

La recente scoperta neuroscientifica dei Neuroni Specchio e il suo impatto sulla teoria dell'evoluzione del linguaggio, la sua comprensione e l'apprendimento delle lingue

Meryem Guasmi

Département d'italien, Université Badji Mokhtar-Annaba, mrymgasmi@yahoo.fr

Soumis le: 27/11/2019

révisé le: 22/09/2021

accepté le: 23/12/2021

Riassunto

Questo articolo ha l'obiettivo di parlare di neuroni specchio, e della loro scoperta nel cervello del macaco e in quello dell'uomo. In effetti, vediamo cometai neuroni che sono una recente scoperta neuroscientifica, hanno ridefinito il funzionamento del cervello nei riguardi di alcune attività, come i processi mentali che riguardano la comprensione del linguaggio, la sua evoluzione, la comprensione degli atti altrui, dei loro sentimenti, delle loro intenzioni, l'apprendimento delle lingue straniere, ecc, e il loro ruolo importante nella simulazione incarnata del mondo esterno.

Parole-chiave: Neuroni specchio, evoluzione del linguaggio, apprendimento, simulazione incarnata.

الاكتشاف الحديث في علم الأعصاب لخلايا المرآة وتأثيره على نظرية تطور اللغة، فهمها وتعلمها

ملخص

يهدف هذا المقال إلى الحديث عن خلايا المرآة، وعن كيفية اكتشافها في دماغ قرد المكاك وفي دماغ البشر. نتطرق أيضا من خلال هذه الورقة البحثية إلى كيف ان هذه الخلايا العصبية التي تعتبر اكتشافا حديثا في علم الأعصاب، قد غيرت عدّة مفاهيم فيما يتعلق بكيفية عمل الدماغ فيما يخص بعض الأنشطة، مثل العمليات الذهنية التي تتعلق بفهم اللغة، تطورها، فهم أفعال الآخرين، فهم مشاعرهم وكذا نواياهم، تعلم اللغات الأجنبية، إلخ، وكذا الدور الهام الذي تلعبه في محاكاة العالم الخارجي.

الكلمات المفتاحية: خلايا المرآة، تطور اللغة، تعلم، محاكاة.

The recent neuroscientific discovery of Mirror Neurons and its impact on language evolution theory, its understanding and language learning

Abstract

This article aims to talk about mirror neurons, and their discovery in the macaque's brain and in that of humans. In fact we see how these neurons, which are a recent neuroscientific discovery, have redefined the functioning of the brain for certain activities, such as mental processes that concern understanding language, its evolution, understanding other people's acts, their feelings, their intentions learning foreign languages, etc, and their important role in the embodied simulation of the outside world.

Keywords: Mirror neurons, language evolution, learning, embodied simulation.

Auteur correspondant: Meryem GUASMI, mrymgasmi@yahoo.fr

Introduzione

Il nostro secolo è considerato il secolo del cervello per l'aumento significativo del numero di studi dedicati a questo organo, e per le sempre più recenti scoperte straordinarie nell'ambito delle neuroscienze, che hanno rivoluzionato il modo classico di intendere il cervello, e quindi il suo funzionamento, grazie all'uso di apparecchiature sofisticate e diagnosi avanzate, allargando così un grande dibattito sulla potenza del cervello, il quale riguarda molte scienze non più separate come prima, anche se appartenenti ad ambiti diversi della ricerca, dalla psicologia alla medicina, dalle neuroscienze alla didattica, ecc.

Pur essendo un ramo della biologia, le neuroscienze (o anche neurobiologia) richiedono la conoscenza di molte altre discipline come la psicologia, la medicina, le scienze del computer, ecc. In realtà, la vecchia separazione tra approcci oggettivi come le neuroscienze e soggettivi come la psicoanalisi che si occupa della mente, è ridotta semplicemente in termine di inappropriata del materiale e delle metodiche di ricerca che hanno marcato le età precedenti. Oggi però grazie alle tecniche avanzate di *brain imaging*, si assiste ad un ricongiungimento dei due approcci, fino a poter parlare di influenze di alcune ricerche e scoperte dell'ambito neuroscientifico sull'apprendimento, fornendo spiegazioni a diversi aspetti della cognizione dell'essere umano, come la comprensione delle azioni e delle emozioni degli altri, l'imitazione, il linguaggio, l'apprendimento, ecc., in termini neuroscientifici.

Un contributo importante nel panorama neuroscientifico che ha ridefinito molti concetti sull'evoluzione del linguaggio e l'apprendimento, come in altre discipline e settori, è dato alla recente scoperta del sistema dei neuroni specchio. Una classe di neuroni scoperti nella corteccia frontale dei macachi⁽¹⁾ prima, e poi nell'essere umano. Una popolazione di neuroni visuo-motori bimodali esistenti nel cervello dei primati, di alcuni uccelli, e dell'uomo. Sono detti bimodali perché si attivano selettivamente nell'esecuzione ma anche nell'osservazione delle medesime azioni compiute da altri soggetti⁽²⁾. Una scoperta del genere ha messo in discussione la vecchia e artificiosa concezione logico-astratta dei processi cognitivi e mentali, che poneva confini rigidi ormai oltrepassati, tra le aree sensoriali del cervello implicate nella codifica degli stimoli visivi, uditivi, e le aree motorie che presiedono l'esecuzione delle azioni. In rapporto a quanto detto prima poniamo le domande seguenti: in che modo ha influenzato la scoperta dei neuroni specchio la teoria dell'evoluzione del linguaggio? Come ha spiegato questa teoria le basi neurologiche delle attività cognitivo-motorie? Come può essere sfruttato il funzionamento dei neuroni specchio in campo educativo?

Il presente articolo tende proprio a rispondere a queste domande mettendo in risalto le più recenti considerazioni degli studiosi sui neuroni specchio e la loro importanza. Per questo proviamo ad approfondire la scoperta di questi neuroni nei primati, poi nell'uomo, per poter passare poi al loro ruolo nella comprensione degli atti altrui, perché ritenuta una cosa importante. Approfondiamo anche la loro importanza nell'apprendimento per imitazione, nell'evoluzione del linguaggio e nella sua comprensione. Come tale si vede anche come essi possono essere sfruttati nel campo dell'apprendimento delle lingue straniere.

1-La scoperta dei neuroni specchio:

Il nostro cervello è costituito da miliardi di neuroni, cioè cellule nervose interconnesse tra di loro con lo scopo di scambiare ed elaborare delle informazioni. Questo scambio di informazioni si realizza sotto forma di segnali elettrici, che vengono trasmessi via gli assoni: prolungamenti cellulari, le proprie terminazioni (sinapsi) sono punti di contatto con altri neuroni. La rete costituita dalle connessioni neuronali può essere talmente potente che un singolo neurone può praticamente influenzare la funzione di migliaia di altri neuroni⁽³⁾.

I neuroni sono stati oggetto di studio per molto tempo, per questo non si pensava più all'esistenza di una nuova specie, e quindi altre funzioni del cervello. Però è successo che c'è stata una nuova scoperta: quella dei neuroni specchio. Infatti, la scoperta del sistema specchio risale ai primi anni novanta⁽⁴⁾, quando un gruppo di ricercatori italiani di neurofisiologia composto da L. Fadiga, L. Fogassi, V. Gallese e G. Di Pellegrino, che lavora all'istituto di

fisiologia umana dell'università di Parma, sotto la direzione di Giacomo Rizzolatti, ha potuto spiegare in modo assai logico e convincente il funzionamento di questo meccanismo, suscitando un grande dibattito nei diversi ambiti delle scienze cognitive. In effetti, i soggetti degli esperimenti sono le scimmie di *Macaca nemestrina*.

I membri del gruppo facevano degli esperimenti per poter studiare e capire il funzionamento del sistema motorio delle scimmie, e i neuroni canonici (questi neuroni intervengono in atti motori, e si attivano quando la scimmia afferra qualcosa con la mano, o quando mette una cosa nella bocca, ecc.). Sempre nel laboratorio di ricerca, durante la pausa, uno degli sperimentatori ha preso una banana⁽⁵⁾, o un altro oggetto secondo altre versioni, alcuni neuroni nel cervello della scimmia che stava osservando l'azione della mossa, avevano reagito, come era ben chiaro dal suono della scarica emessa dal computer collegato ad elettrodi impiantati nel suo cervello. In un primo momento il fatto è stato considerato come errore o difetto nelle registrazioni⁽⁶⁾. Forse perché non era logico crederci se la scimmia non si era mossa affatto, e perché si pensava che i neuroni oggetto di studio (canonici) si attivano solamente per funzioni e atti motori.

Ma quello che è successo ha generato curiosità nei ricercatori. È stato il segno di una gran scoperta dovuta al caso e non di un semplice errore. Così ogni volta in cui le sperimentazioni si ripetevano (l'atto di afferrare), i risultati erano identici, il che ha sorpreso gli studiosi invitandoli a seguire e approfondire le loro ricerche sperimentali non invasive, per poter dare spiegazioni a quello che stava capitando. Succedeva che alcuni neuroni si attivavano e rispondevano "sia quando (il macaco in questo caso) effettuava una determinata azione (per esempio, afferrava il cibo), sia quando osservava un altro individuo (lo sperimentatore) compiere un'azione simile"⁽⁷⁾.

Giunta la conclusione, i ricercatori hanno affermato l'esistenza di due tipi di neuroni: neuroni canonici (già oggetto di studio), e neuroni specchio (una scoperta recente). Questi primi esperimenti furono pubblicati negli anni successivi con la tesi della scoperta rivoluzionaria dei "neuroni specchio", che si trovano nell'area motoria e premotoria nei primati, e ricoprono nell'uomo anche l'area di Broca (responsabile della comprensione del linguaggio), e la corteccia parietale inferiore connessa reciprocamente all'area F5 (la corteccia premotoria). Entrambi i tipi di neuroni: canonici e specchio sono attivi nell'esecuzione di azioni motorie, ma la cosa sorprendente è che i neuroni specchio che si attivano nell'afferrare un oggetto si attivano anche se l'azione è solo osservata⁽⁸⁾. Come affermano i due ricercatori Sinigaglia e Rizzolatti nel 2006

A differenza dei neuroni canonici, i neuroni specchio non rispondono alla semplice presentazione di cibo o di generici oggetti tridimensionali, né il loro comportamento pare influenzato dalle dimensioni dello stimolo visivo. Piuttosto, la loro attivazione è legata all'osservazione da parte della scimmia di determinati atti compiuti dallo sperimentatore (o da un'altra scimmia) che comportano un'interazione effetto (mano o bocca) – oggetto⁽⁹⁾.

Questo implica che l'attività fatta e osservata sia semplicemente uguale dal punto di vista neurologico, e che per attivare i neuroni responsabili di una certa azione, non è necessario compierla, però è sufficiente osservarla fatta da un altro. Come tale risulta chiaro che l'agire e l'osservare (o il semplice guardare) si migliorano a vicenda, cioè agire migliora negli osservatori la capacità di guardare, come il guardare migliora in essi la capacità di agire⁽¹⁰⁾. Nelle scimmie, l'osservazione della bocca o della mano di un altro soggetto interagiscono con un oggetto in atti transitivi (la manipolazione) come: tenere, afferrare, ecc., attiva i neuroni specchio, anche se a volte vengono celate le parti conclusive dell'azione, che consistono nel prendere o nel portare l'oggetto, ecc. Questo implica che tali primati possiedono una capacità di anticipare le finalità delle azioni osservate⁽¹¹⁾, e sono in grado di capire ed individuare le intenzionalità dell'altro, e questo gli permette di costruire l'intero circuito neurale dell'azione⁽¹²⁾ come sia eseguita interamente.

2-I neuroni specchio nell'uomo:

Dopo questa scoperta rivoluzionaria e con l'uso di tecniche avanzate non invasive come TMS (Stimolazione Magnetica Transcranica), FMRI (Risonanza Magnetica funzionale), e altre, Luciano Fadiga, Leonardo Fogassi, Giovanni Pavesi e Giacomo Rizzolatti, e altri studiosi hanno cominciato a pensare se un sistema simile a quello scoperto nel cervello del macaco potesse esistere anche nel cervello dell'uomo⁽¹³⁾. Così, sono state condotte diverse ricerche soprattutto negli anni Cinquanta del Novecento sulla "reattività dei ritmi cerebrali durante l'osservazione di movimenti"⁽¹⁴⁾. Queste ricerche sono finite con l'affermazione che anche l'essere umano possiede un sistema del genere, che risulta più complesso, esteso, e sviluppato rispetto a quello dei primati. Ma l'idea è stata la stessa, significa che si parla sempre di un programma motorio che si attiva compiendo o solo osservando, non singoli movimenti, ma azioni finalizzate a certi scopi⁽¹⁵⁾.

I neuroni specchio nei primati si attivano dall'osservare altri soggetti o individui portare un oggetto, invece non rispondono se il soggetto (o l'individuo) fa lo stesso atto o movimento senza oggetto. Ciò significa che questo sistema interviene in atti transitivi, ma non intransitivi. A differenza però delle scimmie, il sistema dei neuroni specchio nell'uomo si attiva anche per atti motori intransitivi (come alzare la mano, cambiare la postura o la posizione del corpo, ecc.) o solamente mimati⁽¹⁶⁾.

È ormai riconosciuto che i neuroni specchio non funzionano in isolamento, ma fanno piuttosto parte di una rete più estesa che coinvolge altre strutture nel cervello dei primati, tra cui il solco temporale superiore (STS) e il lobulo parietale inferiore (area PF)⁽¹⁷⁾. Gli omologhi di queste aree nel cervello umano sembrano svolgere un ruolo importante nell'imitazione dell'azione. Studi di imaging cerebrale suggeriscono ad esempio, che la corteccia temporale superiore, omologa del STS fornisce una descrizione di ordine superiore dell'azione osservata⁽¹⁸⁾, mentre la parte rostrale della corteccia parietale posteriore, omologa del PF, dà informazioni somatosensoriali associate all'azione osservata, e che viene eseguita⁽¹⁹⁾.

3- I neuroni specchio come meccanismo per la comprensione dell'altro, e la teoria della simulazione incarnata:

Con il passare del tempo si è scoperto che i neuroni specchio non si trovano solo a livello dell'aria motoria, ma comprendono anche quella emozionale, e sono presenti in tutto il cervello. Questo meccanismo si attiva non solamente in azioni osservate, ma anche quando si tratta di sentimenti ed emozioni. Quando soprattutto l'osservatore capisce l'azione o l'emozione osservate, e specialmente quando comprende le finalità intese e volute dal soggetto osservato mediante il compiere una certa azione, perché "il cervello che agisce è innanzitutto un cervello che comprende"⁽²⁰⁾. Il sistema specchio offre la possibilità di stabilire quindi una relazione o un ponte tra l'osservatore e l'osservato, e permette quindi come sostengono Sinigaglia e Rizzolatti (2006) di simulare il mondo esterno attraverso la semplice osservazione, e la determinazione di:

uno spazio di azione condiviso, all'interno del quale ogni atto e ogni catena d'atti, nostri e altrui, appaiono immediatamente iscritti e compresi, senza che ciò richieda alcuna esplicita o deliberata 'operazione conoscitiva'⁽²¹⁾.

I neuroni specchio sono un meccanismo tipico della comprensione dell'altro, in quanto permette all'osservatore di capire, se non vivere i sentimenti o le azioni osservate, come se fosse lui stesso a sentirli o a farli in prima persona. Perché le stesse aree che si attivano nel cervello dell'osservato, si attivano anche in quello dell'osservatore, allo stesso modo e allo stesso tempo dell'osservazione (e in tempi di ricordo e immaginazione dell'azione osservata), e l'unica cosa differente è l'esecuzione vera dell'azione. Questa caratteristica speciale dei neuroni specchio è stata definita da Gallese con il concetto di *simulazione incarnata*, grazie alla quale l'individuo può esplorare il mondo dell'altro non più solo dall'esterno ma fin dall'interno⁽²²⁾. L'osservazione dell'azione implica la sua simulazione, che secondo Gallese, non si tratta di una simulazione di tipo cognitivo oppure volontaria, ma è una riproduzione inconscia e automatica, in quanto percepire un'atto – e comprenderne quindi il significato –

equivale a simularlo interamente⁽²³⁾. Tra l'altro è uno "stadio necessario per il corretto sviluppo di strategie cognitive sociali più sofisticate"⁽²⁴⁾ che ci permettono di relazionarci con gli altri e empatizzare con loro.

Questo meccanismo funzionale rende quindi minore la soggettività tra gli individui che sono in grado di relazionarsi, instaurando diversi legami. Come afferma Gallese (2013):

[...] le stesse strutture nervose coinvolte nell'esperienza soggettiva di sensazioni ed emozioni sono attive anche quando tali emozioni e sensazioni sono riconosciute negli altri. Una molteplicità di meccanismi di "rispecchiamento" sono presenti nel nostro cervello. Grazie alla creazione di una "consonanza intenzionale" [...] questi meccanismi ci consentono di riconoscere gli altri come nostri simili e verosimilmente rendono possibile la comunicazione intersoggettiva ed una comprensione implicita degli altri⁽²⁵⁾.

Dopo questi dati, oggi non si può negare che la comprensione delle emozioni degli altri è possibile grazie al sistema specchio, ed è basata soprattutto sull'esperienza e l'interazione con gli altri, ma non sulla cognizione. Più siamo esperti più siamo osservatori, e dall'osservazione diventa più matura la nostra esperienza.

4- Il ruolo dei neuroni specchio nell'apprendimento per imitazione:

Il sistema specchio fornisce una spiegazione a molti fenomeni come l'imitazione, la comprensione dell'azione, l'apprendimento soprattutto quello inconscio, la teoria della mente, e il linguaggio, ecc. Il fallimento di questo meccanismo è anche considerato come una spiegazione per i deficit neuropsicologici congeniti, tale l'autismo⁽²⁶⁾. Apprendere per imitazione è una delle facoltà umane, quindi questo sistema che viene attivato quando le persone imitano azioni⁽²⁷⁾ non funziona allo stesso modo negli animali che sono addirittura incapaci di imitare azioni osservate⁽²⁸⁾, salvo alcune specie di scimmie che sono in grado di imitare alcuni suoni o azioni.

Parlando dell'imitazione bisogna sapere che esistono due casi ben distinti: il primo riguarda l'imitazione nel senso di avere la capacità di replicare un'azione, compiuta da un altro individuo, e già appartenente alla memoria motoria dell'imitante. Gli esperimenti che sostengono questa tesi sono quelli di Iacoboni ed altri, in cui è stato chiesto ai partecipanti di imitare o, in altri casi, di osservare l'azione eseguita da un individuo, mentre era monitorato il comportamento neuronale dell'osservatore. Da questi esperimenti risultò che il sistema specchio si attiva in questo tipo di imitazione che richiama la semplice riproduzione di azioni, già conosciute e esistenti nella memoria motoria dell'osservatore⁽²⁹⁾.

Il secondo caso, il più importante per noi, riguarda l'imitazione intesa come il replicare e l'apprendere un atto del tutto nuovo per l'osservatore. Buccino ed altri hanno mostrato che il sistema specchio gioca un ruolo fondamentale anche nell'acquisire o nell'apprendere un nuovo atto. In un esperimento per esempio, nell'apprendere per imitazione alcuni accordi di chitarra per individui che non sanno suonare uno strumento musicale, i neuroni specchio si attivano in tre diversi momenti: quando gli individui osservavano il musicista mostrato nel video compiere gli accordi; durante una pausa (in cui è attivata la regione della corteccia frontale corrispondente all'area di Broca); e quando erano ad eseguire loro stessi gli accordi. L'attivazione del circuito fronto-parietale era maggiore rispetto al gruppo di controllo, il che conferma il ruolo importante del meccanismo specchio nella codificazione in atti motori l'azione osservata⁽³⁰⁾.

Secondo l'etologo Richard Byrne, l'apprendimento per imitazione è il risultato di due processi: il primo corrisponde al momento in cui l'imitante, dopo aver osservato un atto, è in grado di scomporlo in tutti i suoi elementi e di riportare ciascuno di questi elementi osservati alla sua memoria motoria. Il secondo processo, invece, consiste nel tradurre l'azione in atti motori, grazie alla decodificazione e scomposizione operata già dall'osservatore⁽³¹⁾. Bisogna ricordare che il sistema specchio è importante per l'apprendimento per imitazione, ma non è una condizione sufficiente per esso, in quanto è stato notato nell'esperimento condotto da Buccino ed altri (di cui abbiamo parlato), il coinvolgimento delle aree della corteccia centrale come l'area 46 di Brodmann (corteccia prefrontale dorsolaterale, è un'area che si attiva nei compiti di natura cognitiva)⁽³²⁾.

Infine, possiamo confermare che l'apprendimento per imitazione è reso possibile grazie ai neuroni specchio e al patrimonio motorio di cui l'uomo dispone, che non riguarda solamente atti motori, ma supporta anche altre forme comportamentali e modalità di comunicazione linguistica e sociale come il linguaggio verbale che è molto importante per l'uomo, e la sua esistenza in quanto essere sociale. Apprendere il linguaggio imitando è possibile perché la pronuncia si realizza via movimenti delle labbra, i quali attivano i neuroni specchio come qualsiasi altro atto motorio, e come tale riflettono nel cervello dell'imitante lo stesso meccanismo neurale dell'imitato, così con il tempo e l'esperienza diventa possibile ai soggetti usare un determinato linguaggio.

5-Neuroni specchio e evoluzione del linguaggio:

In effetti, la scoperta del sistema specchio nella corteccia macaca frontale⁽³³⁾ ha suscitato un rinnovato interesse per il ruolo del sistema motorio nei processi delle funzioni cognitive e del linguaggio. Questo sistema ricopre nell'uomo anche le aree cerebrali coinvolte nel linguaggio come l'area di Broca, che secondo Rizzolatti e Sinigaglia (2006):

possiede proprietà motorie non riconducibili esclusivamente a funzioni verbali e presenta un'organizzazione simile a quella dell'area omologa nella scimmia (area F5), attivandosi durante l'esecuzione di movimenti orofacciali, brachiomaneali e orolaringei. [...] Cio' sembra suggerire che le origini del linguaggio andrebbero ricercate, prima ancora che nelle primitive forme di comunicazione vocale, nell'evoluzione di un sistema di comunicazione gestuale controllato dalle aree corticali laterali⁽³⁴⁾.

Queste somiglianze anatomo-funzionale portano gli studiosi ad ipotizzare e suggerire che le origini del linguaggio non risalgano solo alle modificazioni nell'apparato orolaringeo, ma siano ricercate anche nell'evoluzione di un sistema comunicativo gestuale⁽³⁵⁾.

Sinigaglia e Rizzolatti (2006) trovano che:

Proprio l'architettura anatomo-funzionale dell'area F5 (e dell'area di Broca), contraddistinta dalla presenza di rappresentazioni motorie differenti (orofacciali, orolaringei e brachiomaneali), lascia infatti supporre che la comunicazione interindividuale non si sia evoluta da una modalità motoria, bensì dall'integrazione progressiva di modalità diverse (gesti facciali, brachiomaneali e, infine, vocali), accompagnata dalla comparsa dei relativi neuroni specchio⁽³⁶⁾.

Poiché le ragioni a sostegno dell'omologia tra le aree F5 e di Broca sono di carattere anatomico e citoarchitettonico, e dunque indipendenti dalla scoperta in entrambe di neuroni specchio, il fatto che quelle aree siano accomunate da un tale meccanismo (e che esso abbia nell'uomo nuove proprietà utili per l'acquisizione del linguaggio) starebbe a indicare [...] che lo sviluppo progressivo del sistema dei neuroni specchio abbia costituito una componente chiave nella comparsa ed evoluzione della capacità umana di comunicare, a gesti prima e a parole poi⁽³⁷⁾.

Quindi, il linguaggio aveva come forma iniziale quella dei proto-segni gestuali transitivi, che evolvendosi con il tempo è passata a quella vocale, accompagnata sempre dai gesti che diventano intransitivi. Proprio qui è entrato in gioco il sistema specchio che ha reso comprensibile il significato di quei nuovi gesti intransitivi. In poche parole si può dire che l'informazione umana è trasmessa tramite la gestualità, così il sistema specchio sarebbe stato poi in grado di codificare e decodificare tale informazione dandole un significato.

Molti sono gli studiosi che stanno ancora cercando di spiegare la relazione che lega le aree del cervello che permettono il movimento controllato della mano (cioè i gesti), e il movimento della bocca (l'articolazione) che consente la produzione del linguaggio. L'evoluzione del linguaggio può essere dovuta a questa associazione tra gesti, movimenti della bocca e i suoni prodotti che li accompagnano, e che diventano un'astrazione per l'atto motorio. I neuroni specchio nella regione di Broca costituiscono il meccanismo attraverso il quale diventa possibile la creazione, l'osservazione, ma anche la comprensione delle vocalizzazioni di un altro individuo⁽³⁸⁾.

In una recente ricerca di Rizzolatti e Sinigaglia (2006)⁽³⁹⁾, a persone adulte è stato richiesto di osservare delle registrazioni, nelle quali sono mostrati un cane che abbaia, una scimmia che compie un lipsmaking (che consiste in movimento delle labbra in modo ritmico con valenza affiliativa), un uomo che muove le labbra per parlare. L'osservazione di tali tre tipi di atti

comunicativi stimolavano nell'osservatore risposte corticali diversificate a seconda della specie compiente l'azione. Le azioni osservate, che appartengono al repertorio umano, anche nel caso della scimmia dove l'azione non è estranea all'uomo hanno attivato nell'osservatore le regioni del sistema motorio implicate in azioni analoghe. Invece, l'abbaiare del cane ha attivato soltanto le aree visive.

Alla luce di questi esperimenti si può confermare che il sistema specchio presenta la base neurobiologica doverosa per lo sviluppo del linguaggio e delle funzioni cognitive in base all'esperienza corporea. Il linguaggio non è più un sistema autonomo e indipendente incaricato della manipolazione di concetti teorici e simbolici senza legame con i significati che portano. Il linguaggio è piuttosto una facoltà mentale innata, connessa al funzionamento complessivo della mente, ma anche del corpo umano. Parlando del corpo umano o dell'esperienza corporea, si può ricordare che esiste una teoria che vede come le parti del corpo umano siano coinvolte in modo cruciale nella comprensione del linguaggio. Questa teoria è chiamata: *embodiment*.

6-La teoria dell'*embodiment* la comprensione del linguaggio:

Secondo alcuni linguisti, la sintassi è un sistema computazionale, che implica la manipolazione dei simboli, con poco o nessun riguardo al loro senso⁽⁴⁰⁾. In contrasto con quella che viene chiamata linguistica cognitiva, il linguaggio è fondato sull'esperienza⁽⁴¹⁾. Questo include anche concetti astratti utilizzati nel linguaggio e nel pensiero, e possono avere radici senso-motorie nel cervello umano, che si presume derivano dall'esperienza come vedono Lakoff e Johnson⁽⁴²⁾, ma espressi in modo più corporeo attraverso la metafora. Un tipico esempio è l'uso di espressioni metaforiche come: *strapparsi i capelli* per esprimere la rabbia, o *essere stanco morto* per esprimere la grand stanchezza, ecc. In espressioni linguistiche del genere, le medesime strutture nervose implicate nell'esecuzione motoria delle azioni, giocano un ruolo determinante anche nella comprensione semantica di queste frasi che descrivono.

Sebbene sia associato al suono, il linguaggio potrebbe essere inteso come un'attività motoria, che implica l'intervento del sistema specchio. La comprensione linguistica via i neuroni specchio è stata confermata da diverse ricerche sperimentali⁽⁴³⁾. Secondo Buccino e altri studiosi, ascoltare frasi descrittive azioni motorie attiva il sistema specchio, che influisce la corteccia motoria responsabile dell'esecuzione dei movimenti⁽⁴⁴⁾. In effetti, quest'attivazione selettiva della corteccia motoria e premotoria nel cervello non concerne solo espressioni riguardanti le labbra oppure la faccia, ma lo stesso accade per altri effettori come il piede o la mano, ecc. Anche in caso della semplice lettura silenziosa di frasi contenenti nomi di questi effettori, vengono attivati i neuroni specchio come meccanismo per la comprensione di tali contenuti, come è stato confermato da studi di Hauk & Pulvermüller e altri⁽⁴⁵⁾. Oggi, molte sono le ricerche che mostrano che la regione dei neuroni specchio della corteccia premotoria si attivano non solo quando gli individui osservano i movimenti del piede, della mano o della bocca, ma anche quando leggono frasi relative a questi movimenti⁽⁴⁶⁾.

I dati ottenuti dagli studiosi ci fanno capire che i neuroni specchio hanno un ruolo decisivo non solo nel comprendere il senso delle azioni osservate, ma anche nella comprensione delle frasi che descrivono queste stesse azioni. Questo stretto rapporto instaurato tra il corpo e la mente nei processi cognitivi e nell'apprendimento è spiegato con la teoria o il concetto di *embodiment*, che non separa il corpo dal linguaggio⁽⁴⁷⁾. Il quale almeno in parte, è criticamente dipendente dal sistema specchio stesso.

7- Neuroni specchio e apprendimento linguistico:

Parlando dell'apprendimento linguistico, oggi si dà molta importanza non solo agli aspetti affettivi, ma anche a quelli neurologici che hanno avuto delle ricadute importanti, in particolare modo sugli stili di apprendimento e le intelligenze multiple⁽⁴⁸⁾; sui processi neurolinguistici sottostanti alla traduzione⁽⁴⁹⁾; sull'importanza della dimensione neuropsicologica

nell'educazione linguistica dei bambini e degli adulti⁽⁵⁰⁾; sulle emozioni e la dimensione affettiva dell'apprendimento⁽⁵¹⁾; e sul ruolo della memoria nell'apprendimento delle lingue⁽⁵²⁾.

7-1- Relazione dei neuroni specchio con la memoria:

Ormai è ben chiaro che il sistema dei neuroni visuo-motori esistenti nella corteccia cerebrale, si attivi nel riconoscimento delle emozioni, e delle azioni osservate, supportando la comprensione e la condivisione immediata degli atti e delle emozioni altrui. Queste nuove indicazioni neurobiologiche hanno ridefinito almeno in parte, il processo di apprendimento-insegnamento in generale.

L'apprendimento di una lingua seconda o straniera è basato sulla rinegoziazione dei significati linguistici e non, e la loro memorizzazione. In effetti bisogna sapere che esistono diversi tipi di memoria tra cui la memoria a lungo termine, e la memoria a breve termine. La memoria a lungo termine in contrapposizione a quella a breve termine (che mantiene le informazioni per qualche secondo), è in grado di mantenere ricordi stabili (cioè per molto tempo). La memoria a lungo termine è composta da memoria esplicita e memoria implicita⁽⁵³⁾. La memoria esplicita maggiormente stimolata in classe, svolge un ruolo importante nella memorizzazione del lessico⁽⁵⁴⁾, a sua volta è composta da una memoria episodica intesa nel contesto (cioè questa memoria è in grado di immagazzinare eventi ed informazioni in merito a delle situazioni che avvengono un certo tempo) e una memoria semantica intesa nel contenuto, spesso staccata dal contesto (perché è composta da simboli e significati, e dalle relazioni che possono esistere tra loro). La memoria implicita invece, riguarda l'acquisizione inconscia delle conoscenze e delle informazioni, come le procedure motorie e cognitive (memoria procedurale), ed è implicata anche nella risoluzione di compiti di completamento visivo e uditivo, oppure nelle risposte comportamentali condizionate⁽⁵⁵⁾.

Quindi per aiutare lo studente (o l'apprendente) ad acquisire delle conoscenze e delle informazioni in modo stabile, bisogna favorire l'uso in classe di attività didattiche stimolanti che rafforzano grazie anche al meccanismo specchio la componente episodica della memoria esplicita, e che rinforzano quella procedurale della memoria implicita. Non è importante solo cosa insegnare, ma in che modo e in quale contesto anche.

7-2- Neuroni specchio e l'*expectancy grammar*:

Il sistema dei neuroni canonici, come quello specchio possono aiutare lo studente nell'apprendere una lingua straniera grazie all'esperienza senso-motoria, e il coinvolgimento emotivo ed empatico, attraverso lo svolgimento delle attività in contesto ricco di stimoli per il funzionamento del corpo-mente, rinforzando in tal modo le risposte comportamentali, e la capacità di anticipare ed ipotizzare le finalità non solo dei movimenti, ma anche su quello che verrà detto o letto in base al suo contesto. Questa capacità di previsione è detta in glottodidattica *expectancy grammar*, e non riguarda come vede Balboni solo elementi linguistici, ma anche culturali e sociali, ecc. Significa:

Sulla base del contesto, della nostra conoscenza di quel che può accadere in una situazione, di quel po' che conosciamo della lingua straniera e dei suoi meccanismi di legami interni, chi ascolta o legge un testo cerca di anticipare quel che può comparire in quelle frasi: ciò significa che la comprensione non è direttamente dipendente da quanto enunciato dal testo, ma si basa (fortemente, in molti casi, soprattutto quando si sa poco la lingua straniera) sulla verifica delle ipotesi che sono state fatte⁽⁵⁶⁾.

7-3- Neuroni specchio e il movimento nell'apprendimento della lingua straniera:

Molti studi hanno documentato che l'apprendimento per imitazione, la codificazione di input motori, la messa in sequenza dei suoni, la comprensione semantica del linguaggio, la comprensione degli atti altrui, ecc., sono delle facoltà che favoriscono l'acquisizione del linguaggio, e sono possibili grazie alla corteccia motoria e ai neuroni specchio. Tutto questo attesta come processi cognitivi hanno le loro origini neurali nel sistema motorio. A tale proposito, è evidente che la teoria scientifica dei neuroni specchio merita di far parte di diversi contesti educativi che assecondano il funzionamento del cervello. Secondo Gibson l'apprendimento di una lingua si consolida quando la conoscenza linguistica interagisce con un contesto dinamico e stimolante che favorisce il movimento, e da cui si riceve *affordances* che risultano come nuove occasioni per l'apprendimento stesso⁽⁵⁷⁾. In ambito

didatticola simulazione delle azioni altrui, e quindi la potenza del sistema specchio fornisce il supporto ai metodi come il *Total Physical Response*, che mira a motivare lo studente collegando la lingua straniera con il movimento. In questo metodo, per un apprendimento naturale è molto importante il coinvolgimento fisico dello studente (accanto a quello mentale), in quanto gli permette di muoversi liberamente in classe. Oltre al coinvolgimento totale, questo metodo rispetta il periodo di silenzio che varia da un apprendente ad un altro.

Questo metodo privilegia l'oralità e la comprensione, sulla scrittura e la lettura, (forse questo è uno dei suoi limiti), prende in considerazione i fattori affettivi, i quali Shehan⁽⁵⁸⁾ sostiene che influiscono non tanto sul modo di acquisire una lingua, ma sul grado di uso dell'input in L2, e anche sul filtro affettivo, che può portare a uno stato di stress prolungato, e ad una situazione di antagonismo tra l'amigdala e l'ippocampo⁽⁵⁹⁾, come tale diventano difficili o bloccati la fissazione e il recupero delle informazioni⁽⁶⁰⁾. Così il *Total Physical Response*, favorisce la riduzione del filtro affettivo che può ostacolare lo studente nel suo percorso formativo, in quanto un livello basso di ansia, buon livello di autostima⁽⁶¹⁾ permettono al discente di imparare esprimendo e gestendo in cooperazione con gli altri, favorendo una partecipazione empatica grazie all'intervento dei neuroni specchio che rispecchiano nell'individuo quello che succede nella mente dell'altro come abbiamo già detto. Le attività ludiche sono dunque coinvolgenti in quanto stimolano il funzionamento dei neuroni specchio attraverso la partecipazione con gli altri e la libertà di muoversi fisicamente (che dipende da un gioco ad un altro), un esempio da citare è il gioco di *Taboo* in cui l'apprendimento è basato sulla partecipazione con gli altri e la previsione delle parole (una cosa che implica l'attivazione del sistema specchio). Non va dimenticata anche l'importanza del *role-play* in classe che permette all'apprendente di mettersi nei panni degli altri.

L'esperienza pratica che adotta attività di tipo motorio è una fonte motivante e coinvolgente che elimina lo stress, asseconda il lavoro perfetto della memoria del discente, l'interazione, il movimento, e l'apprendimento in gruppo (dove il discente può imitare, condividere sentimenti e trasmettere motivazione), facilita anche la comprensione immediata e pragmatica via il meccanismo specchio, che permette di passare alla comprensione riflessiva. Solo in questo modo, coinvolgendo il fisico e la mente durante l'apprendimento, vanno rispettati i tempi dei discenti, e il principio della direzionalità del cervello umano che dall'emozionalità (a cui in tempi passati gli educatori non davano importanza) si passa all'analisi e alla riflessione.

Conclusioni:

I neuroni specchio sono una rete di neuroni localizzati nella circonvoluzione frontale inferiore e nel lobo parietale inferiore, scoperti da un gruppo di neurofisiologi italiani guidati da Giacomo Rizzolatti all'Università di Parma. Grazie alla loro straordinaria proprietà, l'individuo è in grado di riprodurre schemi motori o comportamentali e stati emotivi osservati in altri individui. Questa classe di neuroni si attiva involontariamente (in modo automatico) quando un soggetto esegue un'azione finalizzata oppure quando osserva la stessa azione finalizzata compiuta da un altro individuo qualunque. In effetti, i neuroni specchio sono responsabili della nostra abilità di apprendere osservando e imitando, essi hanno la loro importanza in tutti i processi dell'apprendimento (cognitivo, emozionale, comportamentale e psicomotorio). Questi neuroni sono individuati nei primati, in alcuni uccelli e nell'uomo (nell'uomo si trovano in regioni motorie, premotorie, nell'area di Broca e nella corteccia parietale inferiore), e sono ovviamente una delle scoperte più importanti degli ultimi decenni.

I neuroni specchio sono una scoperta che ha aperto nuove strade alla comprensione di molti fenomeni, e sono ancora soggetto di molte ipotesi teoriche. Essi hanno determinato le basi neurofisiologiche delle azioni, dell'evoluzione del linguaggio che dalla gestualità passa alla forma verbale (perché si ritiene che l'informazione nell'antichità fu espressa solo mediante i gesti, con il passare del tempo l'uomo usava i suoni, poi unito il gesto al suono è evoluto il linguaggio, e il sistema specchio aveva il suo ruolo in questo processo di evoluzione), della simulazione incarnata, della comprensione delle sensazioni e delle intenzioni altrui (via la

partecipazione empatica grazie all'attività motorio-pratica che richiede di sperimentare in prima persona, prendendo in considerazione che la semplice osservazione con l'intervento del sistema specchio è come il fare e lo sperimentare direttamente), e delle abilità neuropsicologiche in generale: tutti fenomeni a cui non si dava la giusta spiegazione.

I neuroni specchio permettono di spiegare fisiologicamente come l'uomo apprenda un nuovo compito. Sono necessari per l'apprendimento per imitazione (incluso quello linguistico in quanto la produzione del linguaggio coinvolge i muscoli della bocca e della laringe), per la previsione (delle intenzioni e dei significati delle azioni e delle parole), per la comprensione del linguaggio in quanto gli aspetti motori implicati nella comprensione offrono un contributo importante per la fonologia, e per la comprensione del significato delle parole ascoltate o lette.

Insomma, queste riflessioni devono essere prese in considerazione, e sfruttate al meglio e al massimo in diversi ambiti, come quello dell'apprendimento linguistico, soprattutto quando si tratta di una lingua straniera, dove molti fattori entrano in gioco e possono influire sul processo dell'apprendimento in modo positivo o negativo, generando a volte alcuni rischi per gli studenti che in alcuni casi sono vittime del contesto in cui operano, e dell'ignoranza del docente del come funziona il cervello umano.

La funzione cognitiva dell'individuo è una funzione specchio solo se vengono attivati gli stessi correlati neurali quando è eseguita da esso stesso o quando è osservata dall'individuo negli altri. I neuroni specchio si attivano dall'ascolto, dall'osservazione, dalla lettura, dall'immaginazione, ecc. Tutti gli input esterni sono in grado di attivare questa specie di neuroni, quindi bisogna promuovere la partecipazione dell'apprendente con gli altri, i giochi di ruolo, i giochi di previsione, e il muoversi in classe. Una pratica didattica attiva e partecipativa che si indirizza all'uso dei metodi e delle tecniche che supportano il funzionamento del sistema specchio dovrebbe essere aggiornata a seconda delle novità degli studi scientifici che fanno parte di una prospettiva sempre in continua evoluzione, per trarne nuovi vantaggi e nuove indicazioni. In fine diciamo che non è facile definire in modo circoscritto il ruolo dei neuroni specchio poiché si tratta di una scoperta recente e sono ancora soggetto di molte ricerche.

Note:

- 1- di Pellegrino G, Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G., Understanding motor events: a neurophysiological study, "Experimental Brain Research", Volume 91, Issue 1, Springer-Verlag, 1992, pp 176–180.
- 2- Rizzolatti G., Gentilucci M., Motor and visual-motor functions of premotor cortex. In: Rakic P, Singer W (eds) "Neurobiology of neocortex". Wiley, New York, 1988, pp 269-284.
- 3- Fabbro F., Il cervello bilingue. Neurolinguistica e poliglossia, Astrolabio, Roma, 1996.
- Aglioti S.M., Fabbro F., Neuropsicologia del linguaggio, Il Mulino, Bologna, 2006.
- 4- Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L., Premotor cortex and the recognition of motor actions, Cognitive Brain Research, Volume 3, Issue 2, 1996, pp 131-141.
- 5- Iacoboni M., Mirroring People. The New Science of How We Connect with Others, Farrar, Straus & Giroux, New York, 2008; tr. it. I neuroni specchio, Bollati Boringhieri, Torino, 2008.
- 6- <https://neuroni-specchio.blogspot.com/2012/11/negli-anni-80-e-90-giacomo-rizzolatti.html>, consultato il 03-08-2019, alle 15:00.
- 7- Rizzolatti G., Sinigaglia C., So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio. Raffaello Cortina, Milano, p 80. 2006.
- 8- Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L., (1996), articolo cit.
- 9- Rizzolatti e Sinigaglia, (2006), op cit, p 80.
- 10- <https://www.bing.com/videos/search?q=neuroni+specchio&&view=detail&mid=0561CBBB7D0644B47E860561CBBB7D0644B47E86&&FORM=VRDGAR> consultato il 03-08-2019, alle 10:00.
- 11- Umiltà M.A, Kohler E., Gallese V., Fogassi L., Fadiga L., Keysers C., Rizzolatti G.: I Know what you are doing: a neurophysiological study. "Neuron", Volume 31, Issue 1, ScienceDirect, 2001, pp 155-165.
- 12- Fogassi L., Ferrari P F., Gesierich B., Rozzi S., Chersi F., Rizzolatti G., Parietal lobe, From action organization to intention understanding. Science, Volume 308, Issue 5722, 2005. pp 662-667.

- 13- Rizzolatti G., L Craighero. The Mirror-Neuron System. Annual Review of Neuroscience, 2004, p 174.
- 14- Rizzolatti e Sinigaglia, (2006), op cit, p 113.
- 15- Rizzolatti G., Gamaradi R., Fogassi L., Gentilucci M., Luppino G., & Matelli M., Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements. "Experimental Brain Research", Springer 71, 1988, pp 491-507.
- 16- Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti, Motor facilitation during action observation : A magnetic stimulation study. Journal of Neurophysiology, volume 73, 1995. 2608-2611.
- 17- Rizzolatti G., Fogassi L., & Gallese V., Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. Nature Review, 2, 2001, 661-670.
- 18- Puce A., & Perrett D., Electrophysiology and brain imaging of biological motion, Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, volume 358, 2003, pp 435-445.
- 19- Decety, Grezes J., Costes N., Perani D., Jeannerod M., Procyk E., et al, Brain activity during observation of actions : Influence of action content and subject's strategy, Brain, volume 120, 1997, pp 1763-1777.
- 20- Rizzolatti & Sinigaglia (2006), op cit, p 3.
- 21- Rizzolatti G., Sinigaglia C., (2006), op cit, p 127.
- 22- Gallese V., Corpo non mente. Le neuroscienze cognitive e la genesi di soggettività ed intersoggettività. Educazione sentimentale, volume 20, 2013, pp 8-24.
- 23- Gallese V., Corpo vivo, simulazione incarnata e intersoggettività. Una prospettiva neurofenomenologica, in M. Cappuccio, Neurofenomenologia. Le scienze della mente e la sfida dell'esperienza cosciente, Mondadori, Milano, 2006, p 236.
- 24- Gallese V., (2006), op cit, p 243.
- 25- Gallese V., (2013) art cit, pp 8-24.
- 26- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P , Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. EEG, Evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. Cognitive Brain Research, ScienceDirect, 24, 2005, 190-198.
- 27- Rizzolatti, G., & Craighero (2004), op cit, 169-192.
- 28- Visalberghi & Fragaszy, D. 'Do monkeys ape?' Ten years after. In K. Dautenhahn & C. Nehaniv (Eds.), Imitation in animals and artifacts. Cambridge, MA: MIT Press, 2002, pp 471-499.
- 29- Roberta Vernillo, Neuroni specchio e apprendimento linguistico, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, tesi di laurea in Mediazione Linguistica Interculturale, (2016/2017), pp 10-11.
- 30- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G.R., Zilles, K., Freund, H.-J., Rizzolatti, G. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. Neuron, 42, 2004b, pp 323-334.
- 31- Rizzolatti e Sinigaglia (2006), op cit.
- 32- Ibidem.
- 33- di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. (1992), op cit. pp 176-180.
- 34- Rizzolatti e Sinigaglia (2006), op cit, p 152.
- 35- Ibidem.
- 36- Ibidem.
- 37- Ivi, p 152.
- 38- Gallese V., The Roots of Empathy: The Shared Manifold Hypothesis and the Neural Basis of Intersubjectivity, "psychopathology", 36, 2003 , 171-180.
- 39- Rizzolatti & Sinigaglia (2006), op cit.
- 40- Chomsky N., Syntactic structures. The Hague, Mouton, 1957.
- Chomsky N., Reflections on language. Pantheon, New York, 1975.
- Nowak, M. A., Komorova, N. L., & Niyogi P , Computational and evolutionary aspects of language. Nature, 417, 2002, 611-617.
- Nowak, M. A., Plotkin, J. B., & Jansen, V. A. A. The evolution of syntactic communication, Nature, 404, 2000, 495-498.
- 41- Fauconnier G., Mental spaces. MA : MIT Press, Cambridge, 1985.
- Tomasello M., Constructing a language: A usage-based theory of language acquisition. MA : Harvard University Press. Cambridge, 2003a.
- 42- Corballis, C., The evolution of language, Annals of the New York Academy of sciences, Vol 1156, Issue 1, 19-43, 2009.

- 43- Scrolli, C., & Borghi, A. M, Sentence comprehension and action: Effector specific modulation of the motor system, *Brain research, ScienceDirect*,1130, 2007, 119-124.
- 44- Buccino G., Riggio L., Melli G., Binkofski F., Gallese V. & Rizzolatti G., Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study, *Cog. Brain Research*, 24, 2005, 580-600.
- 45- Tettamanti M., Buccino G., Saccuman M. C, Gallese V., Danna M., Scifo P , Fazio F., Rizzolatti G., Cappa S. F., Perani D., Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuit. *J. Cogn. Neurosci.*, Vol 17, 2005, 273-281.
- Hauk O, Johnsrude I, Pulvermüller, Somatotopic representation of action words in human motor premotor cortex, *Neuron* 41,2004, pp 301–307.
- 46- Aziz-Zadeh L., Wilson S. M., Rizzolatti G., & Iacoboni M., Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions, *Current Biology*, 16, 2006, 1818-1823.
- 47- https://www.researchgate.net/publication/307790622_La_teorica_dell'embodiment_e_il_processo_di_apprendimento_e_insegnamento_di_una_lingua, consultato il 12-05-2018.
- 48- Mariani L., Pozzo G., Stili, strategie e strumenti nell'apprendimento linguistico, La Nuova Italia, Firenze, 2002.
- Della Puppa F., Vettorel P , Stili cognitivi, culture e stili di apprendimento, www.italy.it , 2005. Consultato il 05-07-2019 alle 13.
- Daloiso M., Gli stili cognitivi in classe: strumenti teorici ed operativi, in *PsicoLAB. Rivista telematica di informazione scientifica*, 2006b.
- Torresan P , Intelligenze multiple e didattica delle lingue, EMI, Bologna, 2008.
- 49- Salmon Almon L., Mariani M., Bilinguismo e traduzione. Dalla neurolinguistica alla didattica delle lingue, Franco Angeli, Milano, 2008.
- Daloiso M., I fondamenti neuropsicologici dell'educazione linguistica, Venezia, Cafoscarina, 2009a.
- 50- Fabbro F., Neuropedagogia delle lingue. Come insegnare le lingue ai bambini, Astrolabio, Roma, 2004.
- Daloiso M., Didattica ludica e giovani adulti. Dai fondamenti teorici all'esperienza in classe, *Bollettino ITALS*, novembre 2006a.
- Daloiso M., *Early Foreign Language Teaching*, Guerra, Perugia, 2007a.
- 51- Caon F., *Pleasure in Language Learning and Teaching*, Guerra, Perugia, 2006.
- Morosin M.S., Emozioni e apprendimento: il cervello che sente e impara, in *In.It*, 19, 2006, pp 6-10.
- 52- Cardona M., Il ruolo della memoria nell'apprendimento delle lingue, Utet Università, Torino, 2001.
- Cardona M., *Apprendere il lessico di una lingua straniera. Aspetti linguistici, psicolinguistici e glottodidattici*, Adriatica, Bari, 2004.
- 53- Boncinelli E., *Il cervello, la mente e l'anima: le straordinarie scoperte sull'intelligenza umana*, Mondadori, Milano, 2000.
- Aglioti S.M., Fabbro F., (2006), op cit.
- 54- Fabbro F., *Il cervello bilingue. Neurolinguistica e poliglossia*, Astrolabio, Roma, 1996.
- Fabbro, F., (2004), op cit.
- 55- Memoria implicita e memoria esplicita: il lato inconscio della memoria | Igor Vitale
- 56- Balboni, P In *MEAL-dispensa-videolezione-3.pdf* (unive.it)
- 57- Ziglari, L., Affordance and second language acquisition. *European Journal of Scientific Research (EJSR)*,23(3), 2008, pp 373–379.
- 58- Chini, M, *Che cos'è la linguistica acquisizionale*, Carocci editore, Roma, 2005, p 66.
- 59- L'amigdala, per far affrontare situazione di stress prolungato richiede ulteriore immissione dell'ormone nel sangue, l'ippocampo invece cerca di ridurre la quantità. Se la situazione continua, l'ippocampo non sarà più in grado di svolgere le funzioni di controllo e quindi di memorizzazione.
- 60- Cardona M., (2001), op cit.
- 61- Dulay, Heidi C. Burt, Marina K.; Krashen, Stephen D, *Language two*, Il Mulino, Bologna, 1985.

Bibliografia:

- Aglioti S.M., Fabbro F., *Neuropsicologia del linguaggio*, Il Mulino, Bologna, 2006.
- Aziz-Zadeh L., Wilson S. M, Rizzolatti, G, & Iacoboni M., Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current Biology*, volume 16, 2006.

- Boncinelli E, *Il cervello, la mente e l'anima: le straordinarie scoperte sull'intelligenza umana*, Mondadori, Milano, 2000.
- Buccino G, Riggio L, Melli G, Binkofski F, Gallese V. & Rizzolatti G, *Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study*. "Cog. Brain Research", 24, 2005.
- Buccino G., Vogt S., Ritzl A., Fink G.R., Zilles K., Freund H. J., Rizzolatti G., *Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study*. Neuron, 42, 2004b.
- Caon F., *Pleasure in Language Learning and Teaching*, Guerra, Perugia, 2006.
- Cardona M, *Il ruolo della memoria nell'apprendimento delle lingue*, Utet Università, Torino, 2001.
- Cardona M., *Apprendere il lessico di una lingua straniera. Aspetti linguistici, psicolinguistici e glottodidattici*, Adriatica, Bari, 2004.
- Chini M., *Che cos'è la linguistica acquisizionale*. Roma, Carocci editore, 2005.
- Chomsky N., *Syntactic structures*, The Hague, Mouton, 1957.
- Chomsky N., *Reflections on language*, Pantheon, New York, 1975.
- Corballis, C., *The evolution of language*, Annals of the New York Academy of sciences, Vol 1156, Issue 1, 19-43, 2009.
- Daloiso M., *Didattica ludica e giovani adulti. Dai fondamenti teorici all'esperienza in classe*, Bollettino ITALS, novembre 2006a.
- Daloiso M., *Gli stili cognitivi in classe: strumenti teorici ed operativi*, in PsicoLAB. Rivista telematica di informazione scientifica, 2006b.
- Daloiso M., *Early Foreign Language Teaching*, Guerra, Perugia, 2007a.
- Daloiso M., *I fondamenti neuropsicologici dell'educazione linguistica*, Venezia, Cafoscarina, 2009a.
- Decety, Grezes J., Costes N., Perani D., Jeannerod M., Procyk E., et al. *Brain activity during observation of actions : Influence of action content and subject's strategy*. Brain, volume 120, 1997.
- Dulay, Heidi C., Burt, Marina K., Krashen, Stephen D *Language two*, Il mulino, Bologna, 1985.
- Fabbro F., *Il cervello bilingue. Neurolinguistica e poliglossia*, Astrolabio, Roma, 1996.
- Fabbro F., *Neuropedagogia delle lingue, come insegnare le lingue ai bambini*, casa editrice "Astrolabio – Ubaldini editore", Roma, 2004.
- Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti, *Motor facilitation during action observation : A magnetic stimulation study*. Journal of Neurophysiology, 73, 1995.
- Fauconnier G., *Mental spaces*, MA : MIT Press, Cambridge, 1985.
- Fogassi L., Ferrari P F., Gesierich B, Rozzi S, Chersi F., Rizzolatti G., *Parietal lobe, From action organization to intention understanding*. Science, Volume 308, 2005.
- Gallese V., *The Roots of Empathy: The Shared Manifold Hypothesis and the Neural Basis of Intersubjectivity*, "psychopathology", vol 36, 2003.
- Gallese, *La consonanza intenzionale: una prospettiva neurofisiologica sull'intersoggettività e sulle sue alterazioni nell'autismo infantile*, "Dedalus" Alboversorio, Milano, 2006
- Gallese V., *L'intersoggettività umana: dai neuroni specchio alla stanza d'analisi*, Relazione al seminario dell'Associazione di Studi Psicoanalitici (comunicazione personale), 2007.
- Gallese V., *Corpo non mente. Le neuroscienze cognitive e la genesi di soggettività ed intersoggettività*. Educazione sentimentale, vol 20, 2013.
- Hauk O., Johnsrude I, Pulvermüller, *Somatotopic representation of action words in human motor premotor cortex*, Neuron 41, 2004.
- Jacoboni M., *Mirroring People. The New Science of How We Connect with Others*, Farrar, Straus & Giroux, New York 2008; tr. it. *I neuroni specchio*, Bollati Boringhieri, Torino 2008.
- Mariani L., Pozzo G., *Stili, strategie e strumenti nell'apprendimento linguistico*, La Nuova Italia, Firenze, 2002.
- Morsini M.S, *Emozioni e apprendimento: il cervello che sente e impara*, in In.It, 19, 2006.
- Nowak, M A., Komorova N L, & Niyogi P, *Computational and evolutionary aspects of language*. Nature, vol 417, 2002.
- Nowak, M. A, Plotkin, J. B, & Jansen, V. A. A. *The evolution of syntactic communication*, Nature, vol 404, 2000.
- Oberman L M., Hubbard E M., McCleery J. P, Altschuler E L., Ramachandran V. S., & Pineda, J. A. *EEG, Evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders*. Cognitive Brain Research, ScienceDirect, vol 24, 2005.
- di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G, *Understanding motor events: a neurophysiological study*, "Experimental Brain Research". Volume 91, Springer-Verlag, 1992.

- Puce A., & Perrett D., Electrophysiology and brain imaging of biological motion, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, vol 358, 2003.
- Rizzolatti G., Gamaradi R., Fogassi L., Gentilucci M., Luppino G., & Matelli M., Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements, "Experimental Brain Research", vol 71, 1988.
- Rizzolatti G., Fogassi L., & Gallese V., Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action, *Nature Review*, vol 2, 2001.
- Rizzolatti G., Gamaradi R., Fogassi L., Gentilucci M., Luppino G., & Matelli M., Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements, "Experimental Brain Research", Springer, vol 71, 1988.
- Rizzolatti G., Craighero L., The Mirror-Neuron System, *Annual Review of Neuroscience*, 2004.
- Rizzolatti G., Gentilucci M., Motor and visual-motor functions of premotor cortex. In: Rakic P, Singer W (eds) "Neurobiology of neocortex", Wiley, New York, 1988.
- Rizzolatti G., Sinigaglia C., So quel che fai, Il cervello che agisce e i neuroni specchio. Raffaello Cortina, Milano, 2006.
- Roberta Vernillo, Neuroni specchio e apprendimento linguistico, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, tesi di laurea in Mediazione Linguistica Interculturale, 2016/2017.
- Salmon L., Mariani M., Bilinguismo e traduzione. Dalla neurolinguistica alla didattica delle lingue, Franco Angeli, Milano, 2008.
- Scrolli, C., & Borghi A. M., Sentence comprehension and action: Effector specific modulation of the motor system, *Brain research*, ScienceDirect, 1130, 2007.
- Tettamanti M., Buccino G., Saccuman M. C., Gallese V., Danna M., Scifo P, Fazio F., Rizzolatti G., Cappa S. F., Perani D., Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuit. *J. Cogn. Neurosci.*, Vol 17, 2005.
- Tomasello M, Constructing a language, A usage-based theory of language acquisition, MA: Harvard University Press. Cambridge, 2003a.
- Torresan P, Intelligenze multiple e didattica delle lingue, EMI, Bologna, 2008.
- Umiltà M.A, Kohler E., Gallese V., Fogassi L., Fadiga L., Keysers C., Rizzolatti G., I Know what you are doing: a neurophysiological study. *Neuron*, Volume 31, ScienceDirect, 2001.
- Visalberghi & Frigaszy D., 'Do monkeys ape?' Ten years after. In K. Dautenhahn & C. Nehaniv (Eds.), *Imitation in animals and artifacts*. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- Ziglar, L., Affordance and second language acquisition. *European Journal of Scientific Research (EJSR)*, 23(3), 2008, pp 373–379.

Sitografia:

- <https://neuroni-specchio.blogspot.com/2012/11/negli-anni-80-e-90-giacomo-rizzolatti.html>
- <https://www.bing.com/videos/search?q=neuroni+specchio&&view=detail&mid=0561CBBB7D0644B47E860561CBBB7D0644B47E86&&FORM=VRDGAR>
- www.italy.it
- https://www.researchgate.net/publication/307790622_La_teoria_dell'embodiment_e_il_processo_d_i_apprendimento_e_insegnamento_di_una_lingua
- MEAL-dispensa-videolezione-3.pdf (unive.it)
- Memoria implicita e memoria esplicita: il lato inconscio della memoria | Igor Vitale