) in cui la mano di un attore eseguiva un movimento di manipolazione funzionale senza che l'oggetto fosse visibile, in quanto rimosso digitalmente dal video. Le azioni videoregistrate non erano eseguite sugli oggetti *target*, ma su altri oggetti che richiedevano lo stesso tipo di gesto funzionale (*prime* congruenti), oppure un gesto diverso (*prime* non congruenti). Ancora una volta la prestazione dei partecipanti è stata migliore quando il *target* era congruente con l'informazione motoria attivata dal *prime*.

Più recentemente, Lee e collaboratori (2014) hanno presentato per via uditiva ai loro partecipanti frasi che si riferivano ad azioni di tipo strutturale (denotate dal verbo "sollevare") o funzionale (denotate dal verbo "usare") dirette verso oggetti comuni. Il compito dei soggetti consisteva nell'individuare, in un gruppo di 4 oggetti presentati insieme, l'immagine dell'oggetto contenuto nella frase. L'oggetto *target* veniva presentato insieme con distrattori che condividevano con esso le caratteristiche strutturali oppure funzionali. Tracciando i movimenti oculari (*eye-tracking*) dei partecipanti durante la ricerca visiva, gli autori hanno rilevato che una maggior quota di fissazioni veniva diretta verso distrattori con caratteristiche strutturali simili al *target* quando la frase ascoltata si riferiva ad un'azione strutturale; invece, quando il verbo contenuto nella frase esprimeva un'azione funzionale, il *target* veniva individuato più rapidamente (i.e., veniva facilitato il riconoscimento visivo dell'oggetto). I risultati dimostrerebbero che schemi motori per le azioni sia strutturali, sia funzionali vengono attivati durante la comprensione di frasi e che queste informazioni motorie, a loro volta, influenzano l'elaborazione visiva di oggetti.

Come visto nel paragrafo precedente, infine, alcuni studi recenti (Borghi et al., 2012; Pluciennicka et al., 2015) hanno fornito prove che l'attivazione motoria elicitata dall'osservazione di azioni altrui possa facilitare il riconoscimento di relazioni semantiche tra oggetti, come le relazioni tematiche.

Queste evidenze suggeriscono la possibilità che l'influenza delle informazioni senso-motorie possa andare oltre i processi di riconoscimento, estendendosi all'elaborazione di caratteristiche semantiche più profonde.

I risultati di questi studi offrono sostegno alle teorie sensori-motorie (Barsalou, 2003, 2008; Beauchamp e Martin, 2007) secondo cui le informazioni motorie sono una componente cruciale della rappresentazione cognitiva e neurale degli oggetti. Essi permettono inoltre di meglio interpretare le numerose evidenze di neuroimmagine che attestano l'attivazione delle regioni sensomotorie fronto-parietali in quasi tutti i compiti connessi agli oggetti (Beauchamp e Martin, 2007; Boronat et al., 2005; Canessa et al., 2008; Chao e Martin, 2000; Creem-Regehr e Lee, 2005; Gainotti, 2013; Grafton et al., 1997; Ishibashi et al., 2016; Kellenbach et al., 2003). Dopotutto la natura correlazionale dei dati di neuroimmagine lascia aperta la possibilità di interpretare tale attivazione senso-motoria come un semplice epifenomeno dell'elaborazione concettuale degli oggetti (Garcea e Mahon, 2012). Riveste quindi grande rilevanza teorica l'evidenza comportamentale che informazioni motorie attivate in anticipo possano impattare sulla susseguente elaborazione cognitiva degli oggetti, in quanto prova che la conoscenza motoria faccia effettivamente parte della rappresentazione concettuale degli oggetti manipolabili.

In effetti alcuni autori (Campanella e Shallice, 2011) si sono chiesti se non sia più corretto interpretare l'informazione motoria circa le azioni funzionali come un vero e proprio attributo semantico degli oggetti, piuttosto che come il riflesso dell'attivazione di schemi motori appresi. Gli autori hanno fatto eseguire a partecipanti sani un semplice compito di accoppiamento tra parole ed immagini in condizioni di forte pressione temporale; i partecipanti leggevano il nome di un oggetto e dovevano indicare l'immagine corrispondente tra due alternative, avendo solo 500 msec per emettere la risposta. La forte pressione temporale in compiti di questo tipo è nota per indurre effetti di interferenza semantica. Invero, la prestazione dei soggetti è risultata molto peggiore quando le coppie *target*-distrattore erano costituite da oggetti accomunati dalla manipolazione funzionale piuttosto che dalla somiglianza visiva (i.e., effetto di distanza semantica). Inoltre la prestazione

peggiorava per ripetute presentazioni delle medesime coppie *target*-distrattore con manipolazione simile (effetto di posizione seriale negativo). Poiché sia l'effetto di distanza che l'effetto di posizione seriale negativo si verificano in pazienti che soffrono di disturbi di accesso semantico, gli autori hanno concluso che la manipolazione funzionale possa essere considerata un'effettiva proprietà semantica degli utensili.

Capitolo 2²

Studio 1 - Osservare azioni funzionali influenza l'elaborazione semantica degli oggetti.

2.1. Panoramica degli esperimenti.

La letteratura sulla rappresentazione neurale degli oggetti (Chao e Martin, 2000; Kellenbach et al., 2003; Boronat et al., 2005; Creem-Regehr e Lee, 2005; Martin, 2007; Canessa et al., 2008; Yee et al. 2010) suggerisce che la conoscenza motoria relativa alle azioni funzionali sia strettamente connessa alla rappresentazione lessicale e semantica degli oggetti stessi (o che ne faccia pienamente parte). Diversi studi inoltre mostrano che l'attivazione di questa conoscenza favorisce l'elaborazione cognitiva degli stimoli riferiti agli oggetti (Helbig et al., 2006, 2010; Myung et al., 2006, 2010; Sim et al., 2014). Tuttavia questi studi presentano diverse limitazioni. In primo luogo, nella maggior parte di essi l'attivazione di informazioni motorie è stata indotta utilizzando altri oggetti come *prime* (in formato di immagini o parole). E' noto in letteratura che osservare azioni altrui può attivare rappresentazioni motorie coerenti con le azioni osservate nel cervello dell'osservatore (Avenanti et al. 2013; Caspers et al. 2010; Gazzola e Keysers 2009; Rizzolatti e Sinigaglia 2010). Recentemente Vingerhoets e colleghi (2010) hanno sottoposto a fMRI soggetti sani mentre osservavano azioni di *grasping* videoregistrate e dovevano decidere se l'attore impugnava gli oggetti con l'intenzione di usarli o spostarli (i.e., discriminare tra azioni di *grasping* funzionali e volumetriche); i risultati hanno mostrato attivazioni nel IPS, una regione nota per essere coinvolta nella pianificazione e controllo di azioni di *grasping* (Tunik et al., 2007; 2008a; Vingerhoets, 2014). Nonostante queste proficue evidenze, a nostra conoscenza solo in pochi lavori

² I risultati di questo studio sono stati pubblicati in De Bellis F. et al., Exp Brain Res; 234(1), 1-11, 2016.

(Borghi et al., 2012; Helbig. et al., 2010; Pluciennicka et al., 2015; Sim et al., 2014) è stato valutato se, e in che modo, l'informazione motoria estratta dall'osservazione di azioni altrui contribuisca all'elaborazione degli utensili.

In secondo luogo, nella maggior parte degli studi (con la rilevante eccezione di Borghi et al., 2012, e Pluciennicka et al., 2015) è stato studiato l'effetto della conoscenza motoria sul solo riconoscimento dell'identità dell'oggetto (utilizzando compiti di denominazione, identificazione, ricerca visiva e così via). Se, tuttavia, una relazione stretta tra informazioni motorie e concettuali esiste, allora si può predire che l'attivazione della rappresentazione degli attributi motori dovrebbe a sua volta facilitare l'attivazione di tutti gli attributi semantici nella rappresentazione concettuale dell'oggetto. Ciò dovrebbe essere visibile in compiti semantici di più alto livello, che richiedono il richiamo e l'elaborazione di proprietà semantiche specifiche degli oggetti (e non solo il loro riconoscimento). Inoltre tale effetto dovrebbe essere più debole o assente quando vengono attivate rappresentazioni di azioni strutturali piuttosto che funzionali. Un buon modo per verificare questa ipotesi consiste nel valutare se l'osservazione di azioni di *grasping* funzionale o strutturale influenzi in maniera differente la prestazione in compiti che richiedono giudizi semantici su coppie di oggetti, appaiati secondo diverse relazioni concettuali (come la relazione funzionale o tematica).

Il possibile effetto dell'attivazione *bottom-up* di rappresentazioni motorie funzionali e strutturali sull'elaborazione di relazioni semantiche tra coppie di oggetti è stata quindi valutata in tre esperimenti. Nell'Esperimento 1, è stato richiesto a partecipanti sani di giudicare se oggetti richiedenti impugnature funzionali differenti, presentati in coppie, avevano o meno la stessa funzione. Subito prima della presentazione di ciascuna coppia, veniva presentata l'immagine statica di una mano che afferrava uno degli oggetti della coppia (di qui in avanti, oggetto "bersaglio" o *target*) con una presa funzionale o strutturale (stimolo *prime*). Nell'Esperimento 2, le condizioni erano le stesse dell'esperimento precedente, ma questa volta i partecipanti dovevano valutare se i due oggetti accoppiati erano in relazione tematica tra loro. In particolare è stata studiata la relazione tematica "basata sull'azione" (Tsagkaridis et al., 2014), in cui due oggetti sono associati per il fatto

di interagire fisicamente tra loro nel corso dell'azione (si tratta tipicamente di coppie del tipo oggetto – bersaglio, come “martello” – “chiodo”). I compiti impiegati in entrambi gli esperimenti implicavano il recupero della conoscenza concettuale circa l'oggetto (“a cosa serve”, “quando e con cosa si usa”) e quindi entrambi gli studi indagavano un livello di elaborazione che andava oltre la mera identificazione degli oggetti. Il risultato atteso era che la prestazione in entrambi i compiti sarebbe stata migliore quando le coppie venivano precedute da *prime* di azioni funzionali piuttosto che strutturali. Infine nell'Esperimento 3 è stato utilizzato lo stesso compito dell'Esperimento 1, ma con lo scopo di verificare se il possibile effetto della conoscenza motoria scompariva nel caso di coppie di oggetti con funzione diversa ma con una simile impugnatura. In questo caso, infatti, la risposta corretta richiedeva di separare la conoscenza motoria e la conoscenza concettuale relativa alla funzione, per cui ci si poteva attendere un effetto di interferenza, piuttosto che di facilitazione. Tre caratteristiche degli esperimenti devono essere sottolineate: 1) in tutti e tre sono stati impiegati gli stessi oggetti “bersaglio” (e i relativi *prime*), mentre sono stati variati solo i secondi oggetti inseriti nelle coppie; questa scelta è stata fatta per ridurre possibili fonti di variabilità legati all'uso di oggetti (e relativi *prime*) diversi da un esperimento all'altro; 2) negli stimoli *prime* è stata variato l'orientamento degli oggetti (e di conseguenza la traiettoria dei movimenti di reaching dell'attore), in modo da verificare il possibile effetto di fattori collegati alla cinematica del movimento osservato (i.e., la traiettoria). Poiché negli stimoli *prime* utilizzati la configurazione posturale della mano (i.e., il *grasping*) era sufficiente di per sé a determinare se le azioni erano funzionali o strutturali, non si attendevano effetti della traiettoria del *reaching* sulla prestazione; 3) in tutti e tre gli esperimenti sono stati impiegati compiti semantici che implicano il recupero di conoscenze concettuali e per i quali l'informazione motoria di per sé sarebbe potenzialmente irrilevante. Questo consentiva in ultima analisi di valutare se l'informazione motoria potesse influenzare l'elaborazione di caratteristiche semantiche che sono al di fuori del dominio motorio.

2.2. Esperimento 1

2.2.1. Metodi

Partecipanti.

29 studenti universitari (12 maschi, età media \pm SD= 24,3 \pm 3.4 anni) hanno preso parte all'esperimento in qualità di volontari dopo aver firmato un consenso informato. Tutti i partecipanti erano ciechi per gli obiettivi e le ipotesi di ricerca; erano destrimani e con una visione normale o corretta nella norma. Tutte le procedure sperimentali adottate erano conformi alla Dichiarazione di Helsinki e sono state previamente approvate dal comitato etico locale.

Stimoli e procedura sperimentali.

Gli stimoli utilizzati come *prime* d'azione consistevano in immagini a colori ritraenti una mano in procinto di afferrare uno tra 18 oggetti bersaglio (*target objects*), con un impugnatura funzionale o strutturale. Gli oggetti apparivano distesi su un piano orizzontale col manico diretto verso l'attore o lontano da questi; la mano, unica parte corporea visibile dell'attore, era ripresa da una prospettiva in terza persona. Per ciascun oggetto target sono stati costruiti quattro stimoli *prime* combinando i due orientamenti dell'oggetto (verso/ lontano dall'attore) con i due tipi di prensione (funzionale/ strutturale). Gli stimoli *prime* avevano dimensioni di 600 x 600 pixel e sottendevano un angolo visivo di 6.6° ad una distanza visiva di 65 cm (Figura 1). Sia nei *prime* funzionali, sia nei *prime* strutturali, la mano era ritratta mentre "toccava" gli oggetti, preparandosi a configurare la prensione adeguata; la scelta di mostrare azioni di *grasping* non pienamente realizzate è stata suggerita dagli studi in cui si dimostra che immagini statiche di azioni non ancora completate sono suscettibili di

evocare risposte più robuste nel sistema senso-motorio dell'osservatore (Proverbio et al., 2009; Urgesi et al., 2006).

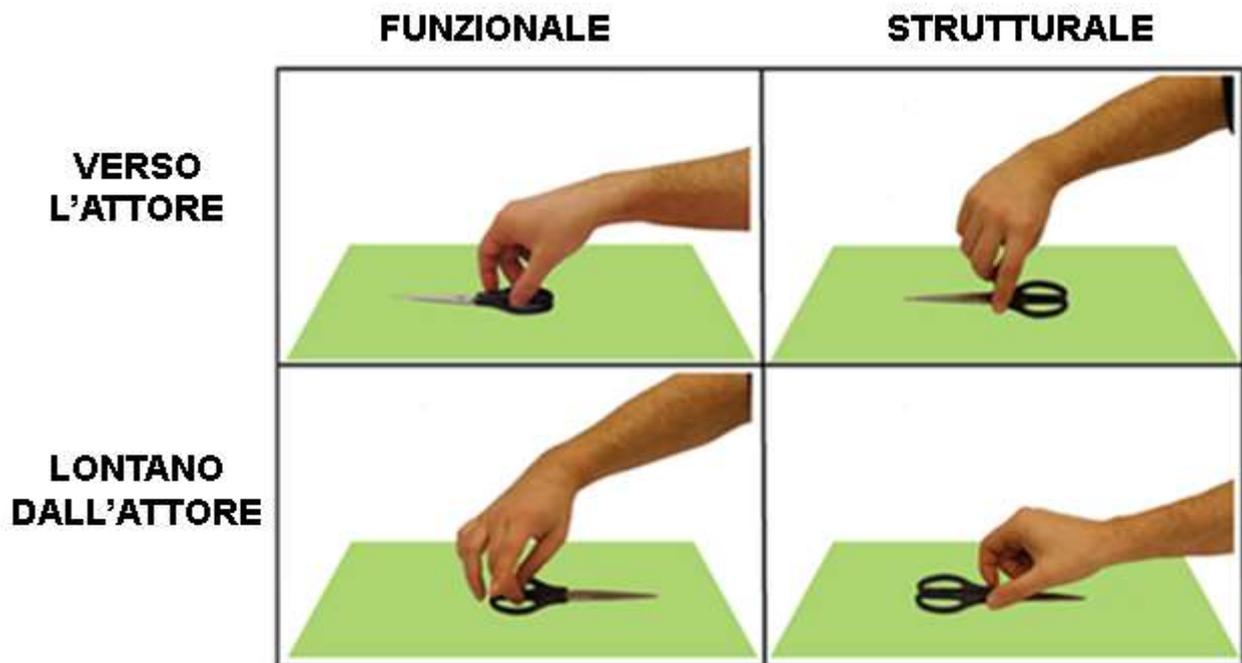


Fig.1. Esempi di stimoli *prime* associati agli oggetti target. Un'immagine *prime* è stata costruita per ciascuna combinazione di 2 orientamenti dell'oggetto(verso l'attore/ lontano dall'attore) X 2 tipi di prensione (funzionale/ strutturale).

Gli stimoli consistevano in immagini a colori di 36 paia oggetti di uso comune. Gli oggetti in ciascuna coppia sono stati equiparati nelle dimensioni ed allineati lungo l'asse orizzontale di un quadrato a sfondo bianco, quest'ultimo avente le medesime dimensioni degli stimoli *prime*. Nelle *18 coppie congruenti*, uno degli oggetti *target* era accoppiato con un oggetto avente la stessa funzione, ma che richiede un diverso tipo di manipolazione funzionale (ad esempio, un tagliaunghie ed una forbicina per le unghie); nelle *18 coppie incongruenti* gli oggetti *target* e gli oggetti accoppiati non avevano in comune né la funzione, né la manipolazione (ad esempio, un tagliaunghie ed una chiave; si veda la Figura 2 per un esempio degli stimoli utilizzati). Gli oggetti *target* erano presentati nella metà superiore del riquadro in metà degli stimoli.



Fig. 2. Esempi di coppie di stimoli utilizzate nell’Esperimento 1. Le coppie congruenti includevano un oggetto *target* (es. un rasoio manuale) accoppiato con un oggetto avente la stessa funzione, ma diversa manipolazione (es. un rasoio elettrico); le coppie incongruenti includevano l’oggetto *target* accoppiato con un oggetto avente sia una diversa funzione, sia una diversa manipolazione (es., un *mouse*).

Per garantire che i diversi oggetti fossero correttamente appaiati in accordo coi criteri stabiliti, tutto il set di stimoli è stato previamente sottoposto alla valutazione di un gruppo indipendente di 10 studenti universitari (che non hanno successivamente preso parte all’esperimento). Le coppie sono state valutate sia rispetto alla similarità funzionale, sia rispetto alla similarità della manipolazione funzionale associata agli oggetti. Rispetto a quest’ultimo tipo di valutazione, seguendo la procedura di Andres e colleghi (2013), nell’istruzione era specificato che per “manipolazione” si intendeva la configurazione che la mano assume per impugnare l’oggetto quando si intende usarlo, e non l’intera sequenza di movimenti di braccio e mano necessaria a produrre il gesto d’uso. Inoltre i soggetti erano invitati a mimare l’impugnatura dell’oggetto qualora non fossero stati in grado di “visualizzare” la postura della mano. Entrambe le valutazioni sono state effettuate su scala Likert a 5 punti, dove 1 corrispondeva a “completamente diverse” e 5 corrispondeva a “completamente simili”. Per ciascuna valutazione, un test per ranghi di Wilcoxon è stato eseguito sui giudizi medi riportati dalle coppie di oggetti. I risultati hanno mostrato che le coppie congruenti ed incongruenti hanno ottenuto punteggi similmente bassi nella valutazione relativa alla somiglianza della

manipolazione (valutazioni medie= 1.79 vs 1.76, rispettivamente; $p = .759$), mentre le coppie congruenti sono state valutate significativamente più simili delle coppie incongruenti rispetto alla funzione (valutazioni medie rispettive: 4.02 vs 1.01; $p = .005$).

Ciascuna coppia di stimoli è stata presentata 4 volte durante l'esperimento, ogni volta preceduta da uno diverso dei 4 *prime* d'azione associati. L'ordine di presentazione era pseudo-randomizzato in maniera tale da soddisfare le seguenti condizioni: 1) una data coppia non veniva mai ripetuta prima che tutte e 36 fossero state presentate e 2) l'ordine dei *prime* che precedevano ciascuna coppia era controbilanciato tra i soggetti.

La presentazione degli stimoli su uno schermo di 17 pollici e la collezione dei dati sperimentali (accuratezza e tempi di reazione – *reaction times*, RT) sono state effettuate mediante il *software* Superlab 4.0.

Durante la procedura sperimentale i partecipanti sedevano su una comoda sedia di fronte allo schermo; tenevano le mani poggiate sulle cosce in posizione di riposo, ed i piedi poggiate su una pedaliera a due pedali. L'istruzione sperimentale richiedeva ai soggetti di giudicare per ciascuna coppia presentata se i due oggetti avevano la stessa funzione (“*in genere si usa l'uno o l'altro per fare esattamente la stessa cosa?*”). Per evitare l'eventualità che si verificassero effetti di compatibilità stimolo-risposta legati a risposte manuali (Tucker ed Ellis, 1998), i soggetti sono stati istruiti a rispondere il più velocemente e accuratamente possibile “si” o “no” agendo coi piedi sui pedali destro o sinistro della pedaliera (i pedali di risposta sono stati invertiti per metà dei partecipanti). Ciascun trial iniziava con un punto di fissazione (una croce) che restava al centro dello schermo per 500 msec., seguita dalla presentazione dello stimolo *prime* per 500 msec. Successivamente, dopo un intervallo inter-stimolo (schermo bianco) di 200 msec, la coppia di oggetti veniva presentata e restava sullo schermo fino alla risposta dei partecipanti (Figura 3). Per garantire che i partecipanti prestassero attenzione agli stimoli *prime* durante l'intera durata dell'esperimento, sono stati inclusi 16 *trial* attentivi (circa l'11% del totale) in cui lo stimolo *prime* mostrava una mano che indicava soltanto l'oggetto (*pointing*), senza toccarlo; i partecipanti sono

stati istruiti a non fornire la risposta alla coppia di oggetti successiva ai *prime* raffiguranti azioni di *pointing*. L'esperimento era preceduto da una breve seduta di allenamento (in cui venivano presentati 8 *trial* con coppie di oggetti non facenti parte del *set* di stimoli sperimentale); la durata totale di ciascuna sessione era di circa 25 minuti.

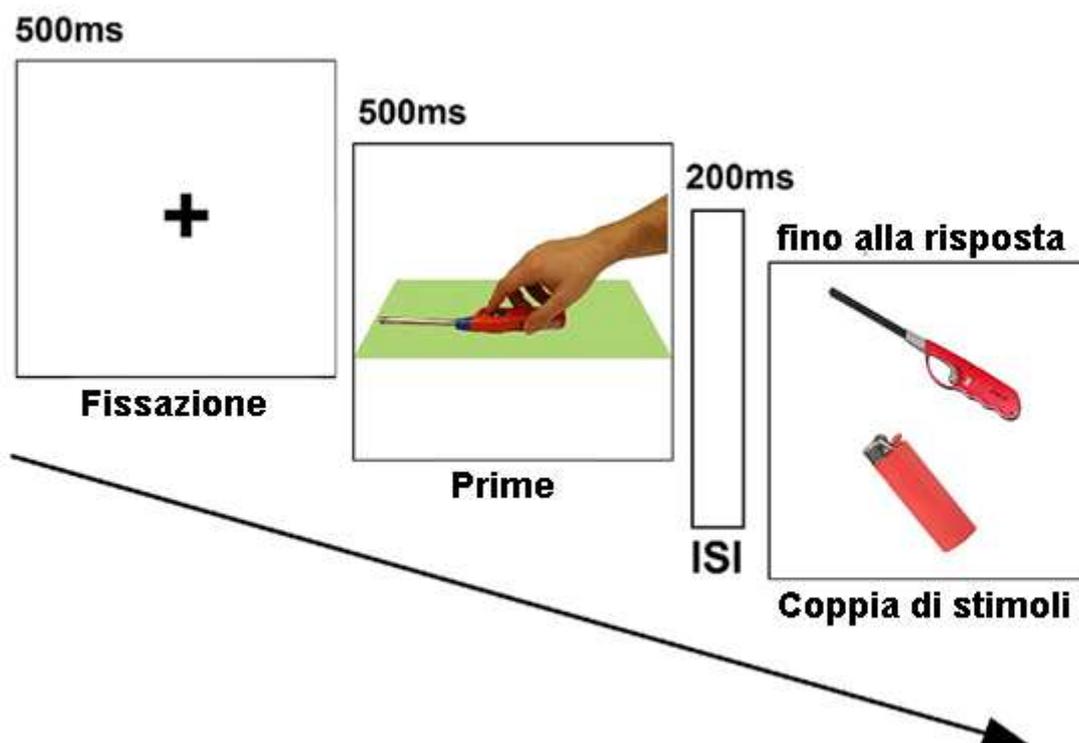


Fig. 3. Sequenza degli eventi in un *trial* sperimentale.

2.2.2. Risultati e commenti

L'analisi dei dati è stata eseguita con SPSS v.19 (IBM). La percentuale di risposte corrette era molto alta (>95%) in tutte le condizioni, ed era negativamente correlata agli RT (r di Spearman = -.144, $p = .028$), escludendo la possibilità di uno scambio tra accuratezza e velocità. Per queste ragioni l'accuratezza non è stata ulteriormente analizzata e le analisi si sono focalizzate sui tempi di risposta.

I trial con RT superiori al 95° percentile e inferiori al 5° percentile sono stati esclusi dall'analisi. Sui tempi di risposta dei *trial* corretti è stata eseguita un'analisi della varianza (ANOVA) 2X2X2 per misure ripetute, con il tipo di coppia (congruente/ incongruente), l'orientamento dell'oggetto target (verso/ lontano dall'attore) e il tipo di *prime* (funzionale/ strutturale) come fattori entro i soggetti. Gli RT medi per ciascuna condizione sono presentati in Figura 4. L'analisi ha mostrato un significativo effetto principale del fattore tipo di coppia [$F_{(1,28)} = 11.532$; $p = .002$; $\eta^2 = .292$], dovuto a risposte più rapide dei partecipanti alle coppie congruenti rispetto alle coppie incongruenti (media \pm ES = 992.72 ± 26.46 vs 1030.98 ± 22.53 msec). Molto rilevante ai fini delle ipotesi sperimentali, l'effetto principale significativo del *prime* [$F(1,28) = 4.422$; $p = .045$; $\eta^2 = .136$] mostra che le risposte dei partecipanti sono state più rapide alle coppie precedute da *prime* d'azione funzionali che alle coppie precedute da *prime* di azioni strutturali (1000.24 ± 22.75 vs 1023.46 ± 26.23 msec). L'effetto dell'orientamento degli oggetti (verso = 1006.08 ± 23.54 ; lontano = 1017.62 ± 24.76) non è risultato significativo [$F(1,28) = 2.963$; $p = .096$; $\eta^2 = .096$], così come nessun effetto di interazione tra i fattori (tutte le $p > .1$).

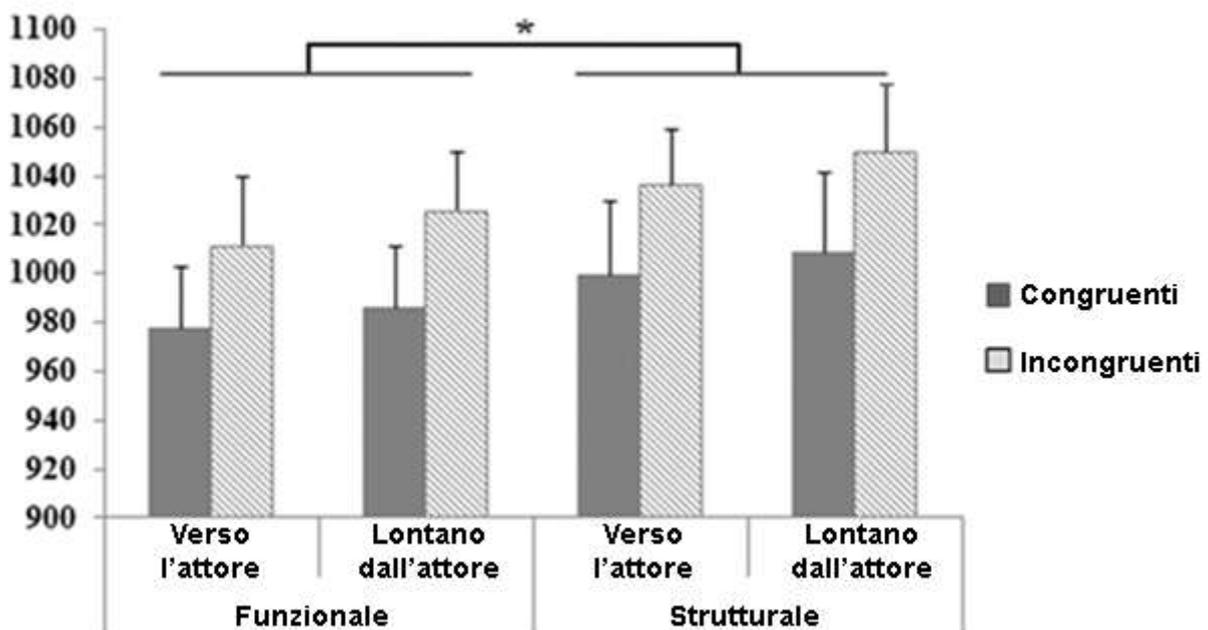


Fig. 4. RT medi nelle diverse condizioni dell'Esperimento 1 (le barre d'errore indicano l'errore standard).

*significativo per $p < .05$.

Si sono osservate in generale risposte più veloci per le coppie di oggetti congruenti per funzione che per le coppie di oggetti incongruenti, un effetto spiegabile in termini di differente distanza semantica tra gli oggetti costituenti i due tipi di coppie. Tuttavia, il risultato più rilevante dell'esperimento è l'effetto di modulazione del tipo di *prime* sui tempi di elaborazione dei giudizi semantici. L'osservazione di prensioni funzionali è risultata associata a giudizi più rapidi rispetto all'osservazione di prensioni strutturali. Sicché, oltre che facilitare il riconoscimento visivo, come mostrato in precedenti studi (Helbig et al., 2006, 2010; Myung et al., 2006), l'attivazione delle conoscenze motorie funzionali sembra facilitare anche il recupero di specifiche informazioni semantiche riguardo gli oggetti (i.e., la loro funzione). Un aspetto cruciale è che nel presente esperimento gli oggetti nelle coppie non condividevano la stessa manipolazione. Quindi, diversamente da esperimenti precedenti, in cui il riconoscimento di un oggetto veniva favorito presentando oggetti che evocavano una manipolazione simile (cioè utilizzando un meccanismo di *priming* motorio), in questo esperimento l'effetto di facilitazione non è interamente spiegabile come un fenomeno di *priming* motorio, poiché l'informazione motoria viene utilizzata per facilitare l'accesso ad una proprietà semantica esterna al dominio motorio (la funzione). In altri termini, osservare azioni funzionali può attivare la conoscenza motoria, e questa a sua volta faciliterebbe l'accesso ad altri attributi semantici dell'oggetto target.

Un risultato interessante è che l'effetto dei *prime* funzionali non è stato modulato dall'orientamento dell'oggetto *target*, dal momento che i *prime* funzionali sono risultati associati a prestazioni più rapide sia quando il manico degli oggetti *target* era orientato verso la mano dell'attore, sia quando era diretto lontano da questa. È stato osservato in studi precedenti (Creem e Proffitt, 2001) che i soggetti normali tendono tipicamente a ruotare la mano in modo da orientare il pollice verso l'estremità funzionale dell'oggetto quando il manico è orientata in direzione opposta al corpo. Questo comportamento può essere ascritto al cosiddetto *end-state comfort effect* (Cohen e Rosenbaum, 2004; Janssen et al., 2011), secondo il quali nella pianificazione di azioni di *reaching* si tende ad optare per movimenti scomodi nelle fasi iniziali pur di terminare il movimento nella

posizione più utile all'azione successiva; tale fenomeno inoltre può essere abolito da specifiche lesioni cerebrali nel IPL sinistro (Randerath et al., 2010). Si poteva supporre che osservare la rotazione della mano intorno all'oggetto avesse potuto fungere da suggerimento dell'intenzione afferrare l'oggetto per utilizzarlo; all'opposto, prensioni strutturali effettuate con una traiettoria più lunga del necessario (e con la scomoda rotazione del polso) avrebbero potuto risultare "innaturali", aumentando forse il carico computazionale a possibile detrimento della prestazione. L'assenza di questi effetti di facilitazione o di disturbo suggeriscono che i soggetti non abbiano posto particolare attenzione alla traiettoria seguita dalla mano dell'attore e che l'aspetto cruciale ai fini degli effetti di *priming* sia stata l'interazione tra la mano e l'oggetto (i.e., la configurazione del *grasping* e non la traiettoria del *reaching*).

2.3. Esperimento 2

2.3.1. Metodi

Partecipanti.

31 studenti universitari (10 maschi, età media \pm DS = 24,7 \pm 2.9 anni), ciechi per gli scopi della ricerca, hanno preso parte all'esperimento in qualità di volontari, dopo aver fornito il consenso informato per iscritto. Tutti i partecipanti erano destrimani e con una visione normale o corretta nella norma. Nessuno dei partecipanti aveva preso parte all'Esperimento 1. Tutte le procedure utilizzate erano conformi alla Dichiarazione di Helsinki ed approvate dal comitato etico locale.

Stimoli e procedure.

Il disegno, gli apparati e le procedure sperimentali erano i medesimi dell'Esperimento 1, ma in questo caso nelle *coppie congruenti* gli oggetti *target* (i medesimi dell'Esperimento 1) erano appaiati con i loro tipici bersagli (ad esempio, un accendigas ed un fornello), mentre nelle *coppie incongruenti* erano appaiati con bersagli implausibili (ad esempio, un accendigas ed un rubinetto; Figura 5). Un nuovo gruppo indipendente di 10 universitari ha valutato le coppie rispetto alla pertinenza dell'accoppiamento tra gli oggetti (“l'oggetto B è un bersaglio appropriato per l'azione che si fa di solito con l'oggetto A?”). La valutazione è stata eseguita su scala Likert a 5 punti, dove 1= “completamente inappropriato” e 5= “completamente appropriato”, e le valutazioni medie di ciascuna coppia sono state sottoposte ad un test per ranghi di Wilcoxon. I risultati hanno rivelato che le coppie congruenti hanno ottenuto una punteggi significativamente più elevati delle coppie incongruenti (punteggi medi= 4.75 vs 1.12, $p = .0005$).

In questo esperimento ai soggetti veniva richiesto di giudicare per ogni coppia, il più velocemente ed accuratamente possibile, se ciascuno oggetto fosse accoppiato o meno con un bersaglio appropriato.

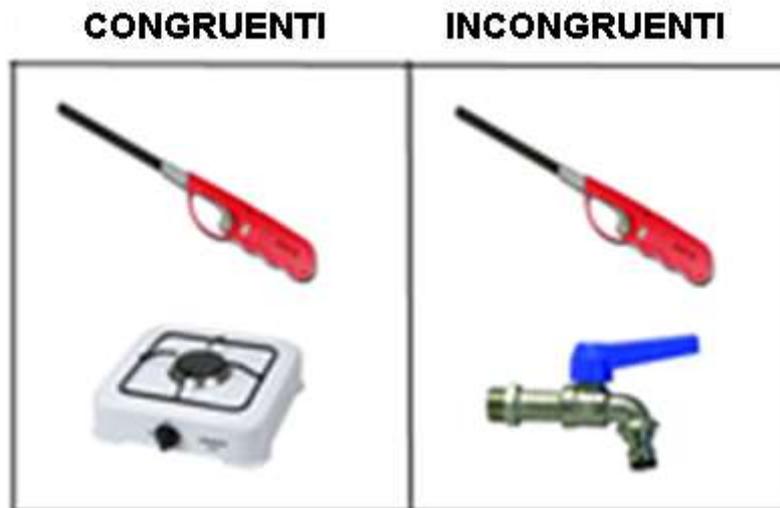


Fig. 5. Esempi di coppie di stimoli utilizzate nell'Esperimento 2. Le coppie congruenti includevano un oggetto *target* (gli stessi dell'Esperimento 1; es., un accendigas) accoppiato con un bersaglio appropriato (es., un fornello); le coppie incongruenti includevano l'oggetto *target* accoppiato ad un bersaglio inappropriato (es., un rubinetto).

2.3.2. Risultati e commenti.

La percentuale di risposte corrette era molto alta (>95%) e negativamente correlata con gli RT (r di Spearman = $-.148$, $p = .024$), per cui è stato possibile escludere uno scambio tra velocità e accuratezza. Di conseguenza le analisi successive sono state concentrate sui tempi di reazione.

Come nell'Esperimento 1, sono stati considerati per l'analisi solo i *trial* corretti con tempi di risposta compresi tra il 5° e il 95° percentile. Sugli RT è stata condotta una ANOVA 2X2X2 per misure ripetute, con il tipo di coppia (congruente/ incongruente), l'orientamento dell'oggetto *target* (verso/ lontano dall'attore) e il tipo di *prime* (funzionale/ strutturale) come fattori entro i soggetti. In Figura 6 sono presentati gli RT medi per ciascuna condizione. E' emerso un effetto significativo del

tipo si coppia [$F(1,30) = 35.052, p < .001; \eta^2 = .556$] attribuibile a risposte più rapide per le coppie congruenti rispetto alle coppie incongruenti (893.23 ± 19.42 vs 979.08 ± 22.99 msec). Nessun altro effetto principale o di interazione è risultato significativo (tutte le $p > .01$).

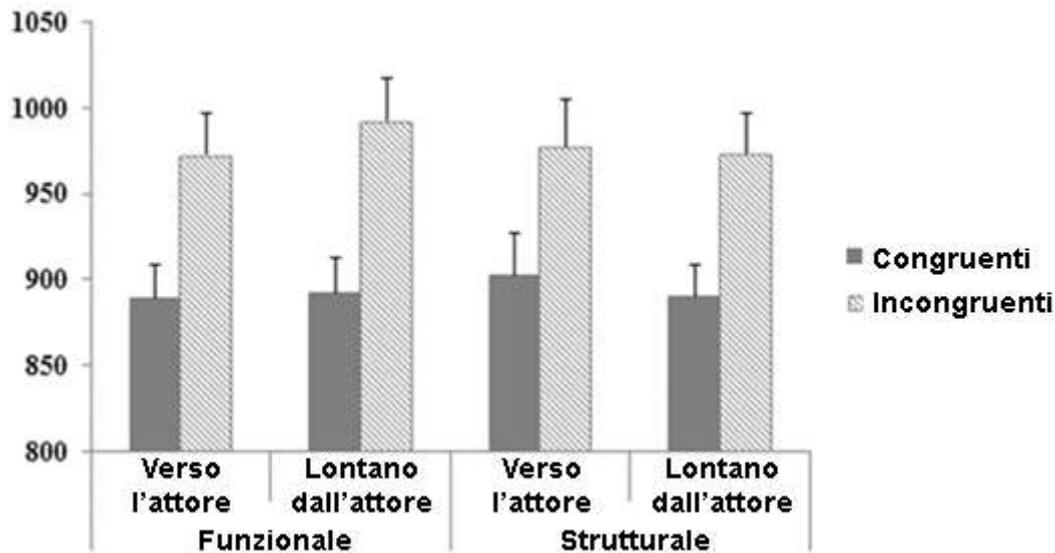


Fig. 6. RT medi nelle diverse condizioni dell'Esperimento 2 (le barre d'errore indicano l'errore standard).

I risultati hanno mostrato che i partecipanti sono stati più rapidi nel giudicare le coppie di oggetti tra loro associati piuttosto che le coppie di oggetti non relati, similmente a quanto avvenuto nell'Esperimento 1. Questo effetto di facilitazione è probabilmente dovuto alla vicinanza semantica tra gli stimoli nelle coppie congruenti. Tuttavia, l'aspetto rilevante del presente esperimento è che i giudizi semantici non sono stati influenzati dall'osservazione di *prime* che attivavano la conoscenza motoria. Questo dato appare in contrasto con i dati di Pluciennicka et al. (2015) e con l'idea che proprio le relazioni tematiche basate sull'azione (i.e., le associazioni oggetto-bersaglio) sarebbero strettamente connesse alla rappresentazione delle azioni d'uso (Kalenine et al., 2009, 2012; Tsagkaridis et al., 2014).

Una visione alternativa è che accoppiare oggetti con possibili bersagli potrebbe richiedere in una certa misura un ragionamento di tipo inferenziale (diversamente dal richiamo della funzione degli

oggetti valutata nell'Esperimento 1), poiché gli utensili possono essere in genere accoppiati con diversi bersagli plausibili (ad esempio un paio di forbici può essere usato per tagliare la carta, la stoffa, i capelli e così via; Garcea e Mahon, 2012) e possono essere anche usati su bersagli atipici per raggiungere scopi che vanno oltre la loro funzione usuale (ad esempio, una moneta può essere usata come cacciavite; Goldenberg e Spatt, 2009). In quest'ottica la funzione potrebbe essere una caratteristica più prototipica dell'oggetto e più facilmente accessibile attraverso l'attivazione di schemi d'azione. Tuttavia questa idea contrasta con le ripetute evidenze (Kalenine et al., 2009; 2012; Tsagkaridis et al., 2014; Wamain et al., 2015) che l'elaborazione delle relazioni tematiche è più precoce e rapida dell'elaborazione di relazioni tassonomiche (ed anche nel presente studio i tempi di risposta dei partecipanti sono apparsi generalmente più rapidi di quelli osservati nell'Esperimento 1).

In conclusione, l'eventuale effetto dei *prime* d'azione sull'elaborazione delle relazioni tematiche va ulteriormente indagato, anche in considerazione dell'esiguità degli stimoli utilizzati e alla loro eterogeneità, che potrebbero spiegare il risultato nullo del presente esperimento. Negli stimoli impiegati, infatti, sono stati utilizzati come bersagli sia oggetti artificiali manipolabili, sia oggetti di origine naturale/biologica non manipolabili (incluse parti corporee). Questa scelta è derivata direttamente dalla decisione di mantenere costante rispetto all'Esperimento 1 il *set* di oggetti *target* (molti dei quali avevano come bersagli più tipici oggetti non-manipolabili o naturali), ma potrebbe aver introdotto una variabilità non voluta nei dati.

2.4. Esperimento 3.

2.4.1. Metodi.

Partecipanti

Sono stati reclutati 34 studenti universitari (14 maschi; età media \pm DS= 23.9 \pm 3.3 anni) destrimani ed in buona salute, con una visione normale o corretta nella norma. Tutti i partecipanti erano ciechi per gli scopi sperimentali ed hanno fornito un consenso scritto per la partecipazione volontaria all'esperimento; nessuno di essi aveva preso parte ai due esperimenti precedenti. Tutte le procedure hanno rispettato la Dichiarazione di Helsinki e sono state approvate dal comitato etico locale.

Stimoli e procedure

Il disegno, gli apparati e le procedure sperimentali erano le stesse dell'Esperimento 1 con l'unica eccezione che nelle 18 coppie incongruenti gli oggetti *target* (gli stessi degli esperimenti precedenti) erano accoppiati ad oggetti con diversa funzione, ma simili rispetto alla manipolazione funzionale richiesta (ad esempio, un tagliaunghie e un piccola spillatrice; si veda la Figura 7).

Ancora una volta è stata condotta una valutazione preliminare delle coppie con un nuovo gruppo indipendente di 10 di studenti universitari. I risultati hanno mostrato che le coppie congruenti (le stesse dell'Esperimento 1) hanno ottenuto punteggi significativamente più alti delle coppie incongruenti nel giudizio sulla somiglianza della funzione (punteggi medi= 4.04 vs 1.44; $p= .005$).

Quanto alla somiglianza della manipolazione, sono state le coppie incongruenti ad ottenere punteggi più alti rispetto alle coppie congruenti (4.38 vs 1.79; $p= .005$, test per ranghi di Wilcoxon).

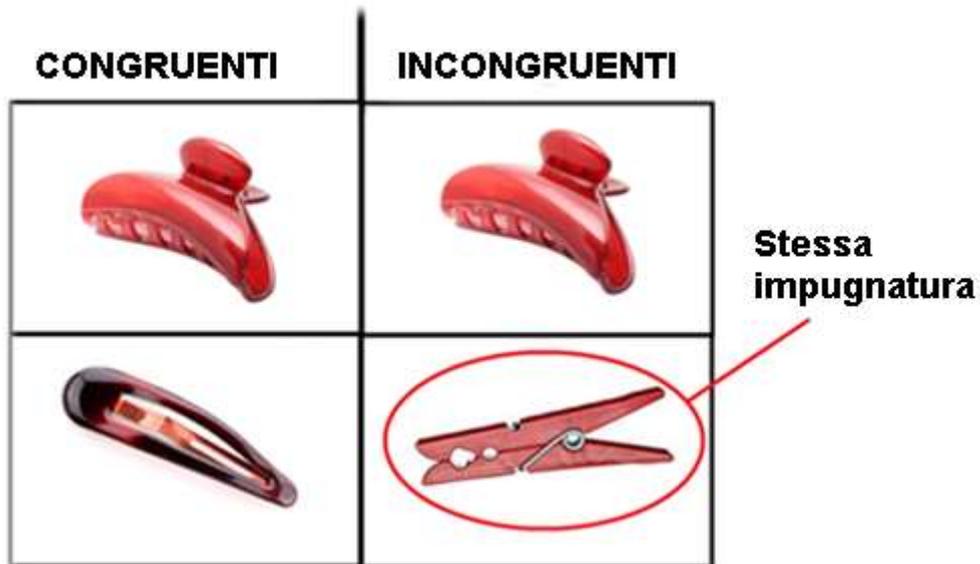


Fig. 7. Esempi di coppie di stimoli utilizzate nell'Esperimento 3. Le coppie congruenti includevano un oggetto *target* (gli stessi degli Esperimento 1 e 2; es., una molletta per capelli) accoppiato con un oggetto avente la stessa funzione, ma diversa manipolazione (es. una *clip* per capelli); le coppie incongruenti includevano l'oggetto *target* accoppiato con un oggetto avente diversa funzione ma stessa manipolazione (es., una molletta da bucato).

2.4.2. Risultati e commenti.

Come negli Esperimenti 1 e 2, l'accuratezza delle risposte è risultata molto elevata (>95%) ed inversamente e significativamente correlata ai tempi di risposta (r di Spearman = -.280, $p < .001$), per cui è stata esclusa l'eventualità di uno scambio tra velocità ed accuratezza. Anche in questo caso, quindi, le successive analisi sono state limitate ai tempi di risposta.

Nuovamente sono stati esclusi i trial con RT maggiori del 95° e minori del 5° percentile. Gli RT dei trial corretti sono stati sottoposti ad ANOVA 2X2X2 per misure ripetute, con il tipo di coppia (congruente/ incongruente), l'orientamento dell'oggetto *target* (verso/ lontano dall'attore) e il tipo di *prime* (funzionale/ strutturale) come fattori entro i soggetti. Per ciascuna condizione in Figura 8a sono riportati medie ed errori standard degli RT. I partecipanti hanno espresso giudizi significativamente più veloci per le coppie congruenti che per le coppie incongruenti [$F(1,33) = .84.386$, $p < .001$; $\eta^2 = .719$; medie \pm ES = 1102.71 \pm 25.41 vs 1244.82 \pm 25.62]. La condizione

prime è risultata tendere alla significatività statistica [$F(1,33) = 3.202, p = .083; \eta^2 = .088$] per via di risposte leggermente più lente quando le coppie erano precedute da un *prime* funzionale piuttosto che *strutturale* (1187.45 ± 27.084 vs 1160.09 ± 23.79), mentre l'effetto dell'orientamento dell'oggetto non è risultato significativo ($p > .01$). Cruciale per le ipotesi sperimentali, è emersa un'interazione significativa tra tipo di coppia e tipo di *prime* [$F(1,33) = 6.181, p = .018; \eta^2 = .158$]. I test post-hoc, corretti per confronti multipli secondo Bonferroni, hanno rivelato che nel rispondere alle coppie incongruenti i partecipanti sono stati più lenti nella condizione di *prime* funzionale rispetto alla condizione strutturale, mentre le condizioni di *prime* non differivano tra loro per le coppie congruenti (Fig. 8b). nessun'altra interazione è risultata significativa ($p > .01$).

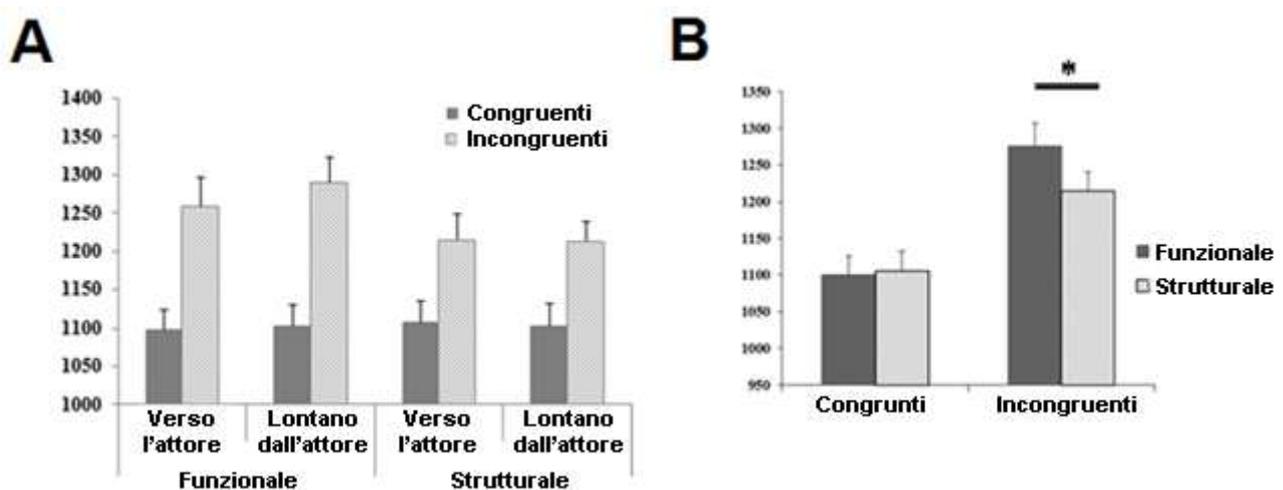


Fig. 8. A. RT medi nelle diverse condizioni dell'Esperimento 3 (le barre d'errore indicano l'errore standard). **B.** Effetto di interazione tra tipo di coppia (congruente/ incongruente) e tipo di *prime* (funzionale/ strutturale). *significativo per $p < .05$.

Come nell'Esperimento 1, l'osservazione di *prime* d'azione ha influenzato la prestazione dei partecipanti nei giudizi semantici riguardanti la funzione di oggetti. In questo caso, tuttavia, è stato osservato un rallentamento nei tempi di risposta per le coppie di oggetti con diversa funzione ma simile manipolazione (coppie incongruenti), quando queste erano precedute da *prime* funzionali. Per spiegare questo risultato si può supporre che l'attivazione di rappresentazioni motorie comuni ai

due oggetti potrebbe aver avuto un effetto di competizione con l'elaborazione di altre caratteristiche non-motorie.

Diversamente dall'Esperimento 1, i *prime* funzionali non sono risultati associati a giudizi semantici più veloci per le coppie congruenti. Una possibile spiegazione è che la presentazione frammista di coppie congruenti ed incongruenti, per le quali l'attivazione di rappresentazioni motorie esercitava effetti opposti, rispettivamente di facilitazione ed ostacolo all'elaborazione semantica, possa aver mitigato l'effetto facilitante dei *prime* funzionali. In altre parole, poiché in questo esperimento è stato ricercato volutamente un effetto di interferenza tra l'elaborazione motoria e concettuale, è plausibile che l'attivazione della conoscenza motoria possa aver esercitato una sorta di effetto di *priming* inverso sull'elaborazione semantica. Quest'idea sembrerebbe suffragata dal fatto che in questo esperimento sono stati osservati in generale tempi di risposta più lunghi rispetto all'Esperimento 1, malgrado il compito identico.

2.5. Discussione generale.

Nei tre esperimenti presentati è stato esaminato l'effetto dell'osservazione di azioni funzionali e strutturali in due compiti semantici: giudicare se due oggetti d'uso comune avevano la stessa funzione (Esperimenti 1 e 3) oppure se due oggetti erano in relazione tematica basata sull'azione (cioè, un oggetto era accoppiato ad un appropriato bersaglio; Esperimento 2). È emerso che osservare azioni funzionali, piuttosto che strutturali, si associa a giudizi sulla similarità funzionale più rapidi, quando i due oggetti da valutare non condividono la stessa manipolazione (Esperimento 1). Tuttavia l'osservazione di azioni funzionali, rispetto alle strutturali, ha ostacolato lo stesso tipo di giudizio semantico quando sono stati presentati oggetti con diversa funzione ma con stessa manipolazione funzionale (cioè le coppie incongruenti utilizzate nell'Esperimento 3). Infine i *prime* d'azione non hanno avuto nessun effetto sui giudizi semantici relativi all'accoppiamento tematico tra oggetti (Esperimento 2). Nel complesso questi dati offrono sostegno all'idea che l'attivazione della conoscenza motoria impatti sull'elaborazione semantica degli oggetti, ma pone anche alcuni vincoli a tale ipotesi.

Precedenti studi hanno dimostrato effetti di facilitazione trans-modale, dalla programmazione motoria all'elaborazione percettiva, per i quali la pianificazione di azioni di *grasping* favoriva l'elaborazione visiva di oggetti aventi caratteristiche strutturali congruenti con la prensione da effettuare (Craighero et al., 1999; Bekkering e Neggers, 2002; Symes et al., 2008). Altri studi hanno compiuto un passo ulteriore, dimostrando che l'attivazione di informazioni motorie di più alto livello, e cioè di schemi motori appresi per la manipolazione funzionale, facilitava l'identificazione visiva o l'accesso lessicale per oggetti che condividevano le stesse caratteristiche motorie (Myung et al., 2006; Helbig et al., 2006). I presenti risultati espandono questa nozione mostrando che la conoscenza motoria funzionale, attivata in maniera *bottom-up* attraverso l'osservazione di azioni altrui, può influire sull'elaborazione semantica più profonda degli oggetti.

Questi dati sono in linea con evidenze simili che hanno mostrato l'effetto dell'osservazione di azioni sul riconoscimento di oggetti (Helbig et al., 2010) e sull'elaborazione di relazioni semantiche tra oggetti (Borghi et al., 2012; Pluciennicka et al., 2015). Mentre in questi lavori (ad eccezione di Borghi et al., 2012) l'attivazione del sistema motorio dei partecipanti è stata elicitata dalla visione di video di azioni, nei presenti esperimenti sono state impiegate immagini statiche che si sono mostrate ugualmente capaci di attivare le conoscenze motorie dell'osservatore, coerentemente con i risultati di precedenti studi (Borghi et al., 2012; Johnson-Frey et al., 2003; Proverbio et al., 2009; Urgesi et al., 2006).

Tuttavia i *prime* di azione funzionali e strutturali non sono riusciti ad influenzare l'elaborazione di relazioni semantiche di tipo tematico ed invece hanno modulato l'elaborazione della funzione degli oggetti. Questo risultato è opposto a quello di Pluciennicka e collaboratori (2015), che avevano invece evidenziato un rafforzamento dell'elaborazione di relazioni tematiche, ma non delle relazioni funzionali, a seguito della presentazione di video di azioni. In questo studio, tuttavia, è stato utilizzato un paradigma di ricerca visiva in cui l'elaborazione della relazione semantica era implicita e veniva dedotta dall'effetto di competizione tra distrattori e *target* semanticamente relati. Si trattava quindi di un compito notevolmente diverso dai giudizi espliciti richiesti negli esperimenti qui presentati, per cui è possibile che il diverso livello di elaborazione (implicita vs esplicita) possa in parte spiegare la disparità di risultati, in particolare rispetto al riconoscimento delle più astratte relazioni funzionali. Anche Borghi e colleghi (2012) hanno trovato che l'elaborazione di relazioni tra oggetti era modulata dall'osservazione di *grasping* di tipo funzionale o strutturale. In particolare le risposte dei partecipanti erano più lente quando osservavano la prensione strutturale di un oggetto appaiato col suo bersaglio tipico (relazione tematica basata sull'azione; ad esempio: "coltello" – "pane"), oppure quando osservavano la prensione funzionale di un oggetto accoppiato ad un altro rinvenibile nello stesso contesto (relazione tematica basata sul contesto; ad esempio "coltello" – "bicchiere"). In sostanza i dati mostravano un'interferenza tra atti motori e relazioni semantiche non congruenti tra loro. Tuttavia, negli esperimenti di Borghi et al. (2012) sono state indagate due

diverse tipologie di relazioni tematiche ma non relazioni basate sulla similarità della funzione.

Quindi il presente studio e il lavoro di Borghi e colleghi non sono comparabili rispetto al risultato riguardante l'effetto della conoscenza motoria sul giudizio di relazioni funzionali.

Per quanto riguarda invece il presente risultato nullo circa gli effetti dell'attivazione motoria sull'elaborazione di relazioni tematiche, una possibile spiegazione può essere ricercata nella tempistica di presentazione degli stimoli. I *prime* d'azione aveva una durata di 500 msec, durante i quali i soggetti vedevano (e presumibilmente elaboravano implicitamente) l'oggetto target. A questo tempo si aggiungevano altri 200 msec di durata dell'ISI. La presentazione della coppia di oggetti da giudicare, quindi, veniva a cadere esattamente nella finestra temporale più favorevole all'elaborazione di relazioni di tipo funzionale, che Kalenine e colleghi (2012) collocano tra i 700 e 1200 msec dopo la presentazione di un oggetto. Questo potrebbe spiegare perché il *prime* motorio abbia influito solo su questo tipo di relazione e non sulla elaborazione di informazioni tematiche, la cui attivazione sembra essere più precoce e transitoria (Kalenine et al., 2012; Wamain et al., 2015). Infine, un'altra (e più economica) possibilità è che l'esiguità degli stimoli, abbinata alla loro eterogeneità (per l'inclusione di oggetti artefatti e naturali, manipolabili e non), possa spiegare l'assenza di effetti circa le relazioni tematiche. Ad ogni modo il rapporto tra osservazione di azioni ed elaborazione di relazioni tematiche merita ulteriori studi, anche in considerazione del fatto che tali relazioni sono ritenute essere strettamente connesse alle conoscenze motorie (Tsagkaridis et al., 2014).

Il fatto che l'attivazione motoria possa influenzare il recupero della funzione di un oggetto ha grande rilevanza teorica. La funzione viene considerata da alcuni autori come la caratteristica centrale del concetto di un oggetto, ed è stato sostenuto che l'informazione motoria non è necessaria per il recupero di informazioni concettuali di così alto livello (Garcea e Mahon, 2012). Invero la conoscenza concettuale della funzione di un oggetto e la conoscenza motoria possono essere dissociate, come si evince sia da studi TMS su soggetti sani (Andres et al., 2013), sia da studi lesionali (Buxbaum e Saffran, 2002). Sulla base di queste evidenze, Garcea e Mahon (2012)

argomentano che sia piuttosto l'attivazione motoria a seguire il recupero delle conoscenze concettuali su un oggetto.

Tuttavia negli Esperimenti 1 e 3 l'elaborazione sembra piuttosto procedere in senso opposto, dal livello motorio a quello semantico-lessicale, e ciò offre un forte sostegno all'idea che informazioni motorie e concettuali siano intimamente connesse ed interdipendenti nella rete neurale che rappresenta gli oggetti (Helbig et al., 2006, 2010; Myung et al., 2006, 2010).

I risultati dell'esperimento 3, tuttavia, hanno rivelato che l'informazione motoria attivata dalle azioni funzionali ha rallentato l'accesso alle conoscenze circa la funzione degli oggetti quando questi condividevano il tipo di manipolazione. Questa idea è compatibile sia con l'evidenza che oggetti che richiedono un'impugnatura simile hanno rappresentazioni neurali sovrapposte (Yee et al., 2010), sia con l'idea che la manipolazione di per sé possa essere considerata come una caratteristica semantica (Campanella e Shallice, 2010). Infatti, entrambe le spiegazioni predicono che separare due oggetti secondo una data proprietà (come la funzione) è più difficile se i due oggetti condividono un'altra proprietà altrettanto rilevante (la manipolazione). Questa interpretazione ha anche una rilevante implicazione, e cioè che la conoscenza motoria può sia facilitare che ostacolare l'elaborazione di altre caratteristiche, a seconda delle caratteristiche del contesto e del compito.

I presenti studi presentano due possibili limitazioni. In primo luogo, non è possibile escludere che l'effetto dell'osservazione di azioni sia stato mediato da qualche processo di natura inferenziale circa le intenzioni dell'attore, piuttosto che ad una diretta attivazione di rappresentazioni motorie. Tuttavia, ai fini degli scopi di questo studio, è importante considerare che qualsiasi processo cognitivo sia intervenuto, è stato elicitato dall'osservazione di un'informazione primariamente di natura motoria, e ciò riconduce all'idea di un effetto dell'informazione motoria sui processi cognitivi di alto livello. In secondo luogo, gli stimoli *prime* contenevano due possibili fonti di informazioni motorie, una legata alle azioni manuali osservate, l'altra all'immagine dell'oggetto in sé, che poteva da solo evocare azioni congruenti (Bub e Masson, 2006, 2008, 2010; Jax e Buxbaum,

2010). L'apparato sperimentale utilizzato non consente di separare l'effetto di queste due fonti di informazione motoria sul compito, ma consente di confrontare tra loro gli effetti di azioni funzionali e strutturali, dal momento che l'oggetto era presente in entrambi i tipi di prime.

In conclusione questo studio espande le correnti conoscenze su come possono interagire tra loro conoscenze motorie e semantiche, mostrando che l'elaborazione motoria può sia facilitare, sia ostacolare l'accesso alle informazioni semantiche sugli oggetti, in una sorta di "priming dalla conoscenza motoria alla conoscenza semantica" dipendente dal contesto del compito.

Capitolo 3³

La stimolazione del giro temporale medio durante l'osservazione di azioni funzionali ostacola l'elaborazione semantica degli oggetti: dati preliminari di uno studio con TMS.

3.1. Obiettivi.

Precedenti studi hanno mostrato che l'attivazione delle rappresentazioni motorie connesse ad azioni funzionali (i.e., azioni d'uso di utensili; Buxbaum e Kalenine, 2010) facilitano l'elaborazione percettiva e lessicale-semantica di oggetti congruenti con esse (Myung et al., 2006; Helbig et al., 2006; 2010; Lee et al., 2014). È stato anche dimostrato che l'attivazione motoria, ottenuta attraverso immagini o video di azioni altrui, è suscettibile di influenzare la prestazione in compiti che richiedono un'elaborazione concettuale di più alto livello, come il riconoscimento di relazioni semantiche tra più oggetti (Borghi et al., 2012; De Bellis et al., 2016; Pluciennicka et al., 2015). In particolare, Borghi e colleghi (2012) hanno mostrato che osservare azioni di prensione strutturale o funzionale impatta sull'elaborazione di relazioni tematiche tra oggetti (Nelson, 1983; Estes, 2011), basate sull'azione o sul contesto (Tsagkaridis et al., 2014). Pluciennicka e colleghi (2015), inoltre, hanno trovato che l'osservazione di video di azioni funzionali facilitava la successiva elaborazione implicita di relazioni tematiche tra oggetti, ma non di relazioni funzionali (cioè basate sulla somiglianza della funzione degli oggetti; Kalenine et al., 2012).

De Bellis e colleghi (2016), hanno comparato l'effetto dell'osservazione di azioni strutturali o funzionali sulla successiva elaborazione esplicita di relazioni tematiche oppure basate sulla funzione degli oggetti. Nei loro esperimenti i partecipanti dovevano giudicare se oggetti presentati in coppia avessero o meno la stessa funzione (esperimento 1) o se fossero in relazione tematica tra

³ I risultati di questo studio sono da ritenersi assolutamente preliminari dal momento che la raccolta dati è ancora in corso.

loro (esperimento 2); ciascuna coppia veniva preceduta da immagini statiche raffiguranti la prensione funzionale (*prime* funzionali) o strutturale (*prime* strutturali) di uno dei due oggetti (oggetto “*target*”). I dati hanno mostrato che l’osservazione di *prime* funzionali, piuttosto che strutturali, si associava ad un più rapido giudizio circa le associazioni basate sulla somiglianza funzionale; non sono emersi, invece, effetti dei *prime* d’azione sull’elaborazione di caratteristiche tematiche degli oggetti. Questo lavoro aveva tuttavia due limiti principali: 1) Sono stati confrontati direttamente tra loro gli effetti di *prime* di azioni strutturali e funzionali, senza una condizione di controllo, per cui non è stato possibile determinare con chiarezza se tutti e due i tipi di azione avessero esercitato un qualche effetto, né stabilirne la direzione; 2) l’assenza di effetti sul giudizio di relazioni tematiche potrebbe essere dovuta al ridotto *set* di stimoli utilizzati oppure alla struttura dei *trial* sperimentali; la presentazione delle coppie, infatti, avveniva 700 msec (500 msec di presentazione del *prime*, più 200 msec di durata dell’ISI) dopo l’apparizione sullo schermo dell’oggetto afferrato, e cioè nella finestra temporale in cui l’attivazione delle informazioni tematiche riferite all’oggetto *target* andava già scemando ed era massima invece l’attivazione delle informazioni funzionali (Kalenine et al., 2012).

In generale, comunque, la natura comportamentale di questi studi non consente di stabilire i correlati neurali degli effetti osservati. De Bellis e colleghi (2016) speculavano che l’azione osservata potesse attivare gli schemi motori appresi e conservati presumibilmente a livello del lobulo parietale inferiore (Buxbaum et al. 2006; Frey 2007; Vingerhoets 2014), e che questa informazione fosse poi trasferita al MTG, una regione associata in letteratura alla rappresentazione di informazioni concettuali sugli oggetti (Andres et al.; 2013; Canessa et al., 2008; Yee et al., 2010), attraverso connessioni bidirezionali tra SMG posteriore e pMTG (Rammaya et al., 2010).

Quindi il lobulo parietale inferiore e la porzione posteriore del giro temporale medio, due nodi cruciali rispettivamente della via dorso-ventrale e ventrale (Binfosky e Buxbaum, 2012; Buxbaum e Kalenine, 2010; Hoeren et al., 2013, 2014), potrebbero essere coinvolti negli effetti osservati in De Bellis et al. (2016).

Nel presente studio, dunque, riprendendo con leggere modifiche il paradigma adottato in De Bellis e colleghi (2016), si cercherà di perseguire i seguenti obiettivi: 1) replicare l'effetto dell'osservazione di azione sull'elaborazione della funzione degli oggetti (De Bellis et al., 2016), ma con un *set* più ampio di stimoli ed includendo questa volta tra i *prime* un'azione "neutra" ("indicare" l'oggetto; "*pointing*"), con cui poter comparare le azioni funzionali e strutturali; 2) riesaminare il possibile effetto dell'osservazione di azioni sull'elaborazione tematica, ricorrendo ad un *set* ampliato di stimoli e modificando leggermente i *trial* (i.e., abolendo l'ISI tra *prime* d'azione e coppia di oggetti) in modo da far coincidere la presentazione della coppia da giudicare con una finestra temporale utile per l'elaborazione di relazioni tematiche (Wamain et al., 2014); 3) valutare, attraverso l'utilizzo della stimolazione magnetica transcranica (*transcranial magnetic stimulation* –TMS) il possibile ruolo causale del SMG e del pMTG sinistri nel mediare gli effetti dell'osservazione di azioni sull'elaborazione semantica di coppie di oggetti.

Partecipanti sani osserveranno prime d'azione consistenti in immagini statiche di una mano che indica oppure afferra un oggetto (di qui in poi, oggetto "*target*") con una prensione funzionale o strutturale. Successivamente sarà presentata una tripletta di oggetti con al centro il *target*; i partecipanti dovranno giudicare quale oggetto è semanticamente associato al *target*. In metà delle triplette *target* e oggetto associato condivideranno la funzione, nell'altra metà saranno accomunati da una relazione tematica basata sull'azione. Infine, in tre diverse sessioni i partecipanti eseguiranno il compito in diverse condizioni di stimolazione magnetica transcranica ripetitiva (*repetitive transcranial magnetic stimulation* – rTMS): rTMS diretta su SMG sinistro, rTMS diretta su pMTG sinistro e stimolazione placebo (*sham*).

3.2. Metodi.

Partecipanti

Sono stati reclutati 19 studenti universitari (7 maschi; età media \pm DS= 24,0 \pm 1,77 anni) con anamnesi negativa per eventi neurologici o psichiatrici. Tutti i partecipanti erano destrimani e con una visione normale o corretta nella norma. Essi erano inoltre ciechi per gli scopi dell'esperimento e, dopo aver ricevuto materiale informativo sulla tecnica di stimolazione utilizzata, hanno fornito un consenso scritto per la partecipazione volontaria all'esperimento. Tutte le procedure utilizzate erano conformi alla Dichiarazione di Helsinki e sono state approvate dal comitato etico locale.

Stimoli e studio normativo

Gli stimoli *prime* consistevano in immagini a colori ritraenti una mano che afferrava un utensile (oggetto “*target*”) con un'impugnatura funzionale (*prime* funzionale), strutturale (*prime* strutturale) oppure semplicemente lo indicava senza toccarlo (*pointing*). Le immagini degli stimoli *prime* erano centrate su uno sfondo bianco di 1100 x 600 pixel e sottendevano un angolo visivo di 6,6° ad una distanza di circa 70 cm. Per ogni oggetto target sono stati realizzati quindi tre *prime* (Figura 9).

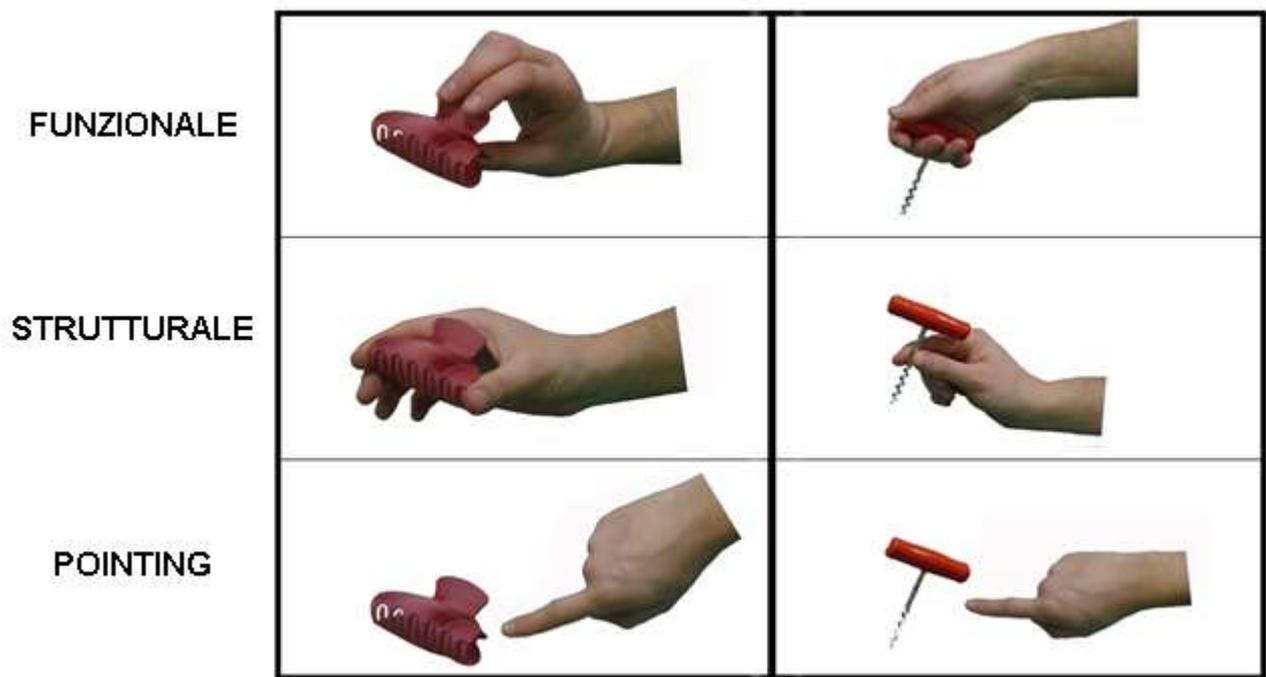


Fig. 9. Esempi di stimoli *prime* associati a due utensili *target*. Sono state realizzate tre immagini *prime* per ciascun oggetto *target*, ciascuna raffigurante un tipo diverso di azione (*funzionale*, *strutturale*, *pointing*).

Gli stimoli sperimentali consistevano in triplete di oggetti costituite da un oggetto *target*, da un oggetto semanticamente correlato al *target* e da un oggetto non correlato (distrattore). A partire da 60 utensili “*target*” sono state generate 120 triplete di oggetti; in 60 di esse l’oggetto *target* e l’oggetto associato avevano la stessa funzione (triplette funzionali; ad esempio, un martello ed un martello pneumatico); in 60 triplete l’oggetto associato costituiva il bersaglio tipico dell’oggetto *target* (tripletta tematica, ad esempio martello-chiodo). In tutte le triplete, sia l’oggetto associato, sia il distrattore non condividevano con l’oggetto *target* il tipo di manipolazione richiesta per l’uso funzionale.

In ciascuna tripletta le immagini a colori dei tre oggetti erano allineate su uno sfondo bianco avente dimensioni di 1100 x 600 pixel, mentre ciascun oggetto aveva una dimensione di 300 x 350 pixel e sottendeva un angolo visivo di 6,6° ad una distanza di circa 70 cm. L’utensile *target* era posto al centro dello sfondo bianco, ad una distanza di 100 pixel dai margini superiore e inferiore e ad una distanza di 400 pixel dai margini sinistro e destro. Gli altri due oggetti erano posti ciascuno ad uno

dei due lati dell'utensile target, separati da esso e dai margini orizzontali dello sfondo da una distanza di 50 pixel. L'oggetto associato poteva trovarsi sia destra, sia sinistra del target (Figura 10).



Fig. 10. Esempi di di stimoli utilizzate nell'Esperimento. Le triplette funzionali (in alto) includevano un oggetto *target* (al centro; es., un apribottiglie) accompagnato da un oggetto avente la stessa funzione (es., un cavatappi), e da un oggetto non associato (es., un cucchiaino da gelato). Le triplette tematiche (in basso) includevano lo stesso oggetto *target* accompagnato da un bersaglio appropriato (es., una bottiglia) e da un oggetto non associato (es., un barattolo). Per entrambe le triplette, le gli oggetti nelle coppie *target*-oggetto associato e *target*-oggetto non associato non avevano la stessa manipolazione. Le ellissi evidenziano nelle due triplette l'oggetto associato al *target*, che poteva comparire a destra o a sinistra di quest'ultimo.

Per accertare che gli oggetti fossero assortiti nelle tripletta in conformità ai criteri previsti, è stato eseguito uno studio normativo preliminare, in cui tutte le possibile coppie *target*-oggetto associato (coppie congruenti, 60 funzionali e 60 tematiche) e *target*-distrattore (coppie incongruenti, 60 funzionali e 60 tematiche) sono state sottoposte a tre differenti valutazioni, ciascuna eseguita da un gruppo indipendente di 10 soggetti che non hanno successivamente partecipato all'esperimento.

Negli stimoli usati per le valutazioni, i due oggetti venivano presentati uno di fianco all'altro e mantenevano le dimensioni sopra descritte.

Nella valutazione 1, il primo gruppo (5 maschi; età media = $22,7 \pm 2,2$ anni) ha giudicato per ciascuna coppia quanto i due stimoli fossero associati tra loro, su una scala Likert a 7 punti, dove 1= “assolutamente no” e 7= “assolutamente sì” (valutazione del grado di associazione semantica).

Le valutazioni medie riportate da ciascuna coppia sono state sottoposte ad analisi con il test dei ranghi di Wilcoxon. È risultato che le coppie funzionali congruenti hanno ottenuto punteggi significativamente maggiori rispetto alle coppie funzionali incongruenti ($Z = -2,803; p = ,005$); allo stesso modo, le coppie tematiche congruenti hanno ottenuto punteggi significativamente maggiori rispetto alle coppie tematiche incongruenti ($Z = -2,803; p = ,005$).

La valutazione 2 è stata eseguita in due blocchi; nel blocco1, è stato chiesto ai partecipanti di un nuovo gruppo (5 maschi; età media = $22,2 \pm 3$ anni) di giudicare su scala Likert a 7 punti (1= “assolutamente diversa” e 7= “assolutamente simile”) quanto fosse simile la funzione dei due oggetti (valutazione della relazione funzionale). Per la valutazione funzionale sono state presentate in ordine randomizzato 152 coppie di oggetti (60 coppie funzionali congruenti; 60 coppie funzionali incongruenti; 16 coppie tematiche congruenti; 16 coppie tematiche non congruenti); sono state infatti escluse da questa valutazione le coppie tematiche in cui uno degli oggetti non era un utensile. Nel blocco 2, gli stessi partecipanti hanno giudicato, per ciascuna delle 240 coppie, quanto uno dei due oggetti fosse un bersaglio appropriato per l'altro (valutazione della relazione tematica). Anche in questo caso il giudizio era espresso su scala Liker a 7 punti (1= “assolutamente inappropriato” e 7= “assolutamente appropriato”). Le coppie funzionali congruenti sono state giudicate più simili rispetto alla funzione delle coppie funzionali incongruenti ($Z = -2,803; p = ,005$); analogamente, le coppie tematiche congruenti hanno ottenuto punteggi significativamente più elevati rispetto alle coppie tematiche incongruenti nella valutazione della relazione tematica ($Z = -2,803; p = ,005$). Tuttavia, le coppie tematiche congruenti sono state giudicate significativamente più simili nella funzione rispetto alle coppie tematiche incongruenti ($Z = -2,497; p = ,013$), mentre nella valutazione tematica i punteggi delle coppie funzionali congruenti non

differivano dai punteggi delle coppie funzionali incongruenti ($Z = -1,718$; $p = ,086$). Un risultato simile è emerso nello studio normativo degli stimoli impiegati da Tsagkaridis et al. (2014), in cui coppie di oggetti in relazione tematica hanno ottenuto punteggi simili a coppie di oggetti in relazione tassonomica quando è stato chiesto di giudicare se i due oggetti appartenessero alla stessa categoria (Tsagkaridis et al., 2014). Questo indica che oggetti in relazione tematica tendono ad essere ritenuti tra loro più associati anche quando sono valutati rispetto ad una relazione tassonomica (di cui la relazione funzionale rappresenta un caso specifico). Comunque, nella valutazione funzionale i punteggi delle coppie funzionali congruenti risultano essere significativamente maggiori rispetto a quelli delle coppie tematiche congruenti ($Z = -2,803$; $p = ,005$), al contrario nella valutazione tematica i punteggi delle coppie tematiche congruenti risultavano essere significativamente maggiori rispetto a quelli ottenuti dalle coppie funzionali congruenti ($Z = -2,803$; $p = ,005$). Questo assicura che le coppie funzionali congruenti e quelle tematiche congruenti esprimessero effettivamente le relazioni tematiche volute.

Infine nella valutazione 3, il terzo gruppo (4 maschi; età media = $26,8 \pm 4,4$ anni) ha valutato 152 coppie di oggetti (60 coppie funzionali congruenti; 60 coppie funzionali incongruenti; 16 coppie tematiche congruenti; 16 coppie tematiche non congruenti) rispetto al grado di similarità della manipolazione richiesta dai due oggetti (valutazione della somiglianza della manipolazione). Anche per questa valutazione sono state escluse le coppie tematiche in cui uno degli oggetti non era un artefatto manipolabile e i giudizi sono stati espressi su scala Likert a 7 punti (1= “assolutamente diversa” e 7= “assolutamente simile”) Sia le coppie congruenti che quelle incongruenti hanno ottenuto punteggi molto bassi rispetto alla somiglianza della manipolazione. I punteggi attribuiti alle coppie funzionali congruenti non sono risultati significativamente diversi da quelli attribuiti alle coppie funzionali incongruenti ($Z = -1,58$; $p = ,114$); allo stesso modo, i punteggi relativi alle coppie tematiche congruenti non sono risultati significativamente diversi da quelli relativi alle coppie tematiche incongruenti ($Z = -,533$; $p = ,594$).

Procedura

L'esperimento è stato condotto in tre sessioni sperimentali a cadenza settimanale; ciascuna sessione corrispondeva ad una diversa condizione di stimolazione (SMG, MTG, Sham). In ciascuna sessione sono stati somministrati due blocchi di prove: in uno venivano presentate le triplette funzionali, in un altro le triplette tematiche. Ciascuno dei due blocchi prevedeva la presentazione di 60 triplette, per un totale di 120 *trial* per sessione. All'interno di ciascun blocco, 20 triplette erano precedute da un *prime* funzionale, 20 triplette erano precedute da un *prime* strutturale e 20 da un gesto di *pointing*. L'ordine delle condizioni di stimolazione e l'ordine dei blocchi sono stati controbilanciati tra i soggetti; l'ordine delle prove entro ciascun blocco era randomizzato. Tra un blocco e l'altro veniva consentita una pausa di circa 10 minuti. La durata totale di una sessione era di circa 50 minuti.

La randomizzazione e presentazione degli stimoli, così come la collezione dei dati (accuratezza e tempi di risposta; *reaction times* - RT) è stata eseguita utilizzando il programma MATLAB

In ciascuna sessione, i partecipanti sedevano su di una comoda sedia di fronte ad un monitor di 17 pollici e tenevano il mento poggiato su di una mentoniera, le mani sulle gambe in posizione di riposo e i piedi su di una pedaliera a due pedali.

Ciascuna *trial* iniziava con un punto di fissazione (una croce) presentato al centro dello schermo per 800 msec, seguito da un intervallo inter-stimolo (*inter-stimulus interval*, ISI) con schermo bianco, della durata di 20 msec. Successivamente uno stimolo *prime* veniva presentato per 500 msec. 100 msec dopo la comparsa dello stimolo *prime* partiva la stimolazione rTMS della durata di 400 msec. Alla scomparsa del *prime*, una tripletta di oggetti appariva immediatamente e restava sullo schermo fino alla risposta. Ai partecipanti veniva richiesto di decidere il più velocemente e accuratamente possibile quale oggetto fosse maggiormente associato a quello al centro, se quello a destra o quello a sinistra, premendo rispettivamente il pedale destro o sinistro della pedaliera (l'oggetto associato veniva presentato alla destra del target nel 50% dei *trial*). Seguiva, infine, un intervallo inter-*trial* (*inter-trial interval*, ITI: schermo bianco) della durata di 4500 ms (Figura 11).

Prima dell'esperimento, i partecipanti eseguivano una breve sessione di pratica senza rTMS, costituita da 4 *trial* in cui venivano presentate triplette (e relativi *prime*) non incluse negli stimoli sperimentali.

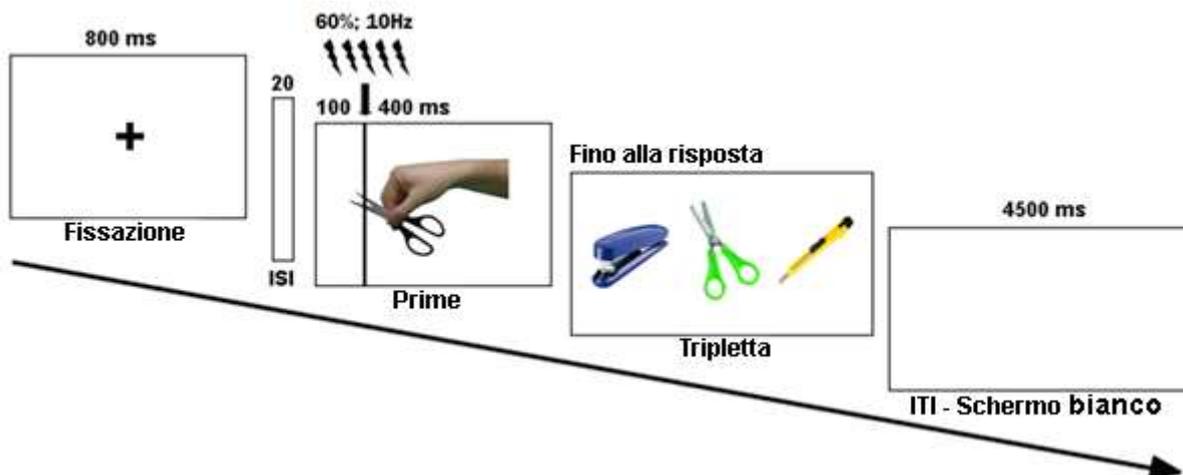


Fig. 11. Sequenza degli eventi in un *trial* sperimentale.

Protocollo TMS e neuronavigazione

Treni separati di rTMS (5 impulsi, 10 Hz; durata: 400 msec) venivano emessi attraverso una bobina (*coil*) a forma di “otto” da 70 mm, collegata a uno stimolatore Magstim Rapid 2 (Magstim Company) capace di un *output* massimo di 3,5 T sulla superficie del *coil* (tipo di output: bifasico). Seguendo le raccomandazioni di sicurezza (Rossi et al., 2009), due treni di stimolazione consecutivi erano separati da almeno 4,5 secondi l'uno dall'altro e il numero totale di impulsi per sessione era di 600 (300 per ciascun blocco). L'intensità di stimolazione è stata impostata al 60% dell'*output* massimo dello stimolatore (seguendo Andres et al., 2013).

I bersagli cerebrali (SMG e MTG sinistri; Vingerhoets et al., 2009; Pelgrims et al., 2011; Andres et al., 2013; Vingerhoets, 2014) e i corrispondenti siti di stimolazione sullo scalpo dei partecipanti sono stati localizzati tramite il sistema di neuronavigazione Softaxic Optic (EMS). La

neuronavigazione è stata effettuata su ricostruzioni delle risonanze magnetiche dell'encefalo dei partecipanti; queste sono state stimate a partire da un campionamento di 65 punti dello scalpo, acquisiti tramite un digitalizzatore Polaris Vicra (Northern Digital).

Le coordinate Talairach medie delle aree cerebrali stimulate sono risultate le seguenti: SMG: $x = -58$, $y = -38$, $z = 46$; MTG: $x = -61$, $y = -51$, $z = -1$ (Figura 12).

Nella condizione di stimolazione placebo (*sham*), il *coil* veniva posizionato sul Vertex con un angolo di 90° rispetto alla superficie del cranio, in modo da poggiare sullo scalpo soltanto col bordo e da dirigere lontano dalla testa del partecipante il *focus* di stimolazione.

Nelle condizioni di stimolazione SMG e MTG, il posizionamento del *coil* sul sito di stimolazione veniva controllato in tempo reale durante tutta la sessione tramite il neuronavigatore; in tutte le condizioni un braccio meccanico fissato su un treppiede reggeva il *coil*.

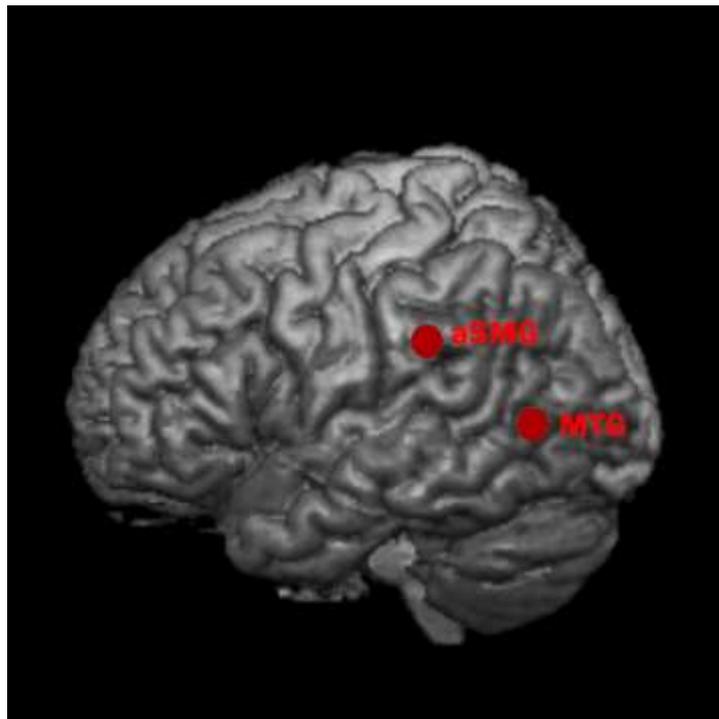


Fig. 12. Siti corticali per la rTMS riportati su *template* ch2bet (MRIcron). Coordinate Talairach medie: aSMG $x = -58$, $y = -38$, $z = 46$; pMTG $x = -61$, $y = -51$, $z = -1$.

3.3. Risultati.

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando SPSS v.20 (IBM). L'accuratezza dei partecipanti è risultata elevata (>95%) in tutte le condizioni, pertanto un'analisi preliminare è stata condotta solo sui tempi di risposta (RT). I trial con RT superiori al 95° percentile e inferiori al 5° percentile sono stati esclusi dall'analisi. Sui tempi di risposta dei *trial* corretti è stata eseguita un'analisi della varianza (ANOVA) 2X2X2 per misure ripetute, con il tipo di relazione semantica (funzionale/tematica), la condizione di stimolazione (MTG/ SMG/ Sham) e la condizione di *prime* (funzionale/ strutturale/ *pointing*) come fattori entro i soggetti.

I risultati hanno rivelato un significativo effetto principale del tipo di relazione semantica [$F_{(1,18)} = 189,505$; $p < ,001$; $\eta^2 = ,913$], dovuto a risposte più veloci alle triplette tematiche (media = 882,859; ES = 42,340 msec) che a quelle funzionali (media = 1136,068; ES = 54,141 ms). Né l'effetto principale della stimolazione [$F_{(2,36)} = ,263$; $p = ,771$; $\eta^2 = ,014$], né l'effetto principale del tipo di *prime* [$F_{(2,36)} = ,092$; $p = ,912$; $\eta^2 = ,005$] sono risultati significativi.

E' stata riscontrata un'interazione significativa di primo ordine tra il tipo di relazione semantica e la condizione di stimolazione [$F_{(2,36)} = 4,450$; $p = ,019$; $\eta^2 = ,198$]; inoltre, è risultata significativa l'interazione di terzo ordine tra condizione semantica, condizione di stimolazione e condizione di *prime* [$F_{(4,72)} = 3,043$; $p = ,022$; $\eta^2 = ,145$]. I confronti post hoc (t-test per campioni dipendenti non corretti per confronti multipli) hanno rivelato che, per quanto riguarda il giudizio sulla similarità funzionale, nella condizione di stimolazione MTG le risposte dei partecipanti sono state significativamente più lente quando le triplette erano precedute dall'azione funzionale (media = 1182,469; ES = 73,470) rispetto all'azione di *pointing* (media = 1139,881; ES = 66,673; $p = ,044$); al contrario, nella condizione *sham* gli RT tendevano ad essere più veloci nella condizione di *prime* funzionale (media = 1102,405; ES = 54,332 ms) rispetto sia alla condizione di *prime* strutturale (media = 1151,610; ES = 61,780 ms; $p = ,066$), sia alla condizione *pointing* (media = 1148,013; ES = 62,126; $p = ,087$). Per il giudizio sulle relazioni tematiche, invece, nella condizione di stimolazione *sham* le risposte dei partecipanti mostravano una tendenza ad essere più veloci per le

triplette precedute da azioni strutturali (media = 886,541; ES = 46,302 ms) piuttosto che da azioni funzionali (media = 915,419; ES = 52,781 ms; $p = ,060$), o di *pointing* (media = 917,945; ES = 51,865; $p = ,062$); questo effetto dei prime non era più visibile quando SMG e MTG venivano stimolati con rTMS (Figura 13). Nessun altro effetto è risultato significativo ($p > ,05$).

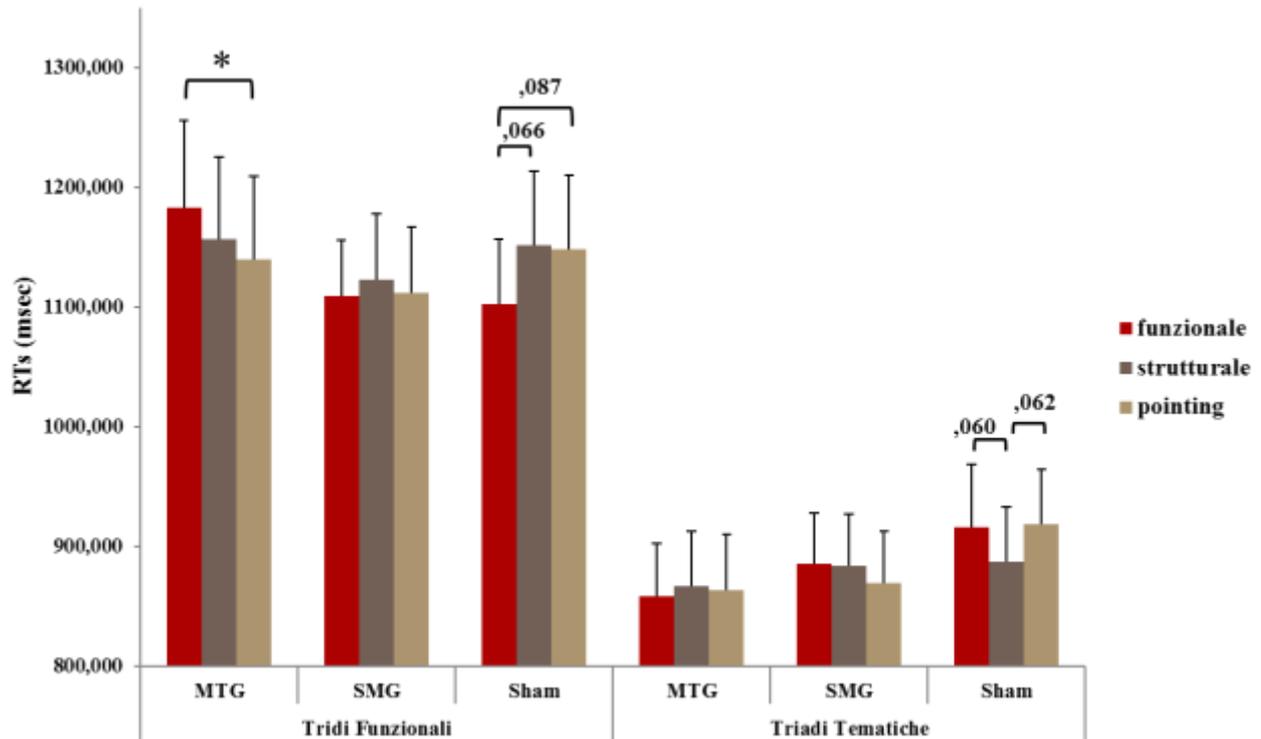


Fig. 13. RT medi nelle diverse condizioni dell'Esperimento (le barre d'errore indicano l'errore standard). *significativo per $p < .05$ (non corretto per confronti multipli).

Da questi primi risultati, quindi, si evincerebbe in primo luogo che i soggetti hanno riconosciuto più velocemente le relazioni tematiche rispetto a quelle basate sulla somiglianza funzionale. Inoltre, in assenza di stimolazione, l'elaborazione di una relazione funzionale sembra più rapida quando viene precedentemente osservata un'azione funzionale, piuttosto che strutturale o di *pointing*; tuttavia questo effetto verrebbe abolito stimolando il SMG. Quando invece i partecipanti ricevono la stimolazione del MTG durante l'osservazione di azioni funzionali, la successiva elaborazione di

relazioni funzionali verrebbe rallentata. In assenza di stimolazione, infine, l'elaborazione di relazioni tematiche tende ad essere più rapida quando vengono presentati azioni strutturali piuttosto che azioni funzionali o di *pointing*, ma queste differenze scompaiono in entrambe le condizioni di stimolazione.

3.4. Discussione.

Il dato circa la più rapida identificazione delle relazioni tematiche rispetto alle funzionali è coerente con dati di letteratura che dimostrano, per gli artefatti manipolabili, un accesso più rapido ad informazioni tematiche piuttosto che tassonomiche (Kalenine et al., 2009; Kalenine e Bonthoux, 2008) e funzionali (Kalenine et al., 2012; Wamain et al., 2015).

Rispetto all'elaborazione di relazioni funzionali, i dati della condizione *sham* tendono a replicare i risultati di De Bellis e colleghi (2016), mostrando che l'osservazione di azioni funzionali si associa a tempi di risposta più brevi rispetto all'osservazione di azioni strutturali. Tuttavia, un dato inatteso è che le risposte tendono ad essere più lente anche dopo l'osservazione di azioni di *pointing* piuttosto che funzionali, mentre *prime* strutturali e *pointing* non differiscono tra loro. Ulteriormente, l'abolizione di queste differenze a seguito della stimolazione del SMG sembrerebbe dipendere più da una riduzione dei tempi di risposta associati alle condizioni di *prime* strutturale e *pointing*, piuttosto che a modificazioni delle risposte nella condizione di *prime* funzionale. Queste osservazioni portano a reinterpretare i risultati di De Bellis e colleghi (2016), suggerendo che sia piuttosto l'osservazione di azioni diverse da quelle funzionali (azioni strutturali o di *pointing*) a generare un costo di elaborazione. Assumendo la stretta associazione tra azioni di manipolazione funzionali e rappresentazione della funzione, una possibile proposta è che l'attivazione di un gesto funzionale si integri immediatamente col recupero di altri attributi dell'oggetto (ed in particolare della sua funzione); il sistema motorio invece sarebbe chiamato ad un *surplus* di elaborazione quando l'azione osservata non coincide subito con gli schemi per l'uso funzionale mantenuti nel IPL.

In letteratura, la corteccia parietale inferiore risulta attivata durante l'osservazione di azioni altrui (Caspers et al. 2010; Gazzola and Keysers 2009; Oosterhof et al., 2010; Shmuelof and Zohary, 2007; Vingerhoets et al. 2010) ed è stata associata alla rappresentazione dell'uso appreso di utensili

sia in studi di neuroimmagine (Buxbaum et al., 2006; Creem-Regehret et al., 2005; Frey, 2007; Johnson-Frey 2004; Johnson-Frey et al., 2005; Lewis, 2006) che lesionali (Buxbaum et al., 2005; 2007; Goldenberg e Spatt, 2009; Kaleniene e Buxbaum, 2010; Hoeren et al., 2014).

All'interno dell'IPL, tre siti sono stati in particolare connessi all'elaborazione e mantenimento a lungo termine degli schemi d'azione appresi: l'aIPS, la cui attivazione durante l'elaborazione visiva di oggetti conosciuti sarebbe associata al richiamo delle configurazioni manuali per la prensione funzionale (Kellenbach et al., 2003; Schubotz et al., 2014; Valeyear et al., 2007; Yee et al., 2010); l'SMG posteriore che potrebbe contenere i programmi appresi per i movimenti di braccia e mani (Johnson-Frey et al., 2005; Rumiati et al., 2004; Vingerhoets, 2014; Vingerhoets et al., 2009) e l'SMG anteriore, associato anch'esso alle specifiche posture della mano per impugnare l'oggetto in maniera compatibile con l'uso (Hermsdorfer et al., 2007; Johnson-Frey et al., 2005; Rumiati et al., 2004). Il sito di stimolazione scelto nel presente lavoro cade a cavallo tra le due porzioni, posteriore ed anteriore, del SMG ed ha quasi le stesse coordinate (-58, -38, -46) della regione indicata nel lavoro di Andres e collaboratori (2013), che hanno mostrato un decadimento nella capacità di elaborare la corretta manipolazione di oggetti a seguito di stimolazione con TMS.

È dunque plausibile che la porzione del SMG stimolata sia coinvolto nella discriminazione tra i diversi *prime* e che tale discriminazione venga impedita dalla stimolazione rTMS, annullando i costi di un eventuale incongruenza tra azione osservata e schemi motori appresi.

Resta tuttavia da accertare l'eventuale ruolo di altre regioni, come ad esempio l'aIPS, dal momento che il costo di elaborazione osservato potrebbe riflettere l'attivazione di molteplici schemi di manipolazione associati all'oggetto, lungo entrambe le vie visive per l'azione, la dorso-ventrale e la dorso-dorsale (Hoeren et al., 2013; Schubotz et al., 2014)

L'altro risultato rilevante del presente lavoro è che la stimolazione del MTG inverte i risultati osservati nella condizione *sham*, per cui le risposte diventano più lente dopo l'osservazione di azioni funzionali.

Per quanto riguarda la corteccia temporale laterale, lo studio TMS di Andres e colleghi (2013) ha dimostrato che la stimolazione del pMTG inibisce l'elaborazione della funzione degli oggetti durante un compito di giudizio su coppie di stimoli simile a quello utilizzato in De Bellis et al. (2016); coerentemente, una regione con coordinate molto vicine è risultata correlata alla valutazione della somiglianza funzionale tra oggetti in uno studio di adattamento fMRI (Yee et al., 2010). Infine la stessa area è stata connessa alla comprensione degli aspetti semantici delle azioni di utilizzo di oggetti (Kalenine e Buxbaum, 2010), così come a deficit accoppiati in produzione e riconoscimento di azioni d'uso (Tarhan et al., 2015). È stato dunque proposto che, lungo la via ventrale, questa regione possa integrare informazioni in più modalità, inclusa quella motoria proveniente dalle regioni parietali inferiori (Ramayya et al., 2010) e temporo-occipitali dedicate all'analisi del movimento biologico (Tarhan et al., 2015) e non biologico (Beauchamp e Martin, 2007). Il risultato sarebbe una rappresentazione altamente integrata delle proprietà concettuali di oggetti ed azioni connesse (Tarhan et al., 2015; Kalenine e Buxbaum, 2016). Dunque, in un compito come quello impiegato nel presente studio e in De Bellis e colleghi (2016), questa regione potrebbe essere implicata in modo duplice: sia nell'esecuzione dei giudizi sulle coppie di oggetti, sia nell'integrazione dell'informazione motoria, proveniente dalle regioni circostanti, circa le azioni osservate nei *prime*. Siccome le coordinate del sito di stimolazione temporale (-61, -51, -1) del presente studio sono molto vicine a quelle del sito di integrazione multimodale (-60, -64, 2) evidenziato da Tarhan e colleghi (2015), il nostro suggerimento è che la stimolazione del pMTG durante l'osservazione di azioni funzionali abbia effettivamente interferito con la normale integrazione tra rappresentazioni motorie e conoscenze semantiche relative alla funzione degli utensili.

Infine, ancora una volta si sono riscontrati dati controversi circa l'effetto di *prime* di azione sull'elaborazione di relazioni tematiche. Contrariamente alle attese e a risultati precedenti (Pluciennicka et al., 2015), sembra che il tipo di azione associata a giudizi più veloci nella condizione *sham* sia quello strutturale e non il gesto funzionale. Anche in questo caso l'effetto scompare in condizione di stimolazione (di entrambi i target cerebrali), ed anche in questo caso

sembra ciò sia dovuto più all'abolizione di costi legati all'osservazione di determinate azioni (*prime* funzionali e *pointing*) piuttosto che alla modulazione degli effetti del *prime* strutturale. Nuovamente bisogna interrogarsi sulla comparabilità dei compiti utilizzati in precedenti studi (Borghi et al., 2012; Pluciennicka et al., 2015) col compito qui proposto, che richiede giudizi espliciti e che forse (nonostante l'abolizione dell'ISI rispetto allo studio di De Bellis et al., 2016) prevede l'impiego di un *prime* d'azione ancora troppo lungo (500 msec) per i tempi ottimali di elaborazione di relazioni tematiche (Wamain et al., 2015). Ad ogni modo, tentando una prima cauta interpretazione, questi dati possono ricondurre ancora all'idea che i gesti funzionali sono connessi strettamente alla rappresentazione concettuale della funzione dell'oggetto e del significato dell'azione d'uso, per cui osservare questo tipo di azioni aggiunge un costo all'elaborazione di relazioni tematiche, basate per lo più su nessi di tipo associativo.

Bibliografia.

- Andres M, Pelgrims B, Olivier E (2013) Distinct contribution of the parietal and temporal cortex to hand configuration and contextual judgements about tools. *Cortex* 49:2097–2105.
- Avenanti A, Candidi M, Urgesi, C (2013) Vicarious motor activation during action perception: beyond correlational evidence. *Front Hum Neurosci* 7:185.
- Balint R (1909) Seelenhemmung des, Schauens, optische Ataxie, räumliche Störung der Aufmeirsamkeit. *Monatsschr Psychiatr Neurol* 25: 51–81
- Barsalou L W (2008) Grounded cognition. *Annu Rev Psychol* 59: 617–645.
- Barsalou L W, Kyle Simmons W, Barbey A K, Wilson C D (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends Cogn. Sci.* 7: 84–92.
- Baxter D M, Warrington E K (1985) Category-specific phonological dysgraphia. *Neuropsychologia* 23; 653–666.
- Beauchamp M S, Martin A (2007) Grounding objects concepts in perceptions and actions : evidence from fMRI studies of tools. *Cortex* 43: 461-8.
- Beauchamp M S, Lee K E, Haxby J V, Martin A (2003) fMRI responses to video and point-light displays of moving humans and manipulable objects. *J Cogni Neurosci* 15: 991-1001.
- Beauchamp M S, Lee K E, Haxby J V, Martin A (2002) Parallel visual motion processing streams for manipulable objects and human movements. *Neuron* 34: 1-20.
- Bekkering H, Neggers SF (2002) Visual search is modulated by action intention. *Psychol Sci* 13:370-374.
- Binkofski F, Buxbaum LJ (2012) Two action systems in the human brain. *Brain Lang* 127:222-229.
- Blangero A, Menz M M, McNamara A, Binkofski, F (2009) Parietal modules for reaching. *Neuropsychologia* 47: 1500–1507.
- Borghi A M, Flumini A., Natraj N, Wheaton L A (2012) One hand, two objects: Emergence of affordance in contexts. *Brain Cogn* 80: 64-73.

- Boronat CB, Buxbaum LJ, Coslett HB, Tang K, Saffran EM, Kimberg DY, Detre Ja (2005) Distinctions between manipulation and function knowledge of objects: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Brain Res Cogn Brain Res* 23:361–373.
- Bub D N, Masson M E J (2010) On the nature of hand-action representations evoked during written sentence comprehension. *Cognition* 116:394–408.
- Bub D N, Masson M E J, Cree G S (2008) Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition* 106:27–58.
- Bub D N, Masson M E J (2006) Gestural knowledge evoked by objects as part of conceptual representations. *Aphasiology* 20(9): 1112–1124.
- Buxbaum LJ, Kalénine S (2010) Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Ann N Y Acad Sci* 1191:201–218.
- Buxbaum L J, Kyle K., Grossman M, Coslett H B (2007) Left inferior parietal representations for skilled hand-object interactions: Evidence from stroke and corticobasal degeneration. *Cortex* 43(3): 411–423.
- Buxbaum LJ, Kyle KM, Tang K, Detre Ja (2006) Neural substrates of knowledge of hand postures for object grasping and functional object use: Evidence from fMRI. *Brain Res* 1117:175–185.
- Buxbaum LJ, Kyle K.M, Menon R (2005) On beyond mirror neurons: internal representations subserving imitation and recognition of skilled object-related actions in humans. *Brain Res Cogn Brain Res*, 25: 226–39.
- Buxbaum L J, Sirigu A, Schwartz M F, Klatzky R (2003) Cognitive representations of hand posture in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia* 41(8): 1091–1113.
- Buxbaum LJ, Saffran EM (2002) Knowledge of object manipulation and object function: Dissociations in apraxic and non-apraxic subjects. *Brain Lang* 82:179–199.
- Campanella F, Shallice T (2011) Manipulability and object recognition: Is manipulability a semantic feature? *Exp Brain Res* 208:369–383.

- Cant J S, Westwood D A, Valyear K F, Goodale, M A (2005) No evidence for visuomotor priming in a visually guided action task. *Neuropsychologia* 43: 216–226.
- Canessa N, Borgo F, Cappa SF, Perani D, Falini A, Buccino G, ... Shallice T (2008) The different neural correlates of action and functional knowledge in semantic memory: An fMRI study. *Cereb Cortex* 18:740–751.
- Caspers S, Zilles K, Laird AR, Eickhoff SB (2010) ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage* 50:1148–1167.
- Caramazza A, Hillis A, Rapp B C, Romani C (1990) The multiple semantic hypothesis: multiple confusions? *Cogn Neuropsychol* 7: 161–189.
- Cattaneo L, Maule F, Tabarelli D, Brochier T, Barchiesi G (2015) Online repetitive transcranial magnetic stimulation (TMS) to the parietal operculum disrupts haptic memory for grasping. *Hum Brain Mapp* 36(11):4262-71
- Cavina-Pratesi C, Monaco S, Fattori P, Galletti C, McAdam T D, Quinlan D J ... Culham J C (2010) Functional magnetic resonance imaging reveals the neural substrates of arm transport and grip formation in reach-to-grasp actions in humans. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 30(31): 10306–23.
- Chao L L, Weisberg J, Martin A (2002) Experience-dependent modulation of category-related cortical activity. *Cereb Cortex* 12: 545-551.
- Chao LL, Martin A (2000) Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage* 12:478–48.
- Chao L L, Haxby J V, Martin A (1999) Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nat Neurosci* 2: 913-919.
- Cohen RG, Rosenbaum Da (2004) Where grasps are made reveals how grasps are planned: generation and recall of motor plans. *Exp Brain Res* 157:486–495.
- Craighero L, Fadiga L, Rizzolatti G, Umilta C (1999) Action for perception: a motor-visual attentional effect. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 25:1673–1692.

- Cree G S, McRae K (2003) Analyzing the factors underlying the structure and computation of the meaning of chipmunk, cherry, chisel, cheese, and cello (and many other such concrete nouns). *J Exp Psychol Gen* 132:163–201.
- Creem S H, Proffitt D R (2001) Grasping objects by their handles: a necessary interaction between cognition and action. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 27:218–228.
- Creem-Regehr S H, Lee J N (2005) Neural representations of graspable objects: are tools special? *Brain Res Cogn Brain Res* 22:457–469.
- Cubelli R, Marchetti C, Boscolo G, Della Sala S (2000) Cognition in action: testing a model of limb apraxia. *Brain Cogn* 44: 144–65.
- Damasio H, Grabowski T J, Tranel D, Hichwa R D, Damasio A R (1996) A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380: 499-505.
- De Bellis F, Ferrara A, Errico D, Panico F, Sagliano L, Conson M, Trojano L (2016) Observing functional actions affects semantic processing of tools: evidence of a motor-to-semantic priming. *Exp Brain Res* 234(1): 1-11.
- Eickhoff SB, Amunts K, Mohlberg H, Zilles K (2006a): The human parietal operculum. II. Stereotaxic maps and correlation with functional imaging results. *Cereb Cortex* 16:268–279.
- Estes Z, Golonka S, Jones L L (2011) Thematic thinking: The apprehension and consequences of thematic relations. *Psychology of Learning and Motivation*. 54:249–294.
- Farah MJ, & McClelland J (1991) A computational model of semantic memory impairment: modality specificity and emergent category specificity. *J Exp Psychol Gen* 120:339–357.
- Filimon F (2010) Human cortical control of hand movements: parieto- frontal networks for reaching, grasping, and pointing. *Neuroscientist*. 16(4):388–407.
- Fodor J (1975). *The Language of Thought*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Foundas A L, Macauley B L, Raymer A M, Maher L M, Heilman K M, Rothi L J (1995) Ecological implications of limb apraxia: evidence from mealtime behavior. *Journal of the International Neuropsychological Society* 1: 62-66.

- Frey SH (2007) What puts the how in where? Tool use and the divided visual stream hypothesis. *Cortex* 43:368-375.
- Gainotti G (2013) Controversies over the mechanisms underlying the crucial role of the left fronto-parietal areas in the representation of tools. *Front Psychol* 5: 8-15.
- Garcea FE, Mahon BZ (2012) What is in a tool concept? Dissociating manipulation knowledge from function knowledge. *Mem Cognit* 40:1303–1313.
- Garcin R, Rondot P, de Recondo J (1967) Optic ataxia localized in left homonymous visual hemifields (clinical study with film presentation). *Revue Neurologique (Paris)* 116: 707–714.
- Garofeanu C, Króliczak G, Goodale M A, Humphrey G K (2004) Naming and grasping common objects: A priming study. *Exp Brain Res* 159(1): 55–64.
- Gazzola V, Keysers C (2009) The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cereb Cortex* 19:1239–1255.
- Glover S (2004) Separate visual representations in the planning and control of action. *Behav Brain Sci* 27:3–78.
- Goldenberg G (2009) Apraxia and the parietal lobes. *Neuropsychologia* 47: 1449–59
- Goldenberg G, Spatt J (2009) The neural basis of tool use. *Brain* 132:1645–1655.
- Grafton S T, Fadiga L, Arbib M A, Rizzolatti G (1997) Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *Neuroimage*, 6: 231-236.
- Heilman K M, Rothi L J, Valenstein E (1982) Two forms of ideomotor apraxia. *Neurology*, 32: 342– 346.
- Helbig HB, Steinwender J, Graf M, Kiefer M (2010) Action observation can prime visual object recognition. *Exp Brain Res* 200:251–258.
- Helbig HB, Graf M, Kiefer M (2006) The role of action representations in visual object recognition. *Exp Brain Res* 174:221–228.

- Hermsdorfer J, Terlinden G, Muhlau M, Goldenberg G, Wohlschläger A M (2007) Neural representations of pantomimed and actual tool use: evidence from an event-related fMRI study. *Neuroimage* 36: 109–118.
- Hoeren M, Bormann T, Beume L, Ku D, Ludwig V M, Vry M, ... Weiller C (2014). stroke patients : distinct streams for praxis. *Brain* 137:2796–2810.
- Hoeren M, Kaller C P, Glauche V, Vry M S, Rijntjes M, Hamzei F, Weiller C (2013) Action semantics and movement characteristics engage distinct processing streams during the observation of tool use. *Exp Brain Res* 229(2): 243–260.
- Ishibashi R, Pobric G, Saito S, Lambon Ralph M A (2016) The neural network for tool-related cognition: An activation likelihood estimation meta-analysis of 70 neuroimaging contrasts. *Cogn Neuropsychol* 33(3-4): 241-256.
- Jakobson L S, Archibald Y M, Carey D P, Goodale M A (1991) A kinematic analysis of reaching and grasping movements in a patient recovering from optic ataxia. *Neuropsychologia* 29: 803-809.
- Jeannerod M, Decety J, Michel F (1994) Impairment of grasping movements following a bilateral posterior parietal lesion. *Neuropsychologia* 32: 369-380.
- Janssen L, Meulenbroek RGJ, Steenbergen B (2011) Behavioral evidence for left-hemisphere specialization of motor planning. *Exp Brain Res* 209:65–72.
- Jax Sa, Buxbaum L J (2010). Response interference between functional and structural actions linked to the same familiar object. *Cognition* 115:350–355.
- Johnson-Frey S H (2004) The neural bases of complex tool use in humans. *Trends Cogn Sci* 8:71-78.
- Johnson-Frey S H (2003) What’s so special about human tool use? *Neuron* 39(2): 201–204.
- Johnson S H, Grafton S T (2003) From “acting on” to “acting with”: The functional anatomy of object-oriented action schemata. *Prog Brain Res* 142(1): 127–139.

- Johnson-Frey S H, Newman-Norlund R, Grafton S T (2005) A distributed left hemisphere network active during planning of everyday tool use skills. *Cereb Cortex* 15:681-695.
- Johnson Frey S H, Maloof F R, Newman-Norlund R, Farrer C, Inati S, Grafton S T (2003) Actions or hand-objects interactions? Human inferior frontal cortex and action observation. *Neuron* 39:1053-1058.
- Kalenine S, Buxbaum L J (2016) Thematic knowledge, artifact concepts, and the left posterior temporal lobe: Where action and object semantics converge. *Cortex* 82: 164-78
- Kalénine S, Mirman D, Middleton E L, Buxbaum L J,(2012) Temporal dynamics of activation of thematic and functional knowledge during conceptual processing of manipulable artifacts. *J.Exp.Psychol.Learn.Mem.Cognit.*38(5): 1274–1295.
- Kalénine S, Buxbaum L J, Coslett H B (2010) Critical brain regions for action recognition: lesion symptom mapping in left hemisphere stroke. *Brain*, 133(11): 3269-3280.
- Kalénine S, Peyrin C, Pichat C, Segebarth C, Bonthoux F, Baciú M (2009) The sensory-motor specificity of taxonomic and thematic conceptual relations: a behavioral and fMRI study. *NeuroImage* 44:1152–1162.
- Kalénine S, Bonthoux F (2008) Object manipulability affects children's and adults' conceptual processing. *Psychon Bull Rev* 15:667–672.
- Karnath H O, Perenin M T (2005) Cortical control of visually guided reaching: evidence from patients with optic ataxia. *Cereb Cortex* 15: 1561–1569.
- Kellenbach ML, Brett M, Pattern K (2003) Actions speak louder than functions. The importance of manipulability and action in tool representation. *J Cogn Neurosci* 15:30–46.
- Lee C, Middleton E, Mirman D, Kalénine S, Buxbaum LJ (2014) Incidental and context-responsive activation of structure- and function-based action features during object identification. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 39:257-270.
- Lin E L, Murphy G L (2001) Thematic relations in adults' concepts. *J Exp Psychol Gen* 130:3–28.

- Leiguarda R C, Marsden CD (2000) Limb apraxias: higher-order disorders of sensorimotor integration. *Brain*, 123(5): 860–79.
- Lewis J W (2006) Cortical networks related to human use of tools. *Neuroscientist* 12:211–231.
- Martin A (2007) The representation of object concepts in the brain. *Annu Rev Psychol* 58:25–45.
- Martin A (1998) The organization of semantic knowledge and the origin of words in the brain. In Jablonski NG and Aiello LC (Eds), *The Origins and Diversification of Language*. San Francisco: California Academy of Sciences.
- Maule F, Barchiesi G, Brochier T, Cattaneo L (2015): Haptic working memory for grasping: The role of the parietal operculum. *Cereb Cortex* 25:528–537.
- McCarthy R A, Warrington E K (1991) *Cognitive Neuropsychology: A Clinical Introduction*. New York: Academic Press.
- McCarthy R A, Warrington E K (1985) Category-specificity in an agrammatic patient: the relative impairment of word retrieval and comprehension. *Neuropsychologia* 23: 709–727.
- Milner A D, Goodale M A (2008) Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46: 774–785.
- Milner A D, Goodale M A (1995) *The visual brain in action*. Oxford England: Oxford University Press.
- Mirman D, Graziano KM (2012) Damage to temporo-parietal cortex decreases incidental activation of thematic relations during spoken word comprehension. *Neuropsychologia* 50, 1990–1997.
- Myung JY, Blumstein S E, Yee E, Sedivy J C, Thompson-Schill S L, Buxbaum L J (2010) Impaired access to manipulation features in Apraxia: Evidence from eye-tracking and semantic judgment tasks. *Brain Lang* 112:101–112.
- Myung JY, Blumstein S E, Sedivy J C (2006) Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition* 98:223–243.
- Nowak D A, Koupan C, Hermsdorfer J (2007) Formation and decay of sensorimotor and associative memory in object lifting. *Eur J Appl Physiol* 100: 719–726.

- Nelson K (1983) The derivation of concepts and categories from event representations. In: Scholnick, EK., editor. *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory?*. Hillsdale, NJ: Erlbaum p. 129-149.
- Oosterhof N N, Wiggett A J, Diedrichsen J, Tipper S P, Downing P E (2010) Surface-based information mapping reveals crossmodal vision-action representations in human parietal and occipitotemporal cortex. *J Neurophysiol* 104:1077–1089.
- Osiurak F, Massen C (2014) The cognitive and neural bases of human tool use. *Front Psychol* 5:5-6
- Patterson K, Hodges J R (2000) Semantic dementia: one window on the structure and organisation of semantic memory. 2nd Edn in *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 2, eds F Boller e J Grafman (North Holland: Elsevier) 313–333.
- Pelgrims B, Olivier E, Andres M (2011) Dissociation between manipulation and conceptual knowledge of object use in the supramarginalis gyrus. *Hum Brain Mapp* 32:1802–1810.
- Perenin M T, Vighetto A (1988) Optic ataxia: A specific disruption in visuomotor mechanisms – Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Behav Brain Sci* 111: 643–674.
- Pluciennicka E, Wamain Y, Coello Y, Kalénine S (2015) Impact of action primes on implicit processing of thematic and functional similarity relations: evidence from eye-tracking. *Psychol Res* 80: 566.
- Proverbio AM, Riva F, Zani A (2009) Observation of static pictures of dynamic actions enhances the activity of movement-related brain areas. *PloS One* 4e5389.
- Pylyshyn Z W (1973) What the mind's eye tells to the mind's brain: a critique of mental imagery. *Psychol Bull* 80: 1–24.
- Randerath J, Goldenberg G, Spijkers W, Li Y, Hermsdörfer, J (2010) Different left brain regions are essential for grasping a tool compared with its subsequent use. *NeuroImage*, 53(1): 171–80.
- Ratcliff G (1990) Brain and space. Some deductions from the clinical evidence. In J. Paillard (Ed.) *Brain and space* (pp. 237–250). Oxford University Press.

- Ramayya AG, Glasser MF, Rilling JK (2010) A DTI investigation of neural substrates supporting tool use. *Cereb Cortex* 20:507–516.
- Rizzolatti G, Sinigaglia C (2010) The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nat Rev Neurosci* 11:264–274.
- Rizzolatti G, Matelli M (2003) Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Exp. Brain Res* 153: 146–157.
- Rossi S, Hallett M, Rossini P M, Pascual-Leone A (2009) Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol* 120 12: 2008-39.
- Rothi L J G, Ochipa C, Heilman K M (1991) A cognitive neuropsychological model of limb apraxia. *Cogn Neuropsychol* 8: 443–458.
- Rothi L J G, Heilman K M, Watson R T (1985) Pantomime comprehension and ideomotor apraxia. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 48: 207–210.
- Rumiati R I, Weiss P H, Shallice T, Ottoboni G, Noth J, Zilles K (2004) Neural basis of pantomiming the use of visually presented objects. *Neuroimage* 21: 1224–1231.
- Schubotz R I, Wurm M F, Wittmann M K, Cramon D Y Von, Watson C E (2014) Objects tell us what action we can expect : dissociating brain areas for retrieval and exploitation of action knowledge during action observation in fMRI. *Front Psychol* 5: 1–15.
- Schwartz MF, Kimberg DY, Walker GM, Brecher A, Faseyitan OK, Dell GS, et al. (2011) Neuroanatomical dissociation for taxonomic and thematic knowledge in the human brain. *Proc Natl Acad Sci* 108:8520–8524.
- Shmuelof L, Zohary E (2007) Watching others' actions: mirror representations in the parietal cortex. *The Neuroscientist* 13:667–672
- Sim E J, Helbig H B, Graf M, Kiefer M (2014) When Action Observation Facilitates Visual Perception: Activation in Visuo-Motor Areas Contributes to Object Recognition. *Cereb Cortex*, 25(9): 2907–2918.

- Sirigu A, Cohen L, Duhamel J R, Pillon B, Dubois B, Agid Y (1995) A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex* 31: 41–55.
- Stroop J R (1935) Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol* 18: 643–662.
- Symes E, Tucker M, Ellis R, Vainio L, Ottoboni G (2008) Grasp preparation improves change detection for congruent objects. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 34:854-871.
- Tarhan L Y, Watson C E, Buxbaum L J (2015) Shared and distinct neuroanatomic regions critical for tool- related actionproduction and recognition: evidence from 131 left-hemisphere stroke patients. *J Cogn Neurosci* 27(12): 2491–2511.
- Tsagkaridis K, Watson CE, Jax Sa, Buxbaum LJ (2014) The role of action representations in thematic object relations. *Front Hum Neurosci* 8:140.
- Tucker M, Ellis R (2001) The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Vis Cogn* 8:769–800.
- Tucker M, Ellis R (1998) On the relations between seen objects and components of potential actions. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 24:830–846.
- Tunik E, Lo O Y, Adamovich S V (2008a). Transcranial magnetic stimulation to the frontal operculum and supramarginal gyrus disrupts planning of outcome-based hand-object interactions. *J Neurosci* 28: 14422–14427.
- Tunik E, Ortigue S, Adamovich S V, Grafton S T (2008b) Differential recruitment of anterior intraparietal sulcus and superior parietal lobule during visually guided grasping revealed by electrical neuroimaging. *J. Neurosci* 28: 13615–13620.
- Tunik E, Rice N J, Hamilton A, Grafton S T (2007) Beyond grasping: representation of action in human anterior intraparietal sulcus. *Neuroimage* 36: 77–86.
- Tunik E, Frey S H, Grafton S T (2005) Virtual lesions of the anterior intraparietal area disrupt goal-dependent on-line adjustments of grasp. *Nat Neurosci* 8; 505–511.
- Ungerleider L G, Mishkin M (1982) Two cortical visual systems. In: Ingle DJ, Goodale MA, MansWeld RJW (eds) *Analysis of visual behavior*. MIT, Cambridge pp. 549–586.

- Urgesi C, Moro V, Candidi M, Aglioti SM (2006) Mapping implied body actions in the human motor system. *J Neurosci* 26:7942–7949. doi:10.1523/JNEUROSCI.1289-06.2006
- Vaesen K. (2012). The cognitive bases of human tool use. *Behav Brain Sci* (Vol. 35)
- Valyear K F, Cavina-Pratesi C, Stiglick A J, Culham J C (2007) Does tool-related fMRI activity within the intraparietal sulcus reflect the plan to grasp? *NeuroImage* 36(SUPPL. 2): 94–108.
- Vingerhoets G (2014) Contribution of the posterior parietal cortex in reaching, grasping, and using objects and tools *Front Psychol* 5:151.
- Vingerhoets G, Nys J, Honore P, Vandekerckhove E, Vandemaele P (2013) Human left ventral premotor cortex mediates matching of hand posture to object use. *PLoS ONE* 8:e70480.
- Vingerhoets G, Honoré P, Vandekerckhove E, Nys J, Vandemaele P, Achten E (2010) Multifocal intraparietal activation during discrimination of action intention in observed tool grasping. *Neuroscience* 169:1158–1167.
- Vingerhoets G, Acke F, Vandemaele P, Achten E (2009) Tool responsive regions in the posterior parietal cortex: Effect of differences in motor goal and target object during imagined transitive movements. *Neuroimage* 47: 1832–1843.
- Wamain Y, Pluciennicka E, Kalénine S (2015) A saw is first identified as an object used on wood: ERP evidence for temporal differences between Thematic and Functional similarity relations. *Neuropsychologia* 71: 28–37.
- Warrington E, McCarthy RA (1987) Categories of knowledge: further fractionations and an attempted integration. *Brain* 110:1273-1296.
- Warrington E K, Shallice T (1984) Category-specific semantic impairments. *Brain* 107: 829–54.
- Warrington E, McCarthy R A (1983) Category specific access dysphasia. *Brain* 106: 859–878.
- Yee E, Drucker DM, Thompson-Schill SL (2010) fMRI-adaptation evidence of overlapping neural representations for objects related in function or manipulation. *NeuroImage* 50:753–763.