

2.

L'«EMBODIED COGNITION» DALLA PROSPETTIVA DELLE NEUROSCIENZE

Matteo Sozzi

doi: 10.7359/736-2015-sozz

2.1. INTRODUZIONE

La teoria dell'*Embodied Cognition* ha fornito in questi ultimi vent'anni un contributo solido alla conoscenza del funzionamento della mente umana, portando evidenze a favore di una stretta connessione tra funzioni mentali e interazioni tra corpo e ambiente che lo circonda (Varela et al., 1992; Clark, 1997; Barsalou, 2008), attraversando diverse discipline quali la psicologia, la filosofia e le neuroscienze. Con poche ed insufficienti parole definiamo *Embodied Cognition* la teoria che spiega come ogni forma di conoscenza e cognizione umana sia incarnata e passi cioè attraverso l'esperienza corporea. Su questa teoria è stato scritto molto con un dibattito scientifico che è ancora aperto e vivace relativamente al tipo, alla quantità e alla modalità con cui le conoscenze possono essere definite «incarnate». Tra l'ampia mole di studi in tale ambito ve ne sono diversi che si focalizzano in modo particolare sul ruolo dell'*ambiente* come parte della cognizione, altri hanno come *focus l'azione* come mezzo per supportare e costruire i processi cognitivi, per altri lavori ancora l'oggetto di studio è la *percezione sensoriale* come esclusivamente finalizzata a regolare l'agito nello spazio (Caruana & Borghi, 2013). Anche gli studi relativi ai neuroni visuo-motori (n. canonici vs n. specchio) hanno fornito importanti informazioni a consolidamento di una teoria di *Embodied Cognition* (es. Rizzolatti et al., 1988 e 1996; Fadiga & Craighero, 2003). Come noto la particolarità di queste classi di neuroni, localizzati anteriormente rispetto alle aree motorie primarie (area F5, se-

condo la classificazione di Broadmann), consiste nell'attivarsi non solo durante l'esecuzione di azioni ma anche in fase di osservazione. In particolare i neuroni canonici rispondono selettivamente alle caratteristiche fisiche di oggetti tridimensionali quali la forma, la dimensione e la loro collocazione spaziale; mentre i neuroni specchio si attivano a seguito di osservazione di azioni finalizzate complesse. Insieme alle osservazioni comportamentali, gli studi sui neuroni delle aree premotorie, oltre a fornire evidenze neurofisiologiche alla teoria dell'*Embodied Cognition* (si veda la *review* di Garbarini & Adenzato, 2013), permettono di considerare il sistema motorio non più come «servo», vale a dire un sistema efferente di esecuzione, ma come parte attiva e irrinunciabile, insieme ai processi di percezione, nell'interazione con l'ambiente.

Che ruolo hanno le neuroscienze in questo dibattito? In questi ultimi anni abbiamo osservato un'evoluzione dal punto di vista del metodo e della strumentazione che viene utilizzata in ambito neuroscientifico. L'uso di strumenti quali fMRI (risonanza magnetica funzionale), PET (tomografia ad emissione di positroni), MEG (magnetoencefalografia), l'EEG ad alta densità (l'elettroencefalografia con una quantità di derivazioni molto più alta dell'EEG tradizionale), permettono di osservare il funzionamento delle aree cerebrali durante l'esecuzione dei diversi tipi di compito richiesti. Ciascuno di questi strumenti fornisce dati che tuttavia differiscono tra loro sulla base dei livelli di *risoluzione spaziale* (i.e. sensibilità e accuratezza nella definizione dell'area anatomica di interesse) o di *risoluzione temporale* (i.e. lo scarto di tempo tra la presentazione di un stimolo e la rilevazione della risposta da parte dello strumento). Hauk e Tschentscher (2013) descrivono in una *review* analitica della letteratura, lo stato dell'arte relativamente al ruolo delle neuroscienze nell'*Embodied Cognition* soffermandosi più in particolare sui concetti di formazione della semantica della parola e del numero, discutendo i principali contributi alla luce delle tecniche di indagine in vivo.

L'intento di questo capitolo è quello di ripercorrere, senza avere la pretesa di esaurirli, gli ambiti di ricerca dell'*Embodied Cognition* partendo in parte dai lavori già descritti nella *review* di Hauk e Tschentscher, in parte da ricerche successive a questa *review* e di più recente pubblicazione.

Si cercherà dunque di toccare i temi concernenti il linguaggio e la cognizione visuo-spaziale per poi riflettere su una possibile applicazione clinica della teoria della conoscenza incarnata con gli strumenti metodologici forniti dalla disciplina neuroscientifica. In particolare, per quest'ultimo aspetto, ci focalizzeremo su un tema, ancora fortemente dibattuto, come quello della coscienza e dei quadri clinici caratterizzati dalla sua grave alterazione. Verranno descritti i lavori che da pochi anni a questa parte stanno

fornendo risultati sempre più importanti rispetto alla possibilità di studiare i pazienti in stato vegetativo o in stato di minima coscienza osservando, attraverso l'*imaging* funzionale, le attivazioni di aree cerebrali corrispondenti a compiti di immaginazione.

2.2. IL LINGUAGGIO

Molti studi con fMRI e PET hanno dimostrato la presenza di attivazione di aree sensori-motorie in compiti di elaborazione di parole. Un'attivazione cioè che coinvolge le aree motorie anche quando vengono attivate altre vie del sensorio quali l'udito o la vista. Hauk e Pulvermüller (2011) ad esempio hanno studiato gli effetti di elaborazione di parole-azione sull'attivazione involontaria della corteccia motoria. Il paradigma sperimentale è consistito in un compito di lettura di parole nel quale gli *item* utilizzati erano parole relative ad azioni lateralizzate, eseguibili cioè solo uno dei due arti (es. «lanciare»), e ad azioni che richiedono l'uso di entrambi gli arti superiori (es. «applaudire»). Gli *item* inclusi nello studio comprendevano anche la presenza di stimoli che richiamano azioni da svolgere con gli arti inferiori (es. «camminare»), mentre parole non legate ad azioni e non-parole legali (i.e. neologismi la cui composizione tra vocali e consonanti ne permette la lettura, es. /ripalfo/) sono state utilizzate come *item* di controllo.

A ciascuno dei partecipanti venivano presentate le parole sul monitor di un PC, ognuna esposta per un tempo di 150 ms (millisecondi), le istruzioni fornite chiedevano la lettura silente e attenta di ciascuna di queste parole. A seguito della sessione linguistica veniva presentata una sessione di localizzazione motoria: dopo la presentazione di una parte del corpo (es. un dito, una gamba, la lingua, ecc.) i soggetti dovevano muovere per qualche secondo la parte mostrata. I partecipanti a questo esperimento sono stati divisi in due gruppi sulla base della dominanza manuale, destrimani e mancini. Le analisi sono state svolte sull'osservazione di specifiche aree di interesse alla risonanza magnetica funzionale e il dato più forte ottenuto mostra che relativamente alla lettura di parole che indicano azioni bi-manuali (in assenza di qualsiasi movimento), si verifica una attivazione delle aree motorie di entrambi gli emisferi. Per quanto riguarda la lettura di parole ad azione uni-manuale, emerge invece un prevalente *pattern* di attivazione che coinvolge aree perisilviane dell'emisfero sinistro sia per i partecipanti destrimani che per i mancini. Gli autori spiegano tale risultato argomentando circa la natura squisitamente linguistica del compito (lettura silente) tale per cui, se è in parte possibile supportare un'attivazione motoria in compiti

di lettura come rilevato dalle azioni bi-manuali, la rilevanza dell'emisfero sinistro nella formazione dei circuiti cerebrali relativi alla semantica delle parole prevale in un compito di questo tipo anche per i soggetti mancini. Un lavoro analogo, ma che mostra dei risultati parzialmente differenti, è quello di Willems e collaboratori (2010). Anche in questo caso i partecipanti allo studio sono stati suddivisi in due gruppi in base alla lateralità manuale. A differenza del lavoro precedentemente descritto, in questo caso gli autori basano le loro considerazioni su un compito che non richiede solo la lettura delle parole ma anche l'immaginazione dell'azione.

Nello specifico i partecipanti erano sottoposti a due esperimenti, gli *item* utilizzati consistevano in parole indicanti azioni e non-parole legali.

Nel primo compito i partecipanti osservavano le parole mostrate per 1500 ms sul monitor e quando veniva loro richiesto dovevano esprimere un giudizio di natura lessicale, ossia indicare premendo uno dei due tasti a loro disposizione se la parola mostrata fosse esistente o no. Nel secondo compito ai partecipanti era richiesto di leggere le parole sul monitor, chiudere gli occhi e cercare di immaginare lo svolgimento dell'azione corrispondente alla parola appena letta. Analogamente a quanto descritto nel precedente lavoro, i compiti erano svolti durante le acquisizioni del dato di *neuroimaging* funzionale in risonanza magnetica. I risultati mostrano una significativa attivazione controlaterale determinata da parole che hanno in sé un significato di azione; cioè quando viene chiesto ad una persona di leggere una parola o esprimere un giudizio di lessicalità (i.e. esiste - non esiste) si attivano le aree motorie e premotorie di sinistra nei soggetti destrimani e di destra nei soggetti mancini. Il risultato è fortemente supportato dal dato di analogo attivazione che si osserva anche nel compito di immaginazione, cruciale in questa ricerca per testare l'ipotesi della conoscenza incarnata. In generale, si attivano le corrispondenti aree motorie controlaterali, che sono di fatto quelle che si attivano specificamente per eseguire l'azione, quindi nel destrimane l'area 6 (Broadman) dell'emisfero sinistro mentre nel soggetto mancino la corrispondente area 6 dell'emisfero destro. Gli autori portano dunque questi dati a supporto della teoria di una semantica che è *corpo-specifica*, e dunque incarnata nelle modalità di interazione tra ogni individuo e l'ambiente che lo circonda. Altro lavoro di rilievo nel supportare la teoria dell'*Embodied Cognition* con analisi della risposta corticale è quello di Shtyrov e collaboratori (2014), in cui osservano l'elaborazione semantica di parole e la corrispondente attivazione corticale che coinvolge aree sensori-motorie attraverso la tecnica della magnetoencefalografia.

Assodato che l'elaborazione di parole, in particolare di parole inerenti azioni, passa attraverso un'attivazione neuronale plurimodale, questo lavoro è esemplificativo di come l'applicazione di tecniche differenti, da una

parte confermi tale attivazione, dall'altra fornisca nuovi spunti sui tempi entro cui tale attivazione ha luogo. In particolare questi autori osservano finestre temporali in cui aree relative a specifiche parti del corpo sono attivate secondo una precisa corrispondenza somatotopica da parole-azione già intorno ai primi 80 ms dopo la fase di elaborazione semantica della parola. Anche in questo caso troviamo conferma relativamente a come una parola non sia mai elaborata solo in maniera astratta ma coinvolga tutta una serie di sistemi, motori e somatosensoriali, relativi all'incarnazione di una conoscenza che passa attraverso la continua interazione tra il corpo e l'ambiente circostante.

2.3. COGNIZIONE VISUO-SPAZIALE

L'azione di per sé acquisisce senso solo all'interno di uno spazio in cui si possa realizzare. In esso ne determina modifiche e, conseguentemente, le variazioni vengono elaborate come *feedback* perché l'azione possa infine contribuire a generare significato. Ecco quindi che il posizionamento di una mano, avvicinandola ad uno stimolo o al proprio corpo, ponendola in una certa posizione o in un'altra, può in qualche modo determinare una variazione nell'elaborazione dell'informazione visiva. Laura Thomas (2013) ha sottoposto i partecipanti dei suoi esperimenti ad un compito basato sul paradigma attentivo di Posner, utilizzando cioè un compito noto nell'ambito della psicologia cognitiva, in cui si osserva come l'attenzione si sposti a seconda che lo stimolo a cui rispondere si presenti in punto atteso dello spazio o in un punto in cui lo si aspetta con minore probabilità. In questo lavoro l'autrice ha in parte replicato alcuni dati, in parte ha realizzato esperimenti originali in cui i soggetti fornivano le risposte ad uno stimolo visivo mentre il braccio non utilizzato per le risposte (sinistro) assumeva posizioni differenti a seconda della richiesta dello sperimentatore. Nello specifico, al soggetto posto di fronte ad un monitor venivano presentati dei quadrati all'interno dei quali poteva, con una certa probabilità, cadere uno stimolo visivo (cerchio); il compito consisteva nel rispondere ogni volta che vedeva comparire lo stimolo in uno dei due quadrati. Sono state studiate tre diversi tipi di condizioni: una in cui il braccio restava solo appoggiato su una pila di libri (*resting state condition*) e non veniva chiesto di fare nulla, un'altra condizione in cui la mano della persona era appoggiata al monitor del computer e l'altra in cui la mano del soggetto veniva posizionata in posizione di presa bi-digitale. Ciò che si è osservato è che quando il palmo della mano era appoggiato al monitor si osservava una facilitazione ipsilaterale,

ossia tutte le volte che lo stimolo appariva vicino alla mano, anche quando la probabilità che apparisse in quel punto era bassa, i soggetti erano più rapidi nel rispondere; quando la posizione del soggetto assumeva quella della presa bi-digitale, non c'era una differenza di lato, ma le risposte erano globalmente più rapide rispetto alla condizione di *resting state*, a dimostrazione che l'effetto di posizionamento di una presa, facilitava l'elaborazione dell'informazione visiva. Un altro lavoro in linea con quanto osservato da Thomas è lo studio di Balconi e collaboratori (2013) nel quale è stata utilizzata una versione modificata del test di bisezione di linee. Questo compito, insieme ad altri test, è uno degli strumenti che più frequentemente compongono le batterie psicometriche per la valutazione della *Negligenza Spaziale Unilaterale* (NSU). È noto infatti che, nel richiedere ai pazienti con NSU sinistra di indicare il punto di medio di una linea, la presenza del deficit visuo-spaziale determinerà un bias nell'esplorazione della linea stessa tale da far individuare al paziente un punto molto più vicino all'estremità destra. Nel lavoro citato il compito differiva dalla versione tradizionale poiché ciò che veniva richiesto al paziente era di orientare la sua attenzione all'interno di uno spazio definito; venivano cioè presentati sul monitor, due palline rosse come estremità di un segmento virtuale che veniva di volta in volta modificato.

In uno degli esperimenti è stata manipolata la distanza tra le due estremità, con segmenti quindi di dimensione variabile da molto brevi a segmenti molto lunghi che occupavano tutto il monitor. Analogamente a quanto osservato per il test di bisezione di linea i pazienti che hanno preso parte a questo lavoro presentavano la tendenza ad indicare con il puntatore del mouse la metà percepita restando molto più vicino all'estremità destra. L'altra condizione consisteva nel modificare la dislocazione spaziale dei segmenti sul monitor, che potevano essere o all'estrema sinistra, in posizioni paramediane, centrale o all'estrema destra. Le variabili di lunghezza e dislocazione sono state scelte allo scopo di osservare possibili dissociazioni tra *neglect* centrato sull'oggetto e *neglect* centrato sul soggetto. Rilevanti, in particolare per il tema che qui stiamo trattando, sono le due condizioni in cui il compito veniva svolto: una consisteva nel chiedere al paziente di indicare il punto mediano con il mouse con un compito di *pointing* semplice; nell'altra condizione veniva richiesto al paziente di effettuare il compito di *pointing* con il mouse solo dopo aver cercato di immaginare di afferrare il punto mediano con la propria mano, senza di fatto eseguire alcun tipo di movimento. Quello che abbiamo osservato è che nella condizione di *pointing* si conferma la presenza di un bias visuo-spaziale, ossia la presenza di un errore sistematico caratterizzato dal mantenersi tendenzialmente su un'estremità ipsilesionale soprattutto per i segmenti più lunghi;

relativamente alla condizione della dislocazione nello spazio, la tendenza a segmentare mantenendosi a destra era più evidente quanto più i segmenti virtuali occupavano le posizioni più spostate a sinistra; nella condizione in cui si richiede ai pazienti di immaginare di afferrare la metà invece si riduce drasticamente la tendenza a mantenersi sulla destra. Ciò che osserviamo quindi è che la presenza di un compito immaginativo ha un effetto di riduzione del deficit visuo-spaziale, la richiesta cioè di immaginare una «interazione» corporea con lo spazio, non semplicemente puntando, ma afferrando e dunque creando un'alterazione nel rapporto corpo-spazio, determina una modifica delle coordinate personali e dell'orientamento visuo-spaziale anche nelle situazioni in cui le abilità stesse di orientamento spaziale sono deficitarie. Altro esempio di come spazio, azione e percezione siano tra loro embricati è fornito da studi di cognizione musicale e percezione sonora. Lega et al. (2014) utilizzano il paradigma sperimentale dell'effetto SMART (*Spatial-Musical Association Response Code*; Rusconi et al., 2006) per lo studio delle abilità di localizzazione in soggetti musicisti e i soggetti *naives*. Gli autori osservano che nei soggetti musicisti l'interazione tra elaborazione del suono e interazione con lo spazio è così fortemente interattiva da determinare significativi bias sia in compiti di esplorazione tattile ad occhi chiusi sia in compiti di esplorazione visiva (es. test di bisezione di linee) a seconda che queste attività siano accompagnate da un suono acuto o da un suono grave; nei soggetti *naives* invece non trovano alcun effetto di altezza del suono. Tali osservazioni permettono agli autori di argomentare come la sovraesposizione a esercizio e pratica musicale determini nei musicisti un'implicazione della rappresentazione spaziale dei suoni così forte da coinvolgere il corpo e le abilità di esplorazione.

Di altro tipo sono le osservazioni di Wolter e collaboratori (2014) che descrivono differenti prestazioni motorie in accordo con un'elaborazione di significati relativa ad altezze di suoni, anche per i soggetti non musicisti. Questa ricerca è di fatto un lavoro a cavallo tra elaborazione linguistica, percezione spaziale e interazione motoria con il sapore propriamente multisensoriale dell'*Embodied Cognition*; ai soggetti era richiesto di esprimere un giudizio di plausibilità (i.e. verosimiglianza) su una serie di frasi che potevano contenere al loro interno espressioni semantiche che richiama-vano a suoni acuti in modo esplicito (es. «il soprano canta arie con una tonalità alta») oppure frasi in cui l'altezza del suono compariva in modo implicito (es. «il canarino gorgheggia stridulo»). Il giudizio di plausibilità/non plausibilità era espresso con pressione di due pulsanti posti su una base d'appoggio verticale di fronte al soggetto. Per esercitare la pressione ciascun partecipante doveva necessariamente eseguire un movimento verso l'alto o verso il basso a seconda della scelta.

I dati emersi sono compatibili con un effetto di facilitazione, cioè con tempi di risposta più rapidi e una maggiore accuratezza, nella condizione di congruenza tra espressione del tono e risposta motoria, mostrando quindi una maggiore rapidità nel rispondere con un movimento verso l'alto quando il contenuto frasale evocava suoni acuti e con un movimento verso il basso quando, al contrario, il contenuto era relativo a suoni gravi.

2.4. APPLICAZIONI CLINICHE

La ricaduta clinica, relativa cioè al paziente, alle sue difficoltà e ai possibili recuperi, costituisce un argomento di estremo interesse poiché in questo ambito le neuroscienze contribuiscono in modo robusto ad una più fine caratterizzazione della patologia e al tempo stesso l'*Embodied Cognition* fornisce ai clinici e ai ricercatori suggerimenti estremamente importanti per l'implementazione di teorie e tecniche riabilitative. La declinazione in ambito clinico di quanto finora descritto si focalizzerà tuttavia su aspetti di natura diagnostica trattando il tema della *coscienza* e delle sue forme di alterazione a seguito di grave lesione cerebrale acquisita.

Anzitutto definire l'ambito e formulare un costrutto operativo del concetto di coscienza è al medesimo tempo cosa necessaria ed estremamente complessa. In una serie di lavori (si vedano Inzaghi & Sozzi, 2011; Inzaghi et al., 2012; Sozzi & Inzaghi, 2011) nei quali sono stati descritti gli approcci clinici, basati cioè sull'osservazione del paziente e la compilazione di scale qualitative, abbiamo sottolineato come ancora oggi la definizione di coscienza abbia sfaccettature differenti, tra loro complementari, a seconda che l'ambito di studio sia la filosofia, la psicologia o la neurofisiologia. Se partiamo dalla definizione di Cohadon (2003), per *coscienza* possiamo intendere l'«essere consapevoli di sé, degli altri, dell'ambiente che ci circonda, quindi essere 'presenti' per sé e per gli altri e rispondere agli stimoli». Perché si possa parlare di persona cosciente è necessario che la persona sia in stato di veglia e sia presente il contenuto vero e proprio della coscienza.

Da una parte lo stato di veglia è identificato dall'apertura degli occhi e può quindi per definizione essere presente in assenza di qualsiasi contenuto. Diversamente, il contenuto della coscienza è identificato con i processi cognitivi superiori quali l'intelligenza, il linguaggio, la memoria, l'affettività, ecc., e non può essere presente in assenza di stato di veglia. Tale descrizione, benché ridotta e sicuramente non esaustiva dell'ampio dibattito su un tema di tale complessità, permette la descrizione clinica dei pazienti che spesso in seguito a grave cerebrolesione acquisita possono

presentare un'alterazione prolungata o persistente dello stato di coscienza stesso. Seguendo una descrizione nosografica, così come riportato anche di recente in una *review* di Giacino e collaboratori (2014), definiamo *coma* la perdita completa di attivazione spontanea o indotta da uno stimolo esterno; non sono presenti ritmi sonno-veglia, gli occhi permangono chiusi, non è presente alcun tentativo di comunicazione, movimento, sia a seguito di comando che di stimolazione (Plum & Posner, 1983) e generalmente evolve in stato vegetativo o in uno stato di minima coscienza dopo almeno due settimane. Lo *stato vegetativo* è rappresentato invece da una condizione di veglia alternata a momenti di sonno, in cui tuttavia rimane assente ogni forma di risposta. Lauryes e collaboratori propongono nel 2010 una nuova definizione: *unresponsive wakefulness syndrome* (sindrome da veglia in assenza di responsività), per meglio definire questo stato come la condizione in cui il paziente si presenta vigile ma senza alcuna reazione – congruente, incongruente o anche solo generalizzata – alla presentazione di stimoli esterni.

È possibile individuare poi uno stato «intermedio» tra l'assenza di coscienza e la piena coscienza, molto particolare, estremamente nebuloso per i clinici, che rappresenta ancor più che la definizione e la diagnosi di stato vegetativo, la problematica del clinico: lo *stato di minima coscienza*. Questa condizione è caratterizzata dalla presenza di segni anche incostanti che siano indicativi della presenza di un contenuto di coscienza minimale ma sufficiente per elaborare e rispondere a stimoli.

In particolare i criteri descritti nel 2002 da Giacino e collaboratori riguardano l'esecuzione di ordini semplici, inseguimenti con lo sguardo, localizzazione del dolore e verbalizzazioni, con una distinzione tra i pazienti che presentano abilità più consistenti e maggiormente riproducibili nel fornire risposte comportamentali complesse, come l'esecuzione di ordini o la riproduzione verbale (*Minimally Conscious State Plus*, MCI+) e i pazienti che presentano risposte semplici a stimoli esterni quali l'abilità ad inseguire con lo sguardo o la capacità di localizzare, con movimenti specifici di allontanamento, il dolore (MCI-).

Come accennato poco sopra, stabilire se il paziente sia «cosciente» e quanto sia in grado di elaborare gli stimoli che provengono dall'ambiente esterno è estremamente complesso. Ad oggi tale valutazione nella maggior parte dei casi viene effettuata clinicamente, inferendo cioè in modo indiretto, sulla base delle descrizioni fornite dalla letteratura, la quantità, la frequenza, la riproducibilità e la complessità delle risposte fornite dal paziente. Tale processo valutativo risulta però fortemente condizionato da situazioni che possono impedire la rilevazione di una risposta. Il problema clinico da cui partiamo è dunque quello della misdiagnosi: sebbene negli ul-

timi anni le percentuali di errore nella valutazione del disturbo di coscienza si siano ridotte, ad oggi (Gosseries et al., 2014a e 2014b) il bias dell'errore diagnostico si colloca ancora intorno al 40%; questo significa che sebbene le osservazioni si facciano sempre più raffinate, il rischio di non rilevare risposte indicative di coscienza è ancora molto alto. Questa difficoltà è causata da una molteplicità di fattori, ad esempio la presenza di lesione emisferica sinistra potrebbe determinare sindromi afasiche con severe difficoltà a comprendere e quindi ad eseguire ordini. Schnakers e collaboratori (2015) hanno recentemente dimostrato come l'applicazione della maggior parte delle scale utilizzate nella valutazione dei pazienti con disordine di coscienza su pazienti afasici, fornisce dei risultati compatibili con la presenza di stato di minima coscienza anche se i pazienti valutati sono evidentemente coscienti! Ma anche la presenza di deficit sensoriali, motori, di trattamenti farmacologici che alternano lo stato di vigilanza o la fluttuazione tipica dei pazienti con lesione cerebrale dei livelli di attenzione, potrebbero di per sé far perdere alcune informazioni che sono estremamente rilevanti. Come l'approccio neuroscientifico ci sta aiutando in questo senso e ancora più precisamente come può l'*Embodied Cognition* essere mezzo di rilevazione della presenza cosciente di un individuo? L'utilizzo di strumenti che permettano l'analisi dell'elaborazione delle informazioni in vivo ha fornito in questi anni dei dati molto interessanti. Uno degli autori che ha fornito evidenze consistenti è Adrian Owen che insieme ad altri colleghi ha compiuto molti studi in questa direzione (si vedano ad es. Laureys et al., 2004; Owen et al., 2006) utilizzando come principale paradigma di ricerca la capacità dei pazienti di «immaginare» delle azioni, ad esempio chiedendo ai pazienti di immaginare di giocare a tennis, e osservare con gli strumenti di neuroimmagine funzionale non solo un aumento globale dell'attivazione in fase di immaginazione ma in modo specifico l'attivazione delle aree motorie compatibili con il compito che veniva richiesto (in questo caso le aree motorie dell'arto superiore), in modo non del tutto dissimile a quanto accade negli individui neurologicamente indenni posti nella condizione di rievocare un concetto la cui conoscenza è incarnata in correlati sensori-motori.

A titolo esemplificativo tra questi lavori compare un contributo recentemente pubblicato su *The Lancet* (Stender et al., 2014) relativo ad uno studio di diagnostica di precisione nel quale sono state utilizzate PET (tomografia ad emissione di positroni) e fMRI (risonanza magnetica funzionale) su 126 pazienti in esiti di grave cerebrolesione acquisita. Il dato PET ottenuto con l'uso del tracciante radioattivo ¹⁸F-FDG allo scopo di rilevare le alterazioni metaboliche a livello corticale, mostra uno stato di attivazione maggiore in quei pazienti che sono classificati come in stato di minima coscienza, mentre sono minori le aree attive nel paziente in stato vegetativo persistente;

minori, ma non assenti, questo a significare che un'attivazione è di fatto presente anche in questi pazienti clinicamente definiti come non coscienti.

Ma ancora più interessante è il dato ottenuto con la fMRI in cui hanno richiesto ad alcuni dei pazienti di questo campione, assolutamente privi di ogni risposta e apparentemente assenti rispetto al concetto di interazione con l'ambiente esterno, di immaginare delle azioni (es. giocare a tennis, muoversi all'interno della loro casa, ecc.) e sorprendentemente si è osservato che solo attraverso l'attivazione del canale uditivo, in assenza di una risposta diretta motoria, è presente un'attivazione di aree motorie corrispondenti al movimento del braccio o a quello della gamba. Anche il dato elettroencefalografico, relativo cioè alla diversa attività di polarizzazione-depolarizzazione corticale, è in linea con quanto già osservato. Nel lavoro di Cruse e collaboratori (2012) ad esempio viene descritto il caso di una persona in stato vegetativo da 12 anni; alla richiesta di immaginarsi di muovere un braccio si poteva rilevare una deflessione del tracciato delle onde Beta dell'elettroencefalogramma, in corrispondenza delle derivazioni poste in regione frontale destra (area motoria), nonostante la lesione presentasse un'estensione drammatica e il coinvolgimento del parenchima cerebrale era tale da determinare esiti clinici di estrema gravità. Questi lavori confermano risultati già precedentemente descritti su altri pazienti e con paradigmi sperimentali differenti: l'attivazione di tutto ciò che è coinvolto in una conoscenza incarnata è di per sé indice di un'elaborazione alta, in qualche modo consapevole, di quello che sta succedendo nell'ambiente esterno. Queste scoperte forniscono informazioni utili su un dibattito aperto e vivace e, come accennato in precedenza, lontano dal trovare una risposta unanime sul significato di coscienza. La pratica clinica quotidiana non può ancora essere caratterizzata da approcci così specifici per evidenti difficoltà strutturali e per la necessità di raccolta di ulteriori dati finalizzati ad irrobustire le evidenze fin qui ottenute. Tuttavia la teoria dell'*Embodied Cognition* trova in queste osservazioni interessanti conferme e, attraverso le neuroscienze, diventa strumento per dirimere e meglio descrivere condizioni cliniche di grande impatto umano, relazionale e sociale.

2.5. CONSIDERAZIONI FINALI

Difficile parlare di conclusioni in un ambito ancora in così ricco fermento. Certo possiamo invece domandarci quali approcci neuroscientifici possibili per il futuro. Uno degli aspetti che la scienza sta portando avanti è lo studio della trattografia attraverso la tecnica dell'immagine con tensore di diffu-

sione, nota come *Diffusion Tensor Imaging*. La DTI consiste in un'immagine tridimensionale delle connessioni cerebrali attive ottenuta da uno studio specifico di risonanza magnetica nucleare attraverso la rilevazione del movimento delle molecole d'acqua nei fasci di fibre nervose. L'uso di questa tecnica nelle ricerche scientifiche e in clinica si sta sempre più diffondendo poiché, permettendo l'osservazione delle connessioni tra le singole aree in contesti di elaborazione di informazione, porta in modo sempre più consistente verso una «connettomica» cerebrale, cioè verso una teoria intesa a descrivere tutte le possibili connessioni fra aree. In tal senso, la DTI diventa strumento neuroscientifico di notevole peso per fornire informazioni sulla geografia dell'*Embodied Cognition*. Di recente Jouen e collaboratori (2015) hanno sottoposto un gruppo di soggetti neurologicamente sani ad un compito di elaborazione semantica di *immagini* e *frasi* relative ad azioni comunemente svolte; in questo esperimento è stato chiesto di prestare attenzione a ciascuno stimolo in modo da poter rispondere ad una possibile domanda ad esso inerente. Con l'uso di fMRI e DTI gli autori testano l'ipotesi di un sistema semantico esteso e sovramodale, indipendente cioè dalla modalità di presentazione dello stimolo. L'elaborazione di quanto presentato determina l'attivazione di un *network* fronto-temporo-parietale comune tra la comprensione di figure e frasi, e con la DTI in particolare si osserva una rete tra il polo temporale, il polo frontale e la corteccia premotoria nell'elaborazione di entrambi i tipi di stimoli. I dati raccolti da questi autori mostrano che anche le connessioni tra aree sono indicative di un'elaborazione di informazioni che non considera solo l'aspetto sensori-motorio ma si estende ad altri domini cognitivi quali la memoria, il ragionamento, la teoria della mente, indipendentemente dal canale sensoriale attivato, in linea con una teoria di *Embodied Cognition*.

L'aspetto cruciale della teoria risiede dunque nell'azione, un'azione che non è mera esecuzione di movimenti, ma complessa forma di interazione funzionale con l'ambiente esterno finalizzata a raccogliere informazioni e apprendere significati (Buxbaum & Kalenine, 2010). Le applicazioni in ambito clinico sono come accennato in precedenza importanti per gli aspetti diagnostici con una più fine caratterizzazione del paziente e delle sue abilità residue ma anche in ambito riabilitativo dove l'interazione tra il paziente e l'ambiente che lo circonda può diventare di per sé strumento di recupero. Marangolo e collaboratori (2012) ad esempio descrivono dati promettenti e di grande interesse relativamente ai processi di riabilitazione, in questo senso la presenza di un'azione motoria esercitata, in virtù di una conoscenza semantica estesa e sovramodale, una facilitazione nei processi di recupero delle parole, in particolare verbi, all'interno del percorso riabilitativo del paziente afasico.

Le evidenze scientifiche descritte in questo capitolo rappresentano solo una minima parte di quello che la letteratura ci offre riguardo allo studio della consapevolezza incarnata. A fronte di tutto ciò rimangono ancora molti gli aspetti da indagare e da approfondire, ad esempio quanto e in che modo è implicato il sistema sensori-motorio nella creazione di concetti che sono puramente astratti. Gli studi fin qui disponibili, forniscono senza dubbio importanti riscontri a favore di una teoria per l'*Embodied Cognition* eppure, come argomentato da Hauk e Tschentscher (2013), un numero crescente di sforzi da parte dei ricercatori è necessario per definire in modo specifico il ruolo delle aree sensori-motorie e più in generale del corpo come strumento generatore di significati.

2.6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Balconi, M., Amenta, S., Sozzi, M., Cannatà, A.P., & Pisani, L. (2013). Eye movements and online bisection task in unilateral patients with neglect: A new look to the «gradient effect». *Brain Injury*, 27 (3), 310-317.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Buxbaum, L.J., & Kalenine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191, 201-218.
- Caruana, F., & Borghi, A.M. (2013). Embodied Cognition: una nuova psicologia. *Giornale italiano di psicologia*, 1, 23-48. doi: 10.1421/73973.
- Clark, A. (1997). *Being there: Putting brain, body and world together again*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Cohadon, F. (2003). *Uscire dal coma*. Milano: Raffaello Cortina.
- Cruse, D., Chennu, S., Fernandez-Espejo, D., Payne, W.L., Young, G.B., & Owen, A.M. (2012). Detecting awareness in the vegetative state: Electroencephalographic evidence for attempted movements to command. *PLOS One*, 7 (11), e49933. doi: 10.1371/journal.pone.0049933.
- Fadiga, L., & Craighero, L. (2003). New insights on sensorimotor integration: From hand action to speech perception. *Brain and Cognition*, 53, 514-524.
- Garbarini, F., & Adenzato, M. (2004). At the root of embodied cognition: Cognitive science meets neurophysiology. *Brain and Cognition*, 56, 100-106.
- Giacino, J.T., Ashwal, S., Childs, N., Cranford, R., Jennet, B., Katz, D.I., Kelly, J.P., Rosenberg, J.H., Whyte, J., Zafonte, R.D., & Zasler, N.D. (2002). The minimally conscious state. Definition and diagnostic criteria. *Neurology*, 58, 349-353.
- Giacino, J.T., Fins, J.J., Laureys, S., & Schiff, N.D. (2014). Disorders of consciousness after acquired brain injury: The state of the science. *Nature Reviews*

- Neurology*, February, 10 (2), 99-114. doi: 10.1038/nrneurol.2013.279. Review: (Epub) 2014, January, 28.
- Gosseries, O., Thibaut, A., Boly, M., Rosanova, M., Massimini, M., & Laureys, S. (2014a). Assessing consciousness in coma and related states using transcranial magnetic stimulation combined with electroencephalography. *Annals Francaises Anesthesie et Reanimation*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.annfar.2013.11.002>.
- Gosseries, O., Zasler, N.D., & Laureys, S. (2014b). Recent advances in disorders of consciousness: Focus on the diagnosis. *Brain Injury*, 28 (9), 1141-1150. doi: 10.3109/02699052.2014.920522.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2011). The lateralization of motor cortex activation to action-words. *Frontiers in Human Neuroscience*, 29 (5), 149.
- Hauk, O., & Tschentscher, N. (2013). The body of evidence: What can neuroscience tell us about embodied semantics?, *Frontiers in Psychology*, 4 (50), 1-14. doi:10.3389/fpsyg.2013.00050.
- Inzaghi, M.G., & Sozzi, M. (2011). The altered state of consciousness: Clinical assessment and monitoring. *Neuropsychological Trends*, 10, 7-24.
- Inzaghi, M.G., Sozzi, M., Lombardi, F., & Conforti, J. (2012). I postumi della grave cerebrolesione: stato vegetativo e stato di minima coscienza. In G. Vallar, A. Cantagallo, S. Cappa & P. Zoccolotti, *La riabilitazione neuropsicologica*. Milano: Springer, 197-207.
- Jouen, A.L., Ellmore, T.M., Madden, C.J., Pallier, C., Dominey, P.F., & Ventre-Dominey, J. (2015). Beyond the word and image: Characteristics of a common meaning system for language and vision revealed by functional and structural imaging. *Neuroimage*, 106, 72-85.
- Laureys, S., Celesia, G.G., Cohadon, F., Lavrijsen, J., León-Carrión, J., Sannita, W.G., Szabon, L., Schmutzhard, E., von Wild, K.R., Zeman, A., & Dolce, G. (2010). Unresponsive wakefulness syndrome: A new name for the vegetative state or apallic syndrome. *BMC Med.*, November, 1, 8-68. doi: 10.1186/1741-7015-8-68.
- Laureys, S., Owen, A.M., & Schiff, N.D. (2004). Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet Neurology*, 3, 537-546.
- Lega, C., Cattaneo, Z., Merabet, L.B., Vecchi, T., & Cucchi, S. (2014). The effect of musical expertise on the representation of space. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 250. doi: 10.3389/fnhum.2014.00250.
- Marangolo, P., Cipollari, S., Fiori, V., Razzano, C., & Caltagirone, C. (2012). Walking but not barking improves verb recovery: Implications for actin observation treatment in aphasia rehabilitation. *PLOS One*, 7 (6), e38610.
- Owen, A.M., Coleman, M.R., Boly, M., Davis, M.H., Laureys, S., & Picard, J.D. (2006). Detecting awareness in the vegetative state. *Science*, 313, 1402.
- Plum, F., & Posner, J. (1983). *The diagnosis of stupor and coma* (3rd ed.). Philadelphia, PA: FA Davis.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., & Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental Brain Research*, 71, 491-507.

- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B.L., Umiltà, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: The SMARC effect. *Cognition*, 99, 113-129. doi: 10.1016/j.cognition.2005.01.004.
- Schnakers, C., Bessou, H., Rubi-Fessen, I., Hartmann, A., Fink, G.R., Meister, I., Giacino, J.T., Laureys, S., & Majerus, S. (2015). Impact of aphasia on consciousness assessment: A cross-sectional study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29 (1), 41-47. doi: 10.1177/1545968314528067.
- Shtyrov, Y., Butorina, A., Nikolaeva, A., & Stroganova, T. (2014). Automatic ultrarapid activation and inhibition of cortical motor systems in spoken word comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (18), E1918-E1923. doi: 10.1073/pnas.1323158111.
- Sozzi, M., & Inzaghi, M.G. (2011). Instruments for evaluation of altered states of consciousness. *Neuropsychological Trends*, 10, 25-42.
- Stender, J., Gosseries, O., Bruno, M.-A., Charland-Verville, V., Vanhaudenhuyse, A., Demertzi, A., & Laureys, S. (2014). Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study. *Lancet*, 6736 (14), 8-16. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8.
- Thomas, L.E. (2013). Grasp posture modulates attentional prioritization of space near the hands. *Frontiers in Psychology*, 4, 312. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00312.
- Varela, F.J., Thompson, E.T., & Rosch, E. (1992). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Willems, R.M., Hagoort, P., & Casasanto, D. (2010). Body-specific representations of action verbs: Neural evidence from right- and left-handers. *Psychological Science*, 21 (1), 67-74.
- Wolter, S., Dudschig, C., de la Vega, I., & Kaup, B. (2014). Musical metaphors: Evidence for a spatial grounding of non-literal sentences describing auditory events. *Acta Psychologica (Amst)*, 156, 126-135. doi: 10.1016/j.actpsy.2014.09.006.