

Commento esteso alla presentazione “Michelangelo ai tempi delle Neuroscienze. Come il cervello comprende e crea l’Arte”. Prof. Folgieri, Università Statale di Milano, raffaella.folgieri@unimi.it

Come Professore dell’Università degli Studi di Milano insegno materie che accendono l’immaginazione, quali Intelligenza Artificiale, Realtà Virtuale, Decision Making...

Come ricercatore studio le intelligenze, naturali e artificiali e quindi mi occupo di neuroscienze e scienze cognitive.

Sono qui per parlarvi del perché queste scienze si interessano all’arte e di come studino “come il cervello comprende e crea l’arte”.

L’argomento generale attiene la creatività. Molti sono i campi che beneficiano di un atteggiamento creativo, ma qui non si intende elencarli, perché, tutto sommato, non si può escludere alcun aspetto delle attività di ciascuno, definendolo non creativo. Ciò in gran parte perché è difficile definire la creatività, in parte perché quando ci si sofferma a pensare cosa possa essere definito creativo, ci si accorge che nulla è escluso, compresa la capacità evolutiva e di adattamento della natura. Interessa, perciò, soffermarsi sull’aspetto cognitivo del processo creativo, in particolare dal punto di vista delle tecnologie cognitive, dei dispositivi tecnologici che aiutano ad analizzare il processo ed inoltre analizzare la creatività dal punto di vista delle intelligenze, artificiali e naturali.

Il pensiero che farà da filo conduttore è che, se si volesse semplificare il processo sotteso alla creatività, si potrebbe dire che alla base c’è sempre la ricerca di una soluzione diversa (innovativa) ad un problema. In questo senso non c’è nulla di più creativo di quello che è successo negli ultimi decenni, ovvero del progresso tecnologico, delle macchine e dell’Informatica, che hanno indotto profondi mutamenti nel tessuto sociale, nella comunicazione interpersonale e nel modo di svolgere qualsiasi attività. Del resto, la realizzazione del software è ritenuta, non a caso, opera di ingegno, al pari delle produzioni artistiche. Ad ogni modo, per entrare nell’argomento in modo naturale, si pensi al campo con cui meglio si identifica il processo creativo e che a tutti viene in mente quando nomina il termine creatività: l’Arte.

Ecco perché partiamo parlando di Michelangelo Buonarroti, artista eclettico (pittore, scultore, ma anche architetto e poeta, nonché inventore – si pensi al sistema di impalcature che ideò per dipingere la Cappella Sistina) e uomo dal carattere complesso, che presentava quasi una doppia personalità. Dunque, non solo un caso di studio per le neuroscienze e per le scienze cognitive, per la sua creatività e per il suo carattere, ma anche un **ingegnoso** (e qui il termine ingegnoso è volutamente sottolineato) artista (tutti ricordiamo la leggenda che narra che dinanzi al Mosè, esclamò: “perché non parli?”) che probabilmente con i mezzi a disposizione oggi avrebbe scelto di esprimere la propria creatività con molte forme d’arte, probabilmente interattive, forse digitali, quasi certamente basate sulle tecnologie cognitive. Michelangelo ci fornisce lo spunto per entrare nell’argomento. Proprio Michelangelo affermò: “si dipinge col cervello et non con le mani”...

Utilizzare l’Arte come esempio sarà di aiuto per entrare in argomento, poiché le espressioni artistiche sono universalmente riconosciute come attività creative. Le Scienze Cognitive studiano le intelligenze, naturali e artificiali, e la creatività è uno dei campi di indagine più approfondito. Dunque è d’uopo, anche in questo caso, porsi alcune domande. La creatività è innata o si può acquisire? E’ possibile potenziarla, stimolarla? Esiste un’area del cervello in cui risiede? E’ prerogativa dei sistemi intelligenti naturali o anche i sistemi artificiali possono esibire un comportamento creativo?

Nelle Scienze Cognitive, e in particolare tramite la Neuropsicologia, la creatività è studiata indagando funzioni cerebrali quali la memoria, il linguaggio, l’attenzione, le capacità neuro-motorie, in modo strettamente legato alla valutazione cognitiva degli stimoli esterni che giungono al cervello (Lindsay e Norman, 1977). Tale valutazione cognitiva è, ovviamente, soggettiva, in quanto influenzata anche da fattori sociali e contesto culturale in cui ogni individuo è immerso (Vygotskij,

1925, 1930). Anche Piaget (1970) come Vygotskij ha sottolineato quanto l'interazione tra soggetto e oggetti stimoli la formazione di processi psichici superiori, tuttavia Vygotskij esprime un punto di vista interessante, che riporta alle considerazioni sui legami tra la creatività ed i mezzi (anche tecnologici) a disposizione, ovvero sottolinea quanto l'ontogenesi¹ umana sia determinata anche dal contributo degli strumenti culturali a disposizione nel contesto storico e sociale.

Tre sono i collegamenti possibili tra Arte e Tecnologia che riconducono alla creatività e allo studio dei suoi meccanismi:

- le opportunità offerte dalla tecnologia per la conservazione del patrimonio artistico;
- le potenzialità fornite dai nuovi strumenti per l'espressione artistica;
- le possibilità di studiare i legami tra Arte, cervello e tecnologia e, congiuntamente, i processi creativi, consentiti dai progressi dell'AI, del *Brain Imaging* e dei dispositivi tecnologici.

Le nuove tecnologie, ed in particolare quelle pensate per il trattamento avanzato di dati audio, video e testuali, consentono la creazione di mondi virtuali immersivi che rappresentano una grande opportunità sia per la conservazione del patrimonio artistico, sia per avvicinare gli spettatori alle opere. Si pensi anche solo alla grande occasione di poter trattare grandi moli² di dati visivi tramite YouTube, che fornisce l'opportunità di conservare testimonianze culturali e artistiche che vanno perdendosi, rendendole fruibili ubiquamente, abbattendo, così, ogni barriera logistica. Riprendendo il tema dell'evoluzione dell'elaboratore da strumento di gestione (immagazzinamento di dati), ad apparecchiatura in grado di elaborare informazioni di varia natura, a volte interpretandoli, più o meno intelligentemente, si pensi alle rappresentazioni 3D e alla Realtà Virtuale applicate alla riproduzione di antichi scenari, artefatti o monumenti attualmente in stato di deterioramento. Oggi si ha l'opportunità di creare scenari immersivi (il cosiddetto *walkthrough*) con differenti livelli di interattività. Un esempio di applicazione in tal senso, è dato dal tour virtuale della Cappella Sistina (in cui è possibile ammirare i dipinti di Michelangelo Buonarroti, 1508-1512), in Vaticano³, visitabile via Internet (qualche impercettibile errore c'è: al lettore trovarli). Non si dimentichino, poi, tante altre applicazioni virtuali, ivi compreso il progetto Google Art⁴. Inoltre, l'*Augmented Reality*, ovvero la possibilità di aggiungere contenuti alla realtà (di solito fruibili tramite appositi occhiali e visori), permette non solo di aggiungere informazioni valorizzando l'Arte, ma anche di sollecitare i meccanismi cognitivi. E', infatti, dimostrato da diverse ricerche che sussiste un collegamento tra la corteccia prefrontale e l'esperienza estetica, sia nella visione di opere d'arte che nella loro creazione (Cela et Al., 2004). Inoltre, gli studi di Kawabata, Hideaki e Semir Zeki (2004) hanno rivelato che l'area orbito-frontale della corteccia è coinvolta anche nell'esprimere il giudizio sulla bellezza di un dipinto. Lo stesso tipo di attività cerebrale è stata riscontrata anche quando si contestualizza l'opera, ad esempio mediante descrizioni testuali o multimediali.

Le maggiori potenzialità di espressione artistica (il secondo punto dell'elenco precedente) riguardano, invece, la crescente commistione tra Arte e Tecnologia. Piace qui riportare il pensiero di Ugo Foscolo, "*L'arte non consiste nel rappresentare cose nuove, bensì nel rappresentare con*

¹ Con ontogenesi si intende l'insieme dei processi tramite i quali si compie lo sviluppo biologico di un organismo vivente. Dipende sia dal genoma dell'organismo, sia dall'ambiente entro il quale questo si sviluppa. Il termine fu introdotto dal biologo tedesco Ernst Haeckel, nel 1866.

² "big data" è il nome attribuito a uno dei filoni più importanti in Informatica: quello che si occupa di elaborare metodi efficienti di trattamento, conservazione e accesso a grandi moli di dati

³ http://vatican.va/various/cappelle/sistina_vr/index.html

⁴ Il progetto Google Art ambisce a riprodurre virtualmente gli ambienti museali di tutto il mondo: <http://www.googleartproject.com>

novità”, particolarmente calzante, in questo contesto. Molti sono, infatti, gli artisti che utilizzano i nuovi strumenti tecnologici per esprimere la propria creatività. Ad esempio, già nel 1950 Ben Laposky e Manfred Frank realizzarono un “oscillogramma” che, tramite apposite formule matematiche, effettuava distorsioni artistiche di proiezioni grafiche. Va ricordata, poi, l’Arte ASCII, basata sulla produzione di immagini composte con la codifica dei caratteri, a sette bit, utilizzata negli elaboratori. Ancora, va citato il movimento E.A.T. (Experiment in Art and Technology, Rauschenberg e Kuper), senza dimenticare significativi artisti, che hanno fatto della tecnologia il principale mezzo espressivo: Stelarc, esponente della *Posthuman Art*, e le sue modificazioni del proprio corpo, le installazioni robotiche e le performance estreme; Kac (*Transgenic Art*) ed il suo coniglio Alba, che, se irradiato da una data frequenza elettromagnetica, diviene luminescente; gli italiani Coltro (pioniere del quadro elettronico) e Nicola Evangelisti (*Light Art*); tanti altri artisti, anche nel campo della musica (musica elettronica), della danza, e così via, che hanno dato vita ad opere e performance innovative, sfruttando appieno i nuovi mezzi tecnologici e facendone oggetto e mezzo di espressione artistica.

Ultima, ma non per importanza, l’indagine scientifica possibile grazie ai nuovi dispositivi tecnologici, al *Brain Imaging* e all’AI, apre uno scenario incredibilmente vasto sulle opportunità di esplorare i legami tra Arte, tecnologia e cervello, e, quindi, creatività. Le tecniche di *Brain Imaging* hanno permesso notevoli avanzamenti nell’analisi del cervello “in azione”, ovvero nello studio delle reazioni e dei meccanismi cerebrali degli individui coinvolti in attività motorie, cognitive o percettive. Grazie a dispositivi e metodi più o meno invasivi, quali l’fMRI (Risonanza magnetica funzionale), la MEG (Magnetoencefalografia), la PET (Tomografia ad emissione di positroni), l’EEG (Elettroencefalogramma), è possibile, infatti, verificare in tempo reale la risposta di un individuo a stimoli specifici. Per la poca invasività e per l’alta risoluzione temporale, l’EEG è tra le tecniche più utilizzate per condurre indagini atte a comprendere meccanismi quali la creatività. Particolarmente adatti agli scopi di ricerca descritti, i dispositivi (headset) B.C.I. (Brain Computer Interface) sono semplificazioni dell’apparecchiatura medica per EEG (Allison, 2007), e permettono la registrazione dei ritmi cerebrali e l’utilizzo degli stessi per l’interazione con gli elaboratori. Nati per l’entertainment (per i giochi), sono ampiamente usati come supporto per l’interazione con l’ambiente da chi è affetto da malattie inabilitanti (quali, ad esempio, la sclerosi multipla) ma anche per scopi di ricerca, dato che i ritmi cerebrali registrati sono del tutto comparabili a quelli rilevati con l’EEG medico. I vantaggi dei BCI sono non solo il basso costo, ma soprattutto l’alta portabilità: non hanno, infatti, bisogno di cavi di connessione (che avviene, generalmente, tramite wi-fi) ed hanno una portata di 10 metri. Presentano, dunque, il vantaggio di mettere a proprio agio il soggetto che li indossa (hanno un aspetto simile a caschetti o, addirittura, cerchietti) ed inoltre permettono ampia libertà di movimento all’interno dell’ambiente sperimentale. Per la trasmissione del segnale elettrico (parliamo di una variazione di potenziale elettrico estremamente bassa, che arriva a 100 microvolt, misurata sullo scalpo), alcuni sono dotati di sensori wet (che necessitano di essere inumiditi), altri di sensori dry (a secco), che variano in numero (da 1 a 20). Inoltre, alcuni BCI rilevano anche movimenti miografici (ovvero i movimenti dei muscoli facciali) e battito delle palpebre. Un dispositivo BCI registra diverse frequenze cerebrali raggruppate in ritmi: la banda alfa (7 Hz – 14 Hz), relativa ad uno stato di rilassamento, meditazione, contemplazione; la banda beta (14 Hz – 30 Hz), associata al pensiero attivo, all’attenzione, alla soluzione di problemi concreti; la banda delta (3 Hz – 7 Hz), rilevata frontalmente negli adulti e posteriormente nei bambini con onde ampie e associata ad attività di attenzione continua (Leeb et Al., 2006); la banda theta (4 Hz – 7 Hz), generalmente ricondotta a stress emotivo, quale frustrazione e disappunto; la banda gamma (30 Hz – 80 Hz), usualmente messa in relazione con l’interpretazione cognitiva di segnali multi-sensoriali. Un BCI risulta particolarmente adatto per indagare i meccanismi della creatività sia dal punto di vista dell’artista, mentre crea un’opera, sia dal punto di vista degli spettatori che osservano il risultato finale. Si possono, pertanto, investigare sia i meccanismi della creatività, sia i meccanismi che regolano le reazioni individuali agli stimoli visivi semplici e complessi. Non solo intuitivamente, ma anche sperimentalmente, è possibile affermare che l’arte è concepita dagli artisti

e dagli osservatori grazie alle attività neurali del cervello, che creano l'esperienza estetica. Lo studio di questi meccanismi è alla base della disciplina sperimentale della Neuroestetica, nata ufficialmente nel 2001, che studia le basi neurali che sottendono alla contemplazione o alla creazione di un'opera d'arte. Fondatore e pioniere della neuroestetica è Semir Zeki, noto neurobiologo che, attorno agli anni '90, ha cominciato ad interessarsi dei legami che sussistono tra arte e cervello, utilizzando test psicofisici ed elettroencefalografia. Zeki paragona l'artista ad un neuroscienziato, che “*esplora le potenzialità e le capacità del cervello, anche se con strumenti diversi*” e, seppure con un differente linguaggio, trasmette una conoscenza che ha scoperto o intuito. L'arte, dunque, non attiene solo all'artista, ma risiede anche in chi guarda. Si pensi a Duchamp, padre dell'arte concettuale, che (negando addirittura la pittura, che definisce arte retinica o olfattiva) ha sempre inteso sottolineare che il significato viene conferito all'opera non soltanto da chi la crea, ma anche da chi la guarda, attraverso interpretazioni ausiliarie.

Per rilevare l'attività cerebrale, in particolare quella della zona V1, ovvero della corteccia fronto-occipitale, i dispositivi BCI si sono rivelati particolarmente utili in ambito di ricerca, sia per registrare la risposta a stimoli visivi musicali e la capacità di distinguere la valenza delle emozioni musicali (Folgieri e Zichella, 2012), sia per rivelare i meccanismi della creatività visiva (progetto *BrainArt*, Folgieri e Granato, 2013). L'obiettivo delle ricerche, passate ed *in fieri*, è quello di valutare la risposta emotiva e cognitiva a stimoli sonori/musicali e visivi di base e complessi, onde comprendere quali siano i meccanismi che scatenano la creatività o che caratterizzano il processo creativo (l'*insight*, l'ispirazione). Per la valutazione di stati mentali ed emozioni, sono stati utilizzati modelli di riferimento la cui validità è già riconosciuta, quali il modello valence/arousal, Russel (1980). Inoltre, per quanto concerne la capacità di generalizzazione dei pattern EEG selezionati ed associati agli stati mentali, le risposte sono state elicitate tramite stimoli sonori e musicali tratti dal database *International Affective Digitized Sounds* (IADS)⁵. Per completezza, e soprattutto per giovare del duplice approccio psicologico-cognitivo e di analisi del segnale, ogni partecipante all'esperimento ha compilato un Self-Assessment Manikin test (Morris, 1995). In altri esperimenti sono state valutate le risposte emotive e cognitive a stimoli visivo-percettivi (Banzi e Folgieri, 2012) basati sul concetto di *priming* (Wiggs, 1998). Altri studi, ancora, hanno indagato i meccanismi di risposta ai colori (Folgieri et Al., 2013), a stereoscopia e monoscopia (Calore, Folgieri et Al., 2012). I risultati ottenuti fino ad ora hanno mostrato delle interessanti corrispondenze tra alcuni ritmi cerebrali (in particolare gamma, theta e beta) e l'attività creativa. Due degli studi citati hanno anche dato origine a due applicativi: uno (Folgieri e Zichella, 2012) che consente la riproduzione conscia di melodie musicali tramite segnali EEG (riconosciuti e tradotti da algoritmi di A.I. – reti neurali – basati sui risultati di ricerca) impartite da artisti (e non); l'altro che permette di creare un'opera visiva attraverso i propri ritmi cerebrali (*BrainArt*, Folgieri e Granato, 2013).

Nel primo caso, gli utilizzatori sono stati in grado, a seconda del personale livello di abilità e creatività, di riprodurre e creare suoni e melodie con il solo ausilio dei propri ritmi cerebrali. I dati raccolti hanno mostrato una maggiore attività delle aree fronto-occipitali nel caso di musicisti, rispetto a soggetti a digiuno di nozioni musicali.

Nel secondo caso, i soggetti, indossato il dispositivo BCI e, liberi di esprimere i propri stati d'animo e l'*insight* creativo, hanno “dipinto” col pensiero, dopo una fase di addestramento del software per adeguarlo a parametri personali. Anche durante questo esperimento è apparsa evidente la maggiore attività delle aree fronto-occipitali, con stretta correlazione con intensa risposta dei ritmi beta, gamma e theta.

Al momento la ricerca è ancora rivolta alla comprensione dei meccanismi cognitivi di base della creatività, dell'intelligenza emotiva e dell'espressione, ma già da queste prime applicazioni è evidente l'enorme potenzialità degli strumenti tecnologici a disposizione oggi, che danno, inoltre, la possibilità di verificare, riprendendo il concetto espresso da Vygotskij, quanto l'ontogenesi umana

⁵ <http://csea.phhp.ufl.edu/media/iadsmmessage.html>

sia fortemente influenzata dagli strumenti culturali (nella nostra epoca, tecnologici) a disposizione nel contesto storico e sociale.

Si torni alla creatività in senso più generale, a cosa significa oggi il termine stesso, ai modi di esprimerla attraverso la tecnologia. Ogni atto creativo ha, generalmente, inizio proprio col trovare una risposta nuova, creativa, a problemi quotidiani, il processo che consente di pensare “fuori dagli schemi” (*out of the box*) per trovare una soluzione. Occorre, perciò, focalizzarsi sulla definizione di *problem solving* e sulle possibilità di esplorarne i meccanismi attraverso gli stessi metodi che caratterizzano la ricerca, descritta precedentemente, per quanto concerne i legami tra Arte, cervello, tecnologia e creatività. Infatti, la creatività è strettamente legata al *problem solving*, come dimostrano gli eventi che hanno portato ad ogni nuova scoperta e come è evidente leggendo la storia di grandi scienziati ed inventori⁶. Dunque, anche la scoperta scientifica o l’invenzione sono frutto di creatività, perché nascono dall’esigenza di dare una soluzione ad un problema, dall’interpretare in modo nuovo un aspetto della vita, dall’unire discipline diverse, dall’osservare i fenomeni in modo nuovo. In un noto saggio (*The Act of Creation*, 1964), Arthur Koestler spiega la creatività attraverso il meccanismo della bi-sociazione, ovvero “*means to join unrelated, often conflicting, information in a new way*” (mezzo per unire informazioni in conflitto o non correlate in un modo nuovo). Infatti, se nel quotidiano ciascuno di noi tende ad associare elementi appartenenti allo stesso “sistema di riferimento” (cucina - cibo, libro-foglio, ecc...), nella creazione artistica, umoristica o scientifica si realizza una connessione tra sistemi di riferimento eterogenei, solitamente considerati incompatibili. Si pensi quante invenzioni e scoperte sono evidentemente frutto di tale *cross-fertilization*, ovvero dell’innesto di idee o mezzi nuovi in contesti differenti.

Con *problem solving* (“risoluzione di un problema”) si intende l’attività che un organismo vivente o un dispositivo di intelligenza artificiale innesca per giungere ad uno stato desiderato a partire da una o più condizioni date. E’, quindi, l’insieme dei processi che consentono di analizzare, organizzare e combinare informazioni per risolvere situazioni problematiche poste. Le attività descritte, pur se applicabili e applicate al processo creativo, implicano evidentemente un procedimento ragionato, innescato più o meno istintivamente oppure scientemente. Non si entrerà, qui, nel merito del *problem solving* (lasciando spazio agli approfondimenti personali dei lettori) che ha dato luogo ad una serie di metodi che disciplinano i vari passi del processo mentale sotteso, ma ci si limiterà a sottolineare le implicazioni di *decision making*, ovvero del processo cognitivo il cui risultato è la scelta di uno tra più possibili scenari. Ambo le attività sono, perciò, processi cognitivi e come tali possono essere analizzati mediante i metodi della Psicologia Cognitiva e gli strumenti di Brain Imaging. E’ evidente, pertanto, che è possibile misurare, anche quantitativamente, il livello di attivazione cerebrale, mediante l’analisi del segnale elettrico prodotto dal cervello. A questo proposito ci si pone una domanda: se è possibile misurare il livello di creatività di un individuo non solo valutando il risultato del processo creativo qualitativamente (gusto, estetica, successo del risultato) ma anche quantitativamente (intensità del segnale elettrico corrispondente ai ritmi cerebrali registrati), è possibile misurare anche la presenza o meno (e la sua intensità) di un processo creativo o, più in generale, cognitivo (*decision making*, *problem solving*) messo in atto da una intelligenza artificiale?

Quanto visto sfata molti luoghi comuni e stereotipi sulla creatività, quali il fatto che sia innata, **umana**, istintiva e non attiene alla razionalità. C’è molto da riflettere e vi sono molti quesiti ancora aperti. Tuttavia, anche nel caso della creatività, le distanze tra intelligenza umana e intelligenza artificiale vanno evidentemente riducendosi. Inoltre, sembra altrettanto evidente che la creatività

⁶ In un TEDx (Folgieri, 2013, reperibile su Internet), parlando di creatività e innovazione di business, chi scrive ha insistito sulla necessità di essere creativi, sulla naturalità dell’attitudine creativa e su come la creatività si scateni quando si cerca la soluzione ad un problema.

abbia a che fare con la razionalità (quantomeno la razionalità emotiva), piuttosto che con l'irrazionalità.

Per finire, torniamo al tema con cui abbiamo iniziato. Michelangelo dipingeva col cervello... ecco dunque che probabilmente avrebbe utilizzato, se fosse vissuto oggi, le tecnologie cognitive per la sua arte. Ad ogni modo, proprio Michelangelo ci ha fornito lo spunto per mostrare come la plasticità del cervello (alla base degli studi neuroscientifici) consenta di disconnettere e riconnettere concetti per creare, attraverso il nostro sistema neurale, nuove idee e arte.

Dunque le neuroscienze studiano la creatività e l'ispirazione artistica, per scoprire i processi cognitivi sottesi, fornendo, al tempo stesso, grazie alle tecnologie cognitive, i mezzi per nuove espressioni artistiche. Tutto questo ha proprio lo scopo di scoprire, riconnettendoci al titolo della presentazione, ***come il cervello crea e comprende l'arte.***

Note bibliografiche

Per informazioni sui dispositivi BCI, far riferimento all'articolo citato, che ne presenta le caratteristiche e ne traccia le possibilità di utilizzo e sviluppo futuri:

Allison, B. Z., Wolpaw, E. W., Wolpaw, J. R. "Brain-computer interface systems: progress and prospects", *Expert Rev Med Devices*, 2007, 4(4):463-74.

Per le ricerche già pubblicate in cui è coinvolto il relatore, consultare i lavori:

Banzi, A., Folgieri, R., EEG-Based BCI Data Analysis On Visual-Priming In The Context of a Museum Of Fine Arts, in *Proceedings of DMS 2012, 18th International Conference on Distributed Multimedia Systems*, 9-11 August 2012, Miami Beach, USA

Banzi, A., Folgieri, R. (2012). Preliminary Results on Priming Based Tools to Enhance Learning in Museums of Fine Arts. In: *EVA 2012 Florence*. Firenze, 9 – 11 May 2012, p. 142-147, Firenze University Press, ISBN: 978-88-6655-127-0

Bait, M., Banzi, A., Folgieri, R., & Minetti, S. Introducing a Virtual Reality EEG-BCI and priming-based tool to make Art interactive: a Technological and Linguistic challeng. *EVA 2013 Florence*, 152.

Calore, E., Folgieri, R., Gadia, D., Marini, D. "Analysis of brain activity and response during monoscopic and stereoscopic visualization", *Proceedings of IS&T/SPIE's 24th Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology*, San Francisco, California, January 2012.

Folgieri, R. (2011). VR for cultural heritage valorization: a communication problem. In: *Proceedings of Electronic Imaging & The Visual Arts*. Firenze, Italy, 2011, p. 146-151, Cappellini, ISBN: 88-371-1837-6

Folgieri, R., Lucchiari, C., Marini, D., Analysis of brain activity and response to colour stimuli during learning tasks: an EEG study, *SPIE-IS&T Electronic Imaging*, 3-7 February 2013 Hyatt Regency San Francisco Airport Burlingame, California, USA, 2013.

Folgieri, R., Zichella, M., "Conscious and unconscious music from the brain: design and development of a tool translating brainwaves into music using a BCI device", in *proceedings of AHFE*, 2012, San Francisco, California, USA.

Folgieri, R., Zichella, M., "A BCI-based application in music: Conscious playing of single notes by brainwaves." *Computers in Entertainment (CIE) 10.3 (2012)*: 1.

Marini D., Folgieri R., Gadia D., Rizzi A. (2012). Virtual reality as a communication process, *Virtual Reality*, Ed. Springer London, vol.16:3, p. 233-241, ISSN 1359-4338, DOI 10.1007/s10055-011-0200-3, url <http://dx.doi.org/10.1007/s10055-011-0200-3>

Chi è interessato a comprendere più profondamente cosa sia il *priming*, può leggere:

Wiggs, C. L., Martin, A. 1998. Properties and Mechanisms of Perceptual Priming. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2): 227-233.

Consiglio, a chi è interessato alla Neuroestetica, di leggere i seguenti lavori e libri di Semir Zeki:

Zeki, Semir. *La visione dall'interno: arte e cervello*. Bollati Boringhieri, 2003.

Kawabata, Hideaki, and Semir Zeki. "Neural correlates of beauty." *Journal of neurophysiology* 91.4 (2004): 1699-1705.

Lumer, Ludovica, and Semir Zeki. *La bella e la bestia: arte e neuroscienze*. GLF editori Laterza, 2011.

Non si può, inoltre, non approfondire il pensiero di Piaget. A questo proposito, si consiglia di leggere:

Piaget, Jean. "Structuralism." (1970).

Piaget, Jean. "Science of education and the psychology of the child. Trans. D. Coltman." (1970).

Il pensiero di Vygotskij emerge da questi scritti:

Vygotskij, L. S. (1925). *Psicologija iskusstva* (tr. it. 1972, *Psicologia dell'arte*, Roma, Editori Riuniti)

Vygotskij, L. S. (1930). *Vobraženie i torčestvo v detskom vozraste* (tr. it. 1972, *Immaginazione e creatività nell'età infantile*, Roma, Editori Riuniti)

Altri scritti di autori citati, che meritano lettura:

Cela-Conde, Camilo J., et al. "Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101.16 (2004): 6321-6325.

Koestler, Arthur. "The act of creation." (1964): 1978.

Leeb, R., Keinrath, C., Friedman, D., Guger, C., Scherer, R., Neuper, C., Garau, M., Antley, A., Steed, A., Slater, M., and Pfurtscheller, G., "Walking by thinking: The brainwaves are crucial, not the muscles!" *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 15(5), 500–514 (2006).

Lindsay P.H., Norman D.A. (1977), *Human Information Processing*, New York, Academic Press; trad. it.: *L'uomo elaboratore di informazioni*, Firenze, Giunti Barbèra, 1983.

Morris, J.D., SAM: The Self-Assessment Manikin, An Efficient Cross-Cultural Measurement of Emotional Response, *Journal of Advertising Research*, 1995.

Appunti sulla creatività e sul neuroimaging come strumento di indagine

(estratto dal libro “La scienza della mente e del computer

Un’introduzione ragionata allo studio dell’intelligenza artificiale e del pensiero naturale”, Folgieri e Lucchiari)

Misurare la creatività

[...]

Dunque, se fino a poco tempo fa gli studi sulla creatività si erano concentrati sulle caratteristiche della personalità creativa e, quindi, sui fattori predisponenti il “genio creativo”, oggi le tecniche d’indagine e le maggiori conoscenze sul funzionamento del sistema mente-cervello hanno permesso d’indagare anche le basi cerebrali della creatività. Sappiamo che alla base della creatività si situa il pensiero divergente, frutto delle capacità associative della mente⁷, in grado di connettere quel che si conosce con l’ignoto e che per poter dar seguito alla realizzazione di questa nuova idea occorre uno stato mentale motivato di particolare focalizzazione o concentrazione definito “flow” cioè flusso (Oliverio 2008) e caratterizzato da un senso di autorealizzazione. Il paradosso che si osserva è che in questo stato di focalizzazione si ha una riorganizzazione dell’attività della corteccia prefrontale, implicata in processi di attenzione, di decision making e di memoria di lavoro (o working memory, WM). Questa configurazione della corteccia prefrontale determina una forma particolare di esperienza cognitiva spesso descritta dai creativi come “scomparsa dell’autocoscienza” e “impermeabilità agli stimoli”. Studi di neuroimaging riferiti al “flow” evidenziano oltre alla riorganizzazione cortico-frontale (con parziale silenziamento di specifiche aree prefrontali) l’attivazione dei gangli della base, sistemi modulatori posti alla base del cervello e in grado di influenzare il funzionamento dell’intera corteccia, giocando così un ruolo chiave nella regolazione dei sistemi cognitivi impliciti.

Numerose ricerche si sono, inoltre, concentrate sui diversi ruoli giocati dai due emisferi. In particolare, l’attività dell’emisfero destro (responsabile dell’elaborazione dei spazio-temporali e delle esperienze emotivo-artistiche) è stata associata alla capacità di generare associazioni libere ed analogie, carburante della creatività; a tale attività destra sembra associarsi una parziale inibizione dell’emisfero sinistro, luogo generatore del pensiero logico-simbolico. In particolare, gli stimoli che afferiscono all’emisfero destro inducono un maggior numero di immagini mentali, associazioni e analogie così come l’improvvisa scoperta della soluzione di un problema coinvolge in particolare

⁷ Intendiamo in questa sede introdurre il costrutto di mente associativa contrapposto a quello di mente deterministica. Il sistema concettuale umano, infatti, nasce da proprietà fisiche e biologiche del cervello (in particolare della memoria) ma il relativo contenuto è modellato dal continuo contatto con l’ambiente, ovvero dall’esperienza. Questa non è il prodotto di occorrenze statistiche precise, bensì rappresenta un processo esplorativo, euristico, in cui la ridondanza, ovvero la ripetizione, è affiancato dall’ambiguità e dall’imprecisione. Ciò fa sì che, necessariamente, il sistema concettuale non sia rigido e chiuso, bensì sia un sistema malleabile e aperto in cui il confine fra le categorie o concetti non è mai netto e invalicabile. All’attivazione di una certa categoria, dunque, corrisponde un processo di propagazione in grado di attivare una pluralità di attivazioni, in virtù di legami esperienziali più che logico-proposizionali. Tuttavia, la coerenza dell’interazione uomo-ambiente, che non può essere casuale ma regolata da processi fisici precisi, rende il sistema esperienziale convergente verso quello logico-proposizionale, lasciando però aperta la strada all’esplorazione dell’ignoto, cioè alla creatività, così come all’errore e ai bias di ragionamento.

il lobo temporale destro. L'insight, l'illuminazione, come soluzione improvvisa che emerge dall'inconscio cognitivo, è naturalmente influenzato sia dalle dinamiche emozionali sia dal pensiero analogico basato su inferenze e generalizzazioni. Ciò permette di far emergere relazioni basate su diversi aspetti del problema, consentendo l'adeguamento degli schemi mentali già esistenti grazie il ri-combinamento di idee attraverso nuove modalità o nuove associazioni ritenute in precedenza in una fase di processamento precedente non correlate o, come abbiamo detto, non pensabili. Derivando da queste contaminazioni, il pensiero analogico necessita di un poliedricità di cultura ed esperienze in grado di facilitare l'assunzione di nuovi punti di vista e scenari al limite fra la dimensione del sogno e quella più convenzionale della fantasia.

Altri studi di neuroimaging hanno mostrato che le diverse forme nelle quali la creatività si esprime si appoggiano alle funzioni cognitive che maggiormente vengono coinvolte nell'atto creativo per cui si osservano diversità strutturali nei soggetti analizzati (scrittori piuttosto che pittori o musicisti) e del relativo compito proposto. Così se il compito è di tipo verbale, come le associazioni tra parole, si assiste ad una attivazione delle aree associative tipiche del linguaggio (aree frontali, temporale sinistra, corteccia cingolata) se il compito prevede associazioni evocate dalle immagini sono attive le aree visive (corteccia primaria visiva, giri fusiformi, giri angolari e aree frontali) e se il compito è di tipo visuo-spaziale, come nel test delle matrici di Raven, si attivavano le aree corticali predisposte (giri fusiformi, cingolata anteriore, lobi parietali ed insula).

Dunque, che tipo di proprietà è la creatività ?

Per rispondere a questa domanda dobbiamo inquadrare il “discorso sulla creatività” all'interno di un discorso più generale sul cervello e sul funzionamento del sistema nervoso centrale. Un discorso, a dire il vero, tutt'altro che semplice.

Se assumessimo una prospettiva evuzionistica ingenua, secondo la quale ciò che noi osserviamo è frutto di una selezione specifica, come a dire “se c'è -> serve alla nostra sopravvivenza”, potremmo affermare che la creatività è emersa quale proprietà umana in quanto grazie a questa l'uomo ha avuto a disposizione maggiori possibilità di risolvere problemi nuovi e/o ambigui. Si potrebbe dire allora che individui che per primi mostrarono questa capacità ebbero maggiore capacità di adattarsi ad ambienti ostili o mutevoli, in questo modo favorendo il propagarsi di determinati geni. Tuttavia, almeno due considerazioni devono essere precisate:

- La creatività, in quanto proprietà mentale, non può essere associata a un singolo gene, né probabilmente ad un piccolo insieme di geni strettamente sinergici.
- La creatività non è funzione specifica del nostro cervello, bensì la conseguenza necessaria, ma non necessariamente logica, del modo di funzionare del nostro cervello, a sua volta conseguenza di un lungo e complicato processo di evoluzione che collega tutt'ora i nostri schemi comportamentali a quello dei rettili, dei pesci fino ad arrivare ai parameci. Potremmo dunque escludere che la traiettoria evolutiva del sistema nervoso centrale dei vertebrati si sia diretta verso la creatività, considerando invece quest'ultima come una proprietà accidentale data dal modo particolare di funzionare, per associazioni complesse (si veda sopra), del nostro sistema cognitivo. Al contrario, dovremmo pensare che lo stato mentale creativo sia conseguenza di una funzione finalistica del nostro cervello che entrerebbe in stato “on” nel momento in cui l'organismo si venisse a trovare in uno stato di

empasse, per esempio di fronte a un problema apparentemente insolubile, o per il quale non sono disponibili soluzioni pre-determinate. Preferiamo invece pensare che lo stato mentale “creatività-on” sia una conseguenza fisico-biologica dell’impasse, da definirsi come uno stato di tensione motivazionale verso un obiettivo non inquadrabile in un modello mentale in grado di tracciare una traiettoria solutoria, deterministica o meno. Una sorta dunque di cortocircuito cognitivo che per qualche istante non consenta più il normale funzionamento cerebrale. Di conseguenza, un simile stato non necessariamente sarebbe finalizzato a trovare soluzioni a problemi materiali, contingenti o in qualche modo legato alla sopravvivenza. Invece, il più delle volte il pensiero creativo dà origini a prodotti senza uno scopo preciso, ma in grado di esprimere bisogni, emozioni e istanze psicologiche non facilmente traducibili in codici verbali e/o logico proposizionali. Potremmo allora dire che se la creatività ha svolto un ruolo nell’evoluzione della nostra specie (e certamente lo ha svolto e lo svolge), ciò dipende, più che altro, dall’incapacità del pensiero convergente, o riproduttivo, di controllare in modo sistematico l’instabilità neuronale, base naturale della dinamica di stati di coscienza che caratterizzano la nostra esperienza. Tali stati sono caratterizzati da un diverso equilibrio fra emozioni, immagini, pensiero analogico e pensiero logico-proposizionale. La creatività si ha, dunque, quanto tale equilibrio permette l’emergere del pensiero analogico sotto il controllo, però, di uno stato motivazionale preciso, cioè di un vettore motivazionale la cui direzione punta verso qualche obiettivo, più o meno implicitamente, importante per l’organismo. Tuttavia, sarebbe estremamente ingenuo pensare che a ogni stato di coscienza (cioè modalità di funzionamento) che la mente umana è in grado di esprimere corrisponda una precisa funzione adattativa.

In generale, possiamo considerare la creatività come una conseguenza della plasticità cerebrale, la capacità del cervello (umano e non) di modificare la propria morfologia funzionale attraverso l’esperienza e l’apprendimento. Nell’uomo, la coesistenza dei gangli della base e di una corteccia frontale particolarmente sviluppata (come in tutti i primati superiori) ha portato a una progressiva separazione tra funzioni cognitive implicite (basate su abilità e procedure inconsce e apprezzabili durante un compito) ed esplicite (fatte di regole, verbalizzazioni e accessibili consapevolmente). Il corrispettivo anatomico è identificabile per il sistema esplicito nella corteccia prefrontale e temporo-mediale mentre il sistema implicito fa capo ai gangli della base e al cervelletto. Ma l’emergere di queste nuove strutture non ha tacitato il sistema implicito; piuttosto ha comportato la progressiva ristrutturazione delle reti neurali creando nuove interazioni (attraverso il corpo striato e le relative proiezioni) con la corteccia prefrontale soprattutto nei compiti che richiedono la produzione di strategie innovative.

In effetti, dal punto di vista della creatività lo striato e la corteccia prefrontale lavorano in simbiosi per la generazione e la selezione di nuove idee. In particolare secondo Oliverio (2005) lo striato agisce da caleidoscopio proiettando sulla corteccia prefrontale sequenze di memorie, procedure, valutazioni emotive e motivazionali, sia negative che positive, mentre la corteccia seleziona gli elementi più appropriati per quell’attività e così è in grado di innovare il proprio repertorio cognitivo. Quindi, potremmo considerare i gangli della base come lo strumento che genera innovazione in tutte quelle situazioni che sono alla base della creatività mentre la corteccia prefrontale potrebbe essere vista come lo strumento di selezione, elaborazione e conversione delle idee in comportamenti (creativi) attraverso l’inibizione delle associazioni irrilevanti e focalizzando

l'attenzione verso su un obiettivo definito⁸(Oliviero 2008). La persona creativa, dunque, rispetto a persone con minore creatività, presenterebbe fluttuazioni più rapide e/o più solide, fra pensiero analogico e pensiero logico, o fra processi impliciti e processi espliciti; tuttavia la fertilità del pensiero creativo si situerebbe negli stati di confine, detti anche di “reviere”, mentre la possibilità di dar forma logica alla creatività (in forma di prodotti, idee o comunque risultati tangibili e apprezzabili) sarebbe compito dalla corteccia frontale.

[...]

Un breve excursus nell'arte: La Mente di fronte ad un'opera d'arte

Il linguaggio del segno

Il segno, e quindi il contorno di un oggetto, è un segnale particolarmente efficace per il cervello. Sarebbe del tutto assurdo pensare che le immagini degli oggetti del mondo esterno vengano ridisegnate e dipinte nella nostra corteccia con le loro forme e colori. Invece, esse vengono ridotte a invarianti, a categorie visive, e simbolizzate nell'attività di certi neuroni. Devid Hubel e Trsten Wiesel (1981) hanno dimostrato che queste cellule rispondono solo a stimoli visivi rappresentati da linee o bordi di particolare orientamento e dimensione. E così vi sono cellule che corrispondono, per esempio, solo a linee e bordi posti orizzontalmente davanti all'occhio dell'animale, altre solo a quelle disposte verticalmente, altre ancora a stimoli obliqui. Tutti gli orientamenti sono rappresentati. Vi sono cellule che rispondono a stimoli di una certa lunghezza e non ad altri. Sembra proprio che a livello della corteccia di questi mammiferi, ed è stato dimostrato anche per la corteccia visiva dell'uomo, le immagini presenti sul fondo dell'occhio siano ridotte ai loro contorni o a segmenti di essi e verosimilmente ricostruite da una rielaborazione di questa informazione. Nel passare dalla retina alla corteccia è cambiato il linguaggio dei neuroni. Le cellule della retina definiscono l'immagine punto per punto in termini di colore, invece i neuroni corticali reagiscono ai contorni dell'immagine. Le risposte della corteccia visiva ai contorni degli oggetti sono l'esempio più chiaro di come il cervello possa simbolizzare l'informazione proveniente dai sensi. In particolare, questi neuroni non agiscono singolarmente, ma sono organizzati in colonne. Vi sono dunque colonne corticali specializzate per i vari orientamenti che permettono al cervello di riconoscere gli oggetti, cioè figure dai confini definiti, presenti in un certo ambiente, che potremmo anche definire lo sfondo percettivo all'interno del quale l'occhio è in grado di esplorare alla ricerca di indizi visivi. Questa organizzazione è, così, caratteristica di alcune regione cerebrali e il relativo funzionamento è così preciso che si è pensato che proprio in queste strutture si potessero rintracciare i moduli fodoriani. Secondo Jerry Fodor, infatti, una parte del cervello umano sarebbe organizzato in moduli deputati a svolgere processi cognitivi ben precisi. Questi moduli sarebbero indipendenti e informazionalmente incapsulati. In pratica, ogni modulo lavorerebbe in modo autonomo e riceverebbe solo alcuni tipi di informazione ed emetterebbe un solo tipo di output, da inviare a un processore centrale, in grado di integrare le informazioni provenienti da diversi moduli

⁸ Al contrario, avremmo un sistema dinamico che gira a ruota libera, producendo associazioni di idee inutili, incoerenti o disorganizzate. In effetti, una simile fuga di idee si può osservare in alcuni stati di coscienza alterati, perlopiù patologici, stabili o transitori che siano. E' anche possibile utilizzare una tecnica di libere associazioni sia a scopo lavorativo, sia a scopo terapeutico. Tuttavia, tali tecniche non danno in genere luogo a una vera e propria alterazione dello stato di coscienza, in quanto l'obiettivo del lavoro è perlopiù esplicito e il contesto di esecuzione piuttosto controllato.

e costruire così il mondo percettivo di cui facciamo esperienza. Sebbene il modello di Fodor sia molto difficile da dimostrare, in quanto non è semplice dimostrare l'esistenza di moduli più generali delle colonne corticali (che appaiono svolgere troppo semplici rispetto alla definizione fodoriana) e nemmeno è mai stato possibile localizzare un potenziale processore centrale, tuttavia questo modello ci permette di rappresentare (magari in modo metaforico) il modo di funzionamento della mente umana. Infatti, è evidente che la nostra esperienza cosciente sia il frutto di più processi specializzati in grado di integrarsi in qualche maniera. In questo modo, ci potremmo chiedere come un segno possa venire integrato in un campo percettivo eterogeneo dando luogo non solo a un percorso di senso, cognitivamente parlando, ma anche un'esperienza emotiva. Ed è forse la ricerca di una risposta concreta a questa domanda a guidare molti artisti contemporanei, oltre che la ricerca cognitiva. E' anche lecito chiedersi se una macchina dovrebbe essere in grado di sviluppare un linguaggio di segni, visivi o non, o se invece un robot potrebbe essere fornito di strumenti "percettivi" più generali e ampi di quanto sembra essere dotato il cervello umano.

In conclusione, sembra plausibile che i segni siano un linguaggio primitivo proprio del nostro sistema nervoso, una caratteristica che origina dalle proprietà del cervello, dalle sue connessioni, dalle sue intrinseche caratteristiche anatomiche e funzionali. Molte di queste proprietà sono già presenti alla nascita, ma esse possono essere soggette a modifica o perfezionamento con l'esperienza. Queste proprietà sono uguali o simili in tutti gli uomini e costituiscono, come le parole della lingua di un popolo, quindi, la base per comunicare. I segni tracciati dai primitivi, dunque, esprimevano il vocabolario grafico di un primitivo sistema cognitivo, che fu facile da condividere perché appartenente a un alfabeto familiare già noto. Le immagini mentali, infatti, sono acquisite e tradotte con lo stesso alfabeto, con gli stessi simboli, in quanto è nel riconoscimento di segni essenziali, di contorni, che risiede il principio di base di ricostruzione dei percetti da parte del cervello umano. Quando la memoria riporta questi ricordi alla percezione, essi appaiono analoghi a quelli percepiti con l'esperienza sensoriale e il riconoscimento ha luogo facilmente. Queste proprietà della corteccia sensoriale primaria di codificare essenzialmente i contorni delle immagini retiniche potrebbero essere chiamati segni neurali e sono il naturale corredo del cervello di tutti gli uomini (Maffei e Fiorentini, 2008). Il linguaggio del segno è antico quanto quello dei rumori e dei suoni emessi dall'uomo, che poi si sono evoluti nel linguaggio della parola. Secondo Noam Chomsky, linguista statunitense, padre della grammatica generativa, la struttura profonda del linguaggio ha i suoi riferimenti nella struttura del cervello dell'uomo, ipotesi suggestiva e ricca di implicazioni culturali. Egli sostiene che solo in parte il linguaggio va appreso con l'esperienza. Infatti, secondo Chomsky, tutte le lingue hanno una struttura profonda comune che è propria del cervello dell'uomo e che viene ereditata. Egli fa notare che noi possiamo capire frasi che non avevamo mai sentito prima o che si riferiscono a eventi a noi completamente estranei. La sola necessità è che la frase obbedisca a una determinata struttura grammaticale che lega tra loro nomi, aggettivi e verbi, la struttura cioè che costituisce la frase indipendentemente dal suo significato. Le parole sono collegate non a caso, ma secondo una regola che è comune a tutte le lingue e che quindi è da attribuire a proprietà della struttura cerebrale.

Mentre nel caso del linguaggio parlato questa proprietà è finora puramente ipotetica⁹, nel caso della visione abbiamo evidenza sperimentale in favore di un linguaggio visivo neurale. La preferenza dei

⁹ In contrapposizione della grammatica generativa la linguistica cognitiva evidenzia l'importanza del ruolo della semantica come collegamento fra le facoltà cognitive e la capacità linguistica. Secondo questo modello sarebbe il

neuroni della corteccia visiva per certe forme piuttosto che per altre potrebbe costituire l'equivalente della struttura profonda postulata da Chomsky per il linguaggio. Di fatto sembra che nei mammiferi superiori esse siano presenti già dalla nascita, sia pure in forma rudimentale, e che si affinino poi rapidamente con l'esperienza. Per quanto riguarda la storia della pittura nel suo insieme, ci rivela che in certi periodi la rappresentazione pittorica è dominata dal segno, e in altri periodi non altrettanto. Molte delle espressioni figurative in cui i contorni sono il mezzo espressivo dominante corrispondono soprattutto all'esigenza di trasmettere un messaggio sia per uno scopo puramente narrativo, sia per un'astrazione concettuale. Invece le rappresentazioni pittoriche in cui il contorno diviene meno rilevante e prevale il tentativo di riprodurre il mondo esterno con il chiaroscuro, il colore e la profondità tendono a suscitare in modo più immediato sensazioni estetiche ed emotive. Queste ultime intendono per lo più portare sulla tela ciò che si vede, riprodurre il mondo sensoriale dell'artista, acquista perciò maggior rilievo l'espressione sensoriale della realtà e sono più propriamente visive delle altre.

significato a permettere la generazione linguistica e non tanto un insieme di regole grammaticali che, connaturato nel cervello umano, darebbe luogo al fenomeno eclatante dello sviluppo linguistico nel bambino. La prospettiva cognitiva, che può essere fatta risalire agli studi di Parker, Gibson e Lakoff agli inizi degli anni '70, presenta una visione olistica, in quanto non distingue in maniera fra l'esperienza fisica umana e la sua rappresentazione mentale e linguistica. In particolare, Parker e Gibson sottolineano come l'apprendimento della grammatica si leghi a un generalizzato sviluppo delle capacità di apprendimento, in grado di produrre competenze specifiche di elaborazione simbolica, che tuttavia discende dall'esperienza quotidiana. Da un punto di vista psicologico, Eleanor Rosch usò una prospettiva simile nello studiare lo sviluppo del sistema concettuale umano, sottolineando l'esistenza di un continuum all'interno del quale un oggetto può appartenere o rappresentare una categoria a diversi gradi, essendo alcuni membri prototipici e altri insoliti. Le categorie mentali sarebbero dunque fuzzy, ovvero sfumate. In questo sistema fuzzy, in cui l'esperienza gioca un ruolo chiave, si collocherebbe dunque l'origine del significato e quindi del linguaggio, piuttosto che in un sistema puramente sintattico e auto-referenziale.