

Università degli Studi di Milano

Facoltà di Medicina e Chirurgia

**Scuola di Dottorato in
Scienze Fisiopatologiche, Neuropsicobiologiche
e Assistenziali del Ciclo della Vita
- XXVI Ciclo -**



IL RUOLO DEL SISTEMA MOTORIO NELLA COMPRENSIONE VERBALE

**Tesi di Dottorato di Ricerca
dr. Alessandro Innocenti
matricola R09109**

Tutor:

Chiar.ma Prof.ssa Maria Cristina Saetti

Coordinatore della scuola:

Chiar.mo Prof. Roberto Lodovico Weinstein

Anno Accademico 2012/2013

I dati presentati nel presente lavoro sono stati raccolti presso il Dipartimento di Neuroscienze dell'Università di Parma.

Ogni diritto sui dati appartiene al Chiar.mo Prof. Maurizio Gentilucci, senza il quale tale lavoro non avrebbe potuto essere realizzato.

Si ringrazia il prof. Gentilucci per avermi dato la possibilità di utilizzare tali dati per il presente lavoro.

A Edoardo,

*perché non si stanchi mai di
cercare*



Figura 1: "Two of those sages . . . like pedlars among us"
(illustrazione di Arthur Rackman, 1892)

"Attraversammo una strada per entrare nell'altro settore dell'accademia che, come ho detto, è abitato dagli inventori nel campo della conoscenza. (...) Passammo successivamente alla scuola di lingue, dove alcuni dotti erano riuniti in consulto per migliorare quella del loro paese. (...) L'altro era un progetto schematico per abolire completamente le parole. Esso veniva caldamente proposto per i vantaggi che procurava alla salute e alla velocità della comunicazione. (...) Si proponeva dunque questo espediente per cui, se le parole altro non sono che nomi per le cose, sarebbe stato molto più conveniente che gli uomini si fossero portati appresso quelle cose di cui intendevano parlare per qualsiasi faccenda. Questa invenzione si sarebbe tradotta in pratica, con grandi vantaggi concreti e salutari, se le donne in combutta con il popolino ignorante non avessero minacciato una rivoluzione, sostenendo la libertà di parlare con le loro lingue, così come facevano i loro antenati: e poi mi si venga a dire che il popolo è amante del sapere! Ciononostante alcuni saggi si mantengono fedeli a questo progetto di parlare con le cose, che presenta solo questo inconveniente per cui, se un uomo

ha da discutere di faccende complicate, è costretto a portarsi sulle spalle un sacco di cose, a meno che possa permettersi il lusso di farsi aiutare da servitori stracarichi. Mi è capitato spesso di vedere un paio di questi sapienti sopraffatti da enormi fagotti, simili in tutto ai nostri venditori ambulanti, i quali incontrandosi depongono il loro fardello, aprono i sacchi e intrattengono conversazioni di un'ora; poi rinfilano dentro i loro strumenti, si aiutano a vicenda a ricaricarsi sulle spalle i fardelli e si salutano. (...) Questa invenzione offriva anche un altro vantaggio, perché avrebbe potuto essere considerata come una lingua universale, compresa in tutte le nazioni civili che usano più o meno gli stessi tipi di utensili, il cui impiego sarebbe stato familiare ad ognuno. In questo modo gli ambasciatori avrebbero potuto dialogare direttamente con sovrani e ministri pur ignorandone completamente la lingua."

ABSTRACT

Cognitive science approaches disagree on how the human brain organizes semantic information. Some authors argue that embodied experience is important for conceptual processing and claim that semantic knowledge is grounded on sensory and motor representations; this hypothesis, however, is not universally shared, and the relationship between motor system, language and semantic system is not entirely known.

In a TMS experiment, single pulse stimulation was delivered to hand motor cortex 300 or 500 ms after action-related and abstract verbs presentation. The presentation of the same verbs was repeated twice: in this way we investigated the use of cognitive strategies aimed at learning by practice. In the first presentation, stimulation induced facilitation only when TMS was applied 300 ms after action verb presentation. In the second presentation, no modulation was found. In keeping with these results, in a behavioural experiment reaction times were shorter to hand-action related than abstract verbs and this facilitation decreased with practice. These results suggest that motor simulation could contribute to understand action-related rather than abstract verbs. Facilitation is induced only by the early but not by the late stimulation: motor simulation does not seem the result of verb understanding but it would seem directly involved in action verb comprehension, perhaps by facilitating access to semantics. Concerning abstract verbs, motor simulation is not used for comprehension: the access to the semantic meaning could use strategies not involving the motor activation. Finally, with practice the activation of the primary motor cortex is no longer necessary: the meaning of the verb could be automatically retrieved from a lexical-semantic storage without simulation in primary motor cortex. In other words, motor simulation is initially used to retrieve a meaning from the lexical-semantic storage; with practice, the access to semantics is facilitated and motor simulation becomes unnecessary.

We explained these data taking into account latest hypothesis on language organization and we tried to overcome dualism between modal and amodal theories on the semantic system.

INTRODUZIONE

Racconta Jonathan Swift (*Gulliver's Travels*, 1726) che in uno dei suoi viaggi Lemuel Gulliver visitò Lagado, città famosa per la sua Grande Accademia di saggi e pensatori. Soffermatosi nella scuola di lingue, egli è testimone di una grande riforma: i saggi linguisti, dopo lunga discussione, giungono a concordare che, essendo le parole soltanto dei nomi che designano cose, gli uomini avrebbero dovuto smettere di utilizzare il linguaggio ed avrebbero invece dovuto portarsi dietro tutti quelli oggetti di cui intendevano parlare per qualsiasi faccenda. Tale "progetto di parlare per cose" presenta, dice l'autore, "solo questo inconveniente per cui, se un uomo ha da discutere di faccende complicate, è costretto a portarsi sulle spalle un sacco di cose...".

Con ironia e leggerezza, Jonathan Swift quasi tre secoli fa indirizzava i suoi lettori a riflettere sulle complesse relazioni che legano gli oggetti fisici del mondo reale ai concetti che ogni uomo ha in sé, e tali concetti alle parole ed al linguaggio umano in generale.

Il modo con cui i concetti sono rappresentati e i rapporti che essi hanno con il linguaggio sono stati oggetto per secoli di riflessioni filosofiche. Nel periodo pre-ellenistico i greci ritenevano che il nome di un oggetto non fosse convenzionale, ma fosse invece parte della cosa stessa; possedere il nome di un oggetto significava, pertanto, possedere l'oggetto stesso. Con Aristotele, si iniziò a ritenere che i nomi fossero convenzioni umane, e che come tali potevano cambiare da lingua a lingua. Sempre per Aristotele, l'organizzazione delle parole corrisponde esattamente a quella dei concetti i quali, a loro volta, corrispondono ai dati della realtà: in altre parole, l'organizzazione dei concetti, e il linguaggio convenzionale che li esprime, trovano una perfetta corrispondenza con la natura. Pertanto le categorie aristoteliche che esistono nel linguaggio per descrivere la natura corrispondono a categorie che esistono nella natura stessa.

Nei secoli successivi alcuni linguisti (si veda oltre il “relativismo linguistico”) sostennero che il linguaggio non è organizzato come la realtà, ma che esso rappresenta lo “stampo” imprescindibile con cui organizziamo ed interpretiamo la realtà stessa. La natura non è organizzata come il linguaggio, ma, poiché esso rappresenta l’unico filtro attraverso cui la realtà viene conosciuta, essa viene organizzata dall’uomo secondo schemi appartenenti al linguaggio stesso.

Se il rapporto tra realtà, concetti e linguaggio è stato indagato lungo tutto il corso della storia dell’uomo, è nel XX secolo che tale questione viene ad essere analizzata più a fondo e con un approccio multidisciplinare che coinvolge, oltre alla filosofia, la psicologia, la neurologia e le neuroscienze in generale, la linguistica e l’antropologia.

Il fondatore della moderna scienza linguistica è considerato Ferdinand de Saussure che, nell’opera postuma *“Cours de Linguistique générale”* (Saussure, 1916) introduce alcune definizioni e opposizioni che verranno riprese da tutti gli studiosi a lui successivi. Innanzitutto, egli distingue tra “lingua” e “parola”: la “lingua” rappresenta l’aspetto sociale del linguaggio ed è costituita dalle strutture e regole che ciascun individuo condivide con la comunità di cui fa parte, senza poterle inventare o modificare; la “parola”, al contrario, è l’aspetto individuale, che fa riferimento alla singola esecuzione dell’individuo, che è personale e riguarda le proprie singole fonazioni e i propri singoli sensi. Egli distingue inoltre tra “significato” e “significante”: il “significato” è il concetto espresso da un termine (cioè il contenuto, es. il concetto di “casa”), mentre il “significante” è il suono acustico che è utilizzato per esprimere il significato (cioè l’espressione, es. il suono “casa”); sebbene la relazione tra significato e significante sia arbitraria (poiché le diverse lingue usano significanti diversi), essi comunque non possono essere scissi l’uno dall’altro. Di conseguenza l’aspetto più interessante della linguistica secondo Saussure non sta nello studiare i singoli significati e i singoli significanti, ma i rapporti che i diversi elementi hanno tra loro, la struttura che

correla tra loro i diversi elementi (da qui nacque il concetto di “metodo strutturalista”).

Tenendo conto della distinzione tra significato e significante, Gottlob Frege (Frege, 1952) distinse due aspetti del significato: la “referenza” ed il “senso”. La “referenza” fa riferimento all’entità o all’evento che una determinata parola designa; il “senso”, invece, rappresenta il modo con cui si connette il simbolo (ovvero il significante per dirla con Saussure) con la referenza. Per usare un esempio di Frege stesso, l’espressione “la stella del mattino” e “la stella della sera” hanno la stessa referenza (il pianeta Venere) ma il senso è differente.

Nel 1933 Leonard Bloomfield pubblicò *“Language”* (Bloomfield, 1933) che rappresentò il punto di riferimento per la linguistica americana dei 20 anni seguenti. Pur partendo da un quadro strutturalistico, Bloomfield rifiutò l’esistenza di costrutti mentali linguistici “a priori” e l’idea che la struttura del linguaggio potesse riflettere la struttura del pensiero. Con un approccio positivista e meccanicista, Bloomfield approccia il linguaggio in termini di rapporto tra stimolo e risposta: colui che parla agisce spinto dalla necessità e traduce la sua azione in una forma linguistica; colui che ascolta reagisce allo stimolo interpretandolo dapprima a livello auricolare attraverso le leggi della fisica e poi a livello cerebrale. Egli non è interessato a studiare il soggetto parlante, la situazione comunicativa, il significato degli enunciati, i fattori mentali e sociali o l’uso individuale del linguaggio; egli studia invece le strutture linguistiche dal punto di vista formale, scompone il discorso per indagarne le particelle formali di cui esso è composto e ne descrive meccanicamente la funzionalità e la distribuzione (da cui il termine di “distribuzionalismo” o “strutturalismo americano” con cui è nota tale teoria). I suoi oggetti di attenzione sono la morfologia e la sintassi, più che la semantica.

Meno meccanicista di Bloomfield e considerato insieme a questi il padre dello strutturalismo americano, Edward Sapir iniziò a riflettere sul ruolo che le diverse particelle del linguaggio, come ad esempio i fonemi, hanno all’interno di un sistema linguistico. Nella teoria nota con il nome di “ipotesi Sapir-

Whorf” o “relativismo linguistico” (Sapir, 1969; Whorf, 1964), Edward Sapir e Benjamin Whorf sostennero che la categorizzazione presente nel linguaggio non sia la conseguenza del modo con cui è organizzato mondo, ma che al contrario essa sia la determinante con cui la realtà viene ad essere organizzata: chi "conosce" linguisticamente il mondo in un certo modo ne sarà influenzato di conseguenza, e tenderà ad organizzare il mondo stesso modo con cui è organizzato il linguaggio. Ad esempio, il nostro concetto di “bianco” e la parola corrispondente attivano una rete semantica che corrisponde al concetto stesso; gli eschimesi Inuit tuttavia, nella cui lingua vi sono molti tipi di concetti e di parole differenti che descrivono le sfumature di ciò che noi europei genericamente definiamo “bianco”, presentano per tale concetto un sistema semantico differente dal nostro, più ricco e variegato. Ciò che accade, pertanto, è che ogni lingua “vede” la realtà a modo proprio, e organizza la realtà sulla base dei propri costrutti interni. Secondo Sapir non esiste, pertanto, una organizzazione innata della realtà ed anche il modo con cui il linguaggio è organizzato non è innato bensì appreso:

“All'uomo il parlare sembra un atto naturale come il camminare e poco meno naturale del respirare. Eppure un momento di riflessione è sufficiente a convincerci che quella della naturalezza del linguaggio è una sensazione illusoria [...] Togliete il neonato dall'ambiente sociale in cui egli è stato generato, e trasportatelo in una comunità completamente diversa. Nel nuovo ambiente, egli svilupperà l'arte di camminare come l'avrebbe sviluppata nell'ambiente originario. Ma il suo linguaggio sarà completamente diverso dal linguaggio parlato nel suo ambiente nativo” (Sapir, 1969)

Tale pensiero relativista fu superato dalla teoria della “grammatica generativo-trasformatazionale”, enunciata per la prima volta in un volume del 1957 dal titolo “*Syntactic Structures*” (Chomsky, 1957). In tale volume Noam Chomsky sosteneva l'esistenza di uno schema linguistico universale, innato e valido “in potenza” per tutte le lingue, di una organizzazione comune

strutturale a cui tutte le lingue fanno riferimento. Partendo da osservazioni sui bambini, Chomsky postulò che dovesse esistere uno schema di grammatica generale valido per tutte le lingue e innato nel bambino, che si sarebbe sviluppato a livello cerebrale attraverso l'evoluzione genetica. Tale innata "grammatica universale" è costituita da costrutti e regole possibili per il linguaggio dell'uomo; la scelta di costrutti e regole specifici per una determinata lingua ("grammatica specifica") non può che attingere a tale *pool* di possibilità grammaticali. In altre parole, secondo Chomsky potenzialmente qualsiasi bambino è in grado di fare propria la lingua della comunità in cui si trova; tale capacità dipende dal fatto che ogni bambino ha in sé la struttura di una grammatica generale, valida per tutti i linguaggi: è l'ambiente e la lingua che viene parlata dalla comunità in cui il bambino cresce a selezionare le regole della grammatica generale che sono valide per la grammatica specifica della lingua in questione. Il linguaggio non è pertanto un sistema esterno, ma un sistema innato rappresentato nella mente e nel cervello di uno specifico individuo. La conoscenza del linguaggio da parte del parlante lo mette in grado di operare con frasi che non ha mai udito e prodotto. L'abilità quotidiana di creare e capire nuove frasi, secondo un sistema di regole e forme determinate da capacità e schemi insiti nell'uomo, conferisce al linguaggio la creatività.

Se negli ultimi decenni le teorie di Chomsky hanno preso sempre più piede, coinvolgendo e trovando punti di sviluppo anche in discipline differenti dalla linguistica come l'antropologia, l'evoluzionismo o le neuroscienze, esse tuttavia non trovano l'unanime consenso di tutti gli studiosi (Searle, 1972).

Nonostante tutti gli sforzi, infatti, la comprensione di come siano rappresentati i concetti e di come tale rappresentazione si strutturi nel linguaggio umano è un traguardo che non appare ancora prossimo e che verosimilmente coinvolgerà generazioni di ricercatori nei prossimi anni.

In considerazione della complessità dell'argomento, il metodo che oggi offre maggiori garanzie di successo è un approccio multidisciplinare che racchiuda

in sé sia competenze scientifiche e tecnologiche, sia competenze umanistiche, sia competenze antropologiche ed evoluzionistiche.

Per quanto lo studio che andrò a presentare in questo lavoro segua un approccio scientifico e tecnologico, la revisione, pure parziale, degli studi linguistici sin qui condotta è stata volta a evidenziare come le domande che le neuroscienze si pongono siano strettamente in relazione con quelle a cui giungono altri ricercatori seguendo altri approcci. Se le domande sono comuni, anche le risposte, poiché si avvicinino il più possibile alla conoscenza, dovranno necessariamente essere simili e complementari.

IL SISTEMA MIRROR ED I RAPPORTI CON IL LINGUAGGIO

I neuroni *mirror* sono una classe di neuroni originariamente scoperti nella corteccia premotoria ventrale della scimmia (area F5): essi scaricano sia quando una scimmia compie un'azione diretta ad un oggetto (e quindi finalizzata), sia quando osserva un'azione finalizzata compiuta da un altro primate (di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996). I neuroni *mirror* richiedono, per scaricare, l'interazione tra un effettore (es. mano o bocca) e un oggetto; la presenza di un oggetto da solo, oppure un'azione non rivolta verso un oggetto (con eccezioni, si veda oltre), sono inefficaci nell'indurre la loro attivazione.

Oltre che nella corteccia frontale, sono stati trovati neuroni con caratteristiche analoghe ai neuroni *mirror* anche a livello del lobo parietale, ed in particolare nella parte rostrale (PF) del lobulo parietale inferiore (IPL) (Gallese et al., 2002). In particolare, molti dei neuroni *mirror* in IPL scaricano in modo specifico per azioni volte ad un determinato fine: essi si attivano quindi non solo in risposta ad atti motori (es. afferramento o *grasping*), ma anche in modo specifico per lo scopo dell'azione osservata (es. presa di precisione o *precision grip*).

Tali neuroni sono connessi con i neuroni *mirror* presenti a livello dei lobi frontali, a formare un circuito mirror corticale, coinvolto nell'organizzazione dell'azione.

Tale *network* riceve informazioni visuo-spaziali da altre aree, ad esempio dal solco temporale superiore (STS) in cui sono codificati movimenti di agenti biologici, oppure da aree sensitive e sensoriali.

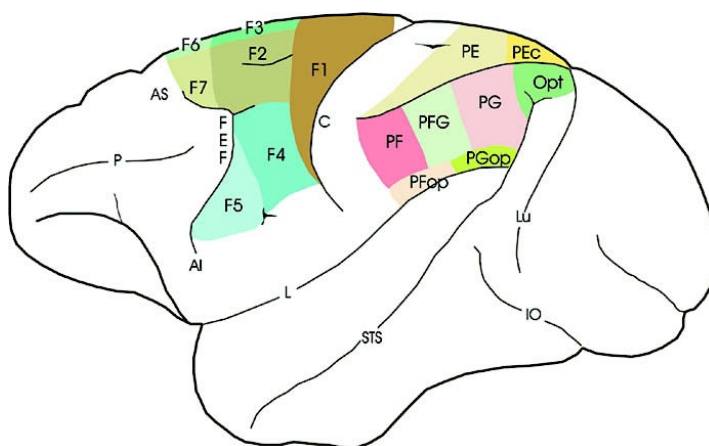


Figura 2.2: Rappresentazione della corteccia parieto-frontale della scimmia (tratto da Rizzolatti & Craighero, 2004)

Ma quale è la funzione di questo “circuito *mirror*”?

Due sono le principali finalità che sono state attribuite al circuito (si veda Rizzolatti and Craighero, 2004):

1. consentire l’imitazione, e l’apprendimento per imitazione;
2. comprendere l’azione eseguita da un altro soggetto e le sue intenzioni (Rizzolatti et al., 2001).

Per quanto concerne l’apprendimento per imitazione, è intuitivo che l’esistenza di un sistema che permetta la riproduzione motoria di una azione osservata possa permettere all’osservatore di apprendere, riproducendola, l’azione stessa (Ferrari et al., 2006; Gross, 2006).



Figura 2.3: Imitazione in un cucciolo di scimmia (tratto da Gross, 2006)

Quanto al secondo punto, i neuroni *mirror* che codificano per un’azione sono attivati nella corteccia frontale premotoria di un osservatore e codificano per una rappresentazione di tipo motorio. Tale rappresentazione motoria automaticamente indotta dell’azione osservata è del tutto analoga a quella che viene spontaneamente generata durante l’azione eseguita; in questo modo il sistema *mirror* trasforma una informazione visiva in una “simulazione motoria”, al fine di permettere la comprensione dell’azione e la sua finalità (Rizzolatti et al., 2001).

A favore di ciò, vi sono diversi studi condotti nell’ultimo decennio. Kohler e collaboratori (Kohler et al., 2002) hanno dimostrato che un gruppo di neuroni *mirror* (definiti “audio-visivi”) non scaricano solo quando la scimmia vede un’azione, ma anche quando essa sente il solo rumore prodotto da un’azione nota; il solo sentire il rumore attiva pertanto la rappresentazione motoria

interna dell'azione, e quindi attiva una simulazione motoria, permettendo di capire l'azione stessa ed il fine.

Risultati analoghi sono stati trovati in uno studio condotto da Umiltà e collaboratori (Umiltà et al., 2001): in un primo esperimento una scimmia veniva messa ad osservare una certa azione (es. una mano che afferra una nocciolina); in un secondo esperimento, invece, l'osservazione della stessa azione veniva celata nella parte finale (es. quando la mano era vicina alla presa della nocciolina; in altri termini la scimmia poteva soltanto vedere la mano che si avvicinava all'oggetto senza però poter vedere l'interazione di questa con l'oggetto). Anche in questo secondo caso vi era una attivazione di una buona parte dei neuroni attivati nel primo esperimento, suggerendo che il primate fosse in grado tramite rappresentazione motoria di capire (e, soprattutto, prevedere) lo scopo dell'azione, indipendentemente dal averne visto la effettiva realizzazione finale.

Infine, in uno studio di Fogassi e collaboratori (Fogassi et al., 2005) è stato dimostrato che i neuroni *mirror* contenuti nel lobulo parietale inferiore non codificano per singoli atti motori (es. afferrare) ma per catene di atti motori, ossia per una serie di atti motori strettamente e serialmente connessi. Ciò consente, probabilmente, una migliore codifica dello scopo dell'azione (nell'"afferramento per mangiare" e nell'"afferramento per lanciare" si attivano diverse popolazioni neuronali, nonostante l'atto motorio di per sé, ovvero l'afferrare, sia simile); tale caratteristica si manterrebbe anche durante l'osservazione di atti eseguiti da altri individui e potrebbe permettere di comprendere in modo selettivo l'intenzione dell'azione dell'agente, anche senza la necessità che l'azione finalizzata osservata venga conclusa.

- **Il sistema mirror nell'uomo**

Se quanto detto sinora è comunemente accettato in letteratura, è invece fonte di grande dibattito l'esistenza di neuroni *mirror* nell'uomo e, in particolare, la loro funzione.

I dati a favore dell'esistenza di un circuito *mirror* nell'uomo non derivano, come nella scimmia, da una registrazione diretta dell'attività neuronale, ma sono frutto di studi indiretti che utilizzano tecniche neurofisiologiche e di *neuroimaging*. Ad esempio, in un esperimento di stimolazione magnetica transcranica (TMS), Fadiga e collaboratori (Fadiga et al., 2005) videro che l'osservazione di azioni transitive o intransitive aumentava l'ampiezza dei potenziali motori (MEPs) registrati, e che tale incremento era somatotopico, ovvero selettivo per aree che codificavano i movimenti che l'osservatore avrebbe dovuto utilizzare per riprodurre quello osservato. Tale dato, oltre ad indicare un'attivazione motoria durante l'osservazione di azioni, consente di individuare una peculiarità del sistema *mirror* dell'uomo, che si attiverebbe infatti anche per movimenti intransitivi cioè non direttamente indirizzati verso un oggetto.

Parallelamente, numerosi studi di risonanza magnetica funzionale (fMRI) hanno evidenziato che l'osservazione di azioni fatte da un altro individuo induce la comparsa di un'attivazione corticale che interessa sia aree visive (aree occipitali, porzioni del parietale e del temporale) sia aree corticali con funzione prettamente motoria (Buccino et al., 2001). Tali aree, localizzate nel lobo parietale (parte rostrale del lobulo parietale inferiore) e nel lobo frontale (parte inferolaterale del giro precentrale e parte posteriore del giro frontale inferiore o IFG), sono ritenute il centro del sistema *mirror* nell'uomo (Cattaneo and Rizzolatti, 2009).

A favore di ciò, studi di correlazione hanno mostrato una omologia tra l'area F5 nella scimmia e la *pars opercularis* di IFG (BA 44: parte dell'area di Broca) nell'uomo (Binkofski and Buccino, 2004). Tale area, generalmente considerata non motoria, avrebbe invece un ruolo motorio anche nell'uomo, contenendo anche rappresentazioni di movimenti della mano (Binkofski et al., 1999).

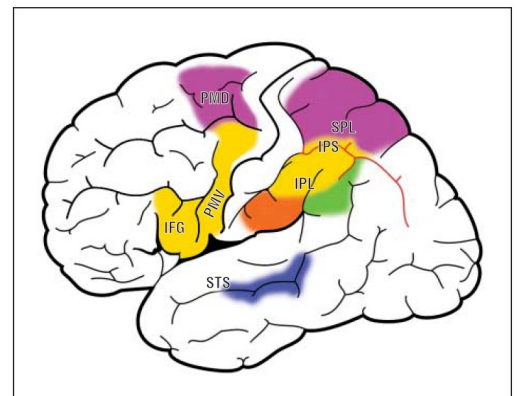


Figura 2.4: Il circuito mirror nell'uomo (tratta da Cattaneo & Rizzolatti, 2009)

- **Il ruolo funzionale del sistema mirror nell'uomo.**

Posto che, come gli studi precedentemente descritti sembrerebbero indicare, esista un sistema *mirror* nell'uomo, quale è il suo ruolo funzionale?

Un'osservazione interessante per comprendere le funzioni di tale sistema deriva da uno studio di risonanza funzionale (fMRI) del 2004 (Buccino et al., 2004a, 2004b): in tale lavoro i partecipanti dovevano osservare determinate azioni (mordere, o gesti comunicativi come baciare, parlare, abbaiare) compiute da un uomo, una scimmia o un cane. Nel caso del morso, il pattern di attivazione a livello corticale era il medesimo (lobulo parietale inferiore e *pars opercularis* di IFG), indipendentemente dalla specie osservata; nel caso del linguaggio o del bacio (un gesto comunicativo dei primati) veniva ad attivarsi un'area frontale in IFG che non si attivava nel caso del cane che abbaia. In altri termini, se l'azione compiuta da un terzo è parte del vocabolario motorio dell'osservatore la comprensione dell'azione stessa è mediata dalla rappresentazione motoria mediante l'attivazione del sistema *mirror*, come precedentemente descritto dalla scimmia. Se, invece, l'azione non fa parte del vocabolario motorio non si ha un'attivazione del sistema frontale dei neuroni *mirror*; la comprensione del movimento in questo caso non deriva da una esperienza corporea, non potendo attivare alcuna "risonanza" motoria, ma utilizza vie prevalentemente visive o attraverso informazioni provenienti dal contesto, non *mirror*.

In uno studio condotto su un gruppo di soggetti in età infantile e con un normale grado di sviluppo (Cattaneo et al., 2007) veniva richiesto ai partecipanti di osservare lo sperimentatore che afferrava del cibo e se lo portava alla bocca, oppure che afferrava un oggetto e lo deponeva in un contenitore; la registrazione elettromiografica dei muscoli di apertura della bocca ha mostrato che nel primo caso vi era una attivazione sottosoglia di tali muscoli durante il *reaching/grasping*, mentre ciò non si verificava nel movimento finalizzato ad afferrare un oggetto.

In conclusione, anche nell'uomo, come nella scimmia, l'attivazione motoria dei neuroni *mirror* avviene in relazione alla comprensione del fine dell'azione

(Iacoboni et al., 2005); in altre parole, è verosimile supporre che il sistema *mirror* sia necessario per comprendere l'azione eseguita da un altro soggetto. Lo scopo che si vuole raggiungere condiziona e determina il tipo di movimento dal suo inizio alla sua fine; riproducendo mentalmente nel cervello un'azione osservata è pertanto possibile capirne il senso e l'intenzione. Comprendere le intenzioni degli altri ha con sé un vantaggio evolutivo che ha contribuito alla selezione positiva di tale proprietà.

Un altro ruolo importante rivestito dal sistema *mirror* è quello di permettere l'imitazione di una azione e, tramite l'imitazione, l'apprendimento di nuovi pattern motori. Tale ruolo, anche esso simile a quanto già descritto per la scimmia, è stato indagato in studi di fMRI (Buccino et al., 2004c) e rTMS (Heiser et al., 2003). Infine, studi recenti hanno indagato il ruolo del sistema *mirror* nella comprensione di un comportamento affettivo; tale circuito potrebbe essere importante nel definire le basi neurali dell'empatia (Iacoboni, 2009).

- **Il sistema mirror ed il linguaggio**

Come si è visto, vi sono molte evidenze a favore del fatto che i neuroni *mirror* costituiscano le basi neurali di un meccanismo in grado di creare un tramite diretto tra chi manda un messaggio e chi lo riceve. Grazie a tale meccanismo, infatti, le azioni fatte da altri individui diventano messaggi che vengono compresi da un osservatore attraverso una simulazione motoria.

Partendo da ciò, è possibile che il sistema *mirror* abbia contribuito allo sviluppo della comunicazione tra individui, dapprima come comunicazione gestuale e successivamente come linguaggio (Gentilucci and Corballis, 2006; Rizzolatti and Arbib, 1998). E' infatti ipotizzabile che una iniziale comunicazione costituita da "proto-segni" gestuali, di matrice pantomimica, abbia successivamente iniziato ad evolversi in un linguaggio di matrice vocale a cui la gestualità è, nel corso del tempo, divenuta accessoria (Gentilucci and Corballis, 2006). Il sistema *mirror* sarebbe intervenuto creando una piattaforma comunicativa tra gesto e linguaggio; secondo tale

teoria gesto e linguaggio sarebbero espressione, pertanto, di un unico sistema di comunicazione (Kendon, 2004; McNeill, 1996), di cui il gesto sarebbe il progenitore.

Più in dettaglio, il linguaggio vocale umano si sarebbe evoluto da una comunicazione gestuale motoria, possibile attraverso il sistema *mirror* che avrebbe consentito di riconoscere una azione altrui e la finalità di questa. Tale comunicazione “motoria” sarebbe quindi avvenuta tramite movimenti sia manuali (gesto) che oro-facciali, come accade in alcune scimmie prossime all’uomo. Con l’evoluzione e con la stretta relazione che si sarebbe creata tra movimenti oro-facciali e gesti, l’informazione e la comunicazione con un altro individuo sarebbe poi stata veicolata associando alla via gestuale la vocalizzazione. Tale forma di comunicazione sarebbe ulteriormente evoluta, e l’insieme di gesti e vocalizzazioni sarebbe stata, con la maturazione dell’area di Broca, progressivamente sostituita dalle parole, a tal punto da far diventare il gesto accessorio nell’emissione di suoni (Corballis, 2010, 2009; Gentilucci and Corballis, 2006; Rizzolatti and Arbib, 1998).

In tale ottica, il meccanismo del sistema *mirror* costituisce, come si vedrà anche oltre parlando della *Embodied Cognitive Theory*, il presupposto neurobiologico necessario perché il linguaggio abbia potuto svilupparsi sulla base dell’esperienza corporea; il linguaggio non sarebbe quindi un sistema amodale, ma una facoltà mentale con origini motorie, che ripesci nella riattivazione tramite i *mirror* delle esperienze motorie passate il significato stesso delle parole che utilizza come simboli.

L’idea che il linguaggio verbale abbia una base gestuale è sostenuta anche da alcuni linguisti, in quella definita “Teoria motoria della percezione del linguaggio” (Lieberman et al., 1967). Tale teoria motoria del linguaggio è supportata in letteratura da numerose evidenze scientifiche.

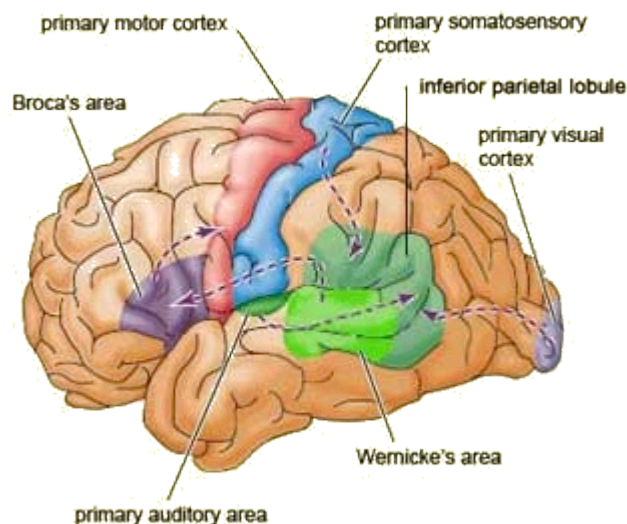


Figura 2.5: Schematizzazione delle aree coinvolte nel linguaggio umano; sono anche evidenziate la corteccia motoria e sensitiva primarie.

Alcuni autori hanno dimostrato un legame tra la produzione del linguaggio (in senso di fonazione e articolazione) ed il gesto, con studi sia di tipo neurofisiologico (es. Fadiga et al., 2002) che di *neuroimaging* (Wilson et al., 2004).

Particolarmente interessanti sono a tal proposito gli studi condotti da Gentilucci e collaboratori. In uno studio cinematografico del 2001, gli autori

(Gentilucci et al., 2001) dimostrarono una stretta e selettiva relazione tra il movimento della mano, movimento della bocca e vocalizzazione. Ai partecipanti veniva richiesto di afferrare con la mano oggetti di piccole o grandi dimensioni e di aprire la bocca a loro piacimento: l'apertura della bocca risultò direttamente proporzionale all'apertura delle dita (maggiore in presenza di oggetti grandi). In un secondo esperimento i partecipanti dovevano pronunciare sillabe (es. GU o GA) stampate sulla superficie di oggetti di piccole o grandi dimensioni: non solo l'apertura delle labbra ma anche i parametri acustici legati alla vocalizzazione erano modulati dalle caratteristiche cinematiche della prensione effettuata. Studi successivi hanno non solo confermato la relazione tra il movimento dei due effettori e la vocalizzazione, ma hanno anche mostrato come tale influenza sia reciproca e persista anche quando il movimento della mano è osservato in un altro individuo (Gentilucci and Campione, 2011; Gentilucci, 2003; Gentilucci et al., 2004a, 2004b); ciò ha portato ad ipotizzare l'esistenza di un meccanismo di controllo tra mano e bocca che avrebbe permesso, nel corso dell'evoluzione, il passaggio da una comunicazione gestuale a una comunicazione verbale (Gentilucci and Corballis, 2006).

Se quanto detto sinora descrive una relazione tra linguaggio e gesto sul piano articolatorio e fonologico, è possibile che tale relazione sia presente anche su un piano semantico, ossia in termini di contenuto del linguaggio stesso. Come accennato in precedenza, infatti, è possibile ipotizzare che per definire il significato di una parola (o quantomeno per accedere a esso, si veda la parte sperimentale) possa essere necessaria una riattivazione motoria. In altri termini, non solo le azioni motorie osservate ma anche le parole riattiverebbero, attraverso il sistema *mirror*, un piano motorio. La comprensione di una parola avverrebbe attraverso la riattivazione della rappresentazione motoria (o, in modo più esteso, dell'esperienza sensitivo-motoria) legata al significato della parola stessa. L'esistenza dei neuroni *mirror* audio-visivi (Kohler et al., 2002) ovvero di neuroni *mirror* in grado di rispondere a stimoli visivi (come l'osservazione di una azione) ed acustici (come una parola), si pone a sostegno dell'ipotesi formulata.

La teoria sovraesposta, inoltre, si sposa bene con quelle teorie sulla conoscenza che immaginano un'unitarietà tra percezione, azione e cognizione (Thelen, 1996): tra tali teorie, la principale è la teoria della cognizione come "*embodied*" (*Embodied Cognition Theory*), legata cioè al corpo ed alle esperienze sensitivo-motorie, secondo cui per comprendere le parole verrebbero riattivate le concrete esperienze sensitivo-motorie legate ai concetti cui le parole fanno riferimento (simulazione motoria): la cognizione in genere ed il linguaggio in particolare sarebbero "fondati" (*grounded*; Barsalou, 1999) su azioni "corporali" (*bodily*) e sarebbero quindi inseparabili dalle rappresentazioni motorie stesse.

Non vi è dunque una separazione tra i processi cognitivi più di base, quale la percezione o l'azione, e i processi cognitivi "alti", come il linguaggio. Al contrario, le aree deputate al linguaggio non possono essere indipendenti, amodali: aree classicamente considerate come puramente motorie (es. area motoria primaria) e aree deputate classicamente all'elaborazione del

linguaggio (es. area di Broca) svolgono anche funzioni rispettivamente linguistiche o motorie (Binkofski and Buccino, 2004; Pulvermüller, 2005; Rizzolatti and Arbib, 1998). Anche in questo caso, sono numerosi gli studi di *neuroimaging* e neurofisiologici prodotti a supporto delle ipotesi illustrate.

In un lavoro di fMRI, Chao e Martin (Chao and Martin, 2000; per una review si vedano Martin and Chao, 2001 e Noppeney, 2008) hanno mostrato che la denominazione e la lettura dei nomi di oggetti manipolabili attivavano aree corticali pre-motorie. Pulvermüller e collaboratori (Pulvermüller et al., 2001) compararono il pattern EEG di soggetti durante l'ascolto di verbi che indicavano azioni eseguite con gli arti inferiori (es. camminare) piuttosto che con il volto (es. parlare): nel primo caso essi dimostrarono l'attivazione di aree frontali prossime a quelle della rappresentazione somatotopica della gamba, nel secondo caso, invece, documentarono una attivazione di aree poste più inferiormente, prossime alle aree di rappresentazione somatotopica di bocca e volto. L'attivazione di tali aree avverrebbe precocemente, intorno a 170 ms dalla presentazione dello stimolo verbale (Pulvermüller, 2005).

In un lavoro di TMS, Buccino e collaboratori (Buccino et al., 2005) mostrarono che i MEPs registrati da muscoli della mano o del piede erano modulati dalla presentazione di frasi che si riferivano rispettivamente a gesti compiuti con la mano ed a gesti compiuti con il piede: i processi di simulazione motoria, dunque, sarebbero specifici per l'effettore utilizzato. Tale modulazione può essere sia di tipo inibitorio (es. Buccino et al., 2005) sia di tipo eccitatorio (si veda Boulenger et al., 2007; Glenberg and Kaschak, 2002).

Nel 2012 Gentilucci e collaboratori (Gentilucci et al., 2012) misurarono la formante F1 di soggetti mentre questi pronunciavano singole vocali, parole di significato compiuto ("grande" e "piccolo") e non-parole, e simultaneamente producevano un gesto grande e piccolo con una o due mani. Gli autori mostrarono che le dimensioni del gesto compiuto andavano a modulare la formante in modo direttamente proporzionale, a confermare una influenza anche sul piano semantico tra gesto e parola.

- **Le critiche alla teoria motoria del linguaggio**

Nel 2009 Caramazza e collaboratori (Lingnau et al., 2009) utilizzarono un particolare protocollo di fMRI (chiamata "*fMRI adaptation*") grazie al quale è possibile valutare la fisiologica riduzione alla risposta da parte di una data popolazione neuronale in seguito alla ripetuta esposizione ad uno stimolo ("adattamento"). Se l'osservazione e l'esecuzione di un'azione è mediata dallo stesso *pattern* neuronale, è verosimile aspettarsi che l'adattamento sia presente anche quando un gesto venga prima eseguito e poi osservato; tale dato, tuttavia non fu riscontrato nello studio citato. Gli autori conclusero che, alla luce dei risultati ottenuti, l'attivazione motoria non fosse necessaria alla comprensione del verbo e che invece tale attivazione motoria, documentata in più studi, fosse conseguenza dell'avvenuta comprensione; infine, essi sottolinearono l'assenza di dati certi che confermassero l'esistenza del sistema *mirror* nell'uomo.

Critiche analoghe sono state rivolte anche verso l'interpretazione motoria del linguaggio.

Innanzitutto, dal punto di vista comportamentale più volte sono stati descritti pazienti incapaci di utilizzare gli oggetti (ad esempio per aprassia) senza alcun deficit dal punto di vista linguistico, ad indicare che gli aspetti "motori" di un oggetto e gli aspetti semantici sono separati (si veda Mahon and Caramazza, 2008).

Bedny e collaboratori (Bedny et al., 2012) eseguirono una fMRI durante comprensione di verbi d'azione in una popolazione di soggetti normali e in una popolazione di soggetti ipovedenti dalla nascita; l'ipotesi dello studio prevedeva che, se la comprensione dei soggetti e la loro rappresentazione è sensori-motoria, allora soggetti ipovedenti avrebbero dovuto avere un pattern di attivazione diverso rispetto ai soggetti normali. Tale ipotesi non fu però verificata, e gli autori, in contrasto con l'*Embodied Cognition Theory*, sostennero che aree diverse sottendono all'uso funzionale degli oggetti

rispetto a aree volte al riconoscimento verbale. Essi negarono una rappresentazione modale dei concetti, a fronte di una rappresentazione amodale dei contenuti (Bedny and Caramazza, 2011; Bedny et al., 2008; Fairhall and Caramazza, 2013); secondo tale interpretazione, l'attivazione delle aree motorie dopo presentazione di azioni o verbi di azione sarebbe accessoria ed avverrebbe dopo la compresione (Mahon and Caramazza, 2008).

Anche Willems e collaboratori (Willems et al., 2010) mostrarono in un lavoro di fMRI che le aree coinvolte in compiti lessico-semantici di riconoscimento di un verbo d'azione erano differenti rispetto a quelle coinvolte in compiti di immaginazione del verbo stesso (con attivazione, solo nel secondo caso, della corteccia motoria primaria). Questo studio ha anche il merito di aver distinto la "simulazione mentale" dalla "immagine mentale" di un verbo, e di aver sottolineato l'importanza del task nel pattern di attivazione ottenuto.

Anche il contesto nel quale un verbo è utilizzato può modulare l'attivazione della corteccia motoria. Questa flessibilità permetterebbe di ipotizzare che, quando il contesto rende improbabile l'interpretazione "motoria" di un verbo d'azione (che probabilmente è l'interpretazione di default) la corteccia motoria non viene attivata (Willems and Hagoort, 2007; Willems et al., 2007). Il sistema è, pertanto, flessibile e l'interpretazione motoria non è l'unica possibile.

Nel dare uno sguardo di insieme alle critiche sino a qui esaminate, risulta chiaro che, a fronte di interpretazioni e di risposte diverse, la questione fondamentale è il ruolo che ha il sistema motorio nel linguaggio e, ancora più a monte, nella rappresentazione dei concetti. Proprio in ragione di ciò, tali indagini sul contenuto semantico non possono non tenere conto delle conoscenze sviluppate dalla neuropsicologia sul sistema semantico.

Tali dati verranno presentati nel prossimo capitolo.

IL SISTEMA SEMANTICO

La memoria a lungo termine è generalmente suddivisa in tre differenti sistemi mnestici che vengono distinti sulla base delle caratteristiche e degli attributi che sottendono l'archiviazione e l'immagazzinamento dei ricordi: la memoria episodica, la memoria autobiografica e la memoria semantica (Denes and Pizzamiglio, 1996). Nella memoria episodica sono conservati i ricordi di specifici eventi che non hanno coinvolto il soggetto in prima persona e che mantengono integre le loro relazioni spazio-temporali. Nella memoria autobiografica i ricordi episodici sono arricchiti della componente soggettiva di colui che li ha vissuti in prima persona e organizzati in modo legato alla personale esperienza con quell'oggetto, luogo, fatto o persona. Infine, nella memoria semantica i ricordi acquisiti sia attraverso il linguaggio, sia attraverso i sensi vengono privati di qualsiasi attributo di tipo soggettivo, slegati dal contesto dal quale sono tratti e dagli episodi da cui originano, i quali generalmente vengono cancellati e persi per sempre (es. la nozione “Madrid è la capitale della Spagna” spesso si accompagna alla perdita delle circostanze e degli eventi che hanno portato a possedere questa informazione).

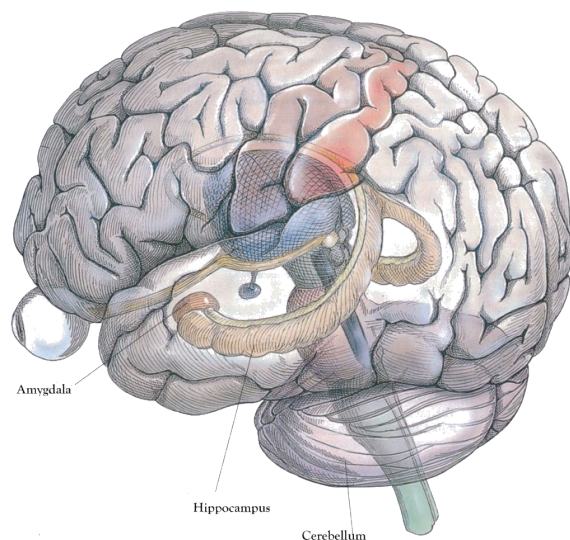


Figura 3.6: L'ippocampo, una delle strutture cerebrali più correlate con la memoria.

La memoria semantica è l'insieme delle conoscenze che un individuo possiede del mondo, degli oggetti, delle parole e degli attributi che li definiscono. Essa riguarda il patrimonio di conoscenze relative al significato

delle parole, e segna il passaggio dal “ricordare” al “conoscere”. L’esistenza del sistema semantico, separato e distinto da altri sistemi cognitivi, è indicata per la prima volta in uno studio di Warrington (Warrington, 1975): in questo lavoro venivano descritti tre pazienti i quali, a fronte di processi linguistici, visuospatiali ed intellettivi normali, presentavano un deficit a carico delle conoscenze relative di alcuni oggetti, con perdita del significato di essi.

La memoria semantica non ha attributi soggettivi (come invece la memoria autobiografica) e “particolari”, ossia riferibili a un preciso oggetto concreto (come invece la memoria episodica). Al contrario, le tracce semantiche (che possiamo definire “concetti”) sono prive di ogni attributo soggettivo, sono slegate dal contesto da cui sono tratte e da cui originano, e sono invece frutto di una rielaborazione e purificazione delle tracce episodiche. Le diverse tracce sono organizzate in base al significato oggettivo che esse hanno e presentano attributi analoghi per tutti i “membri” di una determinata categoria semantica. Tali attributi sono chiamati “tratti semantici”: sono, cioè, le informazioni relative alle proprietà di un oggetto che definiscono il significato di una parola, specificando ad esempio le caratteristiche percettive e sensoriali (es. forma, colore, dimensione,...) o quelle funzionali (es. modalità d’uso). L’insieme di parole diverse con più tratti semantici in comune viene detta categoria semantica.

Per fare un esempio, il concetto di “cane” (traccia semantica) richiama alla coscienza attributi (tratti semantici) analoghi a tutti i particolari esemplari appartenenti alla categoria semantica di “cane”: “animale a 4 zampe”, “con coda”; “abbaia”... Sempre la parola “cane” richiama anche ricordi della memoria autobiografica (es. “il mio cane si chiama Fido”) e di quella episodica (es. “un cane ha salvato un uomo caduto nel fiume”).

Si ha, insomma, una generalizzazione, una purificazione delle informazioni che derivano da “un particolare” fino a definire le caratteristiche semantiche di una categoria, e le correlazioni che essa ha con altre categorie.

La memoria semantica è, inoltre, un sistema dinamico; essa possiede i caratteri dell’universalità, ovvero la capacità di essere condivisa per larga

parte dalla maggioranza dei membri di una determinata cultura in un certo periodo storico, e permette l'astrazione, il processo che sta alla base della capacità peculiare dell'essere umano di compiere la generalizzazione di un concetto, acquisire elementi ed informazioni da un nuovo membro di una categoria fino a stabilire nuove correlazioni semantiche in una determinata categoria (Antonucci and Reilly, 2008). Inoltre, la memoria semantica possiede la caratteristica dell'automaticità, grazie alla quale non è possibile ad esempio per un soggetto impedire il riconoscimento di un determinato animale come un cane o un gatto. L'universalità, l'astrazione e l'automaticità permettono che il contenuto semantico sia elaborato sia per il rapido riconoscimento degli oggetti e delle parole con cui ci si trova ad interagire (codifica dalle forme ai concetti), sia per la produzione spontanea di parole, frasi o disegni (decodifica dello stimolo dai concetti alle forme).

Per quanto vi sia un sostanziale accordo in letteratura circa l'esistenza di un magazzino di conoscenze concettuali autonomo rispetto altri sistemi cognitivi (sistema semantico) e con meccanismi indipendenti sia dai meccanismi linguistici che dai meccanismi visuo-percettivi, vi è un acceso dibattito circa l'organizzazione di tale sistema e la relazione tra semantica e modalità di acquisizione dei concetti.

- **Lo studio del sistema semantico: le categorie semantiche**

Come già accennato, e come spesso accade in neuropsicologia, i primi studi sul sistema semantico hanno tratto le mosse dallo studio clinico di pazienti con dissociazioni, ovvero di quei pazienti che, a seguito di una lesione cerebrale, presentino una compromissione a carico di un sottosistema cognitivo, senza che altri sottosistemi ne risultino danneggiati.

Già si è detto che la concezione stessa di sistema semantico nasce dallo studio di Warrington del 1975 (Warrington, 1975) in cui vennero descritti pazienti con un deficit di tipo semantico senza compromissione dei processi

linguistici, visuospatiali ed intellettivi (si veda, per lo studio in questione, il *“reversed concreteness effect”* al capitolo successivo).

Studi ulteriori hanno evidenziato che il deficit semantico può essere selettivo per concetti appartenenti ad una specifica categoria semantica.

E' ancora Warrington (Warrington and Shallice, 1984) che descrisse un gruppo di quattro pazienti con disturbo selettivo di denominazione e comprensione di figure appartenenti alla categoria semantica delle entità biologiche, con risparmio di concetti appartenenti a altre categorie (es. artefatti). Tale dato è stato confermato anche successivamente (Hillis and Caramazza, 1991a; Sartori et al., 1993), ma è solo nel 2003 che Capitani e collaboratori (Capitani et al., 2003) hanno pubblicato una revisione critica della letteratura. Basandosi sulla revisione dei lavori nei quali venivano presentati pazienti con dissociazioni per categorie semantiche, gli autori hanno identificato l'esistenza della categoria “entità biologiche” (animali, verdura, frutta, parti del corpo; la maggior parte dei pazienti mostra un deficit a carico di tale categoria), divisa a sua volta in “oggetti animati” (es. animali) e “inanimati” (es. vegetali), e l'esistenza della categoria “artefatti” (oggetti, strumenti musicali, mezzi di trasporto). Gli autori, inoltre, hanno affermato che non esiste una associazione tra compromissione di una categoria semantica e la modalità di accesso della conoscenza stessa (es. visiva, funzionale, ecc...): non vi è, quindi, una correlazione tra tipo specifico di categoria semantica e modalità di conoscenza.

Vi è quindi una distinzione tra magazzino semantico e modalità di accesso; negli studi di neuropsicologia si distinguono pertanto due tipi di disturbi, uno di accesso al magazzino della memoria semantica, l'altro legato alla perdita delle rappresentazioni contenute nel magazzino semantico stesso.

- **L'organizzazione del sistema semantico**

Come accennato in precedenza, vi sono diverse teorie che spiegano l'organizzazione del sistema semantico e la relazione tra esso e la modalità di acquisizione dei concetti.

Analizzeremo tali punti separatamente.

Quanto all'organizzazione del sistema semantico, le teorie proposte sono raggruppabili in due gruppi:

- 1) Il **Principio delle strutture correlate (*Correlated Structure Principle*)** prevede che l'organizzazione della conoscenza degli oggetti a livello cerebrale venga costruita in base alla correlazione statistica esistente tra le loro proprietà strutturali;
- 2) Il **Principio delle strutture neurali (*Neural Structure Principle*)** prevede che l'organizzazione della conoscenza sia su base semantica, stabilita da rappresentazioni forzate, imposte a livello cerebrale.

Entrando più in dettaglio:

1) *Correlated Structure Principle*

Qualsiasi struttura nell'organizzazione delle conoscenze riflette il modo in cui le proprietà degli oggetti sono statisticamente correlate le une con le altre nel mondo.

Due le principali teorie:

1.1) *Organized Unitary Content Hypothesis (OUCH; Caramazza and Hillis, 1990; Caramazza et al., 1990)*

Secondo tale ipotesi, la conoscenza è organizzata a “gruppi”, a “cumuli” di concetti, nei quali gli oggetti che condividono molte proprietà sono rappresentati insieme, vengono cioè raggruppati in base alla correlazione statistica esistente tra le loro proprietà strutturali. In altri termini, le rappresentazioni semantiche degli oggetti che hanno lo stesso tipo di componenti, hanno forme simili, son fatti di materiale simile o hanno movimenti affini sono raggruppate insieme, in aree prossime, e sono contigue anche a livello neuroanatomico. Secondo tale teoria, pertanto, il grado di condivisione di proprietà tra gli oggetti appartenenti ad una

categoria influenza l'organizzazione concettuale delle conoscenze. L'organizzazione a livello cerebrale non è quindi strettamente semantica, ma è basata sul grado in cui le proprietà degli oggetti co-occorrono nel mondo. Secondo la teoria OUCH, le categorie semantiche con proprietà maggiormente correlate (es. entità naturali) sono colpite frequentemente poiché "compattate" in uno spazio concettuale ed anatomico limitato. D'altra parte, pensare che oggetti di una categoria siano preferenzialmente coinvolti in un deficit unicamente perché condividono proprietà simili non da ragione di una dissociazione categoriale così netta e specifica quale è quella riscontrata in alcuni pazienti.

1.2) ***Conceptual Structure Account (Tyler and Moss, 2001)***

Secondo tale teoria, nata per rendere più precisa la OUCH, il sistema concettuale non è organizzato per domini di oggetti o modalità. Le cose viventi hanno più caratteristiche (es. percettive o funzionali) comuni rispetto alle cose non viventi, che al contrario presentano caratteristiche più informative, peculiari, distintive. Inoltre, anche le informazioni funzionali di un oggetto animato sono strettamente correlate con proprietà percettive, meno specifiche e meno selettive per quell'oggetto singolo (come detto prima) e più condivise tra i vari elementi della categoria (es. ha gli occhi $\Leftrightarrow$ può vedere; ha le zampe $\Leftrightarrow$ può camminare); le informazioni funzionali di un oggetto inanimato sono invece necessarie per determinare quali caratteristiche percettive un oggetto deve avere per assolvere al suo ruolo funzionale (es. poiché deve rotolare $\Leftrightarrow$ deve essere sferico; poiché deve infilzare $\Leftrightarrow$ ha delle punte).

Per fare un esempio, un'animale (es. tigre come in Taylor et al., 2007) presenta, dal punto di vista semantico, proprietà percettive che sono in gran parte comuni e condivise da altri animali (es. ha le zampe, la coda, gli occhi, un naso), e poche caratteristiche distintive e selettive (es. ha le strisce). Un oggetto (es. coltello) presenta invece caratteristiche funzionali selettive strettamente correlate, e relativamente poche caratteristiche comuni con altri

oggetti. In altre parole, i concetti vengono ad essere rappresentati in una rete di connessioni composte da unità che rappresentano proprietà semantiche e dove l'elaborazione di un concetto corrisponde a pattern di attivazioni sovrapposte tra le diverse unità, che vanno a rappresentare il concetto. Nel caso degli oggetti, le connessioni che si vengono a creare sono poco numerose, ma altamente specifiche per quell'oggetto, e forti poiché basate su caratteristiche funzionali (es. "in grado di tagliare"). Nel caso degli esseri viventi, invece, si avranno connessioni numerose e strette tra molte unità che tuttavia sono aspecifiche per l'oggetto in questione e si possono riferire a molti oggetti della stessa categoria; le connessioni con le caratteristiche specifiche dell'oggetto non saranno particolarmente forti, poiché basate unicamente su una base percettiva e non funzionale (le strisce della tigre). Tale teoria, quindi, sostiene che i due domini (esseri viventi e oggetti inanimati) differiscano tra loro relativamente al grado con cui le caratteristiche condivise e distintive di un oggetto sono correlate. Mentre gli esseri viventi tendono ad avere caratteristiche molto condivise, altamente correlate (ad esempio, "ha gli occhi", "ha un naso",...), le loro caratteristiche peculiari sono debolmente correlate con quelle di un altro oggetto. Le cose non viventi, invece, tendono ad avere molte caratteristiche specifiche, distintive, che sono strettamente correlate con le altre caratteristiche di un oggetto non vivente, grazie in particolare ad un legame di tipo funzionale (ad esempio "ha una lama" ed "utilizzato per tagliare"); le loro caratteristiche

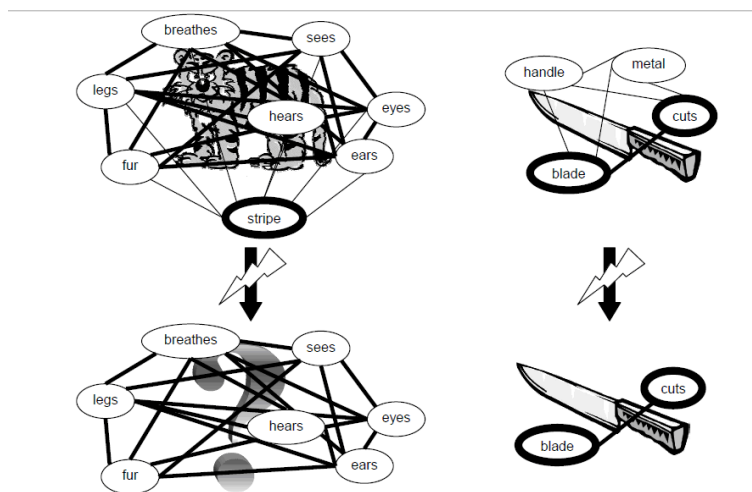


Figure 12.3. The Conceptual Structure Account. Thin circles represent non-distinctive (shared) and thick circles distinctive features. Thin straight lines represent weak and thick lines strong correlations between features. The CSA proposes that category-specific semantic deficits for living things arise because the internal structures of concepts in the living and nonliving domains differ in critical ways: the distinctive features of living things (left panel) are weakly correlated with other features, making them susceptible to damage, while the distinctive features of nonliving things are strongly correlated, protecting them from damage. Since distinctive features are relatively more important for the identification of objects, brain damage will more likely result in a category-specific semantic impairment for living things.

(ad esempio "ha una lama" ed "utilizzato per tagliare"); le loro caratteristiche

Figura 3.7: The conceptual structure account (tratto da Taylor et al., 2007)

comuni sono, invece, relativamente meno.

Dal momento che le proprietà correlate sono più resistenti ai danni in questo tipo di rete, la teoria prevede che le proprietà distintive (non quelle condivise) degli esseri viventi saranno particolarmente vulnerabili ai danni, mentre i tratti distintivi delle cose non viventi saranno relativamente risparmiate dal danno.

Le categorie semantiche dunque sono determinate da proprietà e attributi percettivi che attivano pattern correlati a specifiche funzioni.

2) *Neural Structure Principle*

L'organizzazione delle conoscenze a livello cerebrale è determinata ed imposta da vincoli rappresentazionali interni, predefiniti.

Due sono le principali teorie proposte in tal senso:

2.1) *Sensory/Functional Theory (SFT; Warrington and McCarthy, 1987; Warrington and Shallice, 1984)*

Le conoscenze sono suddivise in due sottosistemi modalità-specifici: visuo-percettivo e funzionale-associativo. Ogni sottosistema raccoglie selettivamente una certa classe di conoscenze ed è implicato in modo preferenziale nell'identificazione di determinate categorie; così, il magazzino visuo-percettivo conterrebbe informazioni riguardanti le proprietà semantico-visive (visuo-percettive) di un oggetto, associandosi preferenzialmente alle categorie biologiche, a strumenti musicali e, in modo meno specifico, ad oggetti non manipolabili; il magazzino funzionale-associativo, invece, contiene informazioni semantiche funzionali, ed è associato alle categorie "manufatti", "parti del corpo" e, in modo meno specifico, ad oggetti manipolabili. I termini "funzionale associativo" e "percettivo" sono, in realtà, un po' generici, ed ognuno di essi racchiude diversi aspetti della conoscenza concettuale: ad esempio, il termine "funzionale associativo" racchiude non solo la funzione dell'oggetto, ma anche il motivo per cui viene utilizzato, il modo con cui è usato, il contesto, e così via; il termine "percettivo", che generalmente si riferisce ad informazioni visive, può riferirsi anche ad

informazioni registrate attraverso canali sensitivi differenti rispetto allo stimolo visivo, e può racchiudere diverse caratteristiche percettive come la forma, il colore, il materiale, l'esistenza di *sensory quality categories* (la forma sarebbe più importante per riconoscere gli animali, il colore per la frutta ed i liquidi) e così via. La capacità di ricordare e denominare entità differenti dipenderebbe quindi dall'associazione preferenziale di queste ad uno o all'altro sottosistema (i.e. percettivo per entità viventi, funzionale-associativo per gli oggetti) (Humphreys and Forde, 2001; Martin et al., 2000). La distinzione funzionale dei diversi sottosistemi è compatibile con una visione che preveda una organizzazione modalità-specifica delle conoscenze a livello cerebrale; tale distinzione, inoltre, si riflette anche in una distinzione anatomica precisa.

Esistono diverse formulazioni della SFT, ma tutte pressappoco tutte presentano le caratteristiche sopra descritte; si segnala unicamente, perché particolarmente importante, la teoria sensorimotoria (SMT) (Martin et al., 2000): gli artefatti manipolabili sono identificabili se è intatta la conoscenza, pratica e funzionale, di come si usano.

Numerosi dati in letteratura depongono contro una stretta visione della SFT. L'identificazione di una distinzione all'interno della categoria delle entità naturali tra "animato" (es. animali) ed "inanimato" (es. frutta/vegetali) (documentata in diversi studi, si veda Capitani et al., 2003) non è prevista nella SFT, che non prevede una dissociazione tra elementi esperiti in modo simile per via percettiva. Anche l'assenza di una stretta associazione tra tipo di deficit (es. entità naturali) e modalità percettiva (es. visiva) (i.e. non tutti i pz con un deficit selettivo a carico della categoria delle cose viventi hanno deficit visuo-percettivi, né tutti i pz con deficit visuo-percettivi hanno deficit semantici nella categoria delle cose viventi) (Capitani et al., 2003) è elemento contrario alla SFT.

2.2) *Domain Specific Account* (Caramazza and Mahon, 2003; Caramazza and Shelton, 1998)

Tale teoria prevede una organizzazione delle conoscenze di tipo categoriale. Le conoscenze sarebbero organizzate secondo domini specifici. I due domini principali sono le categorie biologiche e i manufatti. Gli oggetti appartenenti a queste due categorie avrebbero caratteristiche percettive e concettuali distinte, peculiari, riconosciute da meccanismi specializzati. Le categorie quindi non differirebbero tra loro per la modalità con cui la conoscenza è stata acquisita (es. modalità visiva, oggetti naturali) come accade nella SFT, ma per dominio di conoscenza.

La distinzione di un dominio piuttosto che di un altro sarebbe l'esito di un adattamento evolutivo che avrebbe portato alla selezione di quelle categorie utili per la sopravvivenza (Laiacina et al., 2003). Pertanto, solo le categorie che sono state selezionate dall'evoluzione (es. animali, cospecifici, frutta/vegetali, artefatti) possono esistere e conseguentemente risultare compromesse in seguito ad un danno cerebrale; in altri termini, solo quei domini di concetti che sono stati importanti per l'evoluzione e la sopravvivenza umana sono rappresentati in zone settoriali, discrete del cervello, e possono essere selettivamente compromessi.

Questo spiegherebbe la presenza di dissociazioni categoria-specifiche molto frequenti e di altre che invece non si osservano mai in pazienti cerebrolesi. Analogamente, un danno selettivo a carico di una categoria semantica interesserà in modo equivalente tutti i tipi di concetto contenuti all'interno della categoria, indipendentemente dalla modalità con cui è avvenuta la conoscenza: pertanto, differentemente da quanto postulato dalla SFT, non vi è associazione tra un deficit per una modalità con cui avviene la conoscenza (es. visiva, percettiva,..) e una specifica categoria. Tale teoria, infine, è compatibile con una visione di un sistema semantico unico ed amodale, ma con vie di accesso che possono essere multimodali (si veda oltre).

Table 1. Schematic representation of the basic predictions entailed by the main types of explanations of category-specific deficits

	<i>Categories selectively or disproportionately impaired</i>	<i>Type of knowledge defective in the (most) impaired categories</i>	<i>Type of knowledge defective in the (relatively) spared categories</i>
	<i>Theories based on the correlated structure principle</i>		
OUCH-type	Any category sufficiently compact in conceptual space	All types of knowledge	No specific impairment
	<i>Theories based on the neural structure principle</i>		
SFT-types	All categories for which the crucial modality-specific subsystem is damaged (e.g., biological categories)	Semantic information crucial for the impaired category (e.g., visual)	Semantic information crucial for the impaired category (e.g., visual)
D-S account	Only evolutionarily salient categories (e.g., animals, fruit and vegetables, conspecifics (tools?))	All types of knowledge	No specific impairment

Figura 3.3: Tratto da Capitani et al., 2003

- **La relazione tra sistema semantico e le modalità di accesso ai concetti**

Come abbiamo visto, non vi è un'univoca visione sul come sia organizzato il sistema semantico.

Un discorso analogo può essere fatto per spiegare la relazione tra il sistema semantico e le modalità di accesso ad esso.

Le discussioni a tale proposito hanno tratto le mosse dalla descrizione di pazienti che presentavano dissociazioni all'interno delle capacità di elaborazione dell'informazione semantica, ovvero, in altri termini, dalla descrizione di pazienti con afasie specifiche per categoria semantica (come abbiamo già descritto prima) e per modalità sensoriale. A tale proposito, già Freund nel 1889 descrisse un caso di afasia per stimoli presentati attraverso la modalità visiva, ma non attraverso altre modalità sensoriali; tale dato è stato confermato poi da altri studi (Lhermitte and Beauvois, 1973; McCormick and Levine, 1983), mentre altri lavori hanno descritto pazienti con anomalie specifiche per stimoli presentati in modalità acustica (Denes and Semenza, 1975) o tattile (Beauvois et al., 1978).

Proprio l'esistenza di afasie specifiche per modalità ha portato Warrington e Shallice (Warrington and Shallice, 1984; Warrington, 1975) a teorizzare che esistessero sistemi semantici multipli, dovuti alla separazione fra sistema verbale e sistema visivo (Warrington and McCarthy, 1987). L'ipotesi dell'esistenza di più magazzini semantici fu sostenuta anche da altri autori.

L'osservazione che pazienti afasici non in grado di denominare o comprendere un oggetto (ad es. una sedia) fossero tuttavia in grado di utilizzarlo correttamente portò Semenza e collaboratori a ipotizzare l'esistenza di due magazzini semantici, uno "semantico lessicale" legato ai significati delle parole ed uno "concettuale" legato a rappresentazioni della conoscenza più in generale.

E' tuttavia proprio l'esistenza di pazienti con deficit per una categoria semantica specifica che va a confutare l'ipotesi dell'esistenza di magazzini semantici multipli: tali pazienti presentano infatti un deficit semantico indipendente dalla modalità di accesso, che coinvolge tutti gli elementi appartenenti a una data categoria semantica e pertanto non può essere giustificato ipotizzando una rappresentazione semantica modalità-specifica. L'assenza di una associazione tra deficit categoriale e modalità venne definitivamente dimostrata dalla revisione di Capitani e collaboratori (Capitani et al., 2003) a cui si è fatto già cenno in precedenza.

Sulla scorta di ciò, Riddoch e collaboratori ipotizzarono l'esistenza di un magazzino unico ed amodale. Secondo gli autori (Humphreys et al., 1988; Riddoch and Humphreys, 1987; Riddoch et al., 1988) esisterebbe un unico magazzino semantico dove le informazioni sulle proprietà fisiche, funzionali, e le caratteristiche associative sarebbero rappresentate in modo indipendente dalle modalità di acquisizione e di presentazione dello stimolo. Le diverse modalità di presentazione dello stimolo (es. visiva, uditiva-verbale, tattile,...) verrebbero invece ad essere riconosciute in un modello presemantico: in tale sistema il riconoscimento è percettivo, ed all'interno di esso vi sono magazzini dove sono contenute la descrizione strutturale degli oggetti, la descrizione ortografica delle parole, il lessico d'entrata uditivo, e così via, in modo indipendente dal contenuto. Le varie modalità di presentazione convergerebbero verso un'unica via, con accesso alla semantica (ossia al contenuto). Gli effetti di modalità si spiegherebbero pertanto con un danno a carico del sistema presemantico. Ad esempio, se una nozione viene elaborata per via visiva, essa entrerà prima in un

magazzino contenente la descrizione strutturale degli oggetti (il cosiddetto sistema di descrizione strutturale), dove verranno ad essere specificate le caratteristiche visive dell'oggetto; solo in un secondo tempo lo stimolo passerà nel sistema semantico, dove sono rappresentate le caratteristiche semantiche dello stimolo in oggetto e dove sono situate le sue caratteristiche funzionali ed associative.

In un altro studio anche Sartori e Job (Sartori and Job, 1988) ipotizzarono l'esistenza di un sistema di descrizione presemantico e suggerirono che un deficit di riconoscimento per una categoria specifica non dovesse necessariamente dipendere da un danno a livello semantico. Secondo gli autori infatti non solo la descrizione strutturale degli oggetti sarebbe presemantica ma essa sarebbe organizzata in modo categoriale. Gli effetti categoriali sarebbero quindi basati sulla descrizione strutturale presemantica e sarebbero da attribuire alla similarità visiva tra elementi appartenenti alla stessa categoria. La conoscenza basata sulle informazioni visive sarebbe quindi di pertinenza del sistema descrittivo strutturale, che precede il magazzino semantico, mentre il magazzino semantico vero e proprio conterrebbe una conoscenza di tipo associativo-verbale.

La questione dei sistemi semantici multipli è stata infine affrontata anche da Caramazza e collaboratori (Caramazza et al., 1990; Hillis and Caramazza, 1991b). Tali autori sostennero l'esistenza di un unico magazzino semantico amodale. Le dissociazioni per modalità di accesso sarebbero quindi spiegabili dal fatto che ogni tipo di compito (riconoscimento visivo, riconoscimento verbale e così via) utilizzerebbe informazioni fornite da porzioni diverse di una unica rappresentazione amodale.

In considerazione di quanto detto sinora, nello stato attuale di cose si ritiene che esista un unico magazzino semantico amodale. L'organizzazione dei concetti all'interno del magazzino semantico sarebbe da un lato determinata dalla natura e dalla forza dei legami tra le varie componenti, ma dipenderebbe anche da una organizzazione "intrinseca" delle conoscenze di tipo categoriale, come postulato dalla *Domain Specific Account* (si veda

prima Caramazza and Mahon, 2003). Le modalità d'entrata e di uscita interagirebbero con l'organizzazione interna del sistema semantico; se è possibile che sia tale interazione a determinare gli effetti di modalità, è altresì possibile che le vie di accesso e di uscita a tale sistema amodale siano multimodali.

- **Il sistema semantico: verso dove?**

Gran parte degli studi e delle teorie che abbiamo sino ad ora descritto disegnano ipotesi contrapposte e spesso con confini ben netti: un solo sistema semantico o più di uno; un sistema modale oppure un sistema amodale; una funzione del sistema sensori-motorio che può essere semantica, presemantica o nulla, e così via.

Negli ultimi anni il tentativo che molti gruppi di lavoro stanno facendo è quello di indagare i punti di contatto tra le diverse teorie, disegnando un sistema semantico dai confini più sfumati che meglio rispecchi la complessità e la fluidità del sistema semantico che ciascuno di noi esperisce tutti i giorni.

In una review del 2002 Hauser, Chomsky e Fitch (Hauser et al., 2002) affrontano la questione della semantica e del linguaggio con un approccio multidisciplinare. Essi distinguono innanzitutto tra una facoltà linguistica “in senso lato” (*broad sense*) e una facoltà linguistica “in senso stretto” (*narrow sense*). La prima definisce il linguaggio come un sistema di comunicazione: esso è rappresentato da un *core* di rappresentazioni semantiche e di processi grammaticali che si relaziona con il sistema sensori-motorio e con il sistema concettuale-intenzionale ma che è da entrambi indipendente e ben distinto. Il linguaggio “*narrow sense*” è rappresentato proprio da questo *core*, da questo sistema computazionale interno che sceglie le rappresentazioni semantiche e le organizza secondo criteri logici, grammaticali e matematici, “che genera rappresentazioni interne e le mappa all'interno di una interfaccia sensori-motoria tramite il sistema fonologico ed all'interno di una interfaccia intenzionale-concettuale attraverso il (...) sistema semantico”. Il sistema sensori-motorio pertanto non è parte dei processi linguistici, ma è una via

d'uscita che il sistema linguistico vero e proprio utilizza per l'espressione e che può sottolineare, a fini comunicativi, alcuni aspetti del significato. Se altri animali utilizzano i meccanismi sensori-motori e concettuale-intenzionale a scopo comunicativo, il meccanismo computazionale (che permette di generare un range infinito di espressioni da un finito range di elementi) è caratteristica peculiare dell'uomo. E' possibile che esso sia l'evoluzione di un sistema computazionale sviluppatosi negli animali a scopo diverso dalla comunicazione (capacità di navigazione e di orientamento spaziale, relazioni sociali, calcolo, ecc...), utilizzato ed evolutosi nell'uomo per fini comunicativi; alcuni studi evoluzionistici e di biologia comparativa sembrano supportare l'ipotesi di questo "*spandrel*".

Anche le indagini primitivamente condotte sull'uomo hanno aperto negli ultimi anni nuove strade nello studio della semantica e del linguaggio. In particolare, grazie all'utilizzo di sofisticate tecniche neurofisiologiche e di neuroimaging (accanto agli studi neuropsicologici delle lesioni), alcuni gruppi di lavoro hanno cercato di rispondere alla questione di dove siano localizzate le diverse parti del sistema semantico, cercando di integrare gli aspetti neurofunzionali con aspetti neuroanatomici.

Già con gli studi di lesione è stato dimostrato un ruolo del lobo temporale sinistro per la categoria "biologica", con una distinzione a seconda delle sottocategorie: la categoria degli "animali" interesserebbe aree temporali sinistre più anteriori, mentre la categoria della frutta e dei vegetali interesserebbe le porzioni media e posteriore del giro fusiforme sinistro (Capitani et al., 2009, 2003; Scotti et al., 2010). In un esperimento di fMRI, Chao e Martin (Chao and Martin, 2000) trovarono che la denominazione di artefatti attivava la corteccia premotoria ventrale sinistra, ma studi successivi hanno mostrato pattern di attivazione più varia (es. aree temporali).

Un modello ottimale per lo studio della semantica sono pazienti affetti da demenza semantica, una variante della demenza fronto-temporale caratterizzata dalla perdita di conoscenze di oggetti o concetti (ovvero da un danno semantico), indipendentemente dalla modalità con cui essi sono stati

presentanti. Numerosi studi concordano nel localizzare il danno nella demenza semantica a livello delle porzioni anteriori di entrambi i lobi temporali (Mummery et al., 2000; Nestor et al., 2006). Il fatto che tale zona rappresenti una area cruciale per la semantica è dimostrato anche da studi di neuroimaging (mediante PET, Bright et al., 2004) e neurofisiologici (Pobric et al., 2007).

In una review del 2007, Patterson e collaboratori (Patterson et al., 2007) riprendendo una idea presente da alcuni anni in letteratura, ipotizzarono che il lobo temporale anteriore fosse una area in cui rappresentata l'informazione semantica in modo amodale (Guo et al., 2013; Jefferies and Lambon Ralph, 2006; Jefferies, 2013; Patterson et al., 2007). In tale lavoro, in particolare, si supera la distinzione storica tra sistema modale o amodale, e viene ripreso la concezione di un sistema semantico costituito da “*hub*” e “*spokes*”. Tale teoria ipotizza che la rappresentazione semantica sia rappresentata in modo amodale e localizzata nella parte anteriore dei lobi temporali (*hub*). L'accesso a tali rappresentazioni semantiche, così come le eventuali uscite, sono invece multiple, modali e utilizzano rappresentazioni sensitivo-motorie (*spokes*).

E' evidente, pertanto, che a un medesimo concetto si possa accedere attraverso differenti vie modali. La scelta di una o un'altra delle vie di accesso alla semantica amodale è funzione del tipo di stimolo e del task richiesto dal compito.

Tale teoria non solo ha il pregio di superare, integrandole, le visioni modale ed amodale, ma disegna anche un sistema semantico fluido ed adattabile, plasmabile in ragione del concetto, della modalità e del contesto in cui esso viene recuperato. Essa, inoltre, potrebbe rendere anche ragione dei diversi risultati, talora apparentemente contraddittori, che diversi studi in questi anni hanno portato in letteratura.

Prima di valutare sperimentalmente se tale teoria, o una delle precedenti, possa spiegare una delle dissociazioni categoriali più note in letteratura,

ovvero la dissociazione tra termini astratti e termini concreti, è necessario descrivere in che cosa consista tale dissociazione, e quali ne siano le basi teoriche.

LA RAPPRESENTAZIONE DEI TERMINI ASTRATTI E CONCRETI

Le dissociazioni tra deficit cognitivi sono, come è noto, uno dei cardini metodologici che ha permesso la nascita e lo sviluppo della neuropsicologia moderna.

In particolare, una doppia dissociazione di comune riscontro e a lungo studiata in letteratura è quella che riguarda l'elaborazione dei termini concreti e dei termini astratti.

A partire soprattutto dalla metà del secolo scorso, numerosi studi neuropsicologici in soggetti normali (Paivio, 1991 per una review) hanno evidenziato in diversi compiti linguistici (decisioni lessicali, recall,...) una performance migliore nell'elaborazione di concetti concreti rispetto a concetti astratti; questo effetto è noto con il nome di effetto di concretezza (*concreteness effect*). Tale quadro è stato confermato anche da studi su pazienti: soggetti afasici, ad esempio, sono generalmente più compromessi nell'utilizzo di parole astratte rispetto a parole concrete; ciò è stato documentato nel linguaggio spontaneo (Howes and Geschwind, 1964), in compiti di lettura (Coltheart et al., 1980), di scrittura (Bub and Kertesz, 1982), di ripetizione (Martin and Saffran, 1992), di comprensione (Franklin et al., 1994), di denominazione (Franklin et al., 1995) e in esercizi di rievocazione libera di parole (Christian et al., 1978; Rubin and Friendly, 1986).

Sono, tuttavia, stati descritti anche pazienti che presentano un pattern opposto, ovvero una *performance* migliore per l'elaborazione dei termini astratti rispetto ai concreti. Nel 1981 Warrington (Warrington, 1981) descrisse un paziente incapace di denominare gli oggetti per via visiva, con una difficoltà progressiva per i termini astratti rispetto a termini concreti apparentemente più semplici. Qualche anno dopo, la stessa Warrington e collaboratori nel 1984 (Warrington and Shallice, 1984) descrissero un paziente in grado di definire in modo meno preciso i termini concreti (es. barbiere) rispetto a termini astratti (es. opinione). Tale dissociazione, opposta a quella che accade comunemente, è stata descritta più volte in letteratura e

per compiti differenti (Bachoud-Levi and Dupoux, 2003; Papagno et al., 2009; Warrington, 1981, 1975). Essa è nota con il nome di “effetto di concretezza invertito” (*reversed concreteness effect*) e si verifica generalmente in pazienti affetti da una demenza semantica (Breedin et al., 1994; Macoir, 2009; Yi et al., 2007) o con una pregressa encefalite erpetica (Sirigu et al., 1991; Warrington and Shallice, 1984), ovvero in pazienti che presentano danni cerebrali localizzati alle regioni temporali anteriori (ciò tuttavia non è vero nella totalità dei casi; ad es. un paziente descritto da Warrington, 1981 presentava una lesione in regione post-rolandica sx).

L'esistenza sia di un effetto di concretezza che del *reversed concreteness effect* consentono di ipotizzare che il differente *processing* di parole astratte e concrete non dipenda unicamente da un gradiente di difficoltà, ma che invece dipenda dall'esistenza di differenti vie di elaborazione dello stimolo a livello cerebrale.

Da più decenni diversi studiosi hanno cercato di formulare varie ipotesi che consentissero di rendere ragione delle due differenti vie di elaborazione, e permettessero, in termini più generali, di comprendere meglio l'organizzazione del linguaggio a livello cerebrale.

In particolare, tre sono le principali ipotesi formulate:

- **Dual Coding Theory** (Paivio, 1991, 1986; Sadoski and Paivio, 2004): secondo tale teoria l'elaborazione dei nomi astratti utilizzerebbe una rappresentazione puramente verbale e spazialmente localizzata in emisfero sinistro; l'elaborazione dei nomi concreti utilizzerebbe invece, oltre ad una rappresentazione verbale analoga a quella dei nomi astratti, anche una rappresentazione visuo-percettiva, localizzata spazialmente in emisfero destro (*second image based*); in altri termini, la semantica delle parole astratte sarebbe rappresentata da un codice verbale-simbolico, mentre quella delle parole concrete sarebbe rappresentata da un codice verbale-simbolico e da un codice *sensitive-based*. L'accesso a tale seconda rappresentazione avverrebbe attraverso l'immaginazione e la

possibilità di creare una immagine mentale del concetto concreto: le parole concrete utilizzerebbero pertanto preferenzialmente una strategia “immaginativa”, mentre le parole astratte utilizzerebbero obbligatoriamente una strategia verbale-associativa.

A supporto di questa teoria ci sono diversi studi comportamentali.

Villardita, Grioli e collaboratori (Villardita et al., 1988) dimostrarono che, in un compito di *recall*, i pazienti con lesioni all'emisfero destro presentavano prestazioni peggiori per i nomi concreti rispetto ai sani, mentre nessuna differenza era evidenziata per i nomi astratti.

Eviatar (Eviatar et al., 1990) evidenziò in un compito di decisione lessicale che stimoli presentati nel campo visivo sinistro di pazienti commissurotomizzati erano identificati correttamente solo quando erano rappresentati da concetti concreti, con prestazioni invece notevolmente peggiori per i concetti astratti.

- **Context-availability Theory** (Schwanenflugel and Shoben, 1983): il recupero più efficiente per i termini concreti non dipenderebbe da un sistema non verbale con cui essi sarebbero rappresentati, ma da un maggiore supporto contestuale ad essi garantito. L'effetto di concretezza dipenderebbe dall'accesso, da parte di parole concrete, a un maggior numero di informazioni verbali correlate con gli input concreti stessi; i termini concreti avrebbero, in altre parole, più ricche informazioni associative rispetto ai nomi astratti. Le parole concrete sarebbero elaborate più facilmente rispetto a quelle astratte perché evocherebbero una maggior quantità di informazioni contestuali concettualmente associate.

Anche in questo caso esistono diversi studi comportamentali a favore della teoria.

Ad esempio, Schwanenflugel in diversi studi (Schwanenflugel and Shoben, 1983; Schwanenflugel et al., 1992, 1988) dimostrò che parole

astratte non mostravano significative differenze rispetto a quelle concrete se presentate all'interno di un adeguato supporto contestuale.

Analoga per alcuni versi alla *Context-Availability*, la “**Differential number of semantic features hypothesis**” (Jones, 1985; Plaut and Shallice, 1993) prevede che le parole concrete siano facilitate dalla presenza di maggiori caratteristiche semantiche correlate con esse rispetto a quelle correlate con i termini astratti. L'accesso ad un più ampio bacino semantico comporterebbe che i termini concreti verrebbero rievocati con più facilità (*ease of predication*), come dimostrato in studi condotti su soggetti dislessici (Jones, 1985).

Pur rendendo ragione dei casi in cui si documenta un effetto di concretezza, nessuna di queste due teorie può spiegare i quadri di *reversed concreteness effect*. Altre teorie sono state formulate quindi per spiegare entrambi gli effetti.

- **Embodied Cognition Theory** (Barsalou, 2008, 1999): tale teoria parte dal presupposto che le conoscenze semantiche non si fondino su rappresentazioni mentali simboliche ed amodali, ma su meccanismi sensitivo-motori (si veda anche il capitolo sul sistema semantico). Il recupero del significato di un oggetto (sia della sua immagine, che della parola con cui tale oggetto è indicato) non verrebbe fatto in modo amodale, ma in modo percettivo, attraverso una riattivazione del sistema neurale motorio e sensitivo con cui saremmo in grado di interagire con l'oggetto stesso (*Perceptual Symbol Systems* in Barsalou, 1999; Gallese and Lakoff, 2005; Glenberg and Kaschak, 2002; Glenberg, 1997). La riattivazione del sistema sensitivo-motorio consisterebbe in una simulazione (ossia una riproduzione) interna delle esperienze sensitive-motorie che coinvolgono l'oggetto o l'azione che una parola indica. In tale ottica, i concetti astratti verrebbero compresi per analogia a partire da esperienze concrete, da schemi immaginativi e da schemi motori (Lakoff

and Johnson, 1999). Rispetto alle teorie precedenti che predicono una rappresentazione più povera per i concetti astratti rispetto ai concreti, in questo caso la teoria predice una rappresentazione più ampia e diffusa per i primi: i termini astratti necessiterebbero infatti di una attivazione più ampia affinché possano essere “simulati” tutti quegli schemi motori e sensitivi in cui il concetto astratto è stato esperito; in altri termini, i termini astratti necessiterebbero di una maggior numero di informazioni semantiche perché le loro reti semantiche sarebbero meno consistenti.

Per capire come la *Embodied Cognition Theory* possa render ragione del *reversed concreteness effect* può essere utile citare un lavoro del 2009 di Bonner e collaboratori (Bonner et al., 2009). Gli autori hanno ipotizzato che la presenza di una *reversed concreteness effect* nei pz con demenza semantica dipendesse da un deficit di elaborazione delle caratteristiche semantiche visuoperceptive, verosimilmente localizzate in aree associative nelle regioni temporali anteriori bilateralmente. In tal caso, un deficit maggiormente evidente a carico delle caratteristiche visuoperceptive comporterebbe un conseguente deficit nel recupero delle rappresentazioni sensitivo-motorie necessarie per comprendere concetti concreti, con conseguente deficit per l’elaborazione di questi ultimi.

Accanto alle tre teorie principali sino a qui descritte, vi sono altre teorie che riprendono e approfondiscono alcune caratteristiche delle ipotesi viste sino ad ora.

Secondo Breedin, Yi e Macoir (Breedin et al., 1994; Macoir, 2009; Yi et al., 2007) i termini astratti e concreti si diversificherebbero in base al modo con cui essi sono stati acquisiti ed al peso delle caratteristiche semantiche sensoriali percettive (*sensory perceptual*) delle loro rappresentazioni. L’esperienza sensitiva sarebbe quindi la chiave per acquisire concetti concreti, mentre quelli astratti verrebbero acquisiti su base verbale, senza diretti input percettivi. Un deficit a carico delle rappresentazioni visuo-

percettive andrebbe pertanto a compromettere l'elaborazione di concetti concreti, mentre danneggerebbe poco o nulla quella dei concetti astratti, non rappresentati secondo modalità visuo-percettive.

Spiegazione ancora alternativa è quella di Crutch e Warrington (Crutch and Warrington, 2005a, 2005b; Warrington and Crutch, 2004). A partire dai risultati ottenuti da un pz ("AZ") affetto da afasia semantica, gli autori ipotizzarono che l'organizzazione e la rappresentazione delle parole concrete sarebbe di tipo prevalentemente "categoriale", mentre i concetti astratti sarebbero prevalentemente organizzati e compresi in relazione ed in associazione ad altri stimoli "contestuali" (in modo simile alla *Contextual Availability*). Il termine concreto "tigre", ad esempio, sarebbe meglio definito da caratteristiche categoriali (es. animale selvaggio, con 4 zampe, con la coda,..) e non da caratteristiche associative, contestuali (es. vive in Asia); il termine "felicità", astratto, sarebbe invece meglio definita da caratteristiche contestuali (es. è esperita in varie condizioni di letizia) e, meno, da caratteristiche categoriali (es. è simile alla gioia). Secondo tale teoria, un danno selettivo nelle informazioni organizzate in modo categoriale comporterebbe un danno selettivo per i termini concreti rispetto agli astratti.

- **Dati di NeuroImaging e di NeuroFisiologia.**

A sostegno delle diverse teorie, e per cercare di far maggior chiarezza tra esse, sono state utilizzate negli ultimi anni metodiche di tipo strumentale, sia di tipo neuroradiologico come la risonanza magnetica di base e funzionale (MRI e fMRI), la trattografia (DTI) e la tomografia ad emissione di positroni (PET), sia di tipo neurofisiologico come la stimolazione magnetica transcranica a single pulse (TMS) e ripetitiva (rTMS), l'elettroencefalogramma (EEG), i potenziali evento-correlati (ERP).

Nel complesso, tuttavia, i risultati ottenuti sino a oggi sono eterogenei e non del tutto dirimenti.

La maggior parte degli studi di MRI/fMRI che indagano la localizzazione del sistema semantico identificano un network neuronale diffuso, all'interno del

quale sono particolarmente coinvolte la regione temporale superiore posteriore sinistra (Friederici, 2002; Hillis et al., 2001; Piñango and Zurif, 2001), la corteccia frontale anteriore inferiore sinistra (inferior frontal gyrus o IFG) (Friederici et al., 2000; Gabrieli et al., 1998; Thompson-Schill et al., 1997) e il lobo temporale anteriore (soprattutto il sinistro, (Patterson et al., 2007). Se ad una visione d'insieme molti autori concordano su tale network, scendendo nel dettaglio, e andando cioè ad identificare le specifiche vie di *processing* dei termini concreti e astratti, i risultati si fanno molto meno omogenei.

In accordo con la *Dual Coding Theory*, alcuni studi di fMRI (Binder et al., 2005; Jessen et al., 2000; si veda Sabsevitz et al., 2005 per una review) evidenziano una attivazione prevalente per l'emisfero sinistro per le parole astratte e una attivazione bilaterale per le parole concrete. A conferma del fatto che le parole astratte godrebbero di una rappresentazione prevalentemente verbale si pone anche lo studio di Desai e collaboratori (Desai et al., 2011, 2010) che descrive, per la presentazione di frasi astratte, l'attivazione dell'area temporale superiore sinistra (BA 22) e del giro frontale inferiore (area di Broca, BA 44, 45, 47). Altri studi supportano tali dati, mostrando, per i termini astratti, una maggior attivazione dell'emisfero sinistro, sia di aree frontali (giro frontale inferiore sinistro, Noppeney and Price, 2004), sia di aree temporali (Binder et al., 2005; Grossman et al., 2002). Non tutti gli autori, tuttavia, concordano su tale punto: alcuni trovano per i termini astratti una attivazione prevalentemente in emisfero destro mentre altri riportano una attivazione bilaterale (Perani et al., 1999).

Altri autori ancora appoggiano posizioni intermedie: Fiebach e Friederici (Fiebach and Friederici, 2004) e Wang (Wang et al., 2010) propongono ad esempio un coinvolgimento per la comprensione verbale semantica sia del sistema visivo/immaginazione mentale (es. aree temporali, in particolari basali), come prevede la *dual coding theory*, che di aree prettamente semantiche verbali (giro frontale inferiore sinistro, aree temporali), come predetto dalla *contextual availability theory*.

Review of the literature comparing concrete to abstract noun semantic processing

Study	Task contrast	Concrete > Abstract		Abstract > Concrete	
		Region (BA)	<i>x, y, z</i>	Region (BA)	<i>x, y, z</i>
D'Esposito et al. (1997), <i>n</i> =7	Generate mental image to aurally presented CN vs. listen passively to AN	L. Fusiform	−33, −48, −18	R. SFG	19, 50, 24
		L. Premotor	−45, −3, 31	R. Precuneus	4, −74, 35
		L. Ant. Cing.	−7, −3, 42		
Mellet et al. (1998), <i>n</i> =8	Generate mental image to aurally presented CN definitions vs. listen passively to AN definitions	L. ITG/Fus.	−44, −58, −22	L. STG	−60, −22, 12
			−42, −32, −18	R. MTG	58, 2, −18
		R. ITG/Fus.	52, −50, −14	R. STG/STS	54, −20, 6
		L. ITG	−52, −62, −6		52, −26, 18
		L. Precent/MFS	−40, 4, 34		
			−28, 14, 30		
		L. Inf. Par. Lob.	−46, −38, 46		
		L. Precent. g.	−42, −16, 38		
		L. Premotor	−36, 4, 60		
Kiehl et al. (1999), <i>n</i> =6	Lexical decision (CN vs. AN blocks) ^a	–	–	R. STG	56, 11, 0
Perani et al. (1999a,b), <i>n</i> =14	Lexical decision (CN vs. AN blocks) ^a	–	–	L. IFG. (47)	−44, 14, −4
				R. IFG (47)	52, 20, −12
				L. STG	−58, 8, −16
				R. TP	42, 16, −36
				R. P-O (39/19)	40, −70, 36
				R. Ant. Cing.	6, 16, 40
				R. Amyg.	30, −4, −8
Jessen et al. (2000), <i>n</i> =14	Encode CN vs. encode AN	L. Par. Lob	−39, −69, 36	L. IFG	−57, 30, 3
		R. Par. Lob	42, −63, 42	R. Occipital g.	33, −78, 12
		L. Prefrontal	−42, 42, 9		
		L. Precuneus	−3, −57, 45		
Wise et al. (2000), <i>n</i> =18	Reading, hearing, and making semantic similarity judgments on words varying in imageability	L. Mid Fus.	−31, −40, −18	L. STG	not reported
			−35, −50, −14		
Grossman et al. (2002), <i>n</i> =16	“Pleasant” or “not pleasant” decision on printed names of animals, implements, and abstract nouns	–	–	[<i>Abs > Implem</i>]	
				L. Post. Lat. TL	−60, −32, 12
				[<i>Abs > Anim</i>]	
				L. Post. Lat. TL	−52, −68, 4
				L. Prefrontal	−24, 44, 12
				R. Med Frontal	16, 36, −4
				R. Post. Lat TL	56, −32, 16
Fiebach and Friederici (2003), <i>n</i> =12	Lexical decision (CN vs. AN)	L. Basal TL	−27, −41, 4	L. IFG	−46, 23, 7
Noppeney and Price (2004), <i>n</i> =15	Semantic relatedness decisions on CN and AN word triads	–	–	L. IFG	−54, 21, −6
				L. Ant. TP	−51, 18, −27
					−51, 9, −24
				L. MTG/STS	−60, −42, −6
Binder et al. (in press), <i>n</i> =24	Lexical decision (CN vs. AN)	L. Angular g.	−37, −74, 26	L. IFG	−46, 18, −4
		R. Angular g.	52, −58, 22		−39, 15, 14
			54, −48, 33		−35, 27, 7
		L. Post. Cing.	−12, −56, 11	L. Precent	−48, 9, 25
			−9, −45, 13		−48, −7, 40
			−7, −37, 36	L. IFS	−48, 22, 17
		R. Post. Cing.	5, −35, 38		−47, 33, 8
		L. Precuneus	−12, −62, 24	L. STG	−44, 12, −16
			−3, −74, 31		−54, 4, −9
		R. Precuneus	6, −68, 30		
			11, −54, 35		
			3, −62, 41		
		L. MFG	−28, 25, 48		
			−38, 19, 42		
		R. MTG	49, −49, 14		

Amyg = amygdala; AN = abstract noun; Ant = anterior; Cing = cingulate; CN = concrete noun; Fus = fusiform; g = gyrus; IFG = inferior frontal gyrus; IFS = inferior frontal sulcus; ITG = inferior temporal gyrus; L = left; Lat = lateral; Lob = lobule; MFG = middle frontal gyrus; MTG = middle temporal gyrus; Par = parietal; P-O = parietal occipital; Post = posterior; Precent = precentral; R = right; STG = superior temporal gyrus; TL = temporal lobe; TPn = temporal pole.

^a These studies used a block design that combined activation from words and nonwords in each condition.

Figura 4.1: Tabella tratta da Sabsevitz et al., 2004

In uno studio del 2007, Pexman e collaboratori (Pexman et al., 2007) trovarono una attivazione corticale più diffusa per i termini astratti rispetto ai termini concreti, con un coinvolgimento prevalente, per quanto riguarda gli astratti, di aree associative bilaterali. Gli autori conclusero che una rappresentazione più diffusa per gli astratti era consona con l'*Embodied Cognition Theory*, di cui pertanto sposarono i contenuti. Anche lo studio di Rodriguez-Ferreiro e collaboratori (Rodríguez-Ferreiro et al., 2011) ottenne risultati analoghi.

Ancora una volta, tuttavia, non tutti gli studiosi concordano: in un lavoro in fMRI già citato in precedenza, Bedny e collaboratori (Bedny et al., 2012) sostengono che l'elaborazione di verbi concreti non si avvalerebbe, a differenza di quanto prevede la *Embodied Cognition Theory*, di aree modali; ancora, in uno studio in fMRI Friederici e collaboratori (Friederici et al., 2000) sostennero che il pattern di attivazione non sia funzione dalle caratteristiche semantiche dello stimolo, ma dal compito richiesto: l'attivazione più diffusa per alcuni stimoli, pertanto, sarebbe da correlare al task e non al valore di astrattezza di essi.

In relazione a quanto sinora detto ed a dispetto di risultati interessanti ottenuti in molti degli studi citati, la scarsa omogeneità e la ampia variabilità degli stessi non consente ad oggi di tirare le somme in modo preciso. Le cause di tale variabilità sono probabilmente molteplici.

Innanzitutto i protocolli utilizzati per i diversi lavori sono molto variabili, non solo in termine di tecniche utilizzate ma anche in termini di compiti richiesti al paziente. Proprio il *task* differente, come sottolineato anche dallo studio di Friederici citato poco sopra, potrebbe condizionare sensibilmente il pattern di attivazione.

Inoltre, molti degli studi citati nella selezione degli stimoli non hanno tenuto conto della immaginabilità, ovvero la facilità con cui una certa parola evoca un'immagine mentale. Per quanto infatti vi sia una stretta relazione tra concretezza ed immaginabilità, le due cose non sono sovrapponibili (Bedny

and Thompson-Schill, 2006) e i diversi risultati in studi simili potrebbero dipendere dalla differente immaginabilità degli stimoli scelti. Un discorso analogo può essere fatto per la emotività legata ai vari stimoli (Kousta et al., 2009).

Infine, un altro fattore confondente potrebbe essere la classe grammaticale della parola utilizzata: è stato infatti dimostrato che i verbi ed i nomi seguono vie di *processing* in parte segregate. La poca omogeneità tra gli studi anche in relazione alla classe grammaticale potrebbe essere pertanto uno dei fattori confondenti.

Se ci limitiamo agli studi che utilizzano stimoli appartenenti alla classe grammaticale dei verbi, risulta evidente in molti casi una attivazione del sistema motorio o premotorio (Kiefer and Pulvermüller, 2012) per i verbi di azione o concreti. In uno studio del 2004, Hauk e collaboratori (Hauk et al., 2004) trovarono ad esempio una parziale sovrapposizione, con inoltre una certa somatotopicità, tra l'attivazione motoria per eseguire una azione e la comprensione verbale della medesima azione.

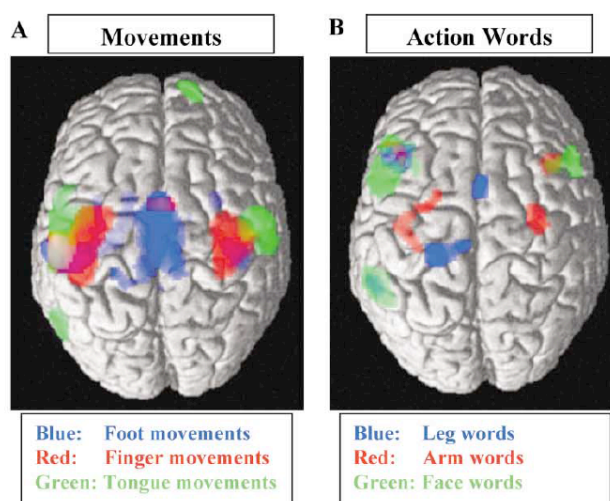


Figura 4.8: Tratta da Hauk et al., 2004. Come si vede le aree coinvolte nel movimento e nella comprensione di un verbo di azione sono in parte sovrapponibili.

Quanto alla rappresentazione dei verbi astratti, il dibattito è più articolato: alcuni autori sostengono un ruolo delle aree motorie anche nella comprensione di tali verbi (Glenberg et al., 2008), mentre altri sostengono che la comprensione di tali verbi utilizza solamente vie amodali; recentemente, infine, alcuni autori hanno appoggiato posizioni intermedie (Sakreida et al., 2013).

Non solo studi neuroradiologici ma anche studi neurofisiologici hanno cercato di fare maggiore chiarezza; anche in questo caso, tuttavia, si sono registrati diversi risultati spesso poco chiari e contraddittori.

Pulvermuller e collaboratori (Pulvermüller et al., 2005) definirono l'attivazione della corteccia motoria precocemente (100-200 ms) dopo la presentazione di un verbo d'azione (si veda per una review Pulvermüller, 2005).

In uno studio con stimolazione magnetica transcranica Claudia Scorolli e collaboratori (Scorolli et al., 2012) documentarono una precoce (250 ms) attivazione della corteccia motoria primaria per i termini concreti; essi documentarono inoltre una attivazione tardiva (650 ms) della corteccia motoria per i termini astratti.

Come la Scorolli, anche Buccino in uno studio in TMS (Buccino et al., 2005) trovò una modulazione del sistema motorio precocemente. Tuttavia egli non documentò un aumento dell'eccitabilità, ma piuttosto una inibizione della corteccia motoria primaria dopo presentazione di frasi il cui significato rimandava ad una azione concreta.

Nel 2009 Rumiati e collaboratori (Papeo et al., 2009) dimostrarono, sempre con un esperimento in TMS, che solo la stimolazione a 500 ms dopo la presentazione di un termine concreto induceva una facilitazione in un task semantico. Poiché tale facilitazione era tardiva e non precoce, gli autori conclusero che, differentemente da quanto sostenuto dagli studi di Scorolli e Buccino appena citati, l'attivazione del sistema motorio non contribuiva alla comprensione del verbo, ma era accessoria e post-concettuale.

La revisione degli studi sin qui condotta mostra un quadro eterogeneo e mal definito.

In considerazione di ciò, riteniamo che uno studio che utilizzi una tecnica che, come la stimolazione magnetica transcranica, consenta di studiare un aspetto funzionale con una alta definizione spaziale e temporale possa contribuire alla comprensione dell'organizzazione del linguaggio, del sistema semantico, e del ruolo del sistema motorio nel linguaggio.

SCOPO DELLA RICERCA

Numerosi studi neuropsicologici hanno dimostrato che l'elaborazione e la processazione semantica delle parole astratte e delle parole concrete segue a livello cerebrale vie almeno in parte distinte.

Per spiegare tale riscontro sono state formulate tre principali ipotesi: la *Dual Coding Theory* (Paivio, 1991, 1986; Sadoski and Paivio, 2004), la *Context Availability Theory* (Schwanenflugel and Shoben, 1983) e la *Embodied Cognition Theory* (Barsalou, 1999).

Le prime due ipotesi sostengono che i termini concreti godrebbero a livello cerebrale di un'attivazione corticale più ampia rispetto alle parole astratte, per la presenza di una doppia rappresentazione (verbale in emisfero sinistro e visuospatiale in emisfero destro; *Dual Coding Theory*) oppure di un maggior supporto contestuale (*Context Availability Theory*); si vedano i capitoli precedenti per un approfondimento delle teorie).

La *Embodied Cognition Theory*, invece, sostenendo che le conoscenze semantiche si fondino su meccanismi sensitivo-motori, prevede che per il recupero del significato di una parola sia necessaria la riattivazione dello stesso sistema neurale motorio e sensitivo che viene attivato quando si interagisce con l'oggetto cui la parola fa riferimento. I termini astratti, compresi per analogia attraverso l'attivazione di schemi motori e di esperienze concrete, godrebbero quindi di una rappresentazione più ampia e diffusa affinché possano essere "simulati" tutti gli schemi motori e sensitivi in cui il concetto astratto è stato esperito.

Per far maggior chiarezza tra le diverse ipotesi sono state utilizzate tecniche di neuroimaging e di neurofisiologia, con risultati tuttavia eterogenei, non dirimenti e spesso contraddittori. In particolare, non è chiaro se nel processing dei concetti concreti o astratti sia coinvolto il sistema motorio corticale, e, qualora lo sia, che ruolo esso rivesta.

Infatti, se da un lato molti studi hanno evidenziato una attivazione somatotopica del sistema motorio per l'elaborazione di verbi d'azione (Dalla

Volta et al., 2009; Kiefer and Pulvermüller, 2012), altri hanno mostrato che la sua attivazione non è necessaria, e, quando presente, può non essere automatica ma dipendere dal contesto in cui la parola concreta viene processata (Schuil et al., 2013; van Dam et al., 2012). Anche per i verbi astratti, che secondo la *Embodied Cognition Theory* sarebbero rappresentati attraverso aree sensitivo-motorie, il dibattito è acceso, ed in questo caso molti sono gli autori che sostengono una rappresentazione amodale e verbale (Sakreida et al., 2013).

Anche quando, considerato l'ampio supporto bibliografico, si consideri come dimostrato il coinvolgimento del sistema motorio nell'elaborazione delle parole concrete, il ruolo che esso avrebbe non risulta tuttavia chiaro.

Claudia Scorolli e collaboratori (Scorolli et al., 2012) in un esperimento di stimolazione magnetica transcranica (TMS) trovarono una precoce (250 ms) attivazione della corteccia motoria primaria (M1) per i termini concreti.

Anche Giovanni Buccino, sempre in un esperimento in TMS, trovò una modulazione dell'area motoria primaria dopo presentazione di frasi d'azione (Buccino et al., 2005); tuttavia, a differenza di quanto descritto da Scorolli, la modulazione documentata era una interferenza, e non un aumento dell'eccitabilità corticale.

Ancora, se molti lavori trovano che il sistema motorio sia modulato precocemente dopo presentazione di una parola d'azione (Hauk et al., 2008), altri autori documentano tale modulazione solo tardivamente (Papeo et al., 2009). In questo caso, il ruolo del sistema motorio non sarebbe rilevante per l'elaborazione semantica, e la sua modulazione sarebbe accessoria, post-concettuale e frutto dall'avvenuta comprensione.

Per cercare di fare maggiore chiarezza in un ambito così rilevante e nello stesso tempo poco definito, e, in ultimo, per contribuire ad una miglior comprensione di come sia organizzato il sistema semantico e di quali siano

le sue relazioni con il linguaggio ed il sistema motorio, abbiamo condotto un esperimento di stimolazione magnetica transcranica (TMS) sull'area motoria primaria di soggetti volontari sani dopo presentazione di verbi d'azione e astratti. Nello specifico, il nostro studio ha affrontato le questioni aperte descritte nei paragrafi precedenti:

- 1) Vi è una modulazione della corteccia motoria dopo presentazione dei verbi d'azione e/o astratti?
- 2) Posto che tale modulazione vi sia, essa è di tipo eccitatorio o di tipo inibitorio?
- 3) La modulazione è precoce, e pertanto contribuirebbe alla comprensione del significato del verbo, oppure è tardiva, e pertanto post-concettuale?

Infine, dal momento che, come abbiamo visto, al momento attuale non esiste una ipotesi che possa rendere conto di tutti i dati sperimentali acquisiti, l'approccio più proficuo non ci appare quello di appoggiare selettivamente una teoria o un'altra, ma di analizzarne i punti di contatto sulla base delle indagini e dei dati sperimentali, sostenendo posizioni intermedie (Fiebach and Friederici, 2004; Patterson et al., 2007; Wang et al., 2010).

Si tratta, in altre parole, non solo di capire se e quando il sistema motorio contribuisca alla comprensione di termini concreti, ma anche come e in che condizioni ciò avvenga. Pertanto,

- 4) la modulazione della corteccia motoria dopo presentazione di un verbo è sempre necessaria, oppure viene meno in alcune condizioni (ad esempio con la ripetizione dello stimolo)?

Per evitare fattori di confondimento, dal momento che non solo i termini astratti e concreti ma anche elementi appartenenti a classi grammaticali diverse (in particolare nomi e verbi, Damasio and Tranel, 1993) hanno una rappresentazione corticale distinta, abbiamo utilizzato esclusivamente stimoli appartenenti alla classe dei verbi.

MATERIALI E METODI

Per il presente studio abbiamo condotto due esperimenti: un primo esperimento comportamentale in cui sono stati misurati i tempi di reazione (RTs) ed un secondo esperimento con stimolazione magnetica transcranica a singolo impulso. Entrambi gli esperimenti sono stati condotti presso il Dipartimento di Neuroscienze dell'Università di Parma (prof. Gentilucci).

- **Esperimento comportamentale**

- a. Partecipanti e apparato sperimentale

Hanno partecipato all'esperimento 14 soggetti destrimani, di cui 9 femmine e 5 maschi, di età compresa tra 21 e 39 anni, di madrelingua italiana.

Ad ogni partecipante veniva presentata una serie di 80 stimoli, costituiti da verbi italiani, alla forma infinita, il cui significato rimandava in una metà dei casi ad una azione concreta eseguita con la mano (es. "*stirare*") e nell'altra metà dei casi ad una azione astratta (es. "*fidare*").

Ciascuna serie era divisa in due blocchi identici, in cui veniva cambiato solamente l'ordine di presentazione degli stimoli che era sempre quasi-randomizzato. Per ogni blocco ogni verbo veniva ripetuto due volte. In totale, quindi, venivano presentati 20 verbi diversi (si veda Tabella 1), di cui 10 astratti e 10 concreti, presentati due volte per blocco (40 stimoli per blocco), per due blocchi (80 stimoli in tutto). I verbi sono stati scelti da un gruppo di 86 verbi iniziali, che 16 giudici hanno valutato in termini di astrattezza e concretezza; di questo gruppo iniziale sono stati selezionati quali stimoli i verbi che presentavano i punteggi maggiori di astrattezza e concretezza, con una equa distribuzione tra i due gruppi in termini di frequenza d'uso, numero di lettere ed

Tabella 6.1: Stimoli

Verbi d'azione	Verbi astratti
Cucire	Angosciare
Martellare	Astrarre
Pettinare	Avverare
Remare	Fidare
Sbucciare	Ideare
Scalpellare	Impegnare
Stirare	Innamorare
Strofinare	Inquietare
Tagliare	Mitizzare
Trapanare	Scordare

immaginabilità.

Sia per la presentazione degli stimoli che per la registrazione dei RTs (si veda oltre) si è utilizzato il software Matlab 6.5 (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA).

Ogni stimolo veniva presentato da solo, su un monitor (19 pollici), ed era preceduto da una croce di fissazione della durata di 500 ms. Il verbo, scritto in bianco su uno sfondo nero, compariva per 3000 ms, e successivamente veniva sostituito da uno schermo nero per ulteriori 3000 ms. Successivamente un nuovo trial (e pertanto un altro verbo) erano presentati. Ogni partecipante era tenuto ad indicare, nel modo più rapido possibile e tramite la pressione di due distinti tasti, se il verbo presentato rimandava ad una azione concreta o astratta. I trial in cui il soggetto errava a fornire la risposta sono stati scartati per la successiva analisi.

b. Registrazione dei dati e analisi statistiche

Per ciascuna risposta sono stati misurati i RTs, ed è stata calcolata la mediana per tipo di verbo (concreto vs astratto) e per blocco (primo vs secondo); per ogni soggetto, quindi, si sono ottenute quattro valori di mediana.

E' stata quindi fatta una analisi della varianza: i dati sono stati analizzati da misure ANOVA ripetute, con la categoria verbale (astratto vs concreto) e il blocco (primo vs secondo) come variabili "*within*". Per le analisi post-hoc è stato utilizzato il test di Newman-Keuls, con una significatività fissata a $p=0.05$.

• Stimolazione magnetica transcranica

a. Partecipanti e apparato sperimentale

Hanno partecipato all'esperimento 13 soggetti destrimani, di cui 7 femmine e 6 maschi, di età compresa tra 22 e 27 anni, di madrelingua italiana, che non avevano preso parte all'esperimento comportamentale.

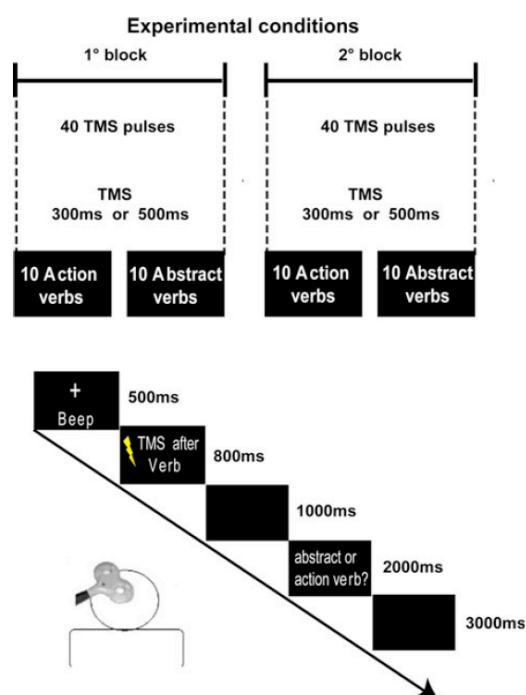
Tutti i partecipanti, previo consenso informato, sono stati sottoposti a stimolazione magnetica transcranica a singolo impulso (TMS). Prima dell'esperimento è stato verificato che i soggetti non avessero alcuna patologia neurologica o psichiatrica, che non assumessero alcuna terapia e che non avessero controindicazioni per la TMS. Dopo l'esperimento, ogni partecipante ha ricevuto un compenso economico.

Durante l'esperimento il partecipante era seduto su una sedia confortevole, in una stanza insonorizzata, con i gomiti flessi a 90 gradi e la mano in posizione prona e ferma. Per tutta la durata del compito è stata registrata attraverso una coppia di elettrodi a superficie l'attività muscolare dal muscolo I interosseo dorsale della mano destra.

Il soggetto veniva istruito a non contrarre la muscolatura e a non muoversi (veniva monitorato costantemente il tracciato elettromiografico per escludere tale eventualità). Egli era tenuto a osservare uno schermo (19 pollici) posto alla distanza di 100 cm su cui venivano presentati, uno per ciascuno, gli stessi stimoli utilizzati per il compito comportamentale (verbi italiani alla forma italiana infinita, che rimandavano ad una azione concreta oppure astratta, scritti in bianco su sfondo nero).

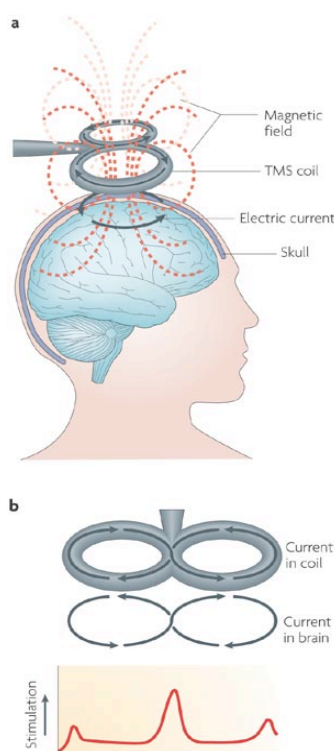
All'inizio di ciascun trial una croce di fissazione compariva sullo schermo per 500 ms. Successivamente compariva uno degli stimoli sperimentali per 1000 ms. Dopo 300 ms o 500 ms dalla comparsa dello stimolo veniva applicata una stimolazione magnetica sulla corteccia motoria primaria sinistra del soggetto, in prossimità dell'area motoria della mano nell'*hotspot* corrispondente al I interosseo dorsale destro. Alla scomparsa dello stimolo, compariva sullo schermo un punto interrogativo: il soggetto, invitato a

Figura 6.1: Schema dell'esperimento



muoversi il meno possibile, doveva rispondere con “a” se il verbo appena visto aveva un significato astratto e “c” se rimandava invece a un contenuto d’azione. I trial in cui il soggetto errava a fornire la risposta erano stati scartati per la successiva analisi. Dopo 5000 ms il trial terminava e si passava a quello successivo.

Il numero degli stimoli e la modalità di presentazione erano simili a quanto descritto prima per il comportamentale. Ad ogni partecipante veniva presentata una serie di 80 stimoli costituiti da verbi italiani metà dei quali indicanti una azione concreta e metà una azione astratta. Ciascuna serie era divisa in due blocchi identici, in cui gli stimoli erano quasi-randomizzati. Per ogni blocco ogni verbo veniva ripetuto due volte; in modo randomizzato era seguito una volta dalla stimolazione dopo 300 ms e una volta dopo 500 ms. In totale, quindi, venivano presentati i 20 verbi diversi utilizzati per l’esperimento comportamentale, di cui 10 astratti e 10 concreti, presentati due volte per blocco una volta con stimolazione a 300 ms e una volta a 500 ms (40 stimoli per blocco), per due blocchi (80 stimoli in tutto). Per la presentazione degli stimoli si è utilizzato il software Matlab 6.5 (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA).



Per la stimolazione magnetica, è stato utilizzato un coil a farfalla (MagStim Co.Ltd) applicato ad uno stimolatore magnetico Bistim (MagStim Co.Ltd., Whithland, UK). Il coil era posizionato sopra la corteccia motoria sinistra del soggetto, posto tangenzialmente al capo. Per trovare il sito preciso di stimolazione veniva dapprima determinato il punto sulla corteccia in cui era possibile attivare il muscolo I interosseo dorsale della mano destra con la minore intensità possibile di stimolazione (*hotspot*). Una volta trovato il punto, il coil veniva fissato con l’ausilio di un

Figura 6.2: immagine tratta da Ridding & Rothwell, 2007

braccio meccanico. Veniva quindi definita la soglia motoria, definita come la minima intensità che induce la comparsa in un muscolo rilassato di potenziali motori maggiori di 100 micronvolt in almeno 5 di 10 trial (Rossini et al., 1994). Durante l'esperimento veniva utilizzata una stimolazione maggiore del 20% della soglia motoria.

b. Registrazione dei dati e analisi statistiche

Per tutta la durata dell'esperimento è stata registrata attraverso una coppia di elettrodi a superficie l'attività muscolare dal muscolo I interosseo dorsale della mano destra; un terzo elettrodo costituiva l'elettrodo di terra. Il segnale elettromiografico così acquisito è stato amplificato ($\times 1000$, attraverso un amplificatore CED 1902), digitalizzato e filtrato (passa banda: 5-5000 Hz). Esso è stato quindi visualizzato sullo schermo di un PC portatile e registrato tramite il software CED Spike. Dal segnale elettromiografico sono stati isolati i potenziali di sommazione motori evocati (PEM) dalla stimolazione elettrica. Per ogni potenziale è stata calcolata l'ampiezza picco-picco grazie all'utilizzo di un software Matlab. Sono stati scartati dall'analisi sia i trial in cui il soggetto sbagliava a fornire una risposta orale (si veda al paragrafo precedente) sia quelli in cui la misurazione picco-picco dava un valore di voltaggio inferiore a $50 \mu V$.

Per la successiva analisi statistica si sono utilizzate sia le ampiezze picco-picco dei PEM misurati, sia i valori normalizzati dei potenziali: tali valori normalizzati sono stati calcolati come variazione dell'ampiezza di ciascun PEM del I blocco rispetto alla media dei PEM ottenuti per quello specifico soggetto sul secondo blocco (si veda i Risultati).

Sia per le ampiezze "grezze" dei PEM che per i dati normalizzati è stata calcolata per ogni soggetto la mediana per tipo di verbo (concreto vs astratto), per latenza di stimolazione (300 ms vs 500 ms) e per blocco (primo vs secondo); per ogni soggetto, quindi, si sono ottenuti otto valori di mediana (Concr/B1/300ms, Concr/B1/500ms, Concr/B2/300ms, Concr/B2/500ms, Astr/B1/300ms, Astr/B1/500ms, Astr/B2/300ms, Astr/B2/500ms).

E' stata fatta, sia per le ampiezze grezze che per i dati normalizzati, una analisi della varianza: tutti i dati sono stati analizzati da misure ANOVA ripetute, con la categoria verbale (astratto vs concreto) e ed il tempo di stimolazione (300 ms vs 500 ms) come variabili "*within*". Per i dati grezzi le analisi sono state fatte sia confrontando entrambi i blocchi, ed in questo caso è stata utilizzato anche il blocco (primo vs secondo) come variabile *within*, sia singolarmente per blocco. Per le analisi post-hoc è stato utilizzato il test di Newman-Keuls, con una significatività fissata a $p=0.05$.

RISULTATI

I risultati dell'esperimento comportamentale e dell'esperimento di stimolazione magnetica saranno presentati separatamente.

- **Esperimento comportamentale**

La percentuale di risposte corrette date dai partecipanti era del 99,3%.

Per i tempi di reazione l'ANOVA ha mostrato una significatività per entrambe le variabili *within* considerate. I RTs diminuivano nel secondo blocco rispetto al primo (695,3 ms vs 603 ms) in modo significativo ($F_{1,13}=22,8$; $p<0,0001$); erano inoltre più bassi (ovvero i partecipanti erano più veloci a rispondere) per i verbi d'azione rispetto ai verbi astratti (633,5 ms vs 664,8 ms) in modo significativo ($F_{1,13}=9,3$; $p<0,01$).

L'interazione tra blocco e tipo di verbo non era statisticamente significativa ($F_{1,13}=2,3$; $p=0,15$).

- **Esperimento di Stimolazione magnetica transcranica**

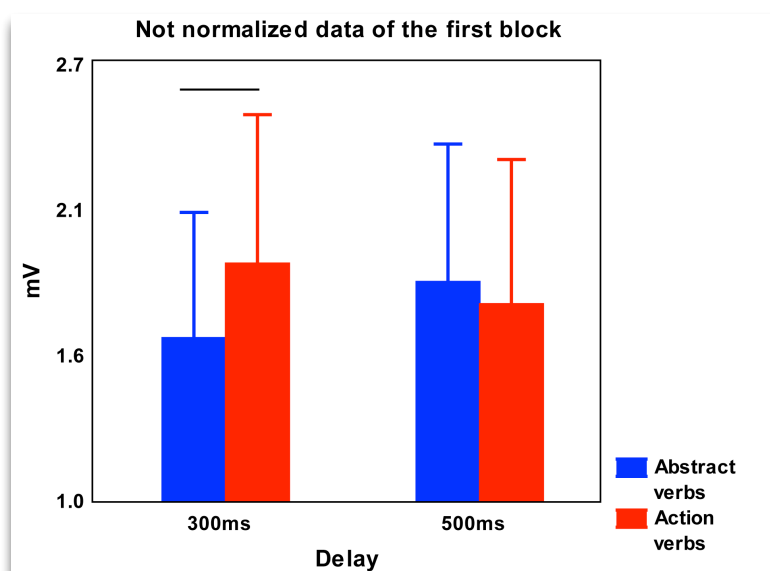
La percentuale di risposte corrette date dai partecipanti era del 99%.

Come già detto in precedenza, è stata fatta una analisi della varianza sia sulle mediane grezze dei valori picco-picco dei PEM che sui dati normalizzati. L'analisi sui dati grezzi è stata fatta sia comparando i due blocchi (3 variabili *within*) sia mantendoli separati (2 variabili *within*).

Nell'analisi dei dati grezzi in cui sono stati messi a confronto i due blocchi, l'ANOVA ha mostrato un effetto significativo solamente del fattore blocco, con una riduzione significativa ($F_{2,12}=5,12$; $p=0,042$) dei PEM nel secondo blocco rispetto al primo (1,79 mV vs 1,31 mV).

Nelle analisi dei dati grezzi del I blocco, l'ANOVA ha evidenziato un effetto significativo ($F_{1,12}=8,1$; $p=0,015$; Grafico 1) dell'interazione tra tipo di verbo (d'azione/concreto) e latenza di stimolazione (300ms/500ms).

Grafico 1: Dati non normalizzati del I blocco



Come si vede dal grafico 1, alle analisi post-hoc emerge una differenza significativa ($p=0,04$) tra l'ampiezza dei potenziali evocati precocemente (300 ms) dopo la presentazione di un verbo d'azione piuttosto che di un verbo astratto.

Le altre analisi non hanno mostrato differenze statisticamente significative.

Nelle analisi dei dati grezzi del II blocco, l'ANOVA non ha evidenziato un effetto significativo né del tipo di verbo ($p=0,447$), né della latenza di stimolazione ($p=0,431$), né dell'interazione ($p=0,554$).

Per quanto le analisi dei dati del I blocco evidenzino una differenza significativa tra le ampiezze dei PEM, non è possibile stabilire se tale significatività sia dovuta ad un aumento dell'eccitabilità corticale dopo presentazione dei verbi d'azione o, al contrario, da una ridotta eccitabilità dopo presentazione dei verbi astratti.

Poiché i dati del secondo blocco non erano significativamente influenzati, al loro interno, né dai fattori né dalle interazioni, si è deciso di utilizzare questi come *baseline* su cui normalizzare il primo blocco, come spiegato nel capitolo precedente.

I dati normalizzati del primo blocco, espressi come variazioni percentuali rispetto alla media del secondo blocco, sono stati nuovamente analizzati con una ANOVA (Grafico 2).

Nell'analisi dei dati normalizzati del primo blocco, l'interazione tra il tipo di verbo e la latenza di stimolazione era significativa ($F_{1,12}=11,64$; $p=0,005$).

All'analisi post hoc, i PEM evocati dopo 300 ms dalla presentazione di verbi d'azione erano significativamente maggiori ($p<0,05$) rispetto a quelli evocati in tutte le altre condizioni.

Pertanto, precocemente (300 ms) dopo la presentazione di un verbo d'azione si registra un aumento dell'eccitabilità corticale della corteccia motoria primaria.

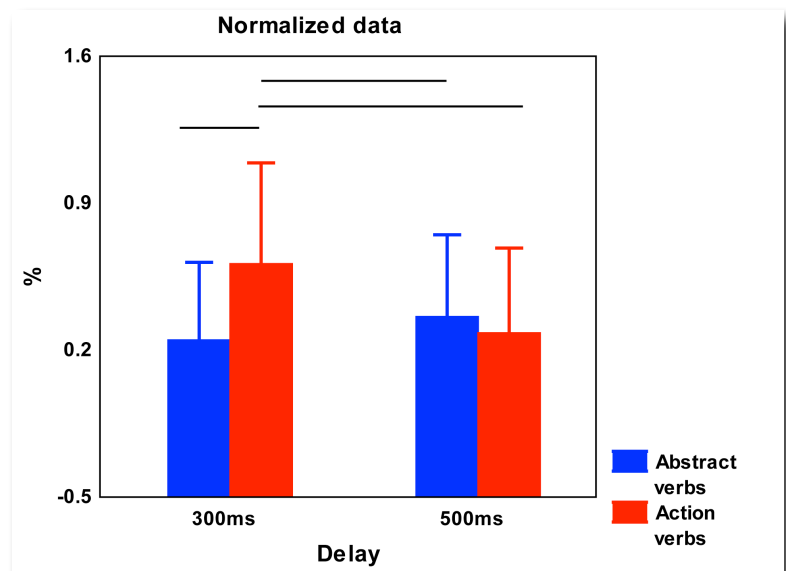


Grafico 2: Dati normalizzati del I blocco

DISCUSSIONE

I dati ottenuti con la stimolazione magnetica transcranica dimostrano che i verbi che descrivono un'azione modulano la corteccia motoria primaria, che tale modulazione è in senso eccitatorio, che è precoce e tende a venir meno con la ripetizione dello stimolo (assenza di effetto sul secondo blocco).

L'analisi dei dati grezzi e normalizzati indica che la modulazione sull'area motoria è specifica per i verbi di azione, mentre non è stata dimostrata per i verbi astratti. L'attivazione della corteccia motoria per i verbi di azione è ben supportata dalla letteratura (Dalla Volta et al., 2009; Hauk et al., 2008; Kiefer and Pulvermüller, 2012; Pulvermüller et al., 2005). L'attivazione dimostrata dal nostro studio è precoce (si veda oltre) e può pertanto esser rilevante nella comprensione del significato del verbo, come postulato dalla *Embodied Cognition Theory*. Tuttavia, diversamente da quanto tale teoria sostiene, i nostri dati non supportano per i verbi astratti una attivazione motoria, né precocemente né tardivamente come invece riscontrato da alcuni autori (Scorolli et al., 2012). La mancata attivazione dell'area motoria suggerisce che essa non ha un ruolo rilevante nella comprensione di un verbo astratto: è possibile supporre quindi che tali verbi, il cui significato non è strettamente correlato né con aree motorie né con una parte del corpo, vengano compresi attraverso strategie non strettamente *embodied*, e che potrebbero coinvolgere aree verbali o amodali (Sakreida et al., 2013).

La modulazione che otteniamo sull'area motoria dopo presentazione di un verbo d'azione è di tipo eccitatorio. Tale dato è in linea con i risultati ottenuti da alcuni lavori in TMS (Labruna et al., 2011; Scorolli et al., 2012), e con i presupposti teorici che supportano il nostro lavoro. Buccino e collaboratori (Buccino et al., 2005), pur documentando una modulazione dell'area motoria dopo presentazione orale di una frase d'azione, sostennero che essa sia di tipo inibitorio; tale diversità di risultati potrebbe dipendere da una diversa

modalità di presentazione dello stimolo (orale vs scritta), dal differente task richiesto (Tomasino et al., 2008) oppure dalla latenza di stimolazione.

Di grande interesse è il fatto che la modulazione dell'area motoria da noi documentata sia presente con una stimolazione relativamente precoce (300 ms dopo la comparsa del verbo) e non con una stimolazione più tardiva (500 ms). Tale dato infatti è a favore del fatto che il sistema motorio sia coinvolto precocemente, in uno stadio lessico-semanticò della comprensione del verbo, e che pertanto esso possa contribuire all'intendimento del verbo stesso. I nostri dati discordano pertanto da quelli ottenuti dal gruppo di Raffaella Rumiati (Papeo et al., 2009), i quali, registrando una attivazione tardiva del sistema motorio, hanno sostenuto che l'attivazione della corteccia motoria non contribuisca alla comprensione del verbo, ma sia secondaria ad essa, accessoria e post-concettuale.

Se confrontiamo i dati ottenuti sul primo blocco con quelli ottenuti sul secondo blocco, si può documentare in quest'ultimo un globale effetto di riduzione: nell'esperimento comportamentale i RTs sono infatti più brevi e nell'esperimento in TMS si assiste a una complessiva riduzione dell'ampiezza dei PEM, con perdita della significatività tra verbi d'azione e verbi astratti (con addirittura una inversione non significativa delle rispettive ampiezze, si veda Grafico 1).

Tale riduzione complessiva, che non si accompagna a una variazione nell'accuratezza delle risposte, può essere la conseguenza di un aspecifico effetto di soppressione dovuto alla ripetizione ("*repetition suppression effect*", Garrido et al., 2009; Hasson et al., 2006), oppure può essere dovuta all'apprendimento del *task*.

Questo aspecifico effetto di soppressione non giustifica tuttavia la perdita di significatività che si evidenzia nel secondo blocco tra i verbi d'azione e astratti dopo la stimolazione a 300 ms.

Se i dati finora discussi erano complessivamente a favore della *Embodied Cognition Theory*, il fatto che con la ripetizione dello stimolo l'attivazione della corteccia motoria primaria venga meno è apparentemente in netta contraddizione con questa. Come, infatti, può ritenersi necessario il sistema motorio nella comprensione dei verbi d'azione se, con la ripetizione dei verbi stessi, l'attivazione dell'area motoria primaria viene meno?

Pur mancando una risposta univoca, possiamo tuttavia tentare due ipotesi.

Innanzitutto, area motoria primaria non è sinonimo di sistema motorio.

Per quanto infatti la corteccia motoria primaria, per ragioni storiche e tecniche, sia ben nota e più semplice da studiare, è possibile ipotizzare che siano le aree premotorie (corteccia premotoria e area supplementare motoria) ad essere probabilmente coinvolte nella programmazione dei piani motori più complessi e – in particolare – dei piani motori che, come accade per la simulazione motoria della *Embodied Cognition Theory*, non necessitano un effettivo movimento. Se pertanto sono le aree premotorie il punto nodale della simulazione motoria, possiamo ipotizzare che, mentre alla prima presentazione di uno stimolo le aree premotorie attivino anche la corteccia motoria primaria, con la ripetizione tale attivazione possa non essere più necessaria; in tal caso, potrebbero divenire più rilevanti strutture coinvolte nell'automatizzare la risposta a stimoli ripetuti e direttamente connesse con le aree premotorie, come le strutture sottocorticali dei gangli della base. A tal proposito, pur mancando al momento dati sperimentali in tal senso, può essere rilevante ricordare che le aree premotorie sono strettamente collegate sia con le aree corticali parietali deputate alla programmazione del movimento volontario attraverso il circuito parieto-frontale, sia con i nuclei della base, sia, ovviamente, con la corteccia motoria primaria. Diversi autori, infine, hanno ipotizzato un ruolo delle aree premotorie nella comprensione linguistica (Aziz-Zadeh et al., 2006; Hauk et al., 2004; Tettamanti et al., 2005).

Un'ulteriore possibile spiegazione può trovare riscontro nell'approccio che alcuni studiosi stanno tenendo negli ultimi anni (si veda l'Introduzione). Riflettendo sul fatto che un approccio esclusivamente modale o esclusivamente amodale al linguaggio e alla semantica non rendono ragione di tutti i dati presenti in letteratura, alcuni autori hanno tenuto posizioni che, ponendosi tra le due visioni storiche, tenessero conto tanto dell'una quanto dell'altra. In una review del 2007, Patterson e collaboratori (Patterson et al., 2007) ipotizzarono che i concetti semantici sono rappresentati in modo amodale e localizzati a livello del lobo temporale anteriore (Jefferies and Lambon Ralph, 2006; Jefferies, 2013; Patterson et al., 2007). Se tali rappresentazioni sono dunque amodali, l'accesso ad esse, così come le eventuali uscite, sono invece multiple, modali e utilizzano rappresentazioni sensitivo-motorie.

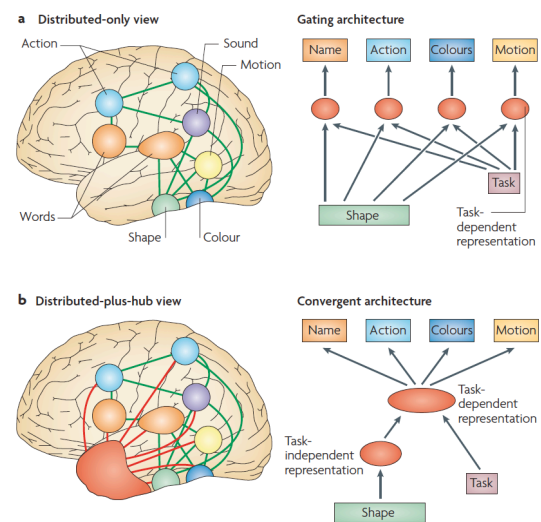


Figura 8.9: Il sistema semantico: hub e spokes
(da Patterson et al., 2007)

In tale ottica, quindi, il sistema motorio è necessario alla comprensione di un verbo d'azione (come nel nostro esperimento) non perché la simulazione motoria rappresenti la semantica del verbo stesso, ma perché tale simulazione consentirebbe l'accesso modale ad una rappresentazione amodale del verbo, sarebbe quindi la "porta" di accesso alla rappresentazione stessa. A un medesimo concetto si può accedere pertanto attraverso differenti vie modali, nessuna mutualmente esclusiva; è probabile che, tra quelle disponibili, venga scelta la via di accesso più economica in funzione del tipo di stimolo, del task richiesto, delle condizioni generali.

Rispetto ai nostri dati, quindi, potremmo ipotizzare che nel primo blocco la simulazione motoria dei verbi d'azione sia la via preferenziale a cui accedere all'*hub* semantico. Con la ripetizione dello stimolo, è possibile che altre vie

vengano scelte preferenzialmente quali vie d'accesso, come la rappresentazione verbale oppure capacità attentive ed esecutive.

Tali ipotesi, sebbene al momento attuale siano solo speculative e probabilmente troppo semplicistiche, esprimono la volontà di valorizzare i punti di sintesi piuttosto che di antitesi tra le diverse teorie, sulla scorta dei dati sperimentali.

Ritengo che tale presupposto, unito ad un approccio multidisciplinare, sia il punto da cui partire nei prossimi anni per gli studi sul linguaggio e sulla semantica.

BIBLIOGRAFIA

- Antonucci, S.M., Reilly, J., 2008. Semantic memory and language processing: a primer. *Semin. Speech Lang.* 29, 5–17.
- Aziz-Zadeh, L., Wilson, S.M., Rizzolatti, G., Iacoboni, M., 2006. Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Curr. Biol.* CB 16, 1818–1823.
- Bachoud-Levi, A.-C., Dupoux, E., 2003. An influence of syntactic and semantic variables on word form retrieval. *Cogn. Neuropsychol.* 20, 163–188.
- Barsalou, L.W., 1999. Perceptual symbol systems. *Behav. Brain Sci.* 22, 577–609; discussion 610–660.
- Barsalou, L.W., 2008. Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.* 59, 617–645.
- Beauvois, M.F., Saillant, B., Meininger, V., Lhermitte, F., 1978. Bilateral tactile aphasia: a tacto-verbal dysfunction. *Brain J. Neurol.* 101, 381–401.
- Bedny, M., Caramazza, A., 2011. Perception, action, and word meanings in the human brain: the case from action verbs. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1224, 81–95.
- Bedny, M., Caramazza, A., Grossman, E., Pascual-Leone, A., Saxe, R., 2008. Concepts are more than percepts: the case of action verbs. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 28, 11347–11353.
- Bedny, M., Caramazza, A., Pascual-Leone, A., Saxe, R., 2012. Typical neural representations of action verbs develop without vision. *Cereb. Cortex N. Y. N 1991* 22, 286–293.
- Bedny, M., Thompson-Schill, S.L., 2006. Neuroanatomically separable effects of imageability and grammatical class during single-word comprehension. *Brain Lang.* 98, 127–139.
- Binder, J.R., Westbury, C.F., McKiernan, K.A., Possing, E.T., Medler, D.A., 2005. Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 905–917.
- Binkofski, F., Buccino, G., 2004. Motor functions of the Broca's region. *Brain Lang.* 89, 362–369.
- Binkofski, F., Buccino, G., Posse, S., Seitz, R.J., Rizzolatti, G., Freund, H., 1999. A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: evidence from an fMRI-study. *Eur. J. Neurosci.* 11, 3276–3286.
- Bloomfield, L., 1933. *Language*. University of Chicago Press.

- Bonner, M.F., Vesely, L., Price, C., Anderson, C., Richmond, L., Farag, C., Avants, B., Grossman, M., 2009. Reversal of the concreteness effect in semantic dementia. *Cogn. Neuropsychol.* 26, 568–579.
- Borghi, A., and Nicoletti, R. 2008. Se leggo “Cappello” mi muovo verso l’alto: movimento e comprensione di parole e frasi. *G. Ital. Psicol. Ital. J. Psychol.*
- Boulenger, V., Décoppet, N., Roy, A.C., Paulignan, Y., Nazir, T.A., 2007. Differential effects of age-of-acquisition for concrete nouns and action verbs: evidence for partly distinct representations? *Cognition* 103, 131–146.
- Breedin, S.D., Saffran, E.M., Coslett, H.B., 1994. Reversal of the concreteness effect in a patient with semantic dementia. *Cogn. Neuropsychol.* 11, 617–660.
- Bright, P., Moss, H., Tyler, L.K., 2004. Unitary vs multiple semantics: PET studies of word and picture processing. *Brain Lang.* 89, 417–432.
- Bub, D., Kertesz, A., 1982. Evidence for lexicographic processing in a patient with preserved written over oral single word naming. *Brain J. Neurol.* 105 (Pt 4), 697–717.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G., Freund, H.J., 2001. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur. J. Neurosci.* 13, 400–404.
- Buccino, G., Binkofski, F., Riggio, L., 2004a. The mirror neuron system and action recognition. *Brain Lang.* 89, 370–376.
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C.A., Rizzolatti, G., 2004b. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an FMRI study. *J. Cogn. Neurosci.* 16, 114–126.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., Rizzolatti, G., 2005. Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 24, 355–363.
- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G.R., Zilles, K., Freund, H.-J., Rizzolatti, G., 2004c. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron* 42, 323–334.
- Capitani, E., Laiacona, M., Mahon, B., Caramazza, A., 2003. WHAT ARE THE FACTS OF SEMANTIC CATEGORY-SPECIFIC DEFICITS? A CRITICAL REVIEW OF THE CLINICAL EVIDENCE. *Cogn. Neuropsychol.* 20, 213–261.
- Capitani, E., Laiacona, M., Pagani, R., Capasso, R., Zampetti, P., Miceli, G., 2009. Posterior cerebral artery infarcts and semantic category dissociations: a study of 28 patients. *Brain J. Neurol.* 132, 965–981.

- Caramazza, A., Hillis, A., Rapp, B., Romani, C., 1990. The Multiple Semantics Hypothesis: {M}ultiple Confusions? *Cogn. Neuropsychol.* 7, 161–189.
- Caramazza, A., Hillis, A.E., 1990. Where do semantic errors come from? *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 26, 95–122.
- Caramazza, A., Mahon, B.Z., 2003. The organization of conceptual knowledge: the evidence from category-specific semantic deficits. *Trends Cogn. Sci.* 7, 354–361.
- Caramazza, A., Shelton, J.R., 1998. Domain-specific knowledge systems in the brain the animate-inanimate distinction. *J. Cogn. Neurosci.* 10, 1–34.
- Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., Boria, S., Pieraccini, C., Monti, A., Cossu, G., Rizzolatti, G., 2007. Impairment of actions chains in autism and its possible role in intention understanding. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 17825–17830.
- Cattaneo, L., Rizzolatti, G., 2009. The mirror neuron system. *Arch. Neurol.* 66, 557–560.
- Chao, L.L., Martin, A., 2000. Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *NeuroImage* 12, 478–484.
- Chomsky, N., 1957. *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
- Christian, J., Bickley, W., Tarka, M., Clayton, K., 1978. Measures of free recall of 900 English nouns: Correlations with imagery, concreteness, meaningfulness, and frequency. *Mem. Cognit.* 6, 379–390.
- Coltheart, M., Patterson, K., Marshall, J.C., 1980. *Deep dyslexia*. Routledge & Kegan Paul.
- Corballis, M.C., 2009. Language as gesture. *Hum. Mov. Sci.* 28, 556–565.
- Corballis, M.C., 2010. Mirror neurons and the evolution of language. *Brain Lang.* 112, 25–35.
- Crutch, S.J., Warrington, E.K., 2005a. Gradients of semantic relatedness and their contrasting explanations in refractory access and storage semantic impairments. *Cogn. Neuropsychol.* 22, 851–876.
- Crutch, S.J., Warrington, E.K., 2005b. Abstract and concrete concepts have structurally different representational frameworks. *Brain J. Neurol.* 128, 615–627.
- Dalla Volta, R., Gianelli, C., Campione, G.C., Gentilucci, M., 2009. Action word understanding and overt motor behavior. *Exp. Brain Res.* 196, 403–412.
- Damasio, A.R., Tranel, D., 1993. Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 90, 4957–4960.
- Denes, G., Pizzamiglio, L., 1996. *Manuale di neuropsicologia. Normalità e patologia dei processi cognitivi*. Zanichelli.

- Denes, G., Semenza, C., 1975. Auditory modality-specific anomia: evidence from a case of pure word deafness. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 11, 401–411.
- Desai, R.H., Binder, J.R., Conant, L.L., Mano, Q.R., Seidenberg, M.S., 2011. The neural career of sensory-motor metaphors. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 2376–2386.
- Desai, R.H., Binder, J.R., Conant, L.L., Seidenberg, M.S., 2010. Activation of sensory-motor areas in sentence comprehension. *Cereb. Cortex N. Y. N 1991* 20, 468–478.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G., 1992. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp. Brain Res.* 91, 176–180.
- Eviatar, Z., Menn, L., Zaidel, E., 1990. Concreteness: nouns, verbs, and hemispheres. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 26, 611–624.
- Fadiga, L., Craighero, L., Buccino, G., Rizzolatti, G., 2002. Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. *Eur. J. Neurosci.* 15, 399–402.
- Fadiga, L., Craighero, L., Olivier, E., 2005. Human motor cortex excitability during the perception of others' action. *Curr. Opin. Neurobiol.* 15, 213–218.
- Fairhall, S.L., Caramazza, A., 2013. Brain regions that represent amodal conceptual knowledge. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 33, 10552–10558.
- Ferrari, P.F., Visalberghi, E., Paukner, A., Fogassi, L., Ruggiero, A., Suomi, S.J., 2006. Neonatal imitation in rhesus macaques. *PLoS Biol.* 4, e302.
- Fiebach, C.J., Friederici, A.D., 2004. Processing concrete words: fMRI evidence against a specific right-hemisphere involvement. *Neuropsychologia* 42, 62–70.
- Fogassi, L., Ferrari, P.F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., Rizzolatti, G., 2005. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science* 308, 662–667.
- Franklin, S., Howard, D., Patterson, K., 1994. Abstract word meaning deafness. *Cogn. Neuropsychol.* 11, 1–34.
- Franklin, S., Howard, D., Patterson, K., 1995. Abstract word anomia. *Cogn. Neuropsychol.* 12, 549–566.
- Frege, G., 1952. *Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege*. Blackwell, Oxford, England.
- Friederici, A.D., 2002. Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends Cogn. Sci.* 6, 78–84.
- Friederici, A.D., Opitz, B., von Cramon, D.Y., 2000. Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: an fMRI investigation of different word types. *Cereb. Cortex N. Y. N 1991* 10, 698–705.

- Gabrieli, J.D., Poldrack, R.A., Desmond, J.E., 1998. The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 95, 906–913.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G., 1996. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, 593–609.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G., 2002. Action representation and the inferior parietal lobule., in: *Common Mechanisms in Perception and Action: Attention and Performance*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Gallese, V., Lakoff, G., 2005. The Brain's concepts: the role of the Sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cogn. Neuropsychol.* 22, 455–479.
- Garrido, M.I., Kilner, J.M., Kiebel, S.J., Stephan, K.E., Baldeweg, T., Friston, K.J., 2009. Repetition suppression and plasticity in the human brain. *NeuroImage* 48, 269–279.
- Gentilucci, M., 2003. Grasp observation influences speech production. *Eur. J. Neurosci.* 17, 179–184.
- Gentilucci, M., Benuzzi, F., Gangitano, M., Grimaldi, S., 2001. Grasp with hand and mouth: a kinematic study on healthy subjects. *J. Neurophysiol.* 86, 1685–1699.
- Gentilucci, M., Campione, G.C., 2011. Do postures of distal effectors affect the control of actions of other distal effectors? Evidence for a system of interactions between hand and mouth. *PloS One* 6, e19793.
- Gentilucci, M., Campione, G.C., De Stefani, E., Innocenti, A., 2012. Is the coupled control of hand and mouth postures precursor of reciprocal relations between gestures and words? *Behav. Brain Res.* 233, 130–140.
- Gentilucci, M., Corballis, M.C., 2006. From manual gesture to speech: a gradual transition. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 30, 949–960.
- Gentilucci, M., Santunione, P., Roy, A.C., Stefanini, S., 2004a. Execution and observation of bringing a fruit to the mouth affect syllable pronunciation. *Eur. J. Neurosci.* 19, 190–202.
- Gentilucci, M., Stefanini, S., Roy, A.C., Santunione, P., 2004b. Action observation and speech production: study on children and adults. *Neuropsychologia* 42, 1554–1567.
- Glenberg, A.M., 1997. What memory is for. *Behav. Brain Sci.* 20, 1–19; discussion 19–55.
- Glenberg, A.M., Kaschak, M.P., 2002. Grounding language in action. *Psychon. Bull. Rev.* 9, 558–565.
- Glenberg, A.M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., Buccino, G., 2008. Processing abstract language modulates motor system activity. *Q. J. Exp. Psychol.* 2006 61, 905–919.
- Gross, L., 2006. Evolution of neonatal imitation. *PLoS Biol.* 4, e311.

- Grossman, M., Koenig, P., DeVita, C., Glosser, G., Alsop, D., Detre, J., Gee, J., 2002. Neural representation of verb meaning: an fMRI study. *Hum. Brain Mapp.* 15, 124–134.
- Guo, C.C., Gorno-Tempini, M.L., Gesierich, B., Henry, M., Trujillo, A., Shany-Ur, T., Jovicich, J., Robinson, S.D., Kramer, J.H., Rankin, K.P., Miller, B.L., Seeley, W.W., 2013. Anterior temporal lobe degeneration produces widespread network-driven dysfunction. *Brain J. Neurol.* 136, 2979–2991.
- Hasson, U., Nusbaum, H.C., Small, S.L., 2006. Repetition suppression for spoken sentences and the effect of task demands. *J. Cogn. Neurosci.* 18, 2013–2029.
- Hauk, O., Johnsrude, I., Pulvermüller, F., 2004. Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron* 41, 301–307.
- Hauk, O., Shtyrov, Y., Pulvermüller, F., 2008. The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology. *J. Physiol. Paris* 102, 50–58.
- Hauser, M.D., Chomsky, N., Fitch, W.T., 2002. The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science* 298, 1569–1579.
- Heiser, M., Iacoboni, M., Maeda, F., Marcus, J., Mazziotta, J.C., 2003. The essential role of Broca's area in imitation. *Eur. J. Neurosci.* 17, 1123–1128.
- Hillis, A.E., Caramazza, A., 1991a. Category-specific naming and comprehension impairment: a double dissociation. *Brain J. Neurol.* 114 (Pt 5), 2081–2094.
- Hillis, A.E., Caramazza, A., 1991b. Mechanisms for accessing lexical representations for output: evidence from a category-specific semantic deficit. *Brain Lang.* 40, 106–144.
- Hillis, A.E., Wityk, R.J., Tuffiash, E., Beauchamp, N.J., Jacobs, M.A., Barker, P.B., Selnes, O.A., 2001. Hypoperfusion of Wernicke's area predicts severity of semantic deficit in acute stroke. *Ann. Neurol.* 50, 561–566.
- Howes, D., Geschwind, N., 1964. THE BRAIN AND DISORDERS OF COMMUNICATION. QUANTITATIVE STUDIES OF APHASIC LANGUAGE. *Res. Publ. - Assoc. Res. Nerv. Ment. Dis.* 42, 229–244.
- Humphreys, G.W., Forde, E.M., 2001. Hierarchies, similarity, and interactivity in object recognition: “category-specific” neuropsychological deficits. *Behav. Brain Sci.* 24, 453–476; discussion 476–509.
- Humphreys, G.W., Jane, M., Quinlan, P.T., 1988. Cascade processes in picture identification. *Cogn. Neuropsychol.* 5, 67–104.
- Iacoboni, M., 2009. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annu. Rev. Psychol.* 60, 653–670.

- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J.C., Rizzolatti, G., 2005. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biol.* 3, e79.
- Innocenti A., De Stefani E., Sestito M.T., Gentilucci M. 2013. Understanding of action related and abstract verbs in comparison: a behavioral and TMS study. *Cognitive Processing*. Oct 11. [Epub ahead of print];
- Jefferies, E., 2013. The neural basis of semantic cognition: Converging evidence from neuropsychology, neuroimaging and TMS. *Cortex* 49, 611–625.
- Jefferies, E., Lambon Ralph, M.A., 2006. Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison. *Brain J. Neurol.* 129, 2132–2147.
- Jessen, F., Heun, R., Erb, M., Granath, D.-O., Klose, U., Papassotiropoulos, A., Grodd, W., 2000. The Concreteness Effect: Evidence for Dual Coding and Context Availability. *Brain Lang.* 74, 103–112.
- Jones, G.V., 1985. Deep dyslexia, imageability, and ease of predication. *Brain Lang.* 24, 1–19.
- Kendon, A., 2004. *Gesture: Visible Action as Utterance*. Cambridge University Press.
- Kiefer, M., Pulvermüller, F., 2012. Conceptual representations in mind and brain: theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 48, 805–825.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G., 2002. Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science* 297, 846–848.
- Kousta, S.-T., Vinson, D.P., Vigliocco, G., 2009. Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition* 112, 473–481.
- Labruna, L., Fernández-del-Olmo, M., Landau, A., Duqué, J., Ivry, R.B., 2011. Modulation of the motor system during visual and auditory language processing. *Exp. Brain Res.* 211, 243–250.
- Ladavas, E., Berti, A., 2002. *Neuropsychologia*. Il Mulino.
- Laiacina, M., Capitani, E., Caramazza, A., 2003. Category-specific semantic deficits do not reflect the sensory/functional organization of the brain: a test of the “sensory quality” hypothesis. *Neurocase* 9, 221–231.
- Lakoff, G., Johnson, M., 1999. *Philosophy in the flesh: the embodied mind and its challenge to Western thought*. Basic Books, New York.
- Lhermitte, F., Beauvois, M.F., 1973. A visual-speech disconnection syndrome. Report of a case with optic aphasia, agnosic alexia and colour agnosia. *Brain J. Neurol.* 96, 695–714.

- Liberman, A.M., Cooper, F.S., Shankweiler, D.P., Studdert-Kennedy, M., 1967. Perception of the speech code. *Psychol. Rev.* 74, 431–461.
- Lingnau, A., Gesierich, B., Caramazza, A., 2009. Asymmetric fMRI adaptation reveals no evidence for mirror neurons in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 9925–9930.
- Macoir, J., 2009. Is a plum a memory problem? Longitudinal study of the reversal of concreteness effect in a patient with semantic dementia. *Neuropsychologia* 47, 518–535.
- Mahon, B.Z., Caramazza, A., 2008. A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *J. Physiol.-Paris* 102, 59–70.
- Martin, A., Chao, L.L., 2001. Semantic memory and the brain: structure and processes. *Curr. Opin. Neurobiol.* 11, 194–201.
- Martin, A., Ungerleider, L.G., Haxby, J.V., 2000. Category specificity and the brain: The Sensory/ Motor Model of Semantic Representations of Objects., in: *The New Cognitive Neurosciences*. MIT Press, Cambridge.
- Martin, N., Saffran, E.M., 1992. A computational account of deep dysphasia: evidence from a single case study. *Brain Lang.* 43, 240–274.
- McCormick, G.F., Levine, D.A., 1983. Visual anomia: a unidirectional disconnection. *Neurology* 33, 664–666.
- McNeill, D., 1996. *Hand and Mind: What Gestures Reveal about Thought*. University of Chicago Press.
- Mummery, C.J., Patterson, K., Price, C.J., Ashburner, J., Frackowiak, R.S., Hodges, J.R., 2000. A voxel-based morphometry study of semantic dementia: relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Ann. Neurol.* 47, 36–45.
- Nestor, P.J., Fryer, T.D., Hodges, J.R., 2006. Declarative memory impairments in Alzheimer's disease and semantic dementia. *NeuroImage* 30, 1010–1020.
- Noppeney, U., 2008. The neural systems of tool and action semantics: a perspective from functional imaging. *J. Physiol. Paris* 102, 40–49.
- Noppeney, U., Price, C.J., 2004. Retrieval of abstract semantics. *NeuroImage* 22, 164–170.
- Paivio, A., 1986. *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press.
- Paivio, A., 1991. Dual coding theory: Retrospect and current status. *Can. J. Psychol. Can. Psychol.* 45, 255–287.

- Papagno, C., Capasso, R., Miceli, G., 2009. Reversed concreteness effect for nouns in a subject with semantic dementia. *Neuropsychologia* 47, 1138–1148.
- Papeo, L., Vallesi, A., Isaja, A., Rumiati, R.I., 2009. Effects of TMS on Different Stages of Motor and Non-Motor Verb Processing in the Primary Motor Cortex. *PLoS ONE* 4, e4508.
- Patterson, K., Nestor, P.J., Rogers, T.T., 2007a. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 976–987.
- Perani, D., Cappa, S.F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M.M., Fazio, F., 1999. The neural correlates of verb and noun processing. A PET study. *Brain J. Neurol.* 122 (Pt 12), 2337–2344.
- Pexman, P.M., Hargreaves, I.S., Edwards, J.D., Henry, L.C., Goodyear, B.G., 2007. Neural correlates of concreteness in semantic categorization. *J. Cogn. Neurosci.* 19, 1407–1419.
- Piñango, M.M., Zurif, E.B., 2001. Semantic operations in aphasic comprehension: implications for the cortical organization of language. *Brain Lang.* 79, 297–308.
- Plaut, D.C., Shallice, T., 1993. Deep Dyslexia: A Case Study of Connectionist Neuropsychology. *Cogn. Neuropsychol.* 10, 377–500.
- Pobric, G., Jefferies, E., Ralph, M.A.L., 2007. Anterior temporal lobes mediate semantic representation: mimicking semantic dementia by using rTMS in normal participants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 20137–20141.
- Pulvermüller, F., 2005. Brain mechanisms linking language and action. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 576–582.
- Pulvermüller, F., Härle, M., Hummel, F., 2001. Walking or talking? Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain Lang.* 78, 143–168.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., Ilmoniemi, R., 2005. Brain signatures of meaning access in action word recognition. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 884–892.
- Rassiga, C. 2012. Rapporti tra sistema semantico e sistema di descrizione strutturale: aspetti teorici, costruzione di un nuovo strumento e studio di pazienti con lesioni cerebrali emisferiche focali. Doctoral Thesis. Università degli Studi di Milano.
- Ridding, M.C., and Rothwell, J.C. 2007. Is there a future for therapeutic use of transcranial magnetic stimulation? *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 559–567.
- Riddoch, M.J., Humphreys, G.W., 1987. A case of integrative visual agnosia. *Brain J. Neurol.* 110 (Pt 6), 1431–1462.
- Riddoch, M.J., Humphreys, G.W., Coltheart, M., Funnell, E., 1988. Semantic systems or system? Neuropsychological evidence re-examined. *Cogn. Neuropsychol.* 5, 3–25.

- Rizzolatti, G., Arbib, M.A., 1998. Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21, 188–194.
- Rizzolatti, G., Craighero, L., 2004. THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 169–192.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L., 1996. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn. Brain Res.* 3, 131–141.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., Gallese, V., 2001. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat. Rev. Neurosci.* 2, 661–670.
- Rodríguez-Ferreiro, J., Gennari, S.P., Davies, R., Cuetos, F., 2011. Neural correlates of abstract verb processing. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 106–118.
- Rossini, P.M., Barker, A.T., Berardelli, A., Caramia, M.D., Caruso, G., Cracco, R.Q., Dimitrijević, M.R., Hallett, M., Katayama, Y., Lüking, C.H., 1994. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord and roots: basic principles and procedures for routine clinical application. Report of an IFCN committee. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 91, 79–92.
- Rubin, D.C., Friendly, M., 1986. Predicting which words get recalled: Measures of free recall, availability, goodness, emotionality, and pronunciability for 925 nouns. *Mem. Cognit.* 14, 79–94.
- Sabsevitz, D.S., Medler, D.A., Seidenberg, M., Binder, J.R., 2005. Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage* 27, 188–200.
- Sadoski, M., Paivio, A., 2004. A dual coding theoretical model of reading., in: *Theoretical Models and Processes of Reading*. International Reading Association, Newark, DE.
- Sakreida, K., Scorolli, C., Menz, M.M., Heim, S., Borghi, A.M., Binkofski, F., 2013. Are abstract action words embodied? An fMRI investigation at the interface between language and motor cognition. *Front. Hum. Neurosci.* 7, 125.
- Sapir, E., 1969. *Il linguaggio: introduzione alla linguistica*. G. Einaudi.
- Sartori, G., Job, R., 1988. The oyster with four legs: A neuropsychological study on the interaction of visual and semantic information. *Cogn. Neuropsychol.* 5, 105–132.
- Sartori, G., Job, R., Miozzo, M., Zago, S., Marchiori, G., 1993. Category-specific form-knowledge deficit in a patient with herpes simplex virus encephalitis. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 15, 280–299.
- Saussure, F. de, 1916. *Cours de linguistique générale*. Payot, Paris.
- Schuil, K.D.I., Smits, M., Zwaan, R.A., 2013. Sentential Context Modulates the Involvement of the Motor Cortex in Action Language Processing: An fMRI Study. *Front. Hum. Neurosci.* 7.

- Schwanenflugel, P.J., Akin, C., Luh, W.-M., 1992. Context availability and the recall of abstract and concrete words. *Mem. Cognit.* 20, 96–104.
- Schwanenflugel, P.J., Harnishfeger, K.K., Stowe, R.W., 1988. Context availability and lexical decisions for abstract and concrete words. *J. Mem. Lang.* 27, 499–520.
- Schwanenflugel, P.J., Shoben, E.J., 1983. Differential context effects in the comprehension of abstract and concrete verbal materials. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 9, 82–102.
- Scorolli, C., Jacquet, P.O., Binkofski, F., Nicoletti, R., Tessari, A., Borghi, A.M., 2012. Abstract and concrete phrases processing differentially modulates cortico-spinal excitability. *Brain Res.* 1488, 60–71.
- Scotti, S., Laiacina, M., Capitani, E., 2010. Brain damage and semantic category dissociations: is the animals category easier for males? *Neurol. Sci. Off. J. Ital. Neurol. Soc. Ital. Soc. Clin. Neurophysiol.* 31, 483–489.
- Searle, J.R., 1972. A Special Supplement: Chomsky's Revolution in Linguistics. N. Y. Rev. Books.
- Sirigu, A., Duhamel, J.R., Poncet, M., 1991. The role of sensorimotor experience in object recognition. A case of multimodal agnosia. *Brain J. Neurol.* 114 (Pt 6), 2555–2573.
- Swift, J. 1726. *Gulliver's Travels*.
- Taylor, K.I., Moss, H.E., Tyler, L.K., 2007. The conceptual structure account: A cognitive model of semantic memory and its neural instantiation. *Neural Basis Semantic Mem.* 265–301.
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M.C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., Fazio, F., Rizzolatti, G., Cappa, S.F., Perani, D., 2005. Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 273–281.
- Thelen, E., 1996. *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. MIT Press.
- Thompson-Schill, S.L., D'Esposito, M., Aguirre, G.K., Farah, M.J., 1997. Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 94, 14792–14797.
- Tomasino, B., Fink, G.R., Sparing, R., Dafotakis, M., Weiss, P.H., 2008. Action verbs and the primary motor cortex: a comparative TMS study of silent reading, frequency judgments, and motor imagery. *Neuropsychologia* 46, 1915–1926.
- Tyler, L.K., Moss, H.E., 2001. Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends Cogn. Sci.* 5, 244–252.
- Umiltà, M.A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., Rizzolatti, G., 2001. I know what you are doing. a neurophysiological study. *Neuron* 31, 155–165.

- Van Dam, W.O., van Dijk, M., Bekkering, H., Rueschemeyer, S.-A., 2012. Flexibility in embodied lexical-semantic representations. *Hum. Brain Mapp.* 33, 2322–2333.
- Villardita, C., Grioli, S., Quattropiani, M.C., 1988. Concreteness/abstractness of stimulus-words and semantic clustering in right brain-damaged patients. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 24, 563–571.
- Wang, J., Conder, J.A., Blitzer, D.N., Shinkareva, S.V., 2010. Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.* 31, 1459–1468.
- Warrington, E.K., 1975. The selective impairment of semantic memory. *Q. J. Exp. Psychol.* 27, 635–657.
- Warrington, E.K., 1981. Concrete word dyslexia. *Br. J. Psychol.* 72, 175–196.
- Warrington, E.K., Crutch, S.J., 2004. A circumscribed refractory access disorder: A verbal semantic impairment sparing visual semantics. *Cogn. Neuropsychol.* 21, 299–315.
- Warrington, E.K., McCarthy, R.A., 1987. Categories of knowledge. Further fractionations and an attempted integration. *Brain J. Neurol.* 110 (Pt 5), 1273–1296.
- Warrington, E.K., Shallice, T., 1984. Category specific semantic impairments. *Brain J. Neurol.* 107 (Pt 3), 829–854.
- Whorf, B.L., 1964. *Language, Thought, and Reality: Selected Writings of Benjamin Lee Whorf.* MIT Press.
- Willems, R.M., Hagoort, P., 2007. Neural evidence for the interplay between language, gesture, and action: a review. *Brain Lang.* 101, 278–289.
- Willems, R.M., Ozyürek, A., Hagoort, P., 2007. When language meets action: the neural integration of gesture and speech. *Cereb. Cortex N. Y. N 1991* 17, 2322–2333.
- Willems, R.M., Toni, I., Hagoort, P., Casasanto, D., 2010. Neural dissociations between action verb understanding and motor imagery. *J. Cogn. Neurosci.* 22, 2387–2400.
- Wilson, S.M., Saygin, A.P., Sereno, M.I., Iacoboni, M., 2004. Listening to speech activates motor areas involved in speech production. *Nat. Neurosci.* 7, 701–702.
- Yi, H.-A., Moore, P., Grossman, M., 2007. Reversal of the concreteness effect for verbs in patients with semantic dementia. *Neuropsychology* 21, 9–19.