

Il processo creativo e il ruolo dei neuroni specchio

Giacomo Rizzolatti e Maddalena Fabbri-Destro

Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università di Parma

Istituto di Neuroscienze, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Parma

Via Volturmo, 39-E Parma

e-mail: giacomo.rizzolatti@unipr.it

Questo testo è una versione abbreviata di una conferenza tenuta da uno di noi (GR) all'Accademia dei Lincei nell'ambito del Convegno Interclasse sulla Creatività (Roma, 12 marzo 2019)

Introduzione

La creatività è la capacità di superare idee, regole, pattern, relazioni tradizionali per creare nuove idee, nuove forme, nuovi metodi e interpretazioni che siano *significativi ed utili*. Sin dall'Ottocento (vedi Helmholtz, 1826) si considera che il processo creativo sia formato da quattro fasi: Preparazione, Incubazione, Illuminazione, Verifica. Incubazione ed illuminazione sono uniti da alcuni autori in una sola fase chiamata "Innovazione creativa".

La fase di preparazione può sembrare a prima vista estranea al processo creativo, in realtà non è così. La preparazione forma nel cervello del futuro creatore quel serbatoio di modelli, prototipi, esempi, da cui nella fase di "innovazione creativa" trarrà gli elementi per creare il nuovo.

Credo che nessuno possa avere dubbi che sia nelle scienze sia nella matematica ci sia la necessità di un training preparatorio, più o meno lungo, per proporre qualche cosa di nuovo e originale. Lo stesso discorso vale per la musica e la letteratura. Nelle arti figurative il discorso è più complesso. Vi è, infatti, un diffuso pregiudizio che l'arte, ed in particolare l'arte moderna, sia improvvisazione e che ognuno di noi (o quasi) sia in grado di produrre opere artistiche. Le cose non stanno, però affatto così. La Figura 1 mostra opere giovanili di due tra i pittori più rivoluzionari del 900: Pablo Picasso e Vassilij Kandinski. E' la grande padronanza della tecnica della pittura "tradizionale" che ha permesso a Picasso e a Kandinski di creare successivamente forme nuove ed originali. Questo vale anche per gli artisti contemporanei.

La comparsa della creatività

Mentre tutti (o quasi) sono concordi nel considerare la creatività una capacità esclusivamente umana, pochi sanno che questa capacità è comparsa in tempi evolutivamente recenti. Se si esaminano, infatti, le più antiche “industrie litiche”, cioè i giacimenti di pietre lavorate per ottenere degli strumenti, si nota una ripetitività che continua per secoli se non addirittura per millenni.

Una “industria litica” molto studiata è quella della Gola di Olduvai in Tanzania. Gli strumenti olduvaiani più antichi sono rozzi, fatti con un paio di colpi dati su una pietra in modo da formare un bordo irregolare. I più antichi tra questi strumenti risalgono a circa 2,4 milioni di anni fa.

In seguito compaiono strumenti più sofisticati “bifacciali” che venivano attaccati ad un manico. Questi strumenti fanno la loro comparsa circa 200.000 anni fa. Se si considera che già 300.000 anni fa il cervello degli ominini (ominidi secondo la vecchia classificazione) aveva già approssimativamente la grandezza del cervello dell'*homo sapiens* moderno, il progresso nella costruzione degli strumenti risulta straordinariamente lento.

Il balzo, the *great leap* (Ramachandran, 2011), verso la comparsa di comportamenti che consideriamo tipicamente umani avviene approssimativamente tra i 90.000 e i 75.000 anni fa. In questo lasso di tempo brevissimo se lo paragoniamo al lentissimo sviluppo precedente, compare la capacità di fare strumenti sofisticati, di accendere il fuoco, di disegnare, di creare pigmenti colorati, la musica, e verosimilmente un notevole progresso nella comunicazione. Cosa può esser accaduto? Secondo Ramachandran (2011), in questo periodo è comparsa la *capacità di imitare*, quella “preparation” cioè che è alla base della creatività.

Neuroni specchio e imitazione

L'ipotesi di Ramachandran (2011) è che la capacità di imitare è strettamente legata alla evoluzione dei neuroni specchio. Esiste però qui un problema. I

neuroni specchi sono stati scoperti nella corteccia premotoria di macaco. C'è accordo generale tra gli etologi che i macachi abbiano scarsa, o addirittura nessuna capacità di apprendere per via imitativa. Evidenze etologiche mostrano che persino le scimmie antropomorfe hanno difficoltà a imitare ed apprendono per imitazione solo dopo moltissime ripetizioni. Quindi, quale potrebbe essere stato il salto evolutivo che ha permesso ad un gruppo di ominini di evolversi a tal punto da poter imitare i comportamenti osservati?

Una possibile soluzione sta nel fatto che esistono due tipi principali di neuroni specchio (Rizzolatti et al. 1996; Gallese et al. 1999). Il primo tipo, definito "broadly congruent", è costituito da neuroni che si attivano durante l'osservazione di azioni che codificano uno scopo simile, ma non sono necessariamente in maniera identica a quelle codificate dal neurone durante la sua attività motoria. Il secondo tipo di neuroni specchio, definito "strictly congruent", richiede per essere attivato che l'atto motorio osservato sia *identico* a quello codificato dal neurone. Un esempio tipico di neuroni "strictly congruent" è rappresentato da un neurone che si attiva quando la scimmia afferra una nocciolina con una presa di precisione ("precision grip") e quando la scimmia osserva lo sperimentatore afferrare con la nocciolina con la stessa presa, ma non quando questi afferra un oggetto con tutta la mano ("whole-hand"). Nella scimmia i neuroni specchio maggiormente rappresentati sono quelli "broadly congruent" (vedi Rizzolatti et al., 2014).

L'ipotesi che permette di spiegare lo sviluppo della capacità imitativa dell'uomo, è che in un particolare gruppo di ominini, separato spazialmente da altre tribù, siano aumentati i neuroni specchio "strictly congruent". Questa evoluzione avrebbe aumentato la capacità di questo gruppo di comprendere *con precisione* le azioni dei conspecifici dando così loro una prevalenza evolutiva rispetto ad altri gruppi di ominini. L'imitazione sarebbe stata in

seguita una conseguenza secondaria dell'aumento di neuroni specchio "strictly congruent".

Una serie di studi neuroscientifici hanno dimostrato infatti che la differenza delle scimmie, nell'*Homo sapiens* moderno vi è il meccanismo specchio che, oltre che permettere di comprendere le azioni osservate, permette anche di imitarle. Tra questi studi particolarmente importanti sono il lavoro di risonanza magnetica funzionale di Iacoboni e collaboratori pubblicato su *Science* (Iacoboni et al., 1999) e quello di Fadiga e collaboratori (1995) tecnica della condotta con la stimolazione magnetica transcranica (TMS).

Apprendimento per imitazione

Le basi neurali dell'apprendimento per imitazione sono state studiate da Buccino e collaboratori (2004) in uno studio di risonanza magnetica funzionale. Lo studio si divideva in tre fasi. Nella prima fase i soggetti, senza alcuna esperienza musicale, osservavano un esperto chitarrista mentre eseguiva una serie di accordi (*osservazione*). Nella seconda fase ai soggetti era chiesto di ripetere internamente l'accordo osservato (*immaginazione*) per poi ripeterlo nella terza fase (*esecuzione*).

I risultati dello studio hanno mostrato che, durante l'osservazione, vi è una forte attivazione dei circuiti parieto-frontali dotati di meccanismo mirror. Il dato più interessante, però, deriva dalle attivazioni osservate nella seconda fase, quella dell'immaginazione ("rehearsal"). In questa fase era ancora presente l'attivazione del circuito dotato di meccanismo mirror. Ma, in aggiunta compariva un'attivazione del lobo prefrontale. La presenza di questa attivazione è stata interpretata come un meccanismo che tiene in memoria l'informazione ottenuta nella fase di osservazione per poterla poi usare per eseguire successivamente l'azione appresa.

In una seconda condizione, i soggetti dovevano prendere il manico della chitarra, ignorando il pattern motorio dell'accordo mostrato in precedenza dal chitarrista esperto. In questa condizione, preparazione di un movimento banale fatto molte volte, c'era un "reset" delle attivazioni ottenute durante la fase della "Osservazione". Il cervello non mostrava alcuna attivazione né nel circuito mirror, né nel prefrontale.

Innovazione creativa: basi neurali

Nello studio di Buccino et al. (2004) vi era anche un'altra condizione sperimentale: il soggetto, dopo aver immagazzinato l'informazione proveniente dall'osservazione degli accordi eseguiti dal chitarrista esperto, doveva o ripeterli nello stesso modo (imitazione), oppure inventare un accordo nuovo (invenzione). I risultati hanno mostrato un quadro di attivazioni molto simile. L'interpretazione è che il meccanismo della creatività (invenzione) è la capacità di usare il materiale immagazzinato non come indicato dal maestro, ma in una maniera, nuova, originale usando le stesse aree cerebrali dell'imitazione: il lobo frontale come organizzatore della nuova azione e le aree mirror come serbatoi di informazioni di azioni.

La capacità di creare (invenzione) è stata studiata estesamente da Guilford (1967) e denominata *pensiero divergente*. Il pensiero divergente è misurato da tre indici: a) Fluidità: parametro che valuta la numerosità delle idee prodotte; b) Flessibilità: capacità di adottare strategie diverse ed elasticità nel passare da un compito a un altro richiedente un approccio differente; c) Originalità: attitudine a formulare idee uniche e personali, differenti da quelle prodotte dalla maggior parte delle persone.

Quale è la base neurale del pensiero divergente? Secondo Zangwill (1966) la regione corticale che gioca un ruolo centrale nel pensiero divergente è il lobo frontale. A simili conclusioni è giunta anche Brenda Milner (1984)

sulla base dei suoi studi su pazienti epilettici farmaco-resistenti che avevano subito una lobectomia frontale. Dopo l'intervento chirurgico i pazienti mostravano un netto peggioramento della loro performance nel Wisconsin Card Sorting Test, un test psicologico che misura la capacità di un individuo di distaccarsi da una soluzione per arrivare ad una nuova.

Il processo che sostiene il pensiero creativo appare quindi avere come suo punto nodale il lobo frontale. Il lobo frontale permette di staccarsi da una soluzione o strategia per sceglierne un'altra. Le soluzioni o strategie alternative sono localizzate nel lobo parietale (vedi Buccino et al. 2004) o in altre aree "associative" posteriori e sono state apprese durante la fase preparatoria.

Innovazione creativa: i "reports" individuali

Come avviene l'innovazione creativa? Indizi in questo senso possono essere ricavati esaminando i racconti di persone molto creative quando spiegano come sono arrivati a determinati risultati.

Uno dei racconti più famosi è quello del chimico tedesco August Kekulé su come scoprì la struttura del benzene (1865). Racconta Kekulé che, nel periodo in cui cercava di capirne la struttura, si addormentò e sognò un serpente che cercava di mordere la propria coda. Appena svegliato, gli venne in mente che il benzene potesse avere una forma circolare simile a quella del serpente che aveva sognato.

In accordo con Kekulé, Dehaene nel suo libro "The Number Sense" (1997), riporta che, molti matematici raccontano che il loro momento creativo avviene non quando cercano di arrivare alla soluzione volontariamente né

quando ragionano in termini di parole, ma quando la soluzione “discende su di loro” quando sono in uno stato di veglia tranquilla o prima del sonno.

Il grande matematico francese Henri Poincaré conferma questa “discesa” della soluzione matematica raccontando vari episodi della sua vita in cui la soluzione di complessi problemi matematici gli venne “improvvisamente” mentre era distratto da altre cose, lontane dal ragionamento matematico. In un caso, ad esempio, la soluzione di un problema particolarmente difficile non gli veniva alla mente. Prese allora un trenino per un’escursione in montagna e, scrive: “nel momento in cui mettevo il piede sul predellino, mi venne l’idea, senza che niente nei miei precedenti pensieri sembrasse avermici preparato, che le trasformazioni che avevo usato per definire le funzioni di Fuchs fossero identiche a quelle della geometria non euclidea”.

Esperienze simili sono state riportate anche da studiosi in altri campi. Il padre dell’istologia moderna Santiago Ramon y Cajal racconta che i suoi momenti di ispirazione gli venivano quando era rilassato e tranquillo. Nel suo libro “Advice for a Young Investigator” (1897) scriveva: “Se la soluzione non riesce a venire, eppure tu senti che è lì, dietro l’angolo, cerca di riposare per un po’. Alcune settimane di relax e pace in campagna ti porteranno a chiarezza della mente ”ed alla soluzione del problema.

Quale potrebbe essere la spiegazione neurofisiologica di questo paradosso? Non è uno stato di veglia attenta e concentrata, ma è l’essere rilassati o addirittura in uno stato di dormiveglia che facilita la soluzione dei problemi. Una possibile spiegazione potrebbe essere questa. Nelle condizioni di veglia attiva, le relazioni tra gli oggetti sono fisse, determinate dall’esperienza pregressa. Nel momento in cui una persona invece tende ad addormentarsi, queste relazioni si attenuano, il lobo frontale si lega ad altre

idee dal serbatoio delle idee acquisite (vedi gli accordi nello studio di Buccino et al., 2004) e una nuova soluzione originale può essere trovata.

Una spiegazione analoga è suggerita da Poincaré. Egli scrive: “Nel periodo in cui un problema scompare dal pensiero cosciente e la mente è vuota o distratta da altre cose, ha luogo un’intensa attività inconscia (o subconscia o preconscia)”- Poincaré sottolinea come questa attività non è l’inconscio dinamico Freudiano “ribollente di paure e desideri repressi”, ma un’attività di altra natura di cui non siamo consci.

Facendo un paragone con i sistemi fisici, è noto che l’iniezione di “noise” in un sistema che ha raggiunto l’equilibrio, cambia l’equilibrio stesso e può portare ad una soluzione più profonda ed originale. Si potrebbe postulare la stessa cosa per le fasi di addormentamento o di sonno. L’attenuarsi delle connessioni permetterebbe al “noise”, determinato dalle attività ipnogene, di modificare le connessioni tradizionali e portare a nuove soluzioni.

A questo proposito, da un punto di vista neurofisiologico è interessante riportare alcune osservazioni di Pigarev (2014) sull’attività evocata nella corteccia visiva durante il sonno e la veglia. L’osservazione fondamentale di Pigarev è che durante il sonno ad onde lente, diminuisce la reattività agli stimoli visivi, e simultaneamente aumenta quella dovuta a stimoli provenienti dai visceri.. Questi dati, originariamente descritti nel gatto, sono stati confermati anche sui primati non umani e potrebbero rappresentare quel “noise” che la fisica ci insegna essere molto utile per ritrovare nuovi equilibri.

Bibliografia

Helmholtz H. (1826). Vortraege und reden. Braunschweig: Vieweg. In: Eysenck H, Genius, editors. Cambridge: Cambridge University Press,

Ramachandran VS. (2011) *The Tell-Tale Brain*. William Heinemann: London, .

Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* 3: 131-141

Gallese V., Fadiga L., Fogassi L and Rizzolatti G. (1996) Action recognition in the premotor cortex, *Brain* 119: 593-609.

Rizzolatti G., Cattaneo L, Fabbri-Destro M, and Rozzi S. (2014) Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiol Rev.* 94: 655-706.

Iacoboni M, Woods RP, Brass M, Bekkering H, Mazziotta JC, Rizzolatti G. (1999) Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 286: 2526-8.

Fadiga L. Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. (1995) Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* 73:2608-2611

Buccino G, Vogt S, Ritzl A, Fink GR, Zilles K, Freund HJ, Rizzolatti G. (2004) Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron* 42:323-334.

Guilford JP (1967) Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *Journal of Creative Behavior* 1: 3-14

Zangwill OL. (1966) Psychological deficits associated with frontal lobe lesions. *International Journal of Neurology* 5: 395-402.

Milner B (1984) Behavioural effects of frontal-lobe lesions in man. *Trends in Neurosciences* 1984; 7: 403-7.

Kekulé FA (1866), *Lehrbuch der organischen Chemie* Vol. 2, p. 496

Dehaene S (1997) *The number sense*. New York: Oxford University Press, 1997.

Poincaré J-H (1902) *Scienza e Metodo*. . Einaudi 2003

Ramon y Cajal S. (1897). *Advice for a Young Investigator* (Translated by N Swanson and LW Swanson). Cambridge: MIT Press, 1999.

Pigarev I,N (2014) The visceral theory of sleep. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 44: 421-434

Bibliografia

1. Buccino G, Vogt S, Ritzl A, Fink GR, Zilles K, Freund HJ, Rizzolatti G. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron* 2004; 42:323-334.
2. Carlsson I, Wendt PE, Risberg J. On the neurobiology of creativity. Differences in frontal activity between high and low creative subjects. *Neuropsychologia* 2000; 38: 873–85.
3. Dehaene S. *The number sense*. New York: Oxford University Press, 1997.
4. Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* 1995; 73:2608-2611.
5. Guilford JP. Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *Journal of Creative Behavior* 1967; 1: 3–14.

1. Helmholtz H. *Vortrage und reden*. Braunschweig: Vieweg. In: Eysenck H, *Genius*, editors. Cambridge: Cambridge University Press, 1826: 308.

6. Iacoboni M, Woods RP, Brass M, Bekkering H, Mazziotta JC, Rizzolatti G. Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 1999; 286: 2526-8.
7. 9; 286: 2526-8.
8. Lacaux C, Izabelle C, Santantonio G, De Villèle L, Frain J, Lubart T, Pizza F, Plazzi G, Arnulf I, Oudiette D. Increased creative thinking in narcolepsy. *Brain* 2019.
9. Luria AR. Frontal lobe syndrome. In: Vinkin PJ, Bruyn GW, editors. *Handbook of clinical neurology*, Vol. 2. Amsterdam: North Holland Publishing, 1969.
10. Milner B. Behavioural effects of frontal-lobe lesions in man. *Trends in Neurosciences* 1984; 7: 403–7.
11. Pigarev IN. The visceral theory of sleep. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, Vol. 44, No. 4, May, 2014.

2 Ramachandran VS. *The Tell-Tale Brain*. William Heinemann: London, 2011.

12. Ramón y Cajal S. *Advice for a Young Investigator* (Translated by N Swanson and LW Swanson). Cambridge: MIT Press, 1999.

13. Rizzolatti G, Cattaneo L, Fabbri-Destro M, Rozzi S. Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiological reviews*, 2014.
14. Torrance EP. The torrance test of creative thinking. Bensenville: Scholastic Testing Service, 1974.
15. Wallas G. The art of thought. New York: Harcourt Brace, 1926.
16. Witelson SF, Kigar DL, Harvey T. The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet* 1999; 353: 2149–53.
17. Zangwill OL. Psychological deficits associated with frontal lobe lesions. *International Journal of Neurology* 1966; 5: 395–402.