

DISCRIMINABILITÀ, COMPOSIZIONALITÀ E FONDAMENTO DEI SIMBOLI

1. INTRODUZIONE

La classica impostazione cognitivista, con l'adozione della cosiddetta "metafora computazionale", ha considerato i processi cognitivi, umani e artificiali, come processi di manipolazione ed elaborazione di rappresentazioni puramente simboliche. Considerare i processi cognitivi in questo modo non dà tuttavia una risposta soddisfacente ad alcune domande: come si possono collegare i simboli con il mondo esterno? in che modo le parole del nostro linguaggio si riferiscono a oggetti ed eventi? L'impostazione cognitivista ha dato scarsa importanza a questi aspetti, in quanto interessata alla manipolazione di *token* fisici sulla base di regole sintattiche, a prescindere dal modo in cui tali token possano riferirsi a qualcosa di esterno al sistema. Il problema del fondamento dei simboli in sistemi non simbolici è dunque al centro di uno dei più attuali dibattiti originati dalla revisione critica del cognitivismo¹.

Secondo la concezione cognitivista classica, inoltre, il pensiero funziona in maniera simile al linguaggio, in quanto consente l'espressione di nuovi significati attraverso la combinazione e ricombinazione di simboli primitivi che si riferiscono a aspetti o caratteristiche della realtà. Il prototipo di questa concezione fu espresso da Fodor (1975) con la sua teoria del linguaggio del pensiero (v. anche Fodor, 1980; Pylyshyn, 1980). Il pensiero condividerebbe con i linguaggi naturali due tipiche caratteristiche, sottolineate anche da Chomsky (1957): la produttività, cioè la possibilità di formulare nuove espressioni mettendo insieme i simboli primitivi in modi diversi, purché sintatticamente corretti, e la creatività, cioè la possibilità di inventare combinazioni del tutto nuove.

Le questioni del fondamento e della combinazione dei simboli nella produzione di espressioni significative non ci sembrano problemi separati. In particolare, appare essenziale un approfondimento del ruolo della discriminazione e della stabilità delle caratteristiche sensoriali che forniscono il fondamento ai simboli prima che essi siano usati per la composizione. Inoltre non è ancora chiaro se e in che modo una composizione che avvenga già al livello di tali caratteristiche possa influenzare lo stabilirsi del fondamento simbolico. Il presente lavoro presenta e discute un contributo empirico concepito per indagare su tali questioni.

La struttura dell'articolo è la seguente: dopo aver illustrato la sostanza dei problemi del *symbol grounding* e della composizionalità, analizzeremo la natura analogica delle rappresentazioni che fanno da fondamento ai simboli e descriveremo un'indagine sperimentale da noi compiuta per studiare lo stabilirsi del *grounding* per simboli separati o combinati, in condizioni di diversa discriminabilità delle caratteristiche fondanti.

2. IL PROBLEMA DEL SYMBOL GROUNDING

Uno dei più celebri argomenti contro la visione computazionale della mente è stato l'esperimento mentale della stanza cinese (Searle, 1980). Si immagina il caso di un uomo, che non conosce il cinese,

¹ Non ci si pone qui lo scopo di una confutazione della concezione computazionale, che è citata solo quale introduzione al problema del *symbol grounding*, così come esso è storicamente nato dalle celebri considerazioni di Harnad (1990) sui limiti di tale prospettiva.

chiuso all'interno di una stanza dove riceve domande in cinese corredate da istruzioni nella sua lingua su come manipolare tali stringhe di simboli per emettere risposte in cinese corretto. Quest'uomo è in grado di restituire le stringhe di output richieste ma non tutti sono disposti ad ammettere che abbia una reale comprensione del cinese.

Harnad (1990) ha proposto una versione diversa di questo esperimento mentale: cosa succederebbe se l'uomo nella stanza ricevesse le stesse istruzioni su come manipolare i simboli in cinese? Si tratterebbe di un compito senza fine, in quanto tutti i simboli senza significato si riferirebbero ad altri simboli ugualmente senza significato. Il procedimento sarebbe simile al tentativo di imparare il cinese avendo a disposizione solo un dizionario cinese-cinese, diventando così circolare come una giostra. Harnad ha evidenziato la necessità di uscire dal sistema di simboli e ammettere che tali simboli ottengono significato per il sistema stesso, almeno in prima istanza, solo quando sono associati a esperienze di tipo sensomotorio. Questo è il modo per dare un fondamento ai simboli (*symbol grounding*). Le connessioni tra simboli e mondo si creano per tentativi ed errori, in una dinamica che richiede uno "sforzo sensomotorio" (*sensorimotor toil*), cioè l'uso diretto delle risorse sensoriali e motorie.

Sulla scia delle osservazioni di Harnad, si pone il problema del fondamento autonomo delle rappresentazioni, nei sistemi cognitivi, attraverso l'interazione sensomotoria con l'ambiente. Questo risulta chiaro in modo particolare nell'ambito dei modelli cognitivi in cui l'interpretazione dei simboli non è intrinseca al sistema ma dipende dal costruttore o utente dello stesso sistema (cfr. Greco, Cangelosi, Riga, 2004; Greco, 2011, p.149)². Fin dai primi tentativi di costruzione di modelli cognitivi, quelli classici di natura simbolica, le variabili rappresentate dal sistema (ad esempio proprietà degli oggetti del mondo o addirittura, in certi casi, stati interni del sistema stesso) erano simboli definiti attraverso altri simboli, oppure primitivi il cui significato era stato determinato dal costruttore del modello. Un programma, come ad esempio SHRDLU (Winograd, 1972), poteva manipolare con intelligenza cubi e piramidi, sapendo se e in che modo si possono sovrapporre, ma non per esperienza diretta delle loro proprietà percettive, bensì per definizioni fatte di simboli la cui ultima interpretazione era nella mente della persona che aveva creato il sistema.

Neppure i sistemi connessionisti sono immuni di per sé dal problema del *symbol grounding* per il semplice fatto di avere rappresentazioni distribuite e non simboliche. Come abbiamo mostrato altrove (Greco, Cangelosi, Riga, 2004), infatti, questa idea è illusoria in primo luogo perché un sistema totalmente privo di rappresentazioni simboliche non sarebbe interpretabile e in secondo luogo perché comunque di fatto nei modelli connessionisti sono spesso usate rappresentazioni localistiche (soprattutto per quanto riguarda gli input e output dei modelli) che hanno tutti i caratteri delle rappresentazioni simboliche. D'altra parte, se nel sistema non ci fosse alcun elemento interpretabile in termini simbolici, non sarebbe possibile alcun modello o agente in grado di spiegare o riprodurre l'uso del linguaggio.

3. SYMBOL GROUNDING E COMPOSIZIONALITÀ

Un linguaggio è un complesso sistema di simboli che si riferiscono a diversi oggetti o eventi nel mondo, a diverse caratteristiche che possiamo identificare e riconoscere e a nuovi concetti che possiamo creare. Una semplice collezione di etichette, sia pure ciascuna fondata per proprio conto,

² Non si pone qui la questione di una valutazione dei modelli (ad esempio basati su agenti) che compiono elaborazioni esclusivamente simboliche. Bisogna ricordare che il problema del fondamento, essendo derivato dalle questioni poste dal test di Turing, riguarda l'attribuzione di *stati mentali* a un sistema artificiale. Dal punto di vista del "fondamento", qualunque sistema artificiale che non colleghi almeno alcuni simboli a dati sensomotori elaborati direttamente dallo stesso sistema non è "fondato". Tuttavia, ciò significa soltanto che in quel caso il significato delle elaborazioni del sistema non può essere considerato intrinseco allo stesso sistema ma dipendente da una interpretazione esterna. La questione se un modello sia "fondato" o meno su aspetti non simbolici non ha nulla a che vedere con il suo valore o la sua utilità quale strumento simulativo, sia in termini esplicativi che euristici, a meno che l'oggetto della simulazione non riguardi proprio una teoria del significato o l'emergere stesso dei simboli.

non costituisce ovviamente un sistema linguistico. Ma, una volta che siano state stabilite per via sensoriomotoria le connessioni tra simboli e mondo, è possibile imparare il significato di nuovi simboli attraverso definizioni puramente simboliche, espresse attraverso proposizioni linguistiche. La condizione necessaria è che queste proposizioni contengano simboli già fondati, evitando così la necessità di un'esperienza sensoriomotoria diretta, che non sempre è possibile e che comporta in ogni caso un dispendio di risorse cognitive. Harnad (1996) ha definito "furto simbolico" (*symbolic theft*) questa possibilità. Per riprendere l'esempio di Harnad, se qualcuno non sapesse che cosa vuol dire "zebra", si potrebbe spiegarglielo attraverso la definizione «cavallo con le strisce», purchè la persona abbia già avuto esperienza (visiva, tattile, ecc.) di cavalli e di strisce. In questo senso non è necessario far esperienza diretta di tutto ciò che sappiamo, ma lo è almeno dei significati primitivi (Cangelosi, Greco, Harnad 2000, 2002).

Fin dalla concezione originaria di Harnad, dunque, il *symbol grounding* non riguardava solo i singoli simboli considerati come isolati, ma in qualche modo sottolineava l'importanza della loro combinazione. Questa caratteristica si accordava bene con l'impostazione cognitivista, che, come abbiamo menzionato all'inizio, vedeva il pensiero dotato di alcune caratteristiche proprie del linguaggio, prima fra tutte la composizionalità.

Secondo il principio di composizionalità, comunemente attribuito a Frege (1892), il significato di espressioni complesse è determinato dal significato delle parti componenti e dalle regole usate per la combinazione. Tale principio è alla base di gran parte degli studi attuali sulla semantica e anche di controversie sul modo in cui debba essere inteso. Ne è un esempio la contrapposizione con il principio dell'olismo semantico, secondo il quale i significati delle espressioni di un linguaggio sono determinati, globalmente, dalla totalità delle relazioni fra le espressioni di tale linguaggio. Ci sembra di particolare interesse, nel dibattito filosofico, la recente distinzione (Pelletier, 2012) tra due sensi del concetto di composizionalità. Nel primo, definito "ontologico", gli elementi che si compongono nel costituire un'espressione complessa sono considerati elementi primitivi, una sorta di mattoncini la cui natura non cambia; il significato dell'espressione dipende, dunque, soltanto dal modo in cui tali mattoncini sono combinati. Nel secondo senso, definito "funzionale", invece, si ipotizza un'interazione tra le parti componenti, che nella composizione perdono in qualche modo il loro status di primitivi identificabili in maniera stabile. Questa distinzione, al di là del fatto di essere stata proposta per superare alcune controversie filosofiche, è in sintonia con una visione che va oltre i presupposti computazionali del cognitivismo e - come vedremo - è supportata dalla nostra indagine empirica.

Il dibattito si è esteso dalla filosofia del linguaggio a numerose discipline nell'ambito delle scienze cognitive, come mostrato, ad esempio, dalla definizione di composizionalità riportata nell'introduzione agli atti di un'importante conferenza: "Compositionality is a key feature of structured representational systems, be they linguistic, mental or neuronal..." (Werning 2005). La discussione riguarda sia i linguaggi naturali sia quelli formali e artificiali. I linguaggi formali della matematica, logica e computer science sono considerati come tipicamente composizionali; in questi ambiti, tra i problemi principali si trova anche quello che riguarda le funzioni che applicate ai componenti primitivi garantiscono una interpretazione semantica complessiva. In questi campi, come anche nel campo della linguistica, in cui è naturalmente essenziale studiare i meccanismi attraverso i quali le parole si possono combinare nei linguaggi naturali, un problema importante riguarda la natura dei primitivi e la possibilità di forme di composizione non esclusivamente sintattiche.

4. COMPOSIZIONALITÀ E FONDAMENTO ANALOGICO

Affermare la necessità del *symbol grounding* implica ovviamente che le rappresentazioni che forniscono il fondamento ai simboli non possano essere simboliche esse stesse ma debbano avere natura non simbolica. In psicologia e nell'ambito dei modelli cognitivi, proprio a seguito dei lavori di Harnad, e con l'affermarsi di nuove prospettive critiche nei confronti delle concezioni cognitiviste come quella ecologica e dell'*embodiment*, si è dunque aperta un'ampia discussione a proposito della natura delle rappresentazioni non simboliche che forniscono fondamento ai simboli. Tutte le teorie che hanno sfidato la concezione classica del linguaggio del pensiero hanno dovuto fare i conti con questo problema. Le ipotesi proposte sono state di vario genere ma tutte hanno condiviso per lo più l'idea di considerare i fondamenti delle rappresentazioni simboliche come legati ai processi

sensoriali che si svolgono nel corpo, in una particolare modalità sensoriale. Le rappresentazioni fondanti, ad esempio, sono state considerate immagini mentali (Moulton e Kosslyn, 2009), anticipazioni percettive (Chambers and San 2008), "accoppiamenti strutturali" (*structural coupling*, Riegler 2002), emulazioni interne (Grush 2004), caratteristiche concettuali pre-linguistiche (Howell et al. 2005).

Una concezione particolarmente influente è stata quella di Barsalou (1999, 2008),³ che sulla natura delle rappresentazioni fondanti ha proposto una sorta di compromesso, mantenendo l'idea, propria del linguaggio del pensiero, di una combinazione di caratteristiche primitive ma considerando tali primitivi come riproduzioni interne di natura non simbolica (modale o analogica) che possono funzionare in maniera compositiva (Wu and Barsalou 2009). La teoria di Barsalou non si limita, dunque, a specificare la natura delle rappresentazioni che fondano i simboli, ma implica anche che le proprietà compositive dei simboli si debbano appoggiare su una corrispondente composizione delle rappresentazioni fondanti.

Un problema analogo, legato alla compositività a livello sensoriale o pre-concettuale, è il *binding problem*, cioè il problema di spiegare a livello percettivo l'assegnazione delle corrette caratteristiche a oggetti e eventi quando diverse caratteristiche primitive, che sono rappresentate separatamente (colori, suoni, identità degli oggetti e loro posizione, ecc.), sono esperite simultaneamente. Per spiegare il corretto funzionamento del nostro sistema percettivo, e anche per costruirne dei modelli, si deve ammettere che si creino dei legami temporanei tra le diverse tracce sensoriali (vd. ad es. Holcombe, 2009). Questo problema è emerso anche nell'ambito della psicologia dell'attenzione, in particolare negli studi di Anne Treisman (1991), che hanno condotto alla formulazione della teoria dell'integrazione delle caratteristiche.

In una concezione completamente computazionale, come quella classica del linguaggio del pensiero, non ci sarebbe spazio per una composizione percettiva. Ma, se si accetta la necessità del *symbol grounding*, ipotizzando una stretta corrispondenza tra simboli e rappresentazioni fondanti, per spiegare la composizione simbolica si deve spiegare a quale livello avvenga la composizione. Quest'ultima infatti può dipendere da una composizione delle rappresentazioni fondanti corrispondenti ai simboli che vengono composti o, quando avviene ad alto livello, trascinare con sé la composizione delle corrispondenti rappresentazioni fondanti.

Per qualunque teoria della composizione è essenziale specificare quali sono e come sono identificati i primitivi che si compongono. Nella visione simbolica classica i primitivi erano i simboli stessi e non c'era bisogno di ulteriori analisi; l'effetto compositivo (cioè la possibilità di rappresentazioni più complesse di quelle componenti) derivava semplicemente dalla combinazione dei simboli. Ma se i simboli (almeno alcuni) devono avere un fondamento sensoriale, si dovrebbe supporre che a ciascun simbolo corrisponda un'unica rappresentazione fondante, espressione di una singola caratteristica percettiva o motoria. Dovendo trattarsi di primitivi percettivi o motori, la loro identificazione dovrebbe essere basata su una discriminazione sensoriale. Inoltre, la spiegazione simbolica deve in ogni caso basarsi sull'importante presupposto che le rappresentazioni fondanti rimangano perfettamente stabili, se devono sostenere simboli primitivi che si compongono.

Le concezioni che contrastano quella classica del linguaggio del pensiero, e che sostengono l'idea di una composizione percettiva, non hanno bisogno di supporre una discriminazione percettiva come passo di partenza per l'identificazione degli elementi che devono essere composti. Nella prospettiva connessionista, in particolare, viene assunta una sorta di "composizione senza discriminazione", cioè una sorta di composizione senza identificazione dei primitivi. Ad esempio, una

³ L'ipotesi del sistema di simboli percettivi di Barsalou è stata utilizzata dalla teoria "indessicale" di Glenberg e Robertson (1999, 2000) che hanno esteso il problema del *symbol grounding* dal fondamento sensoriale a quello "embodied" che fa riferimento alle *affordance*. Secondo tale teoria, per una comprensione "fondata" di un'espressione linguistica non basta il suo collegamento con i simboli percettivi, che rappresentano gli oggetti in modalità analogica, ma è necessario ricavare da essi le *affordance* dei referenti e infine far emergere un senso sulla base delle combinazioni sintattiche compatibili con tali *affordance*. Per questo, ad esempio, è difficile trovare un senso all'espressione "asciugare le mani con gli occhiali" mentre è possibile trovarlo in "asciugare gli occhiali con le mani".

composizione non concatenativa o funzionale (van Gelder 1990) sarebbe basata su caratteristiche, o micro-caratteristiche, che interagiscono senza richiedere di essere rappresentate separatamente. Una concezione come questa, seppur con alcune differenze, sembra essere in linea con l'accezione "funzionale" della composizionalità - già sopra ricordata - discussa da Pelletier (2012).

5. SCOPI DELLO STUDIO

Le considerazioni fin qui svolte hanno evidenziato l'importanza della questione del collegamento tra ciascuna singola rappresentazione fondante e una particolare caratteristica discriminata a livello percettivo. Qualora questo collegamento fosse diretto, sarebbe possibile ipotizzare una corrispondenza uno a uno tra le singole caratteristiche percettive, le corrispondenti rappresentazioni fondanti e i simboli linguistici. Si potrebbe tuttavia avanzare una diversa ipotesi, consistente nel ritenere che le stesse rappresentazioni fondanti abbiano una natura composita, con caratteristiche che già interagiscono a livello percettivo prima che simbolico, dando origine a proprietà globali emergenti. Nel primo caso si tratterebbe di una vera composizione simbolica, mentre nel secondo caso si potrebbe parlare di una composizione percettiva.

La domanda se ciascuna etichetta trovi direttamente il suo fondamento in una singola caratteristica primitiva oppure in più caratteristiche primitive che si combinano è una questione empirica. Presenteremo ora una ricerca compiuta per rispondere a questa domanda, esponendone l'impianto generale e discutendone le implicazioni. Un resoconto completo, con maggiori dettagli tecnici, si trova in Greco e Carrea (2011).

Come si è visto in precedenza, quando si crea un fondamento, un'etichetta linguistica che prima era arbitraria e senza riferimento viene associata con caratteristiche rilevate attraverso il sistema sensorimotorio. Una premessa della nostra ricerca è dunque partire da parole prive di significato per studiare il loro passaggio da semplici etichette a simboli veri e propri attraverso l'apprendimento coerente e sistematico della loro associazione con determinate caratteristiche sensoriali.

Una seconda considerazione sottostante ai nostri esperimenti è che, se le caratteristiche che compongono uno stimolo sono facilmente discriminabili e "tendono" ad avere ciascuna una propria rappresentazione, l'associazione sistematica di ciascuna caratteristica con una parola separata sarà facilitata. In questo caso, infatti, ciascuna parola sarà facilmente connessa con una propria rappresentazione fondante. Qualora fosse difficile individuare le caratteristiche fondanti attraverso la discriminazione sensoriale, l'associazione di due etichette non potrebbe essere appresa con altrettanta facilità. Invece, nel caso in cui uno stimolo tenda ad essere rappresentato in maniera olistica, l'apprendimento dell'associazione di tale stimolo con un'etichetta linguistica unica dovrebbe essere più facile rispetto a un'espressione formata da due etichette.

In conformità con queste premesse, abbiamo dunque manipolato da una parte la discriminabilità delle caratteristiche che compongono gli stimoli e dall'altra l'associazione di ciascuno stimolo con simboli linguistici, combinati tra loro o utilizzati singolarmente in maniera olistica. La nostra aspettativa era che un simbolo unico (una parola singola) sia appreso meglio quando associato con una rappresentazione fondante di tipo olistico mentre simboli combinati (due parole) si associno meglio con rappresentazioni fondanti separate. Il successo nell'apprendimento di questa associazione dovrebbe indicare che le etichette sono state fondate sulle corrispondenti rappresentazioni.

In simili precedenti ricerche empiriche (Greco e Caneva, 2010) erano stati associati pattern motori con due tipi di etichette verbali, composizionali e olistiche. Un limite di tali studi era tuttavia il fatto che non sia ben conosciuto come vengano rappresentati i pattern motori. Infatti, la "tendenza" ad avere una rappresentazione olistica o composizionale dipende anche dalla natura dello stimolo: nel caso dei pattern motori non è ancora stata chiarita la natura delle rappresentazioni motorie sottostanti perchè la discussione sui primitivi motori non ha raggiunto conclusioni comunemente accettate (cfr. Todorov e Ghahramani, 2003).

Nel presente lavoro, invece, abbiamo considerato stimoli di natura percettiva (figure geometriche di diverso colore), per i quali è già stato studiato il tipo di rappresentazione che generalmente sollecitano. Infatti ci sono tipi di stimolo per i quali è possibile stimare la tendenza ad essere rappresentati in maniera olistica o analitica. In particolare sappiamo che la integralità-separabilità

della rappresentazione dipende dal grado di discriminabilità o separazione percettiva delle caratteristiche componenti e dal grado di interazione tra tali caratteristiche.

6. INDAGINE SPERIMENTALE

Per mettere alla prova le nostre ipotesi di lavoro, siamo partiti dalla scelta di due categorie di stimoli visivi che avessero, in un caso, caratteristiche che interagiscono e si fondono, e nell'altro, caratteristiche chiaramente separabili. Queste due categorie di stimoli corrispondono a quelli che sono stati definiti in letteratura (Garner e Felfoldy 1970, Handel e Imai 1972, Monahan e Lockhead 1977) stimoli "integrali" e "separabili".

Abbiamo quindi compiuto un pre-esperimento per selezionare stimoli appartenenti a tali categorie sulla base della distanza psicologica percepita fra coppie di stimoli. Questo paradigma consente anche di valutare la stabilità delle rappresentazioni fondanti, che - come abbiamo visto - è condizione importante per concepire una composizione che avvenga esclusivamente al livello dei simboli.

Negli esperimenti successivi abbiamo utilizzato i tipi di stimoli individuati nel pre-esperimento, associandoli con etichette linguistiche olistiche o composte per studiare la formazione dell'associazione tra stimoli percettivi e simboli linguistici. Tale associazione è stata creata abbinando figure con etichette nel primo esperimento ed etichette con figure nel secondo. Questo disegno è stato utilizzato per controllare eventuali effetti legati alla direzione dell'associazione nella formazione del *grounding*.

6.1 Pre-esperimento

Il pre-esperimento è servito a verificare l'integralità o separabilità degli stimoli da usare nel nostro progetto. I partecipanti all'esperimento sono stati 30 studenti universitari (27 donne). Gli stimoli sono stati presentati con l'utilizzo di un software apposito; le risposte venivano date con un mouse e non era disponibile la tastiera.

Abbiamo utilizzato il paradigma di Handel e Imai (1972), che hanno misurato le dimensioni dell'integralità e separabilità sulla base di giudizi di somiglianza tra coppie di stimoli che variavano su due dimensioni. L'idea di base di questo paradigma consiste nel fatto che, con gli stimoli separabili, è possibile focalizzare l'attenzione su ciascuna dimensione dello stimolo e quindi, in caso di cambio simultaneo in entrambe le dimensioni dei due stimoli della coppia sotto analisi, la distanza percepita risulterà alta. Con gli stimoli integrali invece, in un cambio simultaneo delle caratteristiche, la distanza percepita sarà più bassa, come se a cambiare fosse stata una sola dimensione, poichè le due si fondono insieme.

Il primo tipo di stimoli consisteva in triangoli isosceli la cui tonalità di colore era fissa e la cui luminosità e saturazione⁴ venivano variate sistematicamente ciascuna secondo quattro gradazioni ascendenti. Il secondo tipo di stimoli prevedeva quattro poligoni (triangolo, quadrato, esagono, cerchio) ciascuno in quattro colori (blu, verde, giallo, rosso). Gli stimoli sono stati presentati come se fossero decorazioni dipinte sopra anfore antiche per rendere il compito più interessante. Il compito consisteva nel giudicare la somiglianza di 35 coppie di stimoli. Le coppie di stimoli erano presentate in modo tale da controllare la distanza delle dimensioni per cui variavano simultaneamente. Poichè ciascuna caratteristica (luminosità/saturazione oppure forma/colore) si presentava in quattro valori, poteva esserci una variazione da uno a tre gradi, che poteva manifestarsi in diverso grado in una sola o entrambe le dimensioni.

Abbiamo calcolato i valori attesi per le coppie nelle quali cambiavano entrambe le dimensioni basandoci sui giudizi, più stabili, di somiglianza raccolti rispetto alle coppie nelle quali a cambiare era una sola delle due dimensioni. Tali valori attesi sono stati calcolati due volte per le due metriche di riferimento della distanza psicologica: la metrica euclidea ("integrale") e la metrica *city-block*

⁴ La luminosità e la saturazione sono, insieme alla tonalità, le caratteristiche usate per la classificazione dei colori nel sistema di Münsell (1905).

(“separabile”), in base alla formula: $d = \sqrt[n]{x^n + y^n}$, dove $1.0 \leq n \leq 2.0$, mentre x e y rappresentano le distanze dei giudizi nei quali cambia solo la prima o solo la seconda caratteristica degli stimoli. Il calcolo era ripetuto sostituendo l’esponente (n nella formula) con i valori compresi tra 1.0 e 2.0. Se la valutazione di somiglianza fornita dai soggetti a una coppia di stimoli fra i quali variavano due dimensioni si fosse adattata meglio al valore atteso con esponente 1.0 allora la metrica di riferimento sarebbe stata quella *city-block*, che indica una distanza psicologica di tipo separabile. Se invece il dato fosse stato più vicino al valore atteso con esponente 2.0 allora la metrica sarebbe stata euclidea e la distanza di tipo integrale.

Il calcolo delle valutazioni medie di somiglianza ha confermato che le figure del primo tipo, per la cui valutazione viene adottata una metrica di tipo euclideo, sono quelle le cui caratteristiche interagiscono, cioè quelle definibili “integrali”. Invece le figure appartenenti al secondo tipo di stimoli, la cui distanza psicologica è valutata secondo una metrica più vicina al modello *city-block*, sono buoni esempi di figure definibili “separabili”.

Come si è visto in precedenza, un importante requisito per una composizione di primitivi sensoriali è la stabilità delle caratteristiche componenti. Nel nostro impianto sperimentale è stato possibile valutare questo aspetto analizzando quale dei due tipi di stimoli abbia ricevuto giudizi più stabili. Per fare questo, abbiamo confrontato le differenze medie, in valore assoluto, fra i giudizi dati alle stesse coppie presentate in ordine diverso. È risultato che i giudizi dati alle figure con caratteristiche separabili sono stati molto più stabili di quelli dati alle figure con caratteristiche integrali (le differenze medie sono state .92 per integrali e .54 per separabili, $t=4.41$, $df = 454$, $p < .001$). Si può ipotizzare dunque che le caratteristiche non hanno ricevuto una rappresentazione distinta quando interagivano e viceversa l’hanno ricevuta quando erano percettivamente separabili.

6.2 *Esperimenti successivi*

Come abbiamo detto in precedenza, l’idea di fondo del nostro lavoro è stata di prendere in considerazione la formazione del *grounding* di etichette, inizialmente prive di senso, associate poi a pattern visivi le cui caratteristiche fossero facilmente o difficilmente scomponibili. Una volta individuati i due tipi di stimoli, separabili e integrali, li abbiamo dunque associati entrambi a due tipi di etichette linguistiche (vedi Tabella 1). Tali etichette, pseudoparole presentate come nomi creati dagli archeologi per classificare le anfore, erano di tipo olistico (espressione formata da una sola parola) o compositiva (espressione composta da due parole, ciascuna riferita ad una delle due caratteristiche sulle quali variavano gli stimoli). Gli stimoli visivi e le pseudoparole costituiscono due tipi di primitivi posti allo stesso livello; non si assume alcuna gerarchia ma una relazione puramente associativa.

Nella formulazione delle parole abbiamo adottato un criterio standard per tener conto della loro lunghezza, pronunciabilità e confondibilità: le parole in prima posizione nelle espressioni composte erano di 5 lettere e terminavano in -spi, per sottolinearne la stessa funzione sintattica; le parole in seconda posizione erano di 4 lettere e hanno seguito lo stesso pattern *o*e (dove l’asterisco indica una diversa consonante). Le parole usate per la condizione olistica, tutte diverse, erano di 9 lettere, risultanti dalla semplice combinazione dei pattern delle due parole usate nella condizione compositiva.

L’ipotesi formulata è che sia più facile l’associazione tra uno stimolo integrale e una singola etichetta, mentre uno stimolo separabile si associ meglio con un’espressione composta. Per “facilità” intendiamo un migliore apprendimento dell’associazione, vale a dire che siano compiuti meno errori nella memorizzazione e riconoscimento della corretta etichetta di uno stimolo. Le condizioni alle quali sono stati assegnati casualmente i soggetti sono quindi quattro: (A) stimoli integrali ed espressione compositiva, (B) integrali con etichetta olistica, (C) stimoli separabili ed espressione compositiva e (D) separabili con etichetta olistica.

	NOLE (L80, B)	BOTE (L120, V)	SOVE (L160, G)	POFE (L200, R)
BASPI (S100, T)	<i>BASPINOLE</i>			<i>CUSPIPOFE</i>
TISPI (S150, Q)		<i>TISPIBOTE</i>	<i>DOSPISORE</i>	
RESPI (S200, E)		<i>GISPIMOPE</i>		<i>LUSPICOBE</i>
CUSPI (S250, C)	<i>NASPITOGÉ</i>		<i>RESPISOVE</i>	

Tabella 1. Le etichette usate negli esperimenti 1 e 2. In grassetto le etichette per la costruzione delle espressioni composizionali, in corsivo le etichette olistiche corrispondenti a ciascun incrocio (solo per gli stimoli effettivamente presentati). Tra parentesi sono indicati per gli stimoli integrali i valori di saturazione (S) e luminosità (L), nel sistema RGB adottato in Microsoft Office © , e per gli stimoli separabili le forme (Triangolo, Quadrato, Esagono, Cerchio) e i colori (Blu, Verde, Giallo, Rosso).

I partecipanti al primo esperimento sono stati 40 studenti universitari (26 donne), suddivisi in modo casuale tra i gruppi. Nella prima parte del compito, di apprendimento associativo, veniva mostrata una figura con la relativa etichetta, seguita da un pannello con pulsanti che riportavano tutte le etichette del compito: il partecipante doveva cliccare su quella ritenuta corretta. Lo scopo di questa fase era di favorire il processo di apprendimento dell'associazione. Nella condizione composizionale erano fornite le otto possibili etichette ed era necessario cliccare su due di esse per comporre l'espressione corretta. Dopo due ripetizioni di tutti gli otto stimoli, con i rispettivi nomi, si passava alla fase di test nella quale i partecipanti vedevano nuovamente tutte le otto figure una per volta, senza le relative etichette, e dovevano cliccare sul nome ritenuto corretto (o comporre l'espressione corretta) sul pannello. Per la condizione composizionale era prevista anche la risposta a due figure aggiuntive, non viste nella fase di apprendimento, ma delle quali era possibile costruire l'espressione se si era compreso il meccanismo composizionale (ad esempio non avendo mai visto direttamente l'espressione per "triangolo blu" è comunque possibile ricavare la risposta corretta se si conosce l'etichetta che denota "triangolo" e quella che denota "blu").

Il secondo esperimento è stato compiuto in maniera simile al primo, ma l'ordine di apprendimento è stato invertito: non si partiva dalle figure per associarvi le etichette ma venivano mostrate prima le etichette e ad esse erano associate le figure. Questa scelta è stata fatta per prendere in considerazione eventuali differenze nella "direzione" di formazione del *grounding*. E' infatti importante evidenziare se ci siano differenze dovute a una diversa percezione del compito, cioè se il compito venga percepito come associare figure o caratteristiche conosciute con parole nuove, o invece come associare parole sconosciute con figure/caratteristiche conosciute. L'inversione dell'ordine di apprendimento aveva inoltre lo scopo di evitare che il focus fosse eccessivamente incentrato sulla percezione della figura piuttosto che sull'assegnazione di significato all'etichetta, così come avviene naturalmente nell'acquisizione del linguaggio. Al secondo esperimento hanno partecipato 32 studenti (17 donne).

Le nostre attese per entrambi gli esperimenti erano che la condizione (B) risultasse più facile della (A) poiché, sulla base nei nostri assunti teorici, di fronte a stimoli integrali la difficoltà nella separazione degli attributi impedisce di ottenere beneficio dall'avere due parole ciascuna delle quali si riferisce a un diverso attributo. Abbiamo poi supposto che la condizione (C) fosse più semplice della (D) in quanto riconoscere e associare le parole alle caratteristiche nella condizione composizionale avrebbe dovuto essere molto facile. I risultati dell'esperimento (Tabella 2) corrispondono alla tenden-

za attesa: la condizione B è risultata più facile della A, in termini di percentuale di risposte esatte, e la C più facile della D⁵.

Media risposte esatte (SD)	Gruppo A	Gruppo B	Gruppo C	Gruppo D
Esperimento 1	.13 (.33)	.29 (.45)	.51 (.50)	.34 (.48)
Esperimento 2	.14 (.35)	.27 (.45)	.78 (.42)	.40 (.49)

Tabella 2. Media di risposte corrette per ciascun gruppo (tra parentesi la deviazione standard).

Per controllare che il risultato dei gruppi compositivi fosse davvero dovuto al beneficio del meccanismo compositivo, per i gruppi (A) e (C), alla fine del compito abbiamo anche richiesto di indicare i nomi di stimoli che non erano stati visti nella fase di apprendimento associativo. I partecipanti hanno fornito in media più risposte corrette nel gruppo C (.50 nell'esp 1, .46 nell'esp. 2) che nel gruppo A (.15 nell'esp. 1, .21 nell'esp.2)⁶. Essendo queste risposte basate sulla ricombinazione di parole associate separatamente a diverse caratteristiche, questo risultato ha indicato una produttività linguistica basata sul *grounding* compositivo.

7. DISCUSSIONE

In questo articolo abbiamo presentato uno studio empirico riguardante la relazione tra il fondamento e la composizione dei simboli in espressioni linguistiche. In particolare abbiamo studiato il ruolo che nella composizione hanno la discriminabilità e la possibilità di combinazione a livello percettivo delle caratteristiche sensoriali che fanno da fondamento ai simboli. Abbiamo studiato il meccanismo di formazione del *symbol grounding* attraverso l'associazione sistematica di etichette arbitrarie con stimoli visivi di natura integrale o separabile e abbiamo assunto che il fondamento sia rivelato empiricamente dall'apprendimento di questa associazione. Abbiamo usato parole senza senso - singole o combinate in espressioni - per studiare lo stabilirsi iniziale del *grounding*, sia in una condizione diretta (dato lo stimolo visivo dire la parola o comporre l'espressione) che inversa (data la parola o l'espressione individuare lo stimolo). Le nostre ipotesi di lavoro erano che: (a) la denominazione di una figura con caratteristiche facilmente discriminabili, e che non interagiscono (integrale), dovrebbe essere appresa meglio se consiste di un'espressione composta di etichette che trovano ciascuna il proprio fondamento in una caratteristica separata; (b) la denominazione di una figura ("separabile") con caratteristiche difficilmente discriminabili, e che interagiscono, dovrebbe essere appresa meglio se consiste di una singola parola.

I risultati sembrano supportare queste aspettative. In primo luogo, il nostro primo esperimento - che ha consentito di stabilire che gli stimoli usati avessero effettivamente proprietà integrali o separabili - ha consentito anche di mostrare che gli stimoli integrali sono meno stabili di quelli separabili. Dunque nell'ipotizzare meccanismi di compositività simbolica, come faceva la classica

⁵ Abbiamo condotto un'analisi della varianza (ANOVA) 2x2 (integrale/separabile x compositivo/olistico) fra i soggetti per il primo esperimento, che ha mostrato un effetto significativo per il tipo di figura $F(1,36) = 6.688$, $MSE = .072$, $P < .005$, ma nessun effetto per la condizione verbale. Una seconda ANOVA eseguita per il secondo esperimento ha mostrato un effetto significativo sia per il tipo di figura, $F(1,28) = 65.017$, $MSE = .018$, $P < .0001$, sia per la condizione verbale, $F(1,28) = 6.932$, $MSE = .018$, $P < .005$, sia per l'interazione, $F(1,28) = 29.489$, $MSE = .018$, $P < .0001$.

⁶ La differenza tra le medie è statisticamente significativa. Per l'esp. 1: $t = 2.483$, $df = 38$, $P < .05$. Per l'esp. 2: $t = 2.011$, $df = 54$, $P < .05$

teoria computazionale, occorrerebbe tener conto che questa sarebbe comunque impossibile con primitivi che possono modificarsi.

In secondo luogo, ha trovato sostegno nei nostri dati l'ipotesi che stimoli visivi di natura separabile possano essere denominati più facilmente attraverso un'espressione composta piuttosto che in maniera olistica con un'unica etichetta. Abbinando, infatti, parti di espressioni a caratteristiche facili da individuare si ha la possibilità di evitare di apprendere nomi totalmente nuovi per ogni stimolo incontrato, utilizzando associazioni che sono state già apprese. Specularmente, i nostri risultati supportano l'ipotesi che uno stimolo visivo di natura integrale venga denominato in maniera più diretta con una singola etichetta piuttosto che attraverso espressioni simboliche composte. Infatti, come previsto, in questo caso l'associazione non può fondarsi facilmente su caratteristiche non facilmente discriminabili.

Questi risultati possono essere spiegati anche considerando il fatto che il ripetersi di alcune parole nelle espressioni composte (es. "baspi" che si ripete sia in "baspi nole" sia in "baspi pofe") sia rilevato facilmente e crei una sorta di spazio semantico o spazio concettuale da riempire (Fauconnier, 1985; Gardenfors, 2004). Si tratterebbe di uno spazio destinato alle dimensioni generate dai processi di discriminazione sensoriale: maggiori possibilità di discriminazione aprono infatti più spazi concettuali e aspettative di *grounding*. Con gli stimoli integrali tali aspettative non possono essere soddisfatte perchè, ad esempio, risulta molto difficile cogliere che una certa parte di un'espressione si riferisca ad un certo livello di saturazione del colore.

L'aspettativa di *grounding* potrebbe essere alla base di alcune difficoltà incontrate dai bambini durante l'apprendimento del linguaggio. Infatti, poichè i linguaggi naturali sono normalmente composizionali, i bambini sono esposti alla ripetizione di parole per le quali potrebbero non avere individuato le caratteristiche fondanti. Ad esempio, è stato mostrato che bambini di sei anni percepiscono come integrali degli stimoli che bambini di nove anni e gli adulti percepiscono come separabili (Shepp, 1976). Problemi analoghi potrebbero verificarsi nell'apprendimento di linguaggi tecnici (ad es. in medicina) che sono stati sviluppati sul presupposto di discriminazioni precedenti (che invece potrebbero non esserci ancora state) o quando i simboli usati si riferiscano a caratteristiche non facilmente separabili, come nel caso in cui ci siano delle interazioni causali (Rehder, 2003).

E' da chiarire in quale senso si possa dire che gli stimoli integrali derivano le loro proprietà dal fatto che le caratteristiche componenti non sono separate con facilità. Non si tratta di una non separabilità in senso assoluto, ma della possibilità che, a un qualche livello di analisi, lo stimolo complessivo abbia proprietà emergenti dall'interazione tra le caratteristiche, che ne favoriscono una categorizzazione unitaria, indipendente da quella delle caratteristiche componenti (che comunque resta in linea di principio possibile). Per questo sarebbe forse preferibile parlare di "separatezza" piuttosto che "separabilità".

Si noti anche che i nostri risultati non presuppongono che lo stesso stimolo sia sempre rappresentato in maniera composizionale o olistica. Questo può dipendere dalle condizioni di apprendimento, dal grado di automatismo, dalla frequenza d'uso, ecc. Ad esempio potrebbe essere utile (e normalmente avviene nella creazione di parole nuove) assegnare un'unica etichetta ad un pattern composito che viene usato spesso. Nel nostro studio si considerano solo le prime fasi di apprendimento per nuove associazioni.

I risultati omogenei ottenuti nei due esperimenti sembrano suggerire che l'effetto facilitante nella fondazione di simboli composti su stimoli con proprietà separabili e di simboli olistici su stimoli con proprietà integrali si presenti sia nel caso di creazione del *grounding* a partire dallo stimolo visivo sia a partire dal linguaggio, vale a dire che si verifichi in maniera bidirezionale. Ciò significa che il fenomeno dello stabilirsi del fondamento può essere considerato da due punti di vista: le discriminazioni percettive forniscono la base per le rappresentazioni fondanti, ma i simboli linguistici hanno il potere di facilitare le discriminazioni percettive. Secondo alcuni studi sull'evoluzione del linguaggio (Kirby, 2002; Vogt, 2005) la composizionalità linguistica sarebbe emersa nell'evoluzione delle culture per il fatto che durante l'apprendimento del linguaggio un individuo può incontrare solo un numero limitato di esempi di possibili combinazioni (questo è stato definito il "collo di bottiglia" della trasmissione culturale) e dunque il vantaggio della composizionalità sarebbe tanto maggiore quanto più un ambiente è strutturato e consente di operare discriminazioni. La disponibilità di parole diverse

per i diversi aspetti discriminabili consentirebbe di focalizzare meglio l'attenzione su tali aspetti e il meccanismo si tradurrebbe in un'economia cognitiva.

L'uso di parole senza senso potrebbe essere considerato un limite dello studio, in quanto sarebbe irrealistico pensare che per un essere umano esistano stimoli assolutamente privi di senso. Chiaramente è impossibile coniare espressioni che impediscano alle persone di creare associazioni libere con parole esistenti nel loro linguaggio (ad esempio un partecipante si ricordava l'etichetta "bote", che denotava il colore verde, asociandola alla parola "botanica"). Per minimizzare il disturbo dovuto a questa variabile, abbiamo utilizzato pattern simili nella costruzione delle parole e creato inoltre parole molto simili fra le due condizioni linguistiche (etichetta singola, espressione composta). Un'analisi statistica dei risultati volta a controllare se, tra le risposte dei diversi gruppi, ci fosse qualche differenza dovuta a particolari associazioni di qualche parola ha comunque avuto esito negativo.

Un secondo limite è legato all'impossibilità di proporre ai partecipanti un gran numero di stimoli e di simboli da memorizzare. Questo sarebbe utile per valutare la convenienza di avere un sistema compositivo dal punto di vista informativo, dal momento che all'aumentare del numero di stimoli da apprendere aumenta anche la convenienza dell'uso di un minor numero di parole combinate insieme. Sembra intuitivo aspettarsi che al salire del numero totale di associazioni da imparare, il vantaggio del gruppo C (espressione composta e stimoli separabili) diventi sempre più marcato. Uno studio futuro per corroborare tale intuizione potrebbe essere la costruzione di una simulazione con reti neurali: si potrebbe in questo modo aumentare considerevolmente il numero totale di abbinamenti da imparare per analizzare se il beneficio connesso al risparmio cognitivo del riutilizzo di simboli già fondati salga esponenzialmente.

Il fondamento dei simboli e la composizionalità sono generalmente stati studiati come questioni disgiunte. Il presente lavoro si è proposto, invece, tra i suoi obiettivi, di mostrare quanto le due problematiche siano connesse. Infatti, come abbiamo visto all'inizio, il fondamento non può riguardare solo parole isolate se si intende riferirsi a un sistema linguistico e spiegare la possibilità di definire nuovi concetti sulla base di quelli esistenti. D'altra parte il nostro studio indica anche che non si può considerare la composizionalità senza considerare il fondamento e la stabilità dei simboli che si compongono. Questa premessa sembra indispensabile per studiare i meccanismi della composizione, i vari tipi di composizione e le varie prospettive sulla composizionalità che sono avanzate nelle scienze cognitive.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Barsalou L.W. (1999), *Perceptual symbol systems*, in «Behavioral and Brain Sciences», 22, pp. 577-609.
- Barsalou L.W. (2008), *Grounded Cognition*, in «Annual Review of Psychology», 59, pp. 617-45.
- Cangelosi A., Greco A. e Harnad S. (2000), *From robotic toil to symbolic theft: grounding transfer from entry-level to higher-level categories*, in «Connection Science», 12, 2, pp. 143-162.
- Cangelosi A., Greco A. e Harnad S. (2002), *Symbol grounding and the symbolic theft hypothesis*, in A. Cangelosi e D. Parisi (a cura di), *Simulating the evolution of language*, London, Springer.
- Chambers C.G., San V. (2008), *Perception and presupposition in realtime language comprehension: insights from anticipatory processing*, in «Cognition», 108, pp. 26-50.
- Chomsky N. (1957), *Syntactic Structures*, Mouton, The Hague.
- Fauconnier G. (1985), *Mental spaces: aspects of meaning construction in natural language*, Cambridge, MIT Press.
- Fodor J.A. (1975), *The language of thought*, Cambridge, Harvard University Press.
- Fodor J.A. (1980), *Methodological solipsism considered as a research strategy in cognitive psychology*, «Behavioral and Brain Sciences», 3, pp. 63-109.
- Frege G. (1892), *Über Sinn und Bedeutung*, tr.it. in A. Bonomi (1973), *La struttura logica del linguaggio*, Milano, Bompiani.
- Gardenfors P. (2004), *Conceptual Spaces as a Framework for Knowledge Representation*, in «Mind and Matter», 2, 2, pp. 9-27.
- Garner W.R. e Felfoldy G.L. (1970), *Integrality of stimulus dimensions in various types of information processing*, in «Cognitive Psychology», 1, pp. 225-241.
- Glenberg A.M. e Robertson D.A. (1999), *Indexical understanding of instructions*, in «Discourse Processes», 28, pp.1-26.
- Glenberg A.M. e Robertson D.A. (2000), *Symbol Grounding and Meaning: A Comparison of High-Dimensional and Embodied Theories of Meaning*, in «Journal of Memory and Language», 43, pp. 379-401.
- Greco A. (2011), *Dalla mente che calcola alla mente che vive*, Milano, FrancoAngeli.
- Greco A. e Caneva C. (2010), *Compositional symbol grounding for motor patterns*, «Frontiers in Neurorobotics», 4, pp. 111.
- Greco A., Cangelosi A. e Riga T. (2004), *Il fondamento dei simboli attraverso l'esperienza con il mondo: un approccio connessionista*, in «Sistemi Intelligenti», 3, pp. 457-478.
- Greco A. e Carrea E. (2011), *Grounding compositional symbols: no composition without discrimination*, in «Cognitive Processing», doi: 10.1007/s10339-011-0427-7.
- Grush R. (2004), *The emulation theory of representation: motor control, imagery, and perception*, in «Behavioral and Brain Sciences», 27, 3, pp. 377-396.
- Handel S. e Imai S. (1972), *The free classification of analyzable and unanalyzable stimuli*, in «Perception & Psychophysics», 12, 1B.
- Harnad S. (1990), *The symbol grounding problem*, «Physica D», 42, pp. 335-346.
- Harnad S. (1996), *The origin of words: A psychophysical hypothesis*, in B.M. Velichkovsky e D.M. Rumbaugh (a cura di), *Communicating meaning: The evolution and development of language*. Mahwah NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Holcombe A.O. (2009), *The Binding Problem*, in B.E. Goldstein (a cura di). *The Sage Encyclopedia of Perception*. Thousand Oaks, Sage.
- Howell S., Jankowicz D. e Becker S. (2005), *A model of grounded language acquisition: sensorimotor features improve lexical and grammatical learning*, in «Journal of Memory and Language», 53, 2, pp. 258-276.
- Kirby S. (2002), *Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax*, in «Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models», Cambridge, Cambridge University Press, pp. 173-203.
- Monahan J.S. e Lockhead G.R. (1977), *Identification of Integral Stimuli*, in «Journal of Experimental Psychology: General», 106, 1, pp. 94-110.

- Moulton S.T. e Kosslyn S.M. (2009), *Imagining predictions: mental imagery as mental emulation*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», 364, pp. 1273–1280.
- Munsell A.H. (1905), *A color notation*, Boston, Munsell Color Company.
- Pelletier J. (2012), *Holism and Compositionality*, in M. Werning, W. Hinzen e E. Machery (a cura di), *The Oxford Handbook of Compositionality*, Oxford, Oxford University Press, forthcoming.
- Pylyshyn Z.W. (1980), *Computation and cognition: Issues in the foundations of cognitive science*, in «Behavioral and Brain Sciences», 3, pp. 111-169.
- Rehder B. (2003), *Categorization as causal reasoning*, in «Cognitive Sciences», 27, 5, pp. 709–748.
- Riegler A. (2002), *When is a cognitive system embodied?*, in «Cognitive Systems Research», 3, 3, pp. 339–348.
- Searle J. R. (1980), *Minds, brains and programs*, in «Behavioral and Brain Sciences», 3, pp. 417-457.
- Shepp B. (1976), *Selective attention and the processing of integral and nonintegral dimensions: a developmental study*, in «Journal of Experimental Child Psychology», 22, 1, pp. 73–85.
- Todorov E. e Ghahramani Z. (2003), *Unsupervised learning of sensory-motor primitives*, in «Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society», IEEE.
- Treisman A. (1991), *Search, similarity and the integration of features between and within dimensions*, in «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», 17, pp. 652-676.
- Van Gelder T. (1990), *Compositionality: a connectionist variation on a classical theme*, in «Cognitive Sciences», 14, 3, pp. 355–384.
- Vogt, P. (2005), *The emergence of compositional structures in perceptually grounded language games*, in «Artificial Intelligence», 167, pp. 206–242.
- Werning M. (2005), *Right and Wrong Reasons for Compositionality*, in E. Machery, M. Werning e G. Schurz (a cura di), *The compositionality of meaning and content: foundational issues*, vol I, Frankfurt/Lancaster, Ontos.
- Winograd T. (1972), *Understanding natural language*, New York, Academic Press.
- Wu L., Barsalou L.W. (2009), *Perceptual simulation in conceptual combination: evidence from property generation*, in «Acta Psychologica», 132, pp. 173–189.

Alberto Greco e Elena Carrea, Dipartimento di Scienze della Formazione, Università di Genova, Via Balbi, 4 16126 Genova. E-mail: greco@unige.it, elena.carrea@unige.it

Questo lavoro è stato supportato in parte da un finanziamento dell'Unione Europea FP7-ICT-2007-1, all'interno del programma di ricerca I-TALK.

SYMBOL GROUNDING AND COMPOSITIONALITY

by Alberto Greco and Elena Carrea

The classical computational approach considers cognitive processes as symbolic manipulations, without addressing the symbol grounding problem, namely how symbols are referred to objects and events in the real world. Sensorimotor interaction allows artificial systems to ground symbols, by associating them with non-symbolic representations. In this paper we deal with the relationship of the symbol grounding problem with compositionality of language and of object properties.

We outline and discuss the results of two experiments, set up to study whether a direct correspondence can be found between properties of objects and parts of linguistic expressions, so that verbal labels are grounded on single or composite features. We used two kinds of visual stimuli, the first with clearly distinguishable properties (separable) and the second with properties that blend together (integral), and associated them with verbal labels of two kinds, consisting of a single word (holistic) or a two-word expression (compositional).

The results support the hypothesis that single verbal labels are best grounded on integral stimuli, while stimuli with separable features act as a better ground for compositional expressions. A separate

experiment showed that integral stimuli are perceived in a less stable fashion than separable ones, suggesting that some kind of stimulus properties are not fit to act as primitives in composite expressions. The role of feature discrimination as a process opening “grounding spaces” is discussed, and the bidirectional nature of grounding process is stressed, where words are grounded on features but can also facilitate feature discrimination. Overall, our study emphasizes the need of considering jointly symbol grounding and compositionality.

Keywords: symbol grounding, compositionality, representation