

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in Neuroscienze

Ciclo XXIII

Il ruolo del sistema motorio nella
percezione dell'arte astratta: uno studio
EEG ad alta densità

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Vittorio Gallese

Tutor:

Chiar.mo Prof. Vittorio Gallese

Dottoranda:

Beatrice Sbriscia Fioretti

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
1. QUANDO LE NEUROSCIENZE SI INTERESSANO ALL'ARTE	6
1.1 Origini storiche	6
1.2 Cosa si intende per esperienza estetica?	8
1.3 Teorie e studi sulla percezione dell'arte	14
1.4 Studi intorno al livello emotivo e cognitivo dell'esperienza estetica.....	19
2. CIRCUITI SENSORIMOTORI, NEURONI SPECCHIO, EMBODIED SIMULATION E PERCEZIONE DELL'ARTE VISIVA	27
2.1 Introduzione	27
2.2 Le vie visive dorsali	29
2.3 Organizzazione dell'azione nello spazio e percezione dello spazio.....	30
2.4 Percezione e comprensione delle azioni	32
2.5 Embodied simulation.....	35
2.6 Embodied simulation e arte visiva	37
3. L'ELETTROENCEFALOGRAFIA AD ALTA DENSITÀ.....	43
3.1 Introduzione	43
3.2 Il problema diretto e il problema inverso.....	44
3.3 Sistema di registrazione del segnale elettroencefalografico	45
3.4 Procedura di registrazione	47
3.5 Elaborazione del segnale	48
3.6 Localizzazione della sorgente	53
4. MODULAZIONE DI UN POTENZIALE EVOCATO NEGATIVO (ERP) DURANTE L'OSSERVAZIONE DELL'ARTE ASTRATTA.....	57
4.1. Introduzione	57
4.2 Materiali e metodi	62

4.3. Risultati	73
4.4 Discussione	79
CONCLUSIONI	88
BIBLIOGRAFIA	89

INTRODUZIONE

Il lavoro sperimentale presentato in questa tesi si inserisce in un campo relativamente giovane delle neuroscienze cognitive, la neuroestetica. Questa linea di ricerca si occupa principalmente di indagare le basi neurali dell'esperienza estetica. È stato notato (Nadal and Pearce, 2011) tuttavia che, non essendoci risposte univoche su quale sia la specificità dell'esperienza estetica, gli studi pubblicati in questi anni hanno toccato aspetti disparati e contrastanti della cognizione, da quelli più strettamente emozionali, a quelli più cognitivi, a quelli esclusivamente di ordine percettivo. Dopo aver inquadrato storicamente la nascita di questa disciplina, e le diverse linee di ricerca che si sono sviluppate al suo interno, ho inserito la nostra ipotesi di ricerca sull'arte astratta in un ambito strettamente legato alla percezione. Ho ripercorso quindi gli studi e le teorie più recenti riguardanti la percezione, e, in particolare, la scoperta dell'esistenza di neuroni multimodali che rispondono a diversi tipi di interazione che si può avere rispetto a una stessa realtà (come i neuroni canonici e i neuroni mirror). Questi studi hanno messo in discussione l'idea che la percezione sia legata esclusivamente all'attivazione di determinate aree sensitive, seguita da una codifica di tipo inferenziale di ordine superiore, e hanno fatto emergere che, alla base della percezione, vi è l'attivazione di uno o più circuiti sensorimotori, a secondo del numero di modalità sensoriali coinvolte (Rizzolatti et al. 2002). Ho illustrato la teoria dell'embodied simulation (Gallese, 2005) fondata sulla scoperta dei neuroni canonici e dei neuroni mirror, e come questa abbia portato all'ipotesi che, alla base del "potere delle immagini" (Freedberg, 1989) dell'arte visiva, ci possa essere questo tipo di meccanismo, che implica una particolare attivazione del sistema motorio durante la percezione delle opere d'arte (Freedberg and Gallese 2007). Ho quindi presentato la tecnica dell'EEG ad alta densità mostrando la particolare possibilità che offre, grazie all'analisi della localizzazione della sorgente, di combinare l'ottima risoluzione temporale dell'EEG, con una localizzazione spaziale, seppur a bassa risoluzione. Infine ho presentato il nostro studio ERP il cui obiettivo era di studiare i correlati neurali associati alle componenti dinamiche presenti nei dipinti di Franz Kline. A questo scopo è stato eseguito un confronto tra i potenziali evocati dall'osservazione di tre dipinti di Franz Kline, con i potenziali evocati dall'osservazione di tre immagini di

controllo, in cui le componenti dinamiche delle immagini erano state rimosse. I risultati sono stati discussi alla luce della teoria dell'embodied simulation: l'ipotesi che è stata formulata è che l'attivazione della corteccia motoria riscontrata durante l'osservazione degli stimoli Paintings sia dovuta alla rappresentazione, a livello della corteccia sensorimotoria dell'osservatore, del gesto che ha compiuto l'artista per eseguire le pennellate, di cui è rimasta una traccia ben evidente nell'opera.

1. QUANDO LE NEUROSCIENZE SI INTERESSANO ALL'ARTE

1.1 Origini storiche

Come esplicitato negli estratti della *Copenhagen Neuroaesthetics conference* (Nadal & Pearce, 2011), l'origine della neuroestetica deriva dalla confluenza di diverse discipline, quali la psicologia, le neuroscienze, la biologia evoluzionistica, e la filosofia estetica. Il primo a domandarsi quale natura biologica avesse l'esperienza estetica, in particolare per quanto riguarda l'esperienza del sublime e del bello, è stato Edmund Burke verso la metà del XVIII secolo (Burke, 1757). Questo filosofo britannico, nel suo trattato sull'origine delle nostre idee di Sublime e di Bello (*A Philosophical Enquiry into the Origin of Our Ideas of the Sublime and Beautiful*), si domanda precisamente quale sia il correlato fisiologico di queste esperienze. Egli arriva alla conclusione che l'esperienza del sublime sia sostenuta dagli stessi meccanismi biologici dell'esperienza del dolore, mentre l'esperienza del bello sia sostenuta dai meccanismi biologici che supportano il piacere. L'idea che l'esperienza estetica sia provvista di un suo specifico correlato fisiologico non appartiene quindi solo alla storia recente della psicologia e delle neuroscienze, ma sembra ben radicata anche nel pensiero della filosofia estetica. Altri pensatori contemporanei di Burke, quali Uvedal Price (1810) e Daniel Webb (1769), fanno emergere nel loro pensiero questo tema, oggi al centro di quella linea di ricerca ha preso il nome di neuroestetica. È probabile che la comparsa della questione biologica all'interno del pensiero filosofico estetico sia andata di pari passo con il numero crescente di studi neurofisiologici e di teorie psicologiche di quel periodo storico. Secondo Moore (2002) la prospettiva biologica nei confronti dell'esperienza estetica è stata poi ostacolata dal pensiero filosofico di Kant, la cui estetica trascendentale separava nettamente il concetto filosofico di estetica (come teoria della conoscenza sensibile) da quello fisiologico di emozione.

La teoria evoluzionista di Darwin ha poi riportato alla ribalta, nella seconda metà dell'ottocento, il tema delle proprietà biologiche dell'arte. Essendo la ricerca e lo sviluppo dell'arte visiva, così come della musica, una caratteristica universale e presente da sempre nell'uomo, la teoria evoluzionistica comportava automaticamente

l'interrogativo di quale fosse la funzione e il vantaggio evolutivo di questa specificità umana. In che modo l'arte può esercitare una pressione positiva sulla selezione della specie, visto che in ogni cultura viene sviluppata qualche forma di arte pittorica, musicale, inerente alla danza o alle rappresentazioni teatrali? La tendenza a coltivare aspetti puramente estetici della nostra vita, è stata fatta risalire principalmente ai vantaggi che questa capacità apporta nella scelta del partner (Darwin, 1874; Allen 1880) e nella selezione di ambienti favorevoli in termini di risorse e di assenza di pericoli (Clay, 1908).

Sempre in questo periodo Gustav Fechner (1860), all'interno della fondazione della psicofisica, tenta di quantificare i fenomeni psicologici inerenti all'arte riferendosi a un'estetica empirica. I principi generali dell'estetica, secondo Fechner, devono essere derivabili sperimentalmente dalle singole esperienze estetiche legate essenzialmente alla fisiologia del piacere-dolore. Concetti assoluti appartenenti da sempre alla filosofia estetica, come quelli di «bellezza», «arte», «stile» o «forma», in quest'ottica devono essere abbandonati. Secondo Martindale (2007), queste ipotesi non hanno avuto modo di integrarsi all'interno di un modello psicologico nel corso del ventesimo secolo, a causa del dominio della psicologia comportamentista che, studiando essenzialmente il comportamento manifesto, privava i neuroscienziati e gli evoluzionisti di una spiegazione dei processi cognitivi ed emozionali che accompagnano la produzione e la fruizione artistica. Tuttavia, nel corso della seconda metà del '900, sono state raccolte da diversi neurologi moltissime osservazioni inerenti agli effetti delle lesioni cerebrali sull'esperienza artistica, sia in termini di produzione che di fruizione (Alajounine, 1948; Gourevitch, 1967; Luria et al., 1965; Zaimov et al., 1969). Fu poi, paradossalmente, proprio uno psicologo neocomportamentista, Berlyne, a riportare il tema dell'estetica nella psicologia durante gli anni '70. In *Psychobiology and Aesthetics* (1971), Berlyne individua le componenti fisiologiche dell'estetica, specialmente per quanto riguarda il piacere. Riprendendo l'idea di Fechner, Berlyne si è proposto di studiare l'estetica empiricamente, o, usando le sue parole, "dal basso", ricavandone i principi generali in maniera sperimentale. Secondo la sua teoria, l'attrazione esercitata dall'arte sull'essere umano è dovuta alle proprietà collative (novità, complessità, incongruenza) tipiche delle opere d'arte. Tali proprietà avrebbero effetti motivazionali che, in termini fisiologici, corrisponderebbero ad aumentati livelli di arousal rilevabili misurando la Galvanic Skin

Response (GSR). I suoi esperimenti hanno evidenziato che la relazione tra complessità dello stimolo (e quindi di livelli di arousal), e piacere derivante dallo stimolo, è descritta da una curva di Wundt, per cui il piacere massimo si ha quando la complessità dello stimolo rimane su livelli medi. Pur essendo la GSR una misura piuttosto aspecifica, che non rappresenta i processi cognitivi in atto durante la fruizione di un'opera d'arte, ma un loro esito periferico, Berlyne ha senz'altro dato un importante contributo nei riguardi di un approccio all'estetica di tipo sperimentale, e ha scardinato l'idea che l'unico approccio pertinente a questa disciplina sia esclusivamente quello filosofico. L'accesso della psicologia sperimentale al campo dell'estetica ha aperto la strada a quelle ricerche che negli ultimi due decenni hanno ipotizzato, e in molti casi verificato, una relazione causale tra specifiche attività cerebrali e alcuni aspetti dell'esperienza estetica. I primi lavori pubblicati riguardavano, o speculazioni basate su una conoscenza approfondita delle funzioni delle diverse strutture cerebrali (Changeux, 1994; Zeki and Lamb 1994; Zeki, 1999; Ramachandran and Hirstein, 1999), oppure studi del tipo *single-case reports*, in cui venivano descritti particolari comportamenti, riguardanti la produzione e/o la fruizione dell'arte, comparsi dopo che il paziente aveva riportato determinate lesioni cerebrali (Miall, 1977; Liu and Miller, 2008). L'avvento di tecniche non invasive di neuroimaging ha aperto le porte a uno studio empirico dei correlati neurali dell'esperienza estetica su partecipanti sani in condizioni sperimentali controllate: all'inizio degli anni duemila è stato così possibile arrivare ad alcune, seppur limitate, conclusioni, relative ai processi neurali che sottostanno alla fruizione e alla produzione delle opere d'arte.

1.2 Cosa si intende per esperienza estetica?

Come illustrato nel paragrafo precedente, il percorso che ha portato l'arte ad essere oggetto di studio delle Neuroscienze non è stato affatto lineare. La maggior parte degli studi che oggi si considerano all'interno di questa linea di ricerca, si riferisce al termine *esperienza estetica*. Ognuno di essi, tuttavia, sembra alludere ad aspetti anche molto lontani tra loro, che – insieme – individuano il fenomeno “esperienza estetica”. Ciò che hanno fatto le Neuroscienze negli ultimi vent'anni è stato di domandarsi quali siano le basi organiche senza le quali il fenomeno non potrebbe rivelarsi. Non è un caso

che tanta parte degli studi di Neuroestetica sia costituita da singoli case report che illustrano le conseguenze di lesioni cerebrali sui comportamenti correlati all'arte. Tali studi clinici (Zaidel, 2005; Liu and Miller, 2008) sembrano suggerire il legame più diretto tra la fisiologia del tessuto cerebrale e l'esperienza estetica. Nel voler rintracciare le basi organiche di questo fenomeno è tuttavia possibile che in alcuni casi si siano persi di vista due aspetti, i quali, a mio parere, costituiscono premesse fondamentali nello studio di una materia apparentemente così lontana dalle neuroscienze.

Innanzitutto le basi neurofisiologiche sono complesse e molteplici, cosa che rende impossibile la costruzione di un disegno sperimentale in grado di testare tutti gli aspetti contemporaneamente. Molti lavori di neuroestetica, pur utilizzando il termine *esperienza estetica*, si propongono, di fatto, lo studio di aspetti specifici dell'elaborazione corticale correlata a questa esperienza, impiegando paradigmi sperimentali adatti allo scopo.

La seconda considerazione è legata alla sua natura: quando parliamo di estetica difficilmente possiamo immaginare questa dimensione dissociata dalla singolarità della vita di ognuno. Il soggetto, la sua storia, hanno un ruolo fondamentale nel fare di un'esperienza, un'esperienza estetica. Il celebre passo della madleine di Proust (Proust, 1913, pp 49-50) è un'ineguagliabile testimonianza di come l'estetica, pur essendo certamente legata alla teoria della conoscenza sensibile (Kant, 1790), si rifaccia pur sempre a una conoscenza che si è ricoperta di significati fin dalla primissima infanzia.

Ma, nel momento stesso in cui quel sorso misto a briciole toccò il mio palato, trasalii, attento a quanto avveniva in me di straordinario. Un piacere delizioso mi aveva invaso, isolato, senza nozione della sua causa. [...] Sentivo che era legata al sapore del tè e del biscotto, ma lo sorpassava incommensurabilmente, non doveva essere della stessa natura. Donde veniva? Che significava? Dove afferrarla? [...] E' chiaro che la verità che cerco non è in essa, ma in me. [...] Depongo la tazza e mi rivolgo al mio animo. Tocca a esso trovare la verità. Ma come? Grave incertezza ogni qualvolta l'animo nostro si sente sorpassato da se medesimo; quando lui, il ricercatore, è al tempo stesso anche il paese tenebroso dove deve cercare e dove tutto il suo bagaglio non gli servirà a nulla. Cercare? Non soltanto: creare. Si trova di fronte a qualcosa che ancora non è, e che esso solo può rendere reale, per poi far entrare nella sua luce.[...]

La consapevolezza del ruolo di primo piano che hanno la cultura e la storia dell'individuo non dovrebbe portare a un'assolutizzazione in senso antibiologista. Essa può essere invece un monito per le Neuroscienze a limitare il proprio orizzonte allo studio di determinati correlati neurali indispensabili all'accadimento di un'esperienza simile a quella descritta da Proust. Lo studio di come il cervello risponda all'arte implica l'esistenza di meccanismi neurali coinvolti nell'esperienza estetica che siano comuni a tutti gli individui. Ciò che caratterizza l'esperienza estetica come esperienza individuale sono gli elementi che di volta in volta innescano tali processi neurali, elementi che sono influenzati da fattori culturali ed esperienziali, che si modificano nel tempo e variano da individuo a individuo, anche all'interno di una stessa cultura.

I risultati degli studi che hanno cercato di chiarire i correlati neurali dell'esperienza estetica associata all'arte visiva sono molto eterogenei. Tale eterogeneità può avere due cause fondamentali: la prima è l'utilizzo di paradigmi sperimentali i cui risultati sono particolarmente influenzati dalle suddette variabili individuali e culturali. Come vedremo, a questa categoria appartengono quegli studi i cui paradigmi richiedono di dare valutazioni esplicite degli stimoli. I giudizi estetici implicano l'attivazione di processi neurali, come quelli valutativi e decisionali, che appartengono ai processi cognitivi di ordine superiore. Sono i processi maggiormente influenzati dalle variabili individuali, le quali, dunque, rischiano di avere un ruolo cruciale nel condizionare i risultati di questi studi. La seconda causa a cui ascrivere l'eterogeneità dei risultati è l'utilizzo di paradigmi sperimentali molto diversi tra loro, i cui risultati vanno a verificare diversi livelli di processamento neurale del fenomeno esperienza estetica. Non vi è nulla di sbagliato, ovviamente, nell'utilizzo di paradigmi diversi. La cosa importante è di volta in volta aver presente quale livello di processamento dell'esperienza estetica lo studio va ad indagare. Difficilmente si possono controllare tutti i livelli di processamento neurale attivati. Per far un confronto sensato è bene paragonare tra loro studi omogenei da questo punto di vista.

In una recente pubblicazione Gallese e Di Dio (Gallese e Di Dio, 2012), sistematizzando i diversi livelli dell'esperienza estetica, hanno cercato di chiarire quali studi si erano occupati di una cosa o dell'altra. Secondo questi autori è possibile individuare quattro diversi livelli di processamento neurale dell'esperienza estetica: l'apprezzamento estetico (*aesthetic appraisal*), l'attitudine estetica (*aesthetic attitude*),

l'esperienza estetica vera e propria (*aesthetic experience*) e il giudizio estetico (*aesthetic judgement*).

Con il termine 'apprezzamento estetico' (*aesthetic appraisal*), gli autori si riferiscono a una valutazione soggettiva basata sulle risposte emotive, e su un'eventuale identificazione introspettiva di tali risposte. Non si tratta dell'espressione di funzioni cognitive complesse, ma dell'evocazione nell'osservatore di ricordi emozionali riattivati da particolari oggetti percepiti nell'*hic et nunc*. Tali oggetti assumono valenza estetica per quel determinato soggetto, poiché le sue esperienze pregresse li avranno rivestiti di particolari significati emotivi. È quanto ci racconta Proust quando descrive il piacere delizioso di cui si sente invaso senza avere nozione della sua causa. Egli sente sì il legame con l'oggetto percepito in quel momento (il sapore della madleine), ma intuisce altresì che debba trattarsi di qualcosa di diverso, che viene da lui stesso, o, diremmo noi, dalla sua memoria emotiva a lungo termine. Questo tipo di risposta sostenuta dai circuiti di memoria è ovviamente variabile da soggetto a soggetto. In uno studio fMRI (Di Dio et al., 2007) è stato analizzato questo livello di processamento eseguendo un contrasto tra le attivazioni corrispondenti agli stimoli che i partecipanti avevano valutato piacevoli, e le attivazioni corrispondenti agli stimoli che i partecipanti avevano valutato spiacevoli. La valutazione degli stimoli avveniva in una sessione sperimentale successiva a quella fMRI. Gli stimoli favoriti erano associati all'attivazione dell'amigdala di destra, una struttura coinvolta nella rilevazione della salienza dello stimolo. Secondo gli autori questi risultati suggeriscono che gli aspetti più soggettivi dell'esperienza estetica sono mediati dalle esperienze emozionali pregresse dell'osservatore.

Un altro risultato di questo lavoro deriva dall'analisi dell'attività differenziale tra l'osservazione delle statue in cui sono state modificate le proporzioni e l'osservazione di statue con le dimensioni canoniche. Quest'analisi ha messo in luce l'attivazione dell'insula anteriore, una struttura che sarebbe dunque coinvolta negli aspetti più oggettivi dell'esperienza estetica, quelli legati alle proprietà fisiche intrinseche dell'oggetto che viene osservato. Gli autori ipotizzano che l'insula abbia un ruolo nell'associare un livello descrittivo di processamento dell'esperienza estetica, legato all'attivazione dei circuiti sensorimotori, a un livello emozionale. In altre parole, grazie all'insula, l'evocazione di una risonanza motoria sarebbe associata a uno stato emotivo che si caratterizzerebbe come sentimento di piacere. Tale ipotesi è fondata sulla

conoscenza delle connessioni che questa porzione dell'insula intrattiene con le altre strutture corticali. Il settore anteriore dell'insula, infatti, definito dal punto di vista citoarchitettonico come agranulare/disgranulare, è connesso ampiamente con le aree premotorie e prefrontali, con le strutture limbiche e con i centri neurovegetativi (Mesulam & Mufson, 1982; 1985; Dupont et al., 2003). Dal punto di vista funzionale l'insula anteriore sembra mediare le sensazioni associate a specifici stati emozionali (Augustine, 1996; Critchley et al., 2004; 2005; Craig, 2003). Tornando ai livelli di processamento dell'esperienza estetica, questo secondo tipo di analisi eseguito da Di Dio et al. evidenzia l'esistenza di un livello di processamento legato alle proprietà fisiche intrinseche dello stimolo, proprietà che di per sé sono anch'esse associate a determinati stati emozionali. Gallese e Di Dio definiscono questo livello di processamento l' "esperienza estetica" vera e propria (*aesthetic experience*). Si tratta di un processamento fondamentalmente percettivo, secondo le più recenti teorie sulla percezione.

La scoperta dei neuroni canonici, dei neuroni mirror, e dei neuroni posti alla codifica spaziale, a livello delle aree premotorie della scimmia, (Rizzolatti et al., 1988; di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996; Caggiano et al., 2009) ha infatti messo in luce che nel sistema motorio vi sono neuroni che, oltre a essere preposti alla codifica dell'azione, sono dotati anche di proprietà visive, acustiche, o tattili. Mentre, tradizionalmente, azione, cognizione, e percezione erano considerati domini funzionali separati (Hurley, 1998), queste scoperte, e i molti studi che ne sono seguiti, hanno dimostrato che il sistema motorio ha un ruolo di primo piano nella percezione e nella cognizione (Rizzolatti et al., 2002). In particolare sembra fondamentale la sua funzione nella percezione di quegli aspetti della realtà potenzialmente esperibili attraverso l'azione. Ad esempio, per quanto riguarda la percezione spaziale, l'attivazione dell'area premotoria ventrale F4 è fondamentale per percepire lo spazio peripersonale, definito come lo spazio raggiungibile durante i movimenti finalizzati degli arti superiori. L'ablazione di F4 nella scimmia comporta, infatti, non solo una compromissione del reaching, ma anche neglect emispatiale limitato allo spazio peripersonale (Rizzolatti et al., 1983). Lo stesso fenomeno è stato rilevato nell'uomo in particolari situazioni cliniche (Halligan & Marshall, 1991). Sono queste dimostrazioni di come le aree premotorie siano coinvolte nella percezione di alcuni aspetti della realtà, in particolare di quegli aspetti di

cui posso avere una diretta esperienza motoria. In questi casi la percezione risulterebbe da una trasformazione visuo- (audio-tatto-) motoria. Studi anatomici (vedi Rizzolatti et al., 1998) hanno evidenziato la presenza di connessioni tra aree parietali e aree motorie con proprietà funzionali simili. Sembra così che una serie di circuiti anatomicamente segregati (ad esempio VIP-F4 o AIP-F5 o LIP-FEF) attuino trasformazioni visuomotorie specifiche come quella per l'afferramento di oggetti o per la codifica spaziale per il movimento, trasformazioni che avvengono anche senza un output motorio manifesto, e che sono necessarie a scopo percettivo oltre che motorio. In questo senso Gallese e Di Dio, riferendosi al senso etimologico di esperienza - da *experiri*, sperimentare - definiscono esperienza estetica solamente ciò che ha a che fare con il processamento neurale dell'oggetto percepito, e, in particolare, ciò che di quest'oggetto è in grado di evocare nell'osservatore una simulazione incarnata delle azioni, emozioni e sensazioni in esso contenute. Tornerò nel prossimo capitolo a spiegare il concetto di simulazione incarnata e le sue implicazioni per una teoria dell'esperienza estetica. Mi limito qui a ricordare che in molti studi di neuroestetica, anche notevolmente diversi tra loro, si riscontra un'attivazione di alcune aree parietali e premotorie (Di Dio et al., 2007; Kawabata & Zeki, 2004; Jacobsen et al., 2006; Cela Conde et al., 2009), un dato che supporta l'idea di come l'esperienza estetica sia fortemente caratterizzata da una codifica visuospaziale accompagnata da una risonanza motoria.

Con 'attitudine estetica' (*aesthetic attitude*) Gallese e Di Dio si riferiscono allo stato mentale che consente all'osservatore di apprezzare il contenuto estetico dell'oggetto contemplato. Non sono solo le esperienze pregresse a influenzare l'esperienza estetica, come si è visto nella definizione del processo di *aesthetic appraisal*, ma anche una particolare disponibilità mentale necessaria affinché gli elementi che innescano l'esperienza estetica siano accessibili. È noto a tutti come di fronte a uno stesso oggetto la nostra attitudine può essere diversa a seconda della situazione. Ciò può provocare una variabilità di risposta all'oggetto estetico che va da una totale indifferenza, a una risposta ricca di sensazioni ed emozioni. Questa variabilità di risposta intraindividuale, si aggiunge alla variabilità di risposta interindividuale, dipendente dalle particolarità delle storie di vita dei soggetti e da fattori culturali, cosa che rende certamente più arduo lo studio sperimentale dei processi neurali innescati da un'opera

d'arte. È per questo motivo che gli studi di neuroestetica necessitano di una sessione comportamentale in cui queste variabili possano essere controllate.

Infine con 'giudizio estetico' (*aesthetic judgement*) gli autori intendono l'esplicita valutazione di un oggetto, che è di solito fortemente determinata da canoni estetici di ordine culturale e sociale. Questo livello di processamento neurale rappresenta l'aspetto più cognitivo della relazione che si stabilisce con un'opera d'arte. La maggior parte degli studi di neuroestetica si limitano a indagare questo livello di processamento neurale, che è a mio parere il meno interessante, proprio perché trascende la relazione di causa tra proprietà intrinseche dell'oggetto e processi automaticamente innescati da esse a livello corticale.

1.3 Teorie e studi sulla percezione dell'arte

Se esaminiamo quella parte di letteratura che raccoglie gli studi riferibili alla neuroestetica, è possibile trovarne alcuni che evidenziano maggiormente gli aspetti percettivi, altri che si concentrano sugli aspetti emozionali, e altri ancora sugli aspetti cognitivi. Da tali studi emergono risultati che sono solo apparentemente in contrasto, la cui diversità è spesso dovuta a paradigmi sperimentali disegnati per far emergere un determinato livello di processamento neurale.

Le prime pubblicazioni apparse su questo tema, a cui si deve anche l'ideazione del termine neuroestetica, erano focalizzate sugli aspetti percettivi. In particolare partivano dall'interrogativo su quali siano le caratteristiche visive dello stimolo in grado di influenzare la percezione della bellezza nell'arte (Zeki, 1999; Ramachandran and Hirstein, 1999, Conway and Livingstone, 2007). Le risposte date inizialmente a tale domanda consistevano in ipotesi di ordine teorico fondate su approfondite conoscenze della fisiologia del sistema visivo. Ad esempio, la scoperta che nella corteccia visiva della scimmia vi sono neuroni che non rispondono alle variazioni di luminosità a cui è esposto l'occhio di continuo, ma al colore, così com'è da noi percepito (Zeki, 1983), è stata accompagnata da un duplice entusiasmo: da un lato ha chiarito una questione sollevata da molti fisiologi fin da Von Helmholtz (1867), su come potesse essere costante la percezione dei colori a discapito delle variazioni continue di energia luminosa, dall'altro ha fatto ipotizzare che la ricerca dietro a secoli di storia dell'arte consista nello studiare

composizioni di colori, forme, e ombre, che suggeriscano, nella maniera più efficace possibile, l'effetto percettivo che intende l'artista nell'atto creativo. In particolare Changeux (1994) e Zeki (1999) – riprendendo un'idea di Gombrich (1957) – sottolineano che l'arte si fonda, inconsapevolmente, sulla capacità della nostra mente di riconoscere gli elementi invarianti presenti in mezzo a molteplici e continue variazioni, e di mantenere un'immagine strutturata e stabile del mondo circostante in mezzo a condizioni che sono in continuo mutamento. L'artista sfrutterebbe questa capacità umana per creare immagini che abbiano la possibilità di essere particolarmente stabili nella mente di chi le osserva.

Secondo Changeux questa ipotesi spiegherebbe anche la straordinaria fortuna della pratica artistica nei secoli. Al contrario della scrittura, che ha necessitato lo sviluppo di particolari funzioni del cervello nell'Homo Sapiens, l'arte si è avvalsa di capacità già presenti nel cervello di altre specie, i cui comportamenti spesso possono essere scatenati dal riconoscimento di una forma. Nel caso dell'uomo, è probabile che il riconoscimento di un ampio repertorio di forme espressive si sviluppi spontaneamente durante l'infanzia, quando vengono prodotte e riconosciute nella comunicazione non verbale che il bambino stabilisce con la madre o con altri bambini. Molte di queste forme iconografiche a valenza comunicativa – che raccolgono determinati colori di base, espressioni facciali, forme geometriche – possono essere ritrovate in ogni cultura (Hinde et al 1985; Rosch 1975).

L'arte sfrutterebbe dunque la necessità umana di rappresentare il mondo in maniera stabile per produrre a sua volta immagini che abbiano la possibilità di rimanere saldamente vive nell'osservatore. La produzione di queste forme iconografiche non è casuale poiché da un lato – come sottolinea Zeki – sottostà alla fisiologia del nostro sistema visivo, d'altro canto – come ci illustra Changeux – ogni forma iconografica adeguata ha la possibilità di divenire un oggetto culturale, o memo (Dawkins, 1982), in grado di essere trasmessa epigeneticamente con particolare efficacia da cervello a cervello, trasformandosi così in una sorte di memoria culturale. Tali memi, unità di replicazione in grado di essere veicolati da un individuo all'altro, e da una generazione all'altra, sono sottoposti a leggi simili a quelli cui sottostà la trasmissione dei geni, anche se a un livello organizzativo molto diverso. Sarebbe così spiegata l'universalità e la longevità di tale pratica, i cui protagonisti, questi artisti-scienziati, sarebbero alla

continua ricerca di rappresentazioni in grado di rimanere saldamente ancorate nella mente degli osservatori, sia per le loro proprietà intrinseche, in grado di assecondare la fisiologia del sistema visivo, sia per la loro portata simbolica, che le renderebbe rappresentazioni vive nella memoria a lungo termine, potenzialmente in grado di essere trasmesse ad altri individui.

Un'altra riflessione teorica, simile a quella di Zeki, ma scaturita dalla conoscenza dell'ottica geometrica e dell'ottica fisica, è stata fatta da Cavanagh (Cavanagh, 2005). Questo autore mostra che l'effetto percettivo desiderato dall'artista non sottostà alle leggi comuni della fisica. Gli artisti utilizzano ombre, colori, riflessi, e contorni, che risulterebbero impossibili da un punto di vista fisico, ma che sono particolarmente efficaci nel promuovere l'effetto percettivo desiderato. Secondo questo autore, ciò significa che il nostro sistema visivo utilizza una "fisica" semplificata per cogliere le caratteristiche salienti del mondo circostante. L'artista opera dei tagli, o delle distorsioni, che costituiscono suggestioni più efficaci per perseguire il messaggio dell'opera rispetto a ciò che richiederebbe la rappresentazione del mondo fisico. Quest'opera di sintesi costituisce, secondo Cavanagh, la principale attività di ricerca dell'artista, che, da questo punto di vista, opererebbe come un neuroscienziato.

Come già aveva suggerito Gombrich (1957), le Neuroscienze hanno dunque da imparare sulle funzioni del nostro sistema percettivo semplicemente dallo studio della storia dell'arte. Ramachandran e Hirstein (1999) sottolineano che la predisposizione, consapevole o inconsapevole, a estrarre i tratti essenziali della realtà, è sì dettata dall'esigenza di adeguarsi alle proprietà del nostro sistema visivo, ma indica la necessità dell'artista di cogliere la reale essenza di ciò che sta rappresentando. Per fare questo non sarebbe sufficiente selezionare gli elementi essenziali o più rilevanti per il nostro sistema visivo, è anche necessario operare su di essi un'amplificazione (e dunque una distorsione). Quest'ipotesi è basata sul cosiddetto effetto *peak shift*, in base al quale un topo, addestrato a discriminare tra due forme, risulta ancora più sensibile all'amplificazione dei particolari attributi della forma a cui risponde. Gli elementi essenziali amplificati diventerebbero dei "superstimoli" in grado di esemplificare e simbolizzare l'essenza di ciò che stanno rappresentando, a cui una certa categoria della realtà potrà essere universalmente ricondotta. Gli autori portano ad esempio la rappresentazione iconografica della femminilità, dove la caricaturizzazione delle

rotondità femminili andrebbe universalmente a rappresentare la donna, rimandando ai significati che rientrano nel dominio simbolico della differenza tra uomo e donna.

Alcuni storici dell'arte, come Hyman (2010), o Gombrich stesso (2000), hanno contestato a Ramachandran le sue conclusioni rispetto all'arte, in quanto basate su un'analisi parziale della storia dell'arte. Ciò implicherebbe, ad esempio, l'esclusione della fotografia dal novero delle arti visive. Mentre Zeki, Ramachandran, e Hirstein, enfatizzano il ruolo delle diverse aree della corteccia visiva nel valorizzare le peculiarità di una determinata opera (ad esempio le opere dei Fauve agirebbero particolarmente su V4, l'area deputata all'analisi dei contrasti di colore, mentre le opere di Mondrian attiverebbero particolarmente V1, che risponde alle linee verticali e orizzontali), Hyman, così come Freedberg e Gallese (2007), sottolinea che ciò non basta a spiegare il motivo per cui l'osservazione di un'opera d'arte possa risultare particolarmente piacevole o interessante.

Queste obiezioni alle prime teorie neuroscientifiche riguardanti la percezione dell'arte sembrano essere state in qualche modo recepite dai neuroscienziati stessi. Nonostante l'entusiasmo iniziale, le ipotesi di ordine teorico relative al rapporto che ci sarebbe tra opere d'arte e attivazione del sistema visivo non sono state dimostrate sperimentalmente, anche perché, come illustrerò nella sezione successiva, vi è stato uno spostamento dell'attenzione delle Neuroscienze dagli aspetti visivi dell'arte a quelli più emotivi e cognitivi. I paradigmi comunemente utilizzati spesso non consentono di valutare il processo percettivo privo dell'interferenza di un processo cognitivo esplicito. Quale sia la tecnica impiegata per inferire l'attività cerebrale, molto spesso non si domanda semplicemente ai partecipanti di osservare attentamente immagini di opere d'arte, ma viene anche richiesta una valutazione esplicita di quell'immagine con un punteggio, o con una classificazione in categorie concettuali quali "bello", "brutto" o "neutro". Fanno eccezione il già citato studio di fMRI di Di Dio et al. (2007) e un recente studio EEG di Umiltà et al. (2012). In questi casi la richiesta fatta ai partecipanti era semplicemente di osservare le immagini. Un dato di rilievo, riconducibile al tema della percezione nell'arte, viene da uno studio che ha utilizzato la tecnica dell'eye tracking (Vogt e Magnussen 2007), in grado di individuare e quantificare su quali elementi dell'immagine è diretto lo sguardo dell'osservatore. Gli autori hanno presentato delle foto a due gruppi di partecipanti, artisti e non artisti. La differenza rilevata nel modo di

guardare un'immagine è molto rilevante: come si nota in questa immagine esemplificativa (figura 1) un artista tende a osservare gli elementi strutturali di un'immagine, mentre un individuo naif si focalizza sugli oggetti e le persone. Quando si richiede però ai partecipanti di guardare l'immagine attentamente, con lo scopo di ricordarsela in seguito, anche gli artisti tendono a focalizzarsi sugli elementi "narrativi" delle fotografie. Gli autori interpretano questo dato ipotizzando che i non-artisti siano immediatamente portati a categorizzare e dare un significato all'immagine, mentre gli artisti sono allenati a ispezionare gli aspetti puramente percettivo-strutturali. Anche secondo Snyder e colleghi (Snyder and Thomas, 1997; Snyder et al., 2003) la tendenza a etichettare linguisticamente e simbolicamente le immagini è ciò che caratterizza un non-artista rispetto a un artista. Paradossalmente, affermano gli autori, un artista per diventare tale è costretto a disimparare il comune approccio verbale e simbolico alla percezione.

Questo dato, insieme ad altri (Lengger et al., 2007; Cupcik et al 2009), ci indica che il processamento cognitivo di un'immagine sembra essere quello preferenziale, soprattutto nei soggetti che hanno poca familiarità con l'arte. È quindi forse un'impresa persa in partenza il voler controllare unicamente gli aspetti percettivi dell'esperienza estetica, dato che il nostro cervello seleziona direttamente gli elementi percettivi con lo scopo di dare un significato all'immagine, a meno che non sia stato adeguatamente allenato a non farlo, come nel caso degli artisti.

L'utilizzo di un grande numero di stimoli diversi, raggruppati in categorie in base al contenuto rappresentazionale, come viene fatto in molti studi (ad esempio Kawabata e Zeki, 2004, Vartanian e Goel 2004, Augustin et al., 2011), può non essere del tutto legittimo, dato che la singola immagine attiva una specifica attribuzione di significato in base ad alcuni elementi percettivi selezionati. Più adeguato potrebbe essere l'utilizzo di poche immagini, molto simili tra loro, ognuna ripetuta un certo numero di volte. L'intento dello studio eseguito da Umiltà et al (2012), così come quello dello studio che illustrerò alla fine di questa tesi, è stato proprio quello di ridurre il più possibile il numero degli stimoli, e dunque le variabili cognitive e percettive in gioco, andando direttamente al cuore del problema: in cosa differisce un'opera d'arte rispetto a uno stimolo visivo con caratteristiche percettive simili? I risultati di questi due lavori mostrano che il sistema sensorimotorio ha un ruolo decisivo nella percezione dell'opera

d'arte, il cui significato può essere ricondotto alle più recenti teorie sulla percezione (Rizzolatti et al., 2002). In particolar modo, questo dato confermerebbe la teoria formulata da Freedberg e Gallese (2007) secondo i quali la simulazione incarnata di azioni, sensazioni ed emozioni rappresentati in un'opera d'arte, così come del gesto che ha eseguito l'artista durante la creazione dell'opera, avrebbe una parte decisiva quando si osservano opere d'arte. L'intero quadro teorico che vede percezione cognizione e azione come funzioni intimamente connesse, all'interno del quale si colloca la teoria dell'embodied simulation, sarà illustrato in dettaglio nel prossimo capitolo.

Il nostro studio, così come quello di Umiltà et al. (2012), rientra tra gli studi che indagano il livello percettivo dell'esperienza estetica, rifacendosi però a una concezione di percezione più ampia rispetto a quella cui si riferivano gli autori sopracitati, che non si ferma, cioè, al processamento visivo dello stimolo, ma implica un ruolo attivo del sistema motorio.

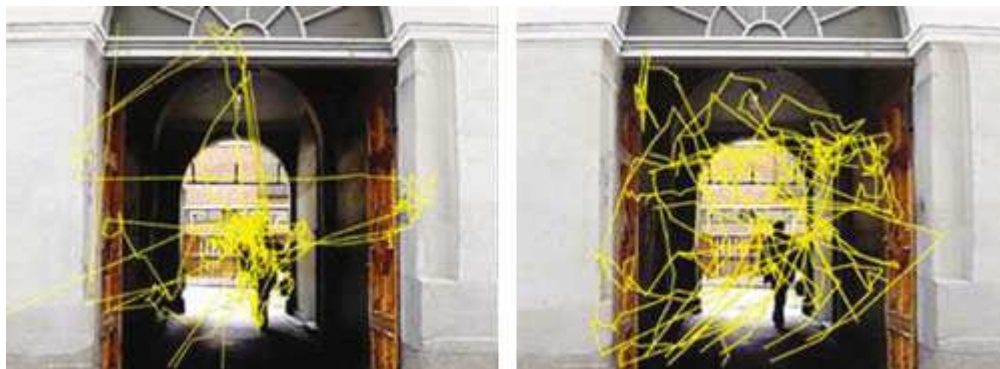


Figura 1. Da Vogt and Magnussen 2007: la stessa foto osservata da due persone diverse, un artista (a destra) e un non artista (a sinistra). La tendenza di chi non è istruito a focalizzarsi sugli aspetti pittorici di un'immagine è di osservare prevalentemente gli elementi "narrativi" che rispondono all'implicita domanda "che cosa sta succedendo nella scena?"

1.4 Studi intorno al livello emotivo e cognitivo dell'esperienza estetica.

Quando ho discusso i livelli di processamento neurale dell'esperienza estetica individuati da Gallese e Di Dio (2012), ho parlato di aesthetic appraisal e di aesthetic judgement. Questi due livelli di processamento sono strettamente connessi, ma non del tutto coincidenti. Aesthetic appraisal si riferisce maggiormente al piacere estetico scaturito da una risposta emozionale automatica di fronte a un'opera d'arte, mentre il

giudizio estetico richiede il contributo di una valutazione cognitiva esplicita, scaturita da processi decisionali e autovalutativi che coinvolgono aree corticali di recente sviluppo dal punto di vista filogenetico, come le aree del linguaggio e le aree prefrontali. È certo che tali processi si influenzino reciprocamente durante l'esperienza estetica, ma è anche plausibile che vi siano condizioni in cui c'è una netta prevalenza dell'uno o dell'altro processo: in molti casi la risposta emozionale può rimanere inconsapevole, in altri casi si può attribuire una valutazione esplicita a un'opera d'arte prevalentemente sulla base di canoni estetici esterni di ordine culturale.

Leder e colleghi (2004) hanno cercato di individuare un modello psicologico che chiarisse l'interazione tra il livello emozionale e cognitivo dell'esperienza estetica: i due processi sono descritti come circuiti che vengono attivati in parallelo e che si influenzano di continuo e vicendevolmente. Il merito di questo modello è di aver individuato quali variabili sono in grado di influenzare queste funzioni. La nozione di percezione che ne emerge, tuttavia, non tiene in considerazione gli studi riguardanti il ruolo centrale del sistema sensorimotorio nella percezione. Secondo questa diversa nozione, le esperienze pregresse, e il dominio di competenze del soggetto, influenzerebbero anche il livello percettivo, cosa che non è prevista dal modello sopraccitato (vedi figura 2). Alcuni studi, come abbiamo visto, hanno già dimostrato che gli artisti, rispetto ai non artisti, hanno una diversa modalità di esplorazione visiva (Vogt e Magnussen 2007) e un diverso pattern di attivazione neurale anche a livello dei circuiti sensorimotori (Kirk et al., 2009).

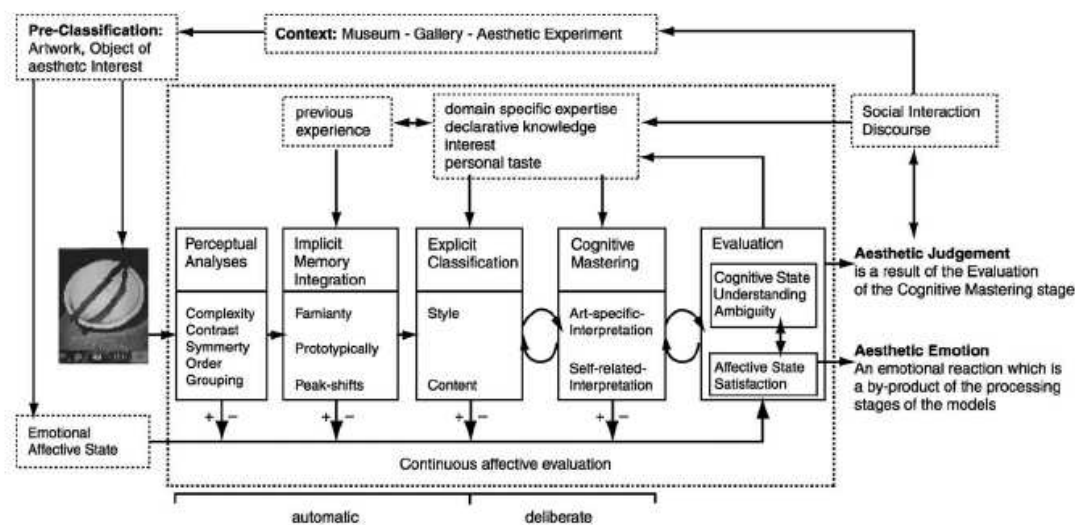


Figura 2. A model of aesthetic experience, da Leder et al. (2004).

L'isolamento di questi due livelli di processamento è in ogni caso sperimentalmente difficile, in quanto, per sapere quale risposta emozionale si ha di fronte a un'opera d'arte, è necessario domandarlo al soggetto e dunque attivare un processo valutativo esplicito. Un accorgimento che può essere preso è quello di separare la registrazione dell'attività cerebrale, durante l'osservazione delle opere d'arte, dalla valutazione esplicita delle opere. In questo modo avrò un dato di attività cerebrale non influenzato da un esplicito processo di decision making. È però legittimo l'utilizzo del punteggio assegnato esplicitamente e in un secondo tempo al dipinto per discriminare l'attività cerebrale spontanea durante la visione del quadro? In realtà non si è certi che una valutazione esplicita a posteriori coincida con la risposta spontanea (emozionale implicita ed esplicita) che si ha durante la registrazione dell'attività. In entrambi i casi è chiaro che le conclusioni riferite a un'ipotetica risposta emozionale automatica e implicita rischiano di essere distorte.

Una terza via è quella di non avvalersi della valutazione per discriminare la risposta cerebrale agli stimoli di natura artistica, ma di utilizzare uno stimolo di controllo, che abbia caratteristiche visive simili, privato di quegli elementi che ipoteticamente lo renderebbero uno stimolo a carattere artistico. La registrazione dell'attività cerebrale avverrebbe dunque senza la richiesta di particolari compiti valutativi e decisionali. Anche in questo caso, va detto, la costruzione dello stimolo di controllo rischia di essere arbitraria in quanto lo sperimentatore decide a priori quali sono gli elementi visivi che fanno di un'immagine un'opera d'arte, e lo studio si sposterebbe sull'ipotesi che alcuni elementi di un dipinto sono decisivi nell'avere una certo pattern di attivazione neurale. Tale decisione in realtà può fondarsi su una serie di studi che hanno individuato alcune variabili in grado di influenzare il piacere che si prova di fronte a un'opera d'arte quali simmetria (Jacobsen e Hofel, 2002), proporzione (Locher, 2003; Di Dio et al., 2007), prototipicità (Hekkert e van Wieringen, 1990).

Nel nostro studio abbiamo optato per questa soluzione, lasciando la valutazione degli stimoli a una sessione comportamentale successiva rispetto a quella di registrazione. Si è assunto quindi che la variabile in grado di incidere sull'esperienza estetica fosse la capacità dell'immagine di evocare la rappresentazione motoria del gesto dell'artista. I dati della sessione comportamentale sono stati analizzati separatamente e utilizzati unicamente come riferimento in sede di discussione. Lo

stimolo di controllo è stato costruito rimuovendo le componenti dinamiche dai quadri originali di Franz Kline. Parte fondamentale dello studio è dunque l'ipotesi che la rimozione di tali componenti porti a un diverso processamento corticale dello stimolo. L'ipotesi immediatamente successiva è che nella differenza di attivazione corticale data dai due tipi di stimoli risieda una parte molto importante della nostra esperienza estetica. La seconda ipotesi è verificabile però solo indirettamente, riferendosi in parte ai risultati dello studio comportamentale, in parte ai risultati di altri studi che hanno studiato la funzione di queste aree. Il merito di questa metodologia è che analizza semplicemente l'attività suscitata dall'osservazione degli stimoli, avendo bene sotto controllo gli elementi a cui attribuire le differenze di attivazione.

Tra i tanti studi pubblicati negli ultimi dieci anni, mi soffermo sui quattro studi pionieristici (Vartanian and Goel, 2004; Kawabata and Zeki, 2004; Cela-Conde et al., 2004; Jacobsen et al., 2006) che hanno cercato di identificare i correlati neurali del giudizio estetico. Kawabata e Zeki (2004) hanno registrato l'attività cerebrale dei partecipanti con l'fMRI mentre valutavano la bellezza dello stimolo. Durante l'osservazione degli stimoli a cui veniva assegnato un alto punteggio (belli), vi era una particolare attivazione dell'area orbitofrontale (BA11 e BA32). Con la magnetoencefalografia Cela Conde e colleghi (2004) hanno identificato, a livello delle aree prefrontali dorsolaterali di sinistra, un'attività particolarmente significativa tra i 400 e i 1000 ms dopo la comparsa dello stimolo per le immagini considerate belle. Vartanian e Goel (2004) nel loro studio di fMRI, hanno invece riscontrato una duplice correlazione tra i giudizi estetici espressi dai partecipanti e l'attività BOLD di alcune aree. In particolare l'attività del nucleo caudato di destra diminuiva al diminuire della preferenza per lo stimolo, mentre l'attività del giro fusiforme e dei poli occipitali aumentava all'aumentare della preferenza. Infine Jacobsen et al. (2006), sottraendo le attivazioni presenti in un task di valutazione della bellezza a quelle rilevate in un task di valutazione della simmetria, ha cercato le aree attivate da un giudizio sulla bellezza non condizionato da un giudizio sulla simmetria. Per far questo gli autori non hanno utilizzato opere d'arte ma figure in bianco e nero di varia complessità, estendendo la domanda sperimentale ai correlati neurali attivati da semplici stimoli visivi considerati belli. I suoi risultati mostrano una particolare attivazione della corteccia cingolata anteriore e della corteccia frontomediana durante l'osservazione degli stimoli considerati belli.

Secondo Cela Conde e colleghi (2011), fatta eccezione per lo studio MEG (Cela Conde et al., 2004), che per limitazioni tecniche non può rilevare né l'attivazione di strutture sottocorticali, né l'attivazione di regioni corticali poco accessibili come la corteccia orbitofrontale, questi studi evidenziano il coinvolgimento di diverse regioni che hanno un ruolo centrale nel processamento degli stimoli emotivi e nella riattivazione di esperienze emozionali pregresse (regione frontomediana), nell'attribuzione di una valenza di ricompensa a un determinato stimolo (regione orbitofrontale), e all'integrazione delle informazioni provenienti da queste due regioni per elaborare una risposta appropriata (corteccia cingolata anteriore, nucleo caudato).

Tali studi hanno certamente aperto la strada alla ricerca sulle risposte emozionali e cognitive suscitate dall'arte, ma offrono conclusioni tutt'altro che definitive. Oltre ai limiti metodologici dei paradigmi sperimentali esaminati sopra, è bene anche ricordare che i risultati di questi studi sono discussi inferendo l'attivazione di un certo processo cognitivo o emozionale sulla base dell'attività di una determinata area cerebrale, la quale può però essere coinvolta in molti processi diversi. Questo problema è comune a tutte le tecniche di neuroimaging, e riguarda in particolar modo l'fMRI, che fa della risoluzione spaziale il suo principale punto di forza. A ragione di questo limite, prima di trarre delle conclusioni è bene confermare i risultati con molteplici studi che chiariscano meglio il ruolo reciproco di queste aree nel mediare la risposta emozionale all'osservazione di un'opera d'arte.

Studi successivi si sono concentrati sulle variabili di natura cognitiva che influenzano i processi di valutazione e decision making. Una delle obiezioni che più spesso viene fatta alla neuroestetica è che il setting sperimentale del laboratorio è assolutamente inadeguato a valutare i correlati neurali dell'esperienza estetica, perché comprometterebbe sostanzialmente l'attitudine necessaria alla fruizione dell'arte. Tale obiezione può essere in parte respinta osservando che in un laboratorio, soprattutto nel caso in cui non si diano indicazioni sulla natura delle immagini che vengono fatte osservare, vi è la possibilità di estrapolare un'opera d'arte dal suo contesto, il quale, con un processo di tipo top-down, influenzerebbe di per sé l'esperienza estetica nel suo complesso.

Rifacendosi al modello teorico di Leder (2004), Cupchik (2009) ha studiato con l'fMRI, le differenze di attivazione che si hanno quando a un soggetto viene data

l'indicazione di osservare un'immagine con coinvolgimento (cercando di fare esperienza dell'atmosfera dell'opera, focalizzandosi sulle sensazioni che evoca e sugli aspetti pittorici quali colori, tonalità, composizione e forma), o l'indicazione di guardare con distacco (cercando di osservare le immagini in maniera oggettiva, cogliendo unicamente il contenuto narrativo di ciò che era rappresentato). Questo studio ha rilevato notevoli differenze di attivazione, mostrando che una stessa immagine, guardata con un diverso approccio, può evocare differenti risposte: nel primo caso (attitudine estetica all'immagine) infatti, si ha un'attivazione bilaterale dell'insula e della corteccia prefrontale laterale di sinistra. Secondo gli autori, ciò indicherebbe un ruolo dei processi di tipo top-down nel provocare una risposta emozionale di fronte a un'opera d'arte. In quest'ottica, l'influenza che ha l'esperienza e la conoscenza dell'arte, dimostrata con studi comportamentali (Winston e Cupchik, 1992; Calvo-Merino et al., 2010a) e più recentemente con l'utilizzo di tecniche quali l'eye tracking (Vogt e Magnussen, 2007), e l'fMRI (Kirk et al., 2009), può essere considerata come un'attitudine che si consolida nel tempo in base all'entità dell'esposizione a un determinato tipo di arte visiva. Una maggiore competenza è correlata con un'esplorazione visiva più approfondita e capace di spaziare all'intera composizione dell'immagine, piuttosto che ai suoi elementi costitutivi, che rappresentano il focus dell'esplorazione dei partecipanti naïve (Vogt and Magnussen 2007). Ciò è associato a diversi pattern di attivazione neurale (Kirk et al., 2009) che consistono in una maggior attivazione della corteccia orbitofrontale e della corteccia cingolata anteriore agli stimoli considerati belli.

Nello studio di Calvo Merino et al. (2010b), l'inattivazione con la rTMS dell'area premotoria ventrale correla negativamente con l'apprezzamento degli stimoli, mentre l'inattivazione dell'EBA (extrastriate body area) non interferisce con questa dimensione. Tali aree coincidono con "stazioni" cruciali della via visiva ventro-dorsale (area premotoria ventrale, vedi Gallese 2007), e di quella ventrale (EBA). In base ai dati sopra descritti, possiamo dunque ipotizzare che l'expertising influenzi il tipo di via visiva prevalentemente attivata dallo stimolo. I soggetti con maggiore esperienza, che passano più tempo a osservare la composizione dell'immagine, i contrasti di colore e le caratteristiche dello sfondo, attiverrebbero maggiormente la via visiva dorsale, che implica una modalità embodied di percezione. Formulo questa ipotesi sulla base del fatto che è proprio questa via, in base allo studio di Calvo-Merino e collaboratori, quella

che porta al processamento emozionale dello stimolo, che a sua volta, in base allo studio di Kirk e collaboratori, si è visto essere maggiore negli esperti. Per contro i non esperti, interessati agli aspetti narrativi dell'immagine, utilizzerebbero prevalentemente la via ventrale, associata al riconoscimento degli elementi rappresentati. Nel prossimo capitolo spiegherò il concetto di embodied simulation formulato per la prima volta da Gallese (2003), e le ipotesi circa il ruolo della simulazione incarnata nel processamento visivo di quelle immagini particolarmente provviste di potere empatico (Freedberg e Gallese 2007, Freedberg, 1989.)

Va infine ricordato che l'attenzione rivolta negli ultimi anni dalle neuroscienze all'esperienza estetica ha rianimato inevitabilmente la discussione circa il ruolo dell'arte, e dell'estetica più in generale, in chiave filogenetica ed evuzionista.

Secondo Brown & Dissanayake (2009) uno degli errori delle neuroscienze è stato quello di confondere il concetto di esperienza estetica con il concetto di fruizione dell'arte, e di eseguire studi su una porzione limitata di ciò che si può considerare arte, l'arte occidentale. L'apprezzamento dell'arte si baserebbe su una classe di emozioni la cui funzione biologica è di generare una stima delle proprietà degli oggetti. Le Neuroscienze dovrebbero dunque occuparsi di questo argomento più ampio sviluppando una teoria generale applicabile a tutti gli oggetti che suscitano una preferenza: in questo senso, con il termine "arte" si dovrebbero considerare non oggetti (quadri o canzoni), qualità degli oggetti (bellezza), suggestioni che portano a una preferenza sensitiva o cognitiva, ma, più semplicemente, tutto ciò che rientra nel vasto campo dell'*artificio* (arsfacere), "ciò che le persone fanno". Attraverso la ritualizzazione, un comportamento ordinario viene assunto per comunicare in un nuovo contesto qualcosa di completamente diverso. In un altro scritto la Dissanayake (2008) ha individuato quattro funzioni adattative dell'arte, meno legate alla competitività rispetto a quanto aveva postulato Darwin: il potenziamento delle funzioni cognitive (contributo nel migliorare il problem-solving e la capacità di fare scelte vantaggiose); la possibilità di controllare e indottrinare altre persone; l'esemplificazione delle qualità desiderabili ai fini della scelta del partner, il rinforzo della cooperazione e il contributo alla coesione sociale. Queste funzioni sarebbero diventate fondamentali, filogeneticamente, quando, l'aumento del volume cerebrale dell'*homo habilis* (1,8 milioni di anni fa) e il parallelo restringimento del bacino per facilitare la stazione eretta, hanno reso indispensabile l'accorciamento del periodo di

gestazione. La capacità degli adulti di comunicare con questi neonati immaturi è diventata a quel punto adattativa per la sopravvivenza della specie, e si è sviluppata nelle diverse forme artistiche comuni a tutte le culture.

2. CIRCUITI SENSORIMOTORI, NEURONI SPECCHIO, EMBODIED SIMULATION E PERCEZIONE DELL'ARTE VISIVA

2.1 Introduzione

Per approfondire il tema della percezione dell'arte visiva è necessario innanzitutto chiarire che le ricerche relative all'anatomia e alla fisiologia dei circuiti sensorimotori degli anni '90 hanno comportato una revisione del modello di cognizione fino ad allora in voga.

Il modello classico della psicologia cognitiva (Hurley, 1998) definiva la percezione come una sintesi dei dati sensoriali a cui viene attribuito un significato operando un confronto tra la rappresentazione proveniente dall'oggetto prossimale (l'oggetto esterno che stimola i sensi), e la rappresentazione proveniente dall'oggetto distale (un modello interno costruito sulla base delle esperienze precedenti). La rappresentazione dell'oggetto andrebbe incontro a una serie di processi cognitivi che innescherebbero una risposta motoria correlata con l'oggetto percepito.

Come si desume da questo modello, percezione e azione sono stati tradizionalmente considerati domini separati, implementati in diverse regioni anatomiche e funzionali: le aree visive, da un lato, attraverso associazioni sempre più complesse, si occuperebbero di costruire la rappresentazione visiva dell'oggetto, le aree motorie e premotorie, dall'altro, utilizzerebbero in un secondo tempo tale rappresentazione per l'azione.

I circuiti che processano l'informazione visiva in realtà sono posti sia in serie, come avevano postulato i fisiologi del sistema visivo di metà '900 (Marshall & Talbot, 1942), sia in parallelo, come verificato da alcuni studi successivi (Zeki 1976; Livingstone & Hubel, 1987): mentre il modello di cognizione sopra descritto era supportato dall'esistenza di un processamento in serie, il processamento in parallelo non veniva spiegato adeguatamente.

I primi a cercare una spiegazione che chiarisse questa apparente incongruità sono stati Ungerluder e Mishkin (1982): questi autori proposero che le aree visive sono organizzate in due circuiti separati e decorrenti in parallelo: la via dorsale, che include le aree MT, MST, FST, V3A e V6, e termina a livello del lobulo parietale inferiore, sarebbe

responsabile della percezione dello spazio; la via ventrale, che include le aree V3 e V4, e culmina a livello della corteccia temporale inferiore, sarebbe responsabile della percezione dell'oggetto.

Successivamente Milner e Goodale (Goodale e Milner 1992; Milner e Goodale 1995), pur essendo d'accordo circa il diverso ruolo funzionale della via visiva dorsale e ventrale, proposero che la differenza non consistesse tanto in ciò che viene percepito, quanto piuttosto nell'utilizzo che si fa dell'informazione visiva. La via dorsale utilizzerebbe tale informazione allo scopo di controllare l'azione, mentre la via ventrale se ne servirebbe per la percezione. A una simile conclusione era arrivato, parallelamente, Jeannerod (1994), che definì le funzioni della via visiva dorsale e ventrale rispettivamente come una modalità "pragmatica" e "semantica" di rappresentare l'oggetto. La modalità pragmatica implica una rappresentazione dell'oggetto secondo coordinate egocentriche e consentirebbe di mediare il controllo degli atti motori dotati di uno scopo. La modalità semantica invece si riferisce a una rappresentazione che descrive l'oggetto secondo coordinate oggetto-centriche e consentirebbe di riconoscere gli oggetti, capire la relazione di causa che sussiste tra essi, comunicare con gli altri rispetto al mondo di "fuori", e identificare degli scopi e i piani motori volti al loro raggiungimento (Goodale, 2005).

La proposta di Jeannerod, e di Milner e Goodale, è certamente suggestiva e ha il merito di avere scardinato la concezione che l'unico destino dell'informazione visiva sia una rappresentazione astratta dell'oggetto. Tuttavia, in essa, permane ancora l'idea di una netta separazione tra funzione percettiva e funzione motoria, poiché una percezione cosciente avverrebbe unicamente grazie all'attivazione della via ventrale.

Diversi studi anatomici e funzionali (per una panoramica Gallese, 2007) hanno però messo in evidenza che la suddivisione del processamento visivo in due vie è insufficiente e necessita dell'individuazione di una terza via (Rizzolatti e Matelli 2003; Rozzi et al., 2006). Questi studi hanno mostrato che la via dorsale, così come era stata individuata da Ungerluder e Mishkin, è in realtà costituita da due vie, una via dorso-dorsale, che ha le caratteristiche funzionali della via dorsale considerata da Milner, Goodale, e Jeannerod, e una via ventro-dorsale, che è coinvolta nella rappresentazione delle azioni rivolte a degli scopi e, allo stesso tempo, nella percezione consapevole dello spazio, degli oggetti, e delle azioni altrui. La via ventrale rimane implicata nella

percezione semantica degli oggetti, ma anche nell'organizzazione delle azioni conseguenti alla loro categorizzazione. A differenza di quanto postulato in precedenza, le tre vie terminerebbero tutte a livello del lobo frontale (e non a livello del lobo parietale inferiore e della corteccia temporale inferiore), dove sarebbero connesse con aree dotate di diversi gradi di complessità.

2.2 Le vie visive dorsali

Gli studi anatomici circa la citoarchitettura e l'odologia del lobulo parietale inferiore sono stati fondamentali a chiarire l'organizzazione funzionale della via visiva dorsale. Come abbiamo visto il lobulo parietale inferiore (IPL) rappresenta la stazione finale della via dorsale descritta inizialmente da Ungerlider e Mishkin. Questa struttura, situata nel lobo parietale posteriore viene divisa dal lobulo parietale superiore (SPL) da un solco, il solco intraparietale, piuttosto antico dal punto di vista filogenetico e già presente nelle prosimie. Nell'uomo SPL corrisponde all'area 5 di Brodmann, mentre IPL all'area 7 (Foerster, 1936).

SPL è tradizionalmente parte del sistema somatosensitivo, riceve informazioni di natura propriocettiva dall'area somatosensitiva primaria, e invia efferenze alla corteccia motoria primaria (F1) e alla corteccia premotoria dorsale (F2). Studi neurofisiologici sulla scimmia hanno però dimostrato che la parte caudale di questa regione (V6A e MIP) contiene neuroni che vengono attivati anche da stimoli di natura visiva (Galletti et al., 1996; Caminiti et al., 1996). A livello di SPL (via visiva dorso-dorsale) le informazioni visive sarebbero integrate con le informazioni di natura propriocettiva, per inviare indicazioni adeguate a livello di F1 e F2, allo scopo di controllare l'esecuzione dell'azione. Questa via, dunque, non avrebbe un ruolo nella percezione cosciente, come già aveva postulato Jeannerod alludendo a una rappresentazione pragmatica dell'oggetto.

Anche IPL riceve informazioni di natura somatosensitiva ma costituisce soprattutto la principale meta delle informazioni visive provenienti dalle aree extrastriate della via dorsale. Le sue efferenze sono rappresentate da connessioni con la corteccia premotoria ventrale (F4 e F5) e con il lobo prefrontale. Diversamente da SPL, IPL integra informazioni di natura visiva, uditiva e somatosensitiva, e, inviando tali rappresentazioni alla corteccia premotoria ventrale (F4 e F5), avrebbe un ruolo cruciale

nella percezione dello spazio e dell'azione, oltre che nell'organizzazione dell'azione stessa.

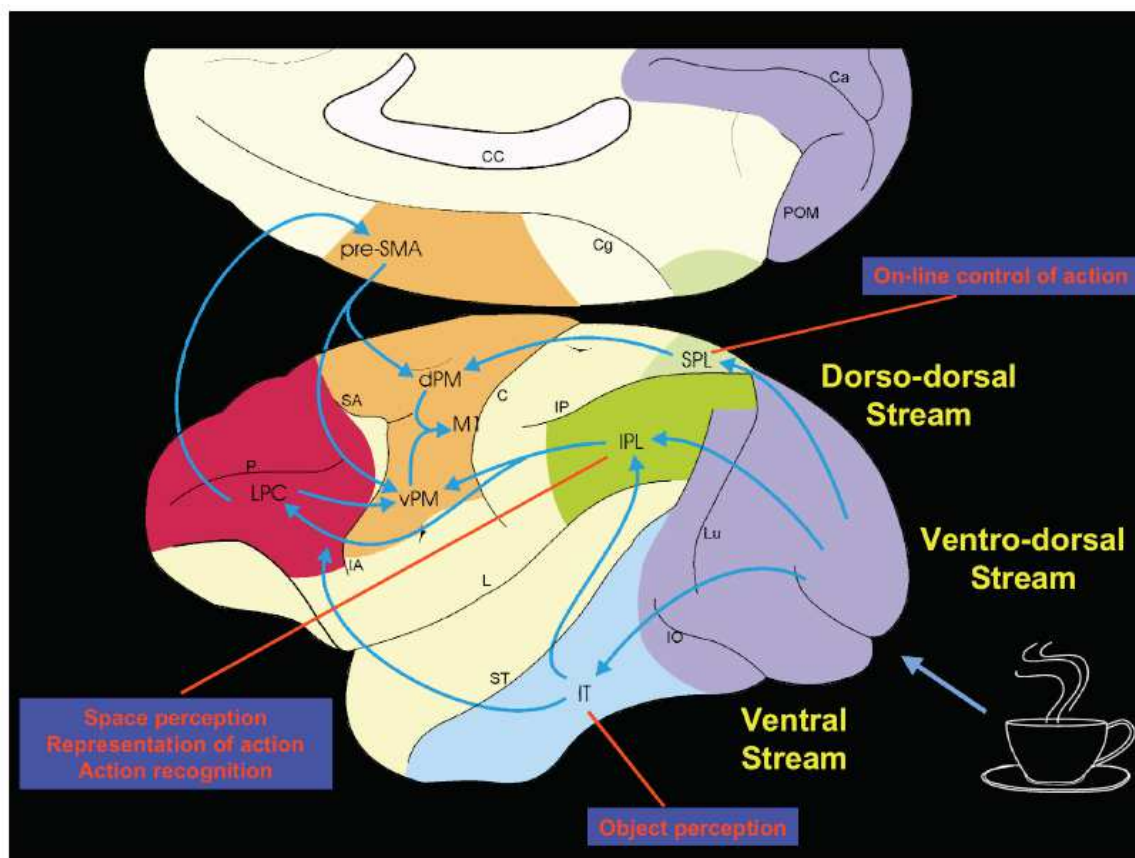


Figura 3. Le tre vie visive, da Gallese 2007.

2.3 Organizzazione dell'azione nello spazio e percezione dello spazio.

Dati anatomici, neurofisiologici, e clinici, indicano che l'organizzazione dell'azione nello spazio, e la percezione stessa dello spazio, non sono funzioni separate ma utilizzano lo stesso sostrato anatomico-funzionale, corrispondente al circuito formato dall'area ventrale intraparietale (VIP) e dalla porzione dorsale dell'area premotoria ventrale (F4). Entrambe queste aree contengono sia neuroni di natura unimodale (sensitivi), sia neuroni di natura bimodale, che rispondono indipendentemente a stimoli tattili e a stimoli di visivi (Colby et al., 1993; Gentilucci et al., 1988; Fogassi et al., 1996). Tipicamente i campi ricettivi tattili e visivi di questi neuroni sono messi "in registro": ciò significa che il campo ricettivo visivo comprende una regione di spazio tridimensionale posta intorno al campo ricettivo tattile che non cambia posizione quando gli occhi dell'animale si stanno muovendo. Le risposte visive di questi neuroni non segnalano dunque la posizione nello spazio rispetto a coordinate retinocentriche ma rispetto a

coordinate centrate su quella parte di corpo codificata dal campo somatosensitivo (coordinate egocentriche).

Va ricordato, inoltre, che, a livello dell'area F4, tali neuroni scaricano anche per movimenti attivi di quella parte del corpo su cui sono posti i campi recettivi tattili e visivi. La scarica dei neuroni di F4 in risposta a stimoli visivi o tattili sembra dunque riflettere la codifica di un'azione potenziale diretta in una porzione di spazio appartenente al campo recettivo di quel neurone. La codifica di uno schema motorio, diretto a un certo stimolo posto nello spazio, coinciderebbe con la codifica della posizione spaziale di quello stimolo in termini motori. A favore di questa ipotesi gioca una particolare proprietà dei neuroni di F4 e cioè che il loro campo visivo aumenta in profondità quando lo stimolo accelera verso il corpo dell'osservatore (Fogassi et al., 1996). Se la codifica spaziale di questi neuroni avvenisse secondo coordinate cartesiane, la variazione del campo recettivo al variare della velocità dello stimolo non sarebbe motivata. Una codifica dello spazio in termini motori, invece, prevede che l'azione simulata debba essere anticipata quando lo stimolo in avvicinamento accelera, e questo spiegherebbe l'utilità di un aumento della profondità del campo recettivo visivo.

Una conferma nella scimmia che il circuito VIP-F4 sia preposto alla percezione dello spazio peripersonale deriva da studi di lesione dell'area premotoria ventrale (Rizzolatti et al., 1983): tale lesione, oltre a provocare deficit di tipo motorio (scarso uso spontaneo dell'arto controlaterale e scarsa reazione agli stimoli tattili) provoca anche deficit di tipo percettivo consistenti in un'eminegligenza spaziale riguardante lo spazio peripersonale controlaterale.

Nell'uomo l'esistenza di una codifica distinta dello spazio (peripersonale ed extrapersonale) è deducibile da particolari situazioni cliniche che presentano danni cerebrali accompagnati da neglect selettivi, di tipo peripersonale o di tipo extrapersonale (Halligan e Marshall, 1991; Berti e Frassinetti, 2000; Shelton et al., 1990; Cowey et al., 1994, 1999). Se pensiamo che l'insieme dei campi recettivi dei neuroni multimodali di VIP e F4, centrati su diverse parti del corpo, codificano lo spazio peripersonale, risulta del tutto plausibile che un neglect peripersonale derivi da una lesione che coinvolge il circuito VIP-F4, il quale, sarebbe quindi responsabile della percezione cosciente dello spazio "raggiungibile" e, dunque, codificabile in termini motori. Altri studi (Marshall e Halligan 1988; Berti e Rizzolatti, 1992) hanno dimostrato

che il neglect coinvolge la consapevolezza della qualità dell'oggetto contenuto nello spazio non percepito, nonostante sia preservata una sua categorizzazione di tipo semantico. Nel loro insieme questi dati indicano che lesioni dei circuiti sensorimotori non compromettono solamente la capacità di individuare la posizione di un oggetto e di orientarsi e agire su di esso, ma anche la percezione cosciente dello spazio e degli oggetti in esso contenuti, nonostante la loro codifica semantica sia preservata.

2.4 Percezione e comprensione delle azioni

Una delle scoperte che hanno contribuito a riconsiderare il ruolo del sistema motorio nel modello di cognizione risale alla fine degli anni '80. Fino ad allora, si pensava che la corteccia motoria fosse responsabile della scomposizione del piano motorio nei singoli movimenti necessari ad attuarlo. La registrazione di singoli neuroni in situazioni comportamentali naturali ha invece evidenziato che, a livello della corteccia premotoria ventrale della scimmia, e in particolare a livello dell'area F5, la maggior parte dei neuroni codifica specifici atti motori, come afferrare o strappare, più che i singoli movimenti di cui sono costituiti (Rizzolatti et al., 1988). Ciò equivale a dire che a livello della corteccia motoria stessa vi è la codifica dell'azione in termini di scopo. Alcuni neuroni di F5, inoltre, rispondono anche alla presentazione di stimoli visivi: in particolare i neuroni che si trovano a livello dell'area F5p (banco posteriore del solco arcuato della scimmia) rispondono alla presentazione di oggetti afferrabili (neuroni canonici, vedi Brochier e Umiltà, 2007), mentre i neuroni che si trovano a livello della convessità di F5 (F5c) rispondono quando la scimmia vede altri individui compiere un'azione (neuroni specchio, vedi Rizzolatti e Sinigaglia, 2010).

I neuroni canonici sono coinvolti nella trasformazione delle proprietà visive degli oggetti tridimensionali in conformazioni della mano adeguate a interagire con essi. Ciò è stato dimostrato con studi di inattivazione che mostrano la perdita della capacità della scimmia di anticipare la presa adeguata all'oggetto. In questi casi gli oggetti riescono ad essere afferrati solo in seguito a correzioni fatte sulla base delle informazioni tattili, cioè dopo che la mano ha già preso contatto con l'oggetto (Fogassi et al., 2001). L'area F5 riceve afferenze prevalentemente dall'area intraparietale anteriore (AIP), che contiene neuroni con proprietà funzionali simili a quelle dei canonici.

I neuroni specchio, inizialmente identificati a livello di F5c del macaco (Di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al. 1996), sono neuroni multimodali (visuo-motori o visuoaudio-motori o visuotatto-motori) che condividono un meccanismo funzionale comune, definito Meccanismo Mirror (MM), in grado di associare la percezione e l'esecuzione dell'azione. Tali neuroni, infatti, non scaricano solo quando l'animale esegue uno specifico atto motorio, ma anche quando osserva un altro individuo eseguire quello stesso atto motorio. La semplice presentazione di un oggetto, o l'osservazione di un atto motorio intransitivo (senza un oggetto target) non attiva questi neuroni nella scimmia: le proprietà funzionali dei neuroni specchio sono quindi distinte rispetto a quelle dei neuroni canonici e dei neuroni che rispondono al movimento biologico presenti a livello del solco temporale superiore (STS, vedi Perret et al., 1989).

Come già abbiamo visto per il circuito VIP-F4, in cui le rispettive aree corticali contengono neuroni che condividono le stesse proprietà funzionali, anche l'area F5c, contenente i neuroni specchio, è parte di un circuito parietofrontale che condivide proprietà funzionali simili. A livello del lobo parietale inferiore (IPL), infatti, vi è un'area in particolare, l'area PFG, che contiene neuroni con queste stesse proprietà.

Studi di fMRI, TMS, EEG, e MEG, hanno messo in evidenza la presenza di un Meccanismo Mirror anche nell'uomo. Gli studi fMRI (Grézes et al., 2003; Buccino et al., 2004; Gazzola e Keysers, 2009) hanno evidenziato che, come avviene nella scimmia, anche nell'uomo, il circuito che associa la percezione e l'esecuzione dell'azione è composto di due regioni principali: il giro frontale inferiore, e il lobulo parietale inferiore, inclusa una regione all'interno del solco intraparietale. Nell'uomo il Meccanismo Mirror ha caratteristiche funzionali più complesse, in quanto, ad esempio, è attivo anche per azioni intransitive, non dirette a uno scopo.

Le ipotesi più convincenti circa le funzioni del circuito parietofrontale classico dei neuroni specchio (PFG-F5c) sono che esso sia alla base di una comprensione automatica e non inferenziale delle azioni e delle intenzioni altrui (per le intenzioni vedi Fogassi et al., 2005).

Il maggior supporto a questa ipotesi viene dall'analisi delle proprietà motorie di questi neuroni, che coincidano con la codifica dello scopo motorio, a prescindere dal fatto, ad esempio, che il raggiungimento dello scopo richieda un movimento di apertura

o di chiusura della mano (Umiltà et al., 2008; Rochat et al., 2010). Le proprietà motorie dei neuroni specchio, dunque, non sono diverse dalle proprietà motorie di altri neuroni di F5 o IPL privi di proprietà visive: la loro attivazione durante l'osservazione di un'azione eseguita da altri sembra dunque codificare lo scopo dell'azione osservata. In osservazione, inoltre, i neuroni specchio scaricano anche quando l'ultima parte dell'azione non è visibile, ma solo nel caso in cui l'osservatore abbia avuto modo di immaginare lo scopo dell'azione (Umiltà et al., 2001). Altri neuroni, dotati anche di proprietà uditive, si attivano anche se lo scopo dell'azione è suggerito unicamente dal suono dell'azione (Kohler et al., 2002). È stato ipotizzato che a prescindere da quale sia la modalità sensitiva e la quantità di informazione che viene fornita riguardo allo scopo di un'azione, la sua comprensione passa comunque dall'attivazione di neuroni motori di F5 che codificano quello scopo.

Anche nell'uomo vi sono prove convincenti che la funzione del meccanismo mirror sia alla base della comprensione dello scopo delle azioni: uno studio con due pazienti aplosici (Gazzola et al., 2007) ha mostrato che il circuito parietofrontale di questi pazienti era attivo sia quando le azioni venivano eseguite in prima persona con i piedi o con la bocca, sia quando venivano fatte osservare azioni simili eseguite con le mani.

A differenza che nella scimmia, nell'uomo il meccanismo mirror funziona anche quando si osservano movimenti privi di scopo. Uno studio TMS (Cattaneo et al., 2009) ha mostrato che l'osservazione dei movimenti eseguiti con una pinza senza uno scopo attiva la rappresentazione corticale dei movimenti della mano coinvolti nel comportamento motorio osservato. Quando lo stesso movimento viene eseguito con uno scopo (ad es. afferrare qualcosa con la pinza), l'osservatore attiva invece la rappresentazione motoria dello scopo (afferrare), a prescindere che questo sia raggiunto con movimenti di apertura o di chiusura della mano. È stato ipotizzato che questa peculiarità del meccanismo mirror nell'uomo sia alla base dell'apprendimento per imitazione, una capacità quasi esclusivamente umana.

La scoperta dei neuroni specchio, e del meccanismo mirror presente a livello dei circuiti parietofrontali IPL-vPM, ha contribuito quindi a evidenziare alcune funzioni cognitive dei circuiti sensorimotori parietofrontali appartenenti alla via visiva dorso-ventrale: tra queste vi sono la comprensione delle azioni e delle intenzioni altrui, e i fondamenti fisiologici dell'imitazione. Insieme agli studi che mostrano il ruolo del

sistema motorio nella percezione consapevole dello spazio e degli oggetti in esso contenuti, queste ricerche hanno totalmente riconfigurato il modello di cognizione classico (Hurley, 1998), che ascriveva al sistema motorio il solo compito di generare il movimento.

2.5 Embodied simulation

A differenza della percezione dello spazio peripersonale, la comprensione delle azioni e delle intenzioni altrui è una capacità che rientra in quella parte della cognizione definita cognizione sociale. In che modo gli individui stabiliscono legami e relazioni significative con altri individui? Come sottolineato dalla filosofia fenomenologica (Merleau-Ponty, 1945), l'intersoggettività è il fenomeno primo del nostro essere al mondo. L'idea di un individuo la cui identità è definita a prescindere dalle relazioni che intrattiene con altri individui, è un assunto di derivazione cartesiana che ha influenzato enormemente lo sviluppo e gli interessi delle discipline umanistiche, nonostante l'autoevidenza che nessun individuo è di per sé identificabile in una condizione monadica e solipsistica. L'altro, a partire dalla relazione con la madre – la nostra prima matrice esistenziale – è parte integrante di tutta la nostra esperienza, sia attraverso un'identificazione sé-altro, sia attraverso un'individuazione dell'alterità sé-altro. Gli studi dell'infant research confermano l'idea dei filosofi della fenomenologia: la relazione, fin dai primissimi momenti di vita, sembra fondamentale nel promuovere lo sviluppo psicoaffettivo del bambino (Stern, 1985). I neonati sono in grado di imitare gesti buccali di chi li accudisce, come la protrusione della lingua e l'apertura della bocca (Meltzoff e Moore, 1977), una capacità che non è una prerogativa della nostra specie (Ferrari et al., 2006). Tale scoperta ha fatto ipotizzare che questa capacità si fondi su quei meccanismi di base di comprensione dell'altro che condividiamo con altre specie "sociali".

Da qui, proprio in virtù della scoperta di meccanismi automatici di comprensione dell'altro, la nozione di uno spazio "noi centrico" primitivo condiviso (Gallese, 2001) e l'idea che, in quanto parte di una specie sociale, nasciamo e cresciamo con l'implicita nozione di un'identità tra gli individui della nostra specie e cultura (Gallese, 2003). L'imitazione, l'empatia, e la comprensione delle intenzioni, dei desideri, e delle credenze

altrui, sono modalità attraverso cui stabiliamo impliciti legami: sono questi i principali oggetti di studio della cognizione sociale.

La scoperta dei neuroni specchio nella corteccia premotoria della scimmia, e lo studio del MM nei circuiti parietofrontali dell'uomo, ha fatto supporre che siano questi i meccanismi alla base di una comprensione delle azioni e delle intenzioni motorie di base altrui, così come anche dell'imitazione. Parallelamente Damasio (1999), riguardo a un altro livello di cognizione sociale, l'empatia, ha proposto che uno dei meccanismi che consente di sentire le emozioni dell'altro sia un circuito "come se" che, utilizzando la propria mappa corporea, consente la rappresentazione dell'emozione altrui. Altri ancora (Goldman & Gallese 2000; Gallese 2001) hanno proposto che l'attivazione di queste mappe corporee sia innescata dall'osservazione del comportamento altrui, ciò vale a dire, attraverso una trasformazione da una modalità (visiva) a un'altra (sensitiva e visceromotoria). Diversi studi nell'uomo hanno dimostrato che anche i circuiti delle emozioni sono attivi sia nel caso di un'emozione vissuta in prima persona, sia nel caso che quella stessa emozione venga vissuta in terza persona (Hutchinson et al., 1999; Caldere et al., 2000; Wicker et al., 2003; Jabbi et al., 2008). Infine anche le sensazioni tattili altrui sembrano essere mappate attraverso le proprie rappresentazioni somatosensitive (Keysers et al., 2004).

Nonostante nella comprensione del comportamento altrui, nell'imitazione, e nell'empatia, entrino in gioco funzioni che sono apparentemente distanti una dall'altra, tutti questi livelli di cognizione sociale hanno un tratto in comune, la condivisione di uno spazio di significato intersoggettivo. Questa modalità di accedere al mondo dell'altro è stata definita *embodied simulation* (Gallese, 2003; Gallese, 2005). Gallese ha ripreso il termine *simulation* proposto da quei filosofi della mente che concepiscono la capacità di interpretare il significato del comportamento altrui come il risultato di un processo di simulazione (Gordon, 1986; Goldman, 1989). Secondo la teoria della simulazione, la cognizione sociale passerebbe dalla volontà dell'individuo di calarsi nello stato mentale dell'altro, utilizzando la propria mente come modello della mente altrui. Il merito di questa teoria è di aver riportato in primo piano il nesso intimo tra cognizione e meccanismi cerebrali, permettendo di concepire una continuità evolucionistica tra la capacità di interpretare il comportamento dell'altro e il cosiddetto "mind reading", la capacità di interpretare lo stato mentale altrui, considerata da molti un'esclusiva della

specie umana. Tuttavia, secondo la teoria della simulazione, la comprensione del comportamento altrui è frutto di un processo innescato deliberatamente dall'interprete. Sulla base della scoperta dei neuroni specchio e del meccanismo mirror, Gallese propone invece che il processo di simulazione che sta alla base della cognizione sociale sia implicito, e dunque automatico, inconscio, e preriflessivo. Il funzionamento generale di questo processo prevede che aree corticali con funzioni già note, tipicamente utilizzate per una certa finalità (ad esempio le aree premotorie utilizzate per la codifica dello scopo dell'azione che andrò a compiere), siano utilizzate anche per un'altra finalità, ad esempio l'attribuzione di quello stesso scopo al comportamento motorio altrui. Lo stesso accadrebbe per le emozioni e le sensazioni, in quanto, secondo Gallese, la simulazione non è una prerogativa del sistema motorio, ma un meccanismo funzionale di base, utilizzato diffusamente in diverse regioni del nostro cervello. La concezione di simulazione proposta da Gallese è evidentemente diversa da quella proposta dai filosofi simulazionisti: le rappresentazioni sensorimotorie delle diverse parti del corpo, del corpo in relazione con lo spazio circostante, delle emozioni, e delle sensazioni dell'altro, sono rappresentazioni non proposizionali e codificate in un "formato corporeo" (Gallese & Sinigaglia 2011). È questa constatazione che ha portato all'elaborazione di una simulazione di tipo embodied. *L'embodied simulation* (simulazione incarnata) è dunque la proposta di un meccanismo costitutivo, alla base della nostra cognizione sociale (Gallese 2003), e trasversale a tutte le sue dimensioni, in quanto "molteplicità condivisa".

2.6 Embodied simulation e arte visiva

Alla luce di quanto esposto fin qui è chiaro che l'arte costituisce un oggetto del tutto particolare della percezione e della sua elaborazione cognitiva. Per sua natura essa è allo stesso tempo oggetto di percezione e veicolo di significati. Non vi è arte difatti al di fuori di un atto intenzionale di una persona, l'artista, sulla realtà. La tela bianca di un pittore è una porzione di mondo su cui l'artista, con i suoi strumenti, agisce intenzionalmente, e, allo stesso modo, lo è il pezzo di marmo su cui lavora uno scultore, o l'angolo di una strada nel quale un artista contemporaneo si adopera alla sua installazione. Anche se non è certamente l'unico contesto in cui si dispiega un atto

intenzionale, da un certo punto di vista esso è qualitativamente diverso dagli altri contesti che caratterizzano il comune agire delle persone. Se proviamo a pensare al nostro agire quotidiano, infatti, è evidente che ogni azione è caratterizzata da un insieme di atti motori, mossi da una circostanza, coordinati, e sequenzialmente ordinati tra loro in una catena di intenzioni: *poiché ho sete prendo il bicchiere, lo riempio d'acqua e bevo; poiché ho finito di lavorare prendo la bicicletta e pedalo per arrivare a casa quanto prima a preparare da mangiare per...* Le concatenazioni di atti motori e di intenzioni sono pressoché infinite nel vissuto quotidiano, in una sorta di transitività esponenziale per cui ogni scopo è sempre allo stesso tempo anche condizione necessaria a uno scopo successivo. Nell'arte questa catena di atti motori intenzionali sembra interrompersi bruscamente. Quello che rimane scolpito nel marmo, o impresso sulla tela, appare come il compimento ultimo dell'intenzionalità dell'artista. Si potrebbe ribattere che questo forse non è vero, o non ugualmente vero, per tutte le epoche, e per tutte le culture; che vi è arte e arte, arte sostanzialmente libera, e arte fondamentalmente soggetta a scopi di natura religiosa, politica, o economica. È vero. Tuttavia, in quanto compimento del processo creativo, l'arte condensa significati che rimangono efficaci anche a prescindere dal contesto sociale e culturale in cui l'opera è stata concepita. Tali significati sono trasversali all'appartenenza socioculturale dell'osservatore e dell'artista, perché scaturiscono principalmente dagli atti motori intenzionali agiti durante il processo creativo. Quando parlo di trasmissione di significati, non mi riferisco a una riflessione esplicita sull'opera d'arte fatta dall'osservatore o dall'artista stesso, quanto a una comprensione automatica dell'intenzionalità motoria che ha portato alla realizzazione dell'opera. Ogni manufatto costituisce di per sé la conseguenza di un'azione, e può quindi potenzialmente attivare una simile comprensione dell'intenzionalità dell'agente. Ciò che caratterizza l'arte è però l'assenza, o la relativizzazione, di uno scopo che trascenda la fruizione dell'opera stessa, sulla quale si declinerebbe tutta l'intenzionalità dell'artista.

Gallese (2010) sottolinea che la nostra concezione di arte e dell'artista sono il prodotto di una lenta costruzione culturale che ha portato a identificare una categoria di manufatti come il prodotto di un'attività creatrice. Questa evoluzione del modo di considerare l'arte, ha probabilmente modificato anche il modo di fare arte.

L'intenzionalità dell'artista si è progressivamente concentrata sull'atto creativo piuttosto che sull'utilizzo cui sarebbe stata destinata l'opera.

I primi a proporre un coinvolgimento dei meccanismi alla base della percezione dell'azione durante l'osservazione di opere d'arte sono stati Freedberg e Gallese (Freedberg e Gallese, 2007). Questi autori riconoscono che la fruizione dell'arte è influenzata da diverse componenti di tipo cognitivo, quali fattori contestuali (un'opera d'arte in un museo costituisce un'immagine che trova la propria giustificazione nell'essere collocata in quello spazio), fattori culturali e sociali, la familiarità, e il grado di esperienza individuale rispetto all'arte o a una determinata corrente artistica. Tuttavia la loro riflessione parte dalla constatazione che un'opera d'arte, prima di essere opera d'arte, è di per sé un'immagine, ed è perciò provvista di una componente universale, legata al potere dell'immagine in quanto tale. L'ipotesi è che un quadro, un affresco, o una scultura, derivino una parte consistente della loro connotazione estetica proprio in virtù della simulazione di azioni, sensazioni, ed emozioni, che evocano in noi.

Questa fruizione mimetica dell'opera d'arte, basata sul meccanismo dell'*embodied simulation*, rappresenterebbe un livello di base dell'esperienza estetica. Aggiungo che, come accennato precedentemente, è probabile che non tutte le immagini abbiano la stessa efficacia nell'attivare questo meccanismo di base. Una distinzione tra ciò che è arte e ciò che non lo è, potrebbe in parte risiedere nella facoltà che possiede una certa immagine nell'attivare un meccanismo di simulazione incarnata, provocando nell'osservatore una risonanza a più livelli: motorio, sensitivo, emozionale. Ovviamente non si tratta di una distinzione binaria, arte-non arte. Possiamo ipotizzare che ogni immagine si collochi lungo un continuum di "efficacia". La maggior importanza che, nei secoli, ha assunto l'atto creativo potrebbe essere un fattore che incrementa il potere delle immagini. Ciò non toglie nulla a quella da noi definita arte antica. Non possiamo infatti sapere in quale misura l'intenzionalità dell'artista fosse concentrata sull'atto creativo, anche quando, apparentemente, la sua opera era destinata a una funzione religiosa o politica. Possiamo solo ipotizzare che un artista la cui intenzionalità sia maggiormente concentrata sull'atto creativo, evochi in modo più efficace la risonanza di azioni, emozioni e sensazioni nell'osservatore. Infine, come abbiamo esposto nel primo capitolo, è probabile che la forza con cui si attiva tale meccanismo dipenda anche dalla

disposizione dell'osservatore, e quindi da quel livello di esperienza estetica che è stato definito *aesthetic attitude* (Gallese e Di Dio, 2012).

Secondo Freedberg e Gallese (2007) un'immagine, e in particolar modo un'opera d'arte, contiene due diverse componenti in grado di attivare la simulazione incarnata: una è data dal contenuto rappresentazionale, la seconda dalle tracce del gesto dell'artista lasciate durante la creazione dell'opera. Nel primo caso l'immagine attiverebbe una simulazione incarnata relativa agli oggetti, le azioni, le emozioni, e le sensazioni, rappresentate nell'opera. Questa componente riguarderebbe dunque principalmente l'arte rappresentazionale, senza escludere la possibilità che anche l'arte astratta attivi nell'osservatore la simulazione di un contenuto rappresentazionale evocato. Alcuni esempi fatti dagli autori riguardano opere come *Lo schiavo Atlante* di Michelangelo, una statua in cui la rappresentazione della tensione muscolare evocherebbe lo sforzo immane dello schiavo nella sua lotta per uscire dal blocco di marmo; o *L'incredulità di san Tommaso*, di Caravaggio, dove la raffigurazione della ferita del costato toccata con il dito sarebbe particolarmente efficace nell'evocare la sensazione tattile del toccare e dell'essere toccati.

Nel secondo caso immagini in cui i tratti dello strumento utilizzato dall'artista sono particolarmente evidenti, provocherebbero nell'osservatore, la simulazione del programma motorio del gesto implicato dalla traccia stessa. Gli autori ipotizzano, ad esempio, che opere come quelle di Jackson Pollock, in cui risultano evidenti le tracce dello sgocciolamento del colore dal pennello alla tela ("dripping"), o come quelle di Lucio Fontana, che si concentrano sul tema del taglio nella tela, attivino la rappresentazione motoria di gesti quali il movimento del pennello e il taglio.

Uno studio recente (Umiltà et al., 2012) ha utilizzato proprio tre opere di Lucio Fontana come stimoli visivi per verificare se la percezione di immagini statiche di opere d'arte astratte sia associata a una particolare attivazione motoria nell'osservatore. Per far questo gli autori hanno misurato la desincronizzazione del ritmo alfa centrale durante l'osservazione delle immagini dei quadri di Fontana, e l'hanno confrontato con quella evocata durante l'osservazione di immagini di controllo. I risultati confermano l'ipotesi di un'attivazione motoria durante l'osservazione di immagini astratte statiche.

Un altro studio (Taylor et al., 2012) ha cercato di verificare se la visione di quadri con pennellate visibili influenzi il comportamento dell'osservatore compatibilmente alle

predizioni fatte sulla base della teoria della simulazione motoria. Gli autori hanno dimostrato che i tempi di risposta dei movimenti verso destra o verso sinistra, richiesti da un task che non era rilevante rispetto al tipo di pennellata osservata, erano influenzati dalla direzione della pennellata, essendo più veloci quando la direzione della pennellata osservata era compatibile con il movimento richiesto. L'incompatibilità di due programmi motori, quello evocato dalle pennellate del quadro, e quello evocato dal movimento realmente eseguito, ritarderebbe quindi l'inizio del movimento stesso. Secondo Taylor e colleghi questi risultati dimostrano che l'osservatore simula il gesto dell'artista.

Lo studio descritto in questa tesi riprende il paradigma utilizzato con i quadri di Fontana. In questo caso però i quadri testati appartengono a Franz Kline (1910-1962), artista appartenente all'*Action painting*, una corrente artistica di cui facevano parte anche Pollock e de Kooning, e che si è sviluppata a New York negli anni '40 e '50 del secolo scorso. L'idea di base dell'*action painting* è proprio che l'atto della creazione sia un elemento inseparabile dal suo prodotto finale, l'opera d'arte. I quadri di Franz Kline da noi scelti, costruiti intorno a poche e chiare pennellate di colore nero, sembravano stimoli ottimali per verificare l'ipotesi della simulazione motoria del gesto dell'artista. Delle registrazioni EEG si è eseguita un'analisi dei potenziali evocati, su cui si è poi effettuata una localizzazione della sorgente. Rispetto allo studio di Umiltà e colleghi, si è scelto dunque di incrementare la risoluzione temporale e di eseguire una più raffinata localizzazione dell'attivazione motoria.

Riprendendo quanto è stato dettagliato sopra rispetto al ruolo del sistema motorio nella percezione e nella cognizione sociale, appare non irrilevante sottolineare che un'opera d'arte è allo stesso tempo un oggetto di percezione e, in senso lato, di cognizione sociale. In quanto immagine essa è infatti prima di tutto oggetto della nostra percezione, ma in quanto veicolo di significato, essa è un mezzo tramite cui si stabilisce una comunicazione tra due individui, l'artista e l'osservatore. Tale comunicazione non consiste unicamente in una riflessione critica rispetto all'arte e alla storia dell'arte, ma è connotata anche da una componente automatica e preriflessiva, che Freedberg e Gallese hanno identificato come sintonizzazione intorno all'atto creativo intenzionale dell'artista. La simulazione incarnata è dunque un meccanismo unico, che spiegherebbe

allo stesso tempo la componente percettiva e la componente empatica dell'esperienza estetica.

3. L'ELETTROENCEFALOGRAFIA AD ALTA DENSITÀ

3.1 Introduzione

Il primo tracciato EEG registrato risale ai primi anni degli anni '20, grazie all'intuizione del fisiologo Hans Berger. Egli osservò che l'attività dei neuroni della corteccia cerebrale genera variazioni del campo elettrico che sono registrabili sullo scalpo. Successivamente si capì che gli elettrodi posizionati sullo scalpo registrano la somma dei potenziali postsinaptici dei dendriti dei neuroni corticali, potenziali che possono essere di tipo eccitatorio (EPSP) o di tipo inibitorio (IPSP). Le variazioni del campo elettrico vengono registrate, in particolare, quando l'attività di più neuroni risulta sincronizzata e orientata ortogonalmente rispetto all'elettrodo di registrazione, come avviene tipicamente per i neuroni piramidali della corteccia.

Tradizionalmente l'EEG viene eseguito con una collocazione standard degli elettrodi sullo scalpo, definita dal sistema internazionale 10:20 (vedi figura 4). I numeri 10 e 20 indicano i valori percentuali in cui è suddivisa la distanza tra i principali punti di repere: nasion, inion, e i meati acustici esterni. La maggior parte dei sistemi utilizza 19 elettrodi più uno di riferimento.

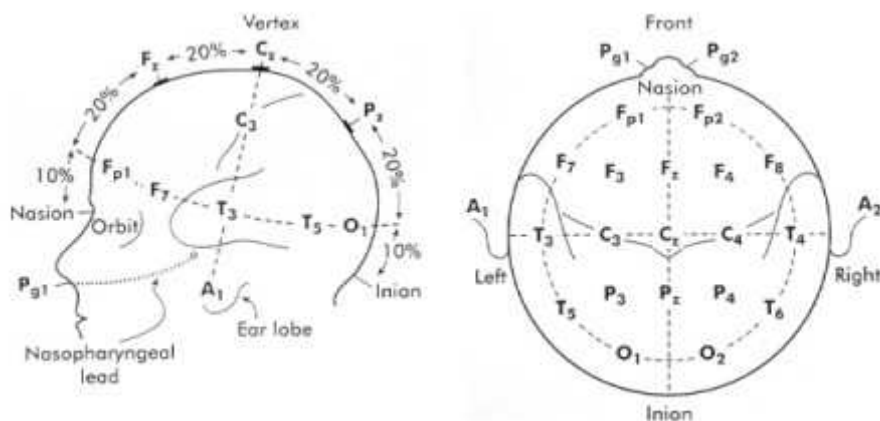


Figura 4. EEG: Sistema classico 10:20.

Il sistema EEG tradizionale non permette una corretta localizzazione delle sorgenti corticali che generano il segnale, questo avviene sia a causa dell'alta resistività del cranio e dei tessuti cerebrali, che distorce la distribuzione spaziale delle sorgenti

elettriche, sia per il basso rapporto segnale/rumore dei dati. Un singolo elettrodo non registra solo il segnale dell'area sottostante ma raccoglie anche il contributo delle aree adiacenti. Per questo il segnale di un singolo elettrodo non permette di distinguere tra le sorgenti di attività elettrica tra loro vicine: di per sé l'aggiunta di più elettrodi, come avviene nei sistemi ad alta densità, non è sufficiente per migliorare la risoluzione spaziale, tuttavia fornisce più variabili relative alla distribuzione del segnale, le quali, consentono di affrontare matematicamente la soluzione del problema inverso.

3.2 Il problema diretto e il problema inverso

Il *problema diretto* consiste nel derivare, a partire da una sorgente corticale nota, il segnale che verrà registrato sullo scalpo. Data la grande complessità anatomica, la soluzione del problema diretto richiede di fare delle assunzioni riguardo al tipo di segnale emesso dalla sorgente conosciuta, e di formulare delle ipotesi relative all'anatomia del cranio e della sorgente corticale attiva. La sorgente elettrica viene spesso approssimata a un dipolo elettromagnetico, un modello di sorgente che produce campi elettrici molto simili a quelli prodotti dai neuroni piramidali. L'anatomia del cranio viene invece modellizzata con una serie di sfere concentriche a cui si assegna una certa conduttività.

Poiché è sostanzialmente scorretto assumere che il segnale osservato sia originato nella parte di corteccia posta sotto a ciascun elettrodo, è possibile, invece, partendo dal segnale registrato sullo scalpo, ricostruire dove siano localizzati i reali generatori di quel segnale? Già nel 1853 Helmholtz aveva dimostrato che questo tipo di problema non ha un'unica soluzione: un certo segnale EEG potenzialmente corrisponde a diverse distribuzioni di corrente nello spazio tridimensionale dell'encefalo. Questa criticità della tecnica, definita *problema inverso*, è ciò che comunemente si affronta in seguito a una registrazione elettroencefalografica: dato un certo segnale registrato sullo scalpo, è possibile inferire quale o quali sorgenti hanno generato quel dato segnale presente in una determinata finestra temporale?

Con un EEG convenzionale è possibile trovare infinite soluzioni di cariche dipolari che spieghino un certo campo superficiale: ad esempio una tipica distribuzione di un dipolo posto in un solco cerebrale si può descrivere sia con un singolo dipolo tangente

alla superficie dello scalpo, sia con due dipoli radiali e orientamento reciprocamente opposto. Un altro caso di potenziale ambiguità è un singolo dipolo che può costituire il centro di massa di sorgenti distribuite in diverse regioni della corteccia. Nonostante, nel caso di potenziali evocati brevi (come il P100) o di scariche epilettiche, sia plausibile approssimare la sorgente all'attività di un singolo dipolo posto nella regione corticale sottostante agli elettrodi su cui viene registrata, nel caso di segnali distribuiti nello spazio e nel tempo, come tipicamente avviene per il segnale che è oggetto di studio delle neuroscienze cognitive, la modellizzazione con un bipolo equivalente non è più possibile.

3.3 Sistema di registrazione del segnale elettroencefalografico

Come mostrato nella figura 5, la registrazione del segnale EEG prevede:

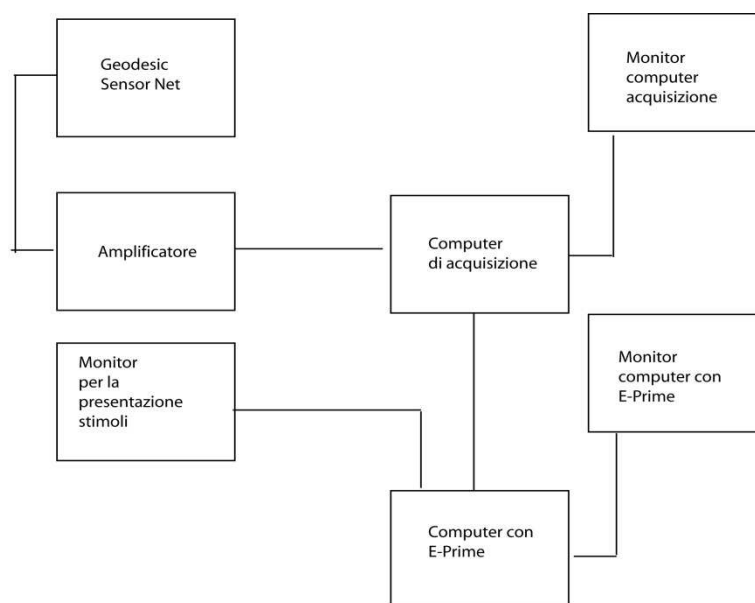


Figura 5: Schema del sistema di acquisizione

a. Geodesic Sensor Net: un insieme di elettrodi tenuti insieme in un sistema a rete (cuffia). Questa viene indossata dal soggetto sperimentale e raccoglie il segnale elettrico (raw data) proveniente dai siti dello scalpo in cui sono posti gli elettrodi. Il nostro sistema, GES 300, prevede l'utilizzo di cuffie di 128 elettrodi. Esistono cuffie di diversa ampiezza che coprono range di circonferenza cranica di 2-3 cm.

b. Amplificatore: compie una serie di operazioni necessarie affinché il segnale elettrico possa essere registrato dal computer connesso al sistema.

In particolare durante l'acquisizione il voltaggio registrato sullo scalpo dai singoli elettrodi subisce i seguenti processi:

- **amplificazione:** il basso voltaggio registrato, nell'ordine dei microvolt, viene amplificato di un fattore, denominato "nominal gain", pari a 20, in modo che possa essere manipolato dai consueti strumenti elettronici.
- **filtraggio:** si tratta di un filtro applicato al segnale analogico prima che avvenga la conversione analogico-digitale, definito "hardware filtering". Una volta applicato, i raw-data originali non possono più essere recuperati, perché il segnale che viene salvato sul disco è distorto in modo permanente e non è più modificabile off-line. Un lowpass filtering on line è utile soprattutto per prevenire il cosiddetto processo di aliasing secondo cui le alte frequenze del segnale analogico generano artefatti a bassa frequenza nel segnale digitale. In base al teorema di Niquist, per prevenire questo fenomeno, è necessario che nel segnale non vi siano frequenze superiori alla metà della frequenza di campionamento. Oltre a un filtro di tipo low-pass, viene solitamente applicato al segnale analogico anche un filtro di tipo high-pass per filtrare le basse frequenze. Questo varia in genere da 0.01 Hz a 0.1 Hz e viene anche descritto in termini di costante di tempo, vale a dire il tempo necessario affinché un segnale, durante l'applicazione di quel filtro, si attenni del 63% rispetto al valore iniziale. Naturalmente quanto più alta è la costante di tempo tanto meno il segnale originale subirà una distorsione. Ad esempio un filtro di 0.01 Hz possiede una costante di tempo di 9 secondi contro quella di 1 secondo posseduta da un filtro di 0.1 Hz, che produce dunque una distorsione del segnale 9 volte minore.
- **digitalizzazione e campionamento del segnale continuo in arrivo dagli elettrodi:** vengono registrati segnali discreti (in un range compreso tra -2.5 e +2.5 volts) con una frequenza detta appunto frequenza di campionamento, la quale può variare da 50 a 1000 Hz.

c. Computer di acquisizione del segnale EEG: a questo computer arriva il segnale EEG precedentemente digitalizzato dall'amplificatore. Esso possiede un software, EGI Netstation®, che consente di elaborare e analizzare le registrazioni off-line in modo che i

dati siano ulteriormente filtrati, ripuliti dagli artefatti, e infine esportabili in comuni software statistici quali Excel®, Statistica® o SPSS®.

d. Computer per la presentazione degli stimoli: utilizza un software denominato E-prime® che permette di presentare al soggetto sperimentale gli stimoli visivi previsti dal protocollo e di allinearli temporalmente con il segnale EEG in entrata. Tale computer, come mostrato in figura 5, è connesso con un monitor posto di fronte al soggetto. Allo stesso tempo il computer per la presentazione degli stimoli è connesso al computer di acquisizione del segnale EEG in modo da poter inviare dei segnali coincidenti temporalmente con l'inizio della presentazione dello stimolo. Per controllare che l'invio di questo segnale sia effettivamente allineato temporalmente con la presentazione dello stimolo, prima di ogni nuovo esperimento è necessario fare il timing test. Uno scorretto allineamento della registrazione EEG con gli eventi previsti dal disegno sperimentale compromette, infatti, una corretta interpretazione dei risultati.

3.4 Procedura di registrazione

Prima della sessione sperimentale è necessario compiere una serie di operazioni protocollate. Ciò consente di ridurre al minimo la distorsione del tracciato EEG da parte di segnali elettrici non attinenti con l'attività dello scalpo, e, allo stesso tempo, di garantire la sicurezza del soggetto sperimentale.

La cuffia indossata dal soggetto sperimentale è costituita da 128 elettrodi connessi a un cavo metallico che a sua volta avvolge una spugnetta.

L'applicazione della cuffia prevede:

- la sua immersione in una soluzione elettrolitica, nei 5 minuti precedenti all'inizio della sessione sperimentale
- la misurazione della circonferenza cranica del soggetto in modo da scegliere la cuffia più adeguata
- l'individuazione e la marcatura del vertice del cranio del soggetto in modo che la cuffia venga applicata rispetto ai corretti punti di repere.

A questo punto la cuffia viene connessa all'amplificatore e si misura l'impedenza degli elettrodi, la quale deve essere normalmente minore di cinquanta K Ω . Nel caso non sia

raggiunta un'impedenza accettabile, è possibile aggiungere soluzione elettrolitica alle spugnette degli elettrodi o migliorare l'applicazione del singolo elettrodo allo scalpo.

Il soggetto, seduto di fronte al video di presentazione degli stimoli, si trova in una stanza adiacente a quella in cui sono situati il computer d'acquisizione e lo sperimentatore. Da qui lo sperimentatore può monitorare il comportamento del soggetto attraverso una telecamera sincronizzata al sistema. In questo modo è possibile da subito chiedere al soggetto di ridurre il più possibile i movimenti semivolontari degli arti e della testa, l'ammicciamento, e i movimenti degli occhi, che sono la principale fonte di artefatti nel tracciato. La sincronizzazione della videocamera permette altresì di analizzare offline la possibile causa di segnali non coerenti.

Alla fine della sessione sperimentale si procede alla disinfezione della cuffia.

3.5 Elaborazione del segnale

L'elaborazione del segnale comprende tutte quelle operazioni che sono applicate al segnale digitalizzato off-line, con lo scopo di migliorare ulteriormente la qualità dei dati. Nel nostro sistema esse vengono eseguite grazie al software EGI Net Station® presente nel computer di acquisizione. Si possono però utilizzare anche altri software, come Cartool®, o sLORETA®, specialmente quando si intende utilizzare questi software per la localizzazione della sorgente.

a. Applicazione di filtri

Come visto prima, una delle finalità del filtraggio, e in particolare dei filtri applicati sul segnale analogico, è di permettere una digitalizzazione del segnale senza che compaiano artefatti a bassa frequenza causati dalle alte frequenze presenti nel segnale originale.

Un altro motivo per cui è utile applicare filtri è la riduzione del rumore dato da altre possibili fonti: tale rumore spesso è caratterizzato da frequenze che sono al di fuori delle frequenze in cui si collocano gli ERP di un tipico esperimento cognitivo. Ad esempio mentre i potenziali evocati o ERP (event related potential) cognitivi sono contenuti principalmente in bande di frequenza comprese tra 0.1 e 30 Hz, il segnale proveniente dai muscoli presenta frequenze sopra ai 100 Hz, cosa che rende lecita l'applicazione di filtri di tipo low-pass con un cut-off compreso tra 30 e 100 Hz. Tuttavia altri tipi di

rumori, o di artefatti, si trovano in bande di frequenza simili a quelle del segnale di interesse. In questo caso l'applicazione di filtri non è possibile perché andrebbe a distorcere il segnale stesso. Per eliminare questi artefatti si rende quindi utile l'uso di particolari algoritmi, forniti da Netstation®, o da altri programmi come Besa®, fondati sull'analisi del voltaggio o sull'analisi delle componenti indipendenti. Infine, anche se fortemente influenzata da fattori soggettivi, è sempre utile, in aggiunta, anche l'ispezione visiva diretta da parte dello sperimentatore.

b. Segmentazione

Per la successiva manipolazione dei dati, ai fini di un'analisi statistica, è necessario segmentare il tracciato continuo di ogni registrazione in modo che le diverse condizioni siano separate e raggruppabili in maniera omogenea. Netstation® possiede uno specifico tool che legge le etichette assegnate direttamente con E-prime®, il software utilizzato per la presentazione degli stimoli. Sul tracciato presente nel computer di acquisizione, le diverse fasi del disegno sperimentale vengono tutte etichettate, così come il tipo di condizione cui corrisponde ciascuno stimolo. In questo modo è possibile rapidamente segmentare il tracciato in piccoli spezzoni corrispondenti alle diverse fasi del disegno sperimentale (ad esempio baseline, stimolo attentivo, stimolo sperimentale, risposta eventualmente richiesta), e alle diverse condizioni dello stimolo sperimentale (ad esempio condizione sperimentale e controllo). La segmentazione, oltre a permettere una più agevole estrazione e analisi statistica dei dati, consente anche un'ispezione più mirata degli artefatti. Nei segmenti corrispondenti a una risposta, ad esempio, sarà più probabile la presenza di artefatti di tipo muscolare, mentre nei segmenti in cui compare uno stimolo attentivo visivo (croce) sarà molto probabile la presenza di artefatti oculari quali l'eye blinking o l'eye movement. È dunque raccomandabile procedere alla rimozione manuale degli artefatti solo dopo aver eseguito la segmentazione del tracciato.

Questa operazione viene eseguita con il tool segmentation. I segmenti vengono tagliati intorno a un evento di interesse, ad esempio in corrispondenza dell'arrivo dello stimolo. Il tool è in grado di raggruppare i segmenti nelle categorie corrispondenti alle condizioni sperimentali.

c. Individuazione e rimozione degli artefatti

La presenza di un tracciato pulito, il cui segnale sia il più possibile fedele all'attività della corteccia, è fondamentale per ottenere dei risultati attendibili. A tal fine è bene conoscere quali sono i principali artefatti riscontrabili nelle registrazioni elettroencefalografiche.

- *Artefatti da movimenti oculari e delle palpebre*: sono gli artefatti più comuni anche perché difficilmente evitabili. Si osservano prevalentemente a livello delle derivazioni frontali, ma anche di quelle temporali, fino ad arrivare talvolta alle derivazioni occipitali. Compaiono per lo più in maniera sincrona e simmetrica a livello dei due emisferi. Mentre gli artefatti di ammiccamento hanno una forma caratteristica che è ben riconoscibile, gli artefatti dovuti al movimento degli occhi a occhi chiusi si presentano come onde lente mono o polimorfe che possono simulare l'attività cerebrale. Per discriminare con estrema certezza onde lente frontali da artefatti oculari si può ricorrere al posizionamento di elettrodi oculari registrando l'elettrooculogramma (EOG). Il nostro sistema possiede un tool per rimuovere gli artefatti oculari (OAR, ocular artefact rejection) basato su un algoritmo che viene applicato agli elettrodi frontali.

- *Artefatti da attività cardio-vascolare*: in alcuni individui l'ECG si può manifestare con la comparsa di punte ripetitive aventi la stessa frequenza del ritmo cardiaco, corrispondenti al complesso QRS. Tali artefatti si manifestano per lo più a livello delle aree temporali di sinistra in sistemi che utilizzano montaggi trasversali con grande distanza interelettrodica. Nonostante non sia questo il nostro caso, non è raro trovare anche nei nostri tracciati, in regione temporo-occipitale, punte con frequenza costante simile a quella della frequenza cardiaca. Questo tipo di artefatto non è potenzialmente eliminabile ma, se rintracciato on-line prima di iniziare l'esperimento, è possibile attenuarlo chiedendo al soggetto di modificare la posizione. Se un elettrodo è posizionato proprio sopra un vaso dello scalpo, è possibile che questo trasmetta un segnale ritmico dall'aspetto a festone, definito artefatto da polso, il quale può essere rimosso prima dell'inizio dell'esperimento riposizionando l'elettrodo.

- *Artefatti da attività muscolare*: una contaminazione dovuta alla contrazione dei muscoli dello scalpo e della faccia vi è sempre in una certa misura, e tende a manifestarsi con un ricco pattern interferenziale che di solito si tende a rimuovere con il filtraggio passa basso applicato on-line e off-line.

- *Artefatto da attività elettrotermica*: è un artefatto a bassa frequenza (di solito 0.5 Hz) dovuto alla sudorazione e rimuovibile dunque con un filtro passa-basso con un cut-off > 0.5.

- *Artefatti da apparato o da ambiente di registrazione*: vi possono essere infine artefatti dovuti a una preparazione del soggetto o del paziente inadeguati. Tra questi l'artefatto a ponte, dovuto all'eccessiva vicinanza di due o più elettrodi o a capelli bagnati, si manifesta con una riduzione del voltaggio o un'isoelettrica su due o più elettrodi ed è causato a un corto circuito tra questi. L'alternata a 50 Hz è un tipico artefatto ambientale rimuovibile con un notch filter specifico a 50 Hz.

Grazie al tool Artifact detection di Netstation® è possibile automaticamente rilevare gli artefatti più comuni quali artefatti da movimento (riconosciuti di default come parti di tracciato in cui $V_{max} - V_{min} > 200 \mu V$), artefatti da blinking degli occhi (riconosciuti di default come parti di tracciato in cui $V_{max} - V_{min} > 140 \mu V$) e artefatti da movimento degli occhi (riconosciuti di default come parti di tracciato in cui $V_{max} - V_{min} > 55 \mu V$). Una volta che vengono riconosciute la parti di tracciato alterate da artefatti, è possibile stabilire una soglia con la quale un canale o un intero segmento (su tutti i canali) venga marcato come "bad" e quindi non considerato nelle analisi statistiche. Nel nostro caso un canale viene escluso quando più del 20% della sua registrazione viene riconosciuta come artefatto, mentre un segmento viene escluso quando contiene un eye-blinking o un eye-movement o nel caso siano presenti più di 10 bad channel.

In seguito all'applicazione dell'algoritmo il tracciato viene ulteriormente ispezionato visivamente, in genere almeno da due sperimentatori, in modo da segnalare manualmente altri canali bad in ogni segmento.

Quando un canale viene escluso perché più del 20% del tracciato è alterato da artefatti è possibile applicare un tool, definito Bad Channel Replacement, che ripristina il segnale di quel canale attraverso un algoritmo che lo inferisce sulla base del segnale dei canali adiacenti.

Dopo questa operazione è bene comunque ripetere l'Artefact Detection e l'ispezione manuale per assicurarsi che non siano stati ripristinati canali in cui il segnale sia ancora alterato da artefatti (se i canali adiacenti contengono artefatti il segnale

inferito conterrà anch'esso gli stessi artefatti). È possibile inoltre ripristinare canali in cui si rilevi, offline, che l'impedenza dell'elettrodo non era adeguata.

d. Variazione della referenza

In un sistema EEG ad alta densità si usa solitamente analizzare i dati con una referenza definita *average referencing*. Questa diversa referenza viene costruita dal software off-line ricalcolando il segnale di ogni canale con un elettrodo di riferimento ipotetico il cui segnale è uguale alla media di tutti i segnali dei 128 canali. Questa operazione consente una migliore ricostruzione della sorgente sulla base dell'ampiezza del segnale, la quale, normalmente, è influenzata dalla localizzazione dell'elettrodo di riferimento sullo scalpo (maggiore è la distanza dall'elettrodo di riferimento, maggiore sarà il segnale di quel canale), per cui un montaggio con Cz come referenza avrà il segnale delle regioni laterali dello scalpo più ampio, mentre un montaggio mastoideo, viceversa, avrà un segnale maggiore a livello della linea mediana. Attraverso l'*average referencing* si elimina il più possibile il bias dovuto al montaggio, come se la referenza fosse a una distanza uguale da tutti gli elettrodi. Va in ogni caso considerato che, essendo un elettrodo il cui segnale è una media di tutti i segnali, se nella registrazione vi è una componente localizzata, questa influenzerà notevolmente il segnale della referenza, e il segnale risultante sarà molto attenuato laddove la componente iniziale era cospicua e, viceversa, tenderà ad aumentare dove non lo era. Per l'analisi degli ERP è dunque conveniente utilizzare l'*average referencing* solo nel caso vi siano componenti diffuse che dunque influenzeranno e saranno influenzate in egual modo dalla referenza.

e. Average

Attraverso il tool di Netstation *Averaging* si esegue la media dei segnali corrispondenti ai segmenti appartenenti a una stessa condizione. Si otterranno in questo modo le *average intrasoggetto*, che, grazie allo stesso tool, potranno poi essere combinate per ottenere il segnale corrispondente alla *Grand-average*. Grazie al tool *Statistical extraction* è poi possibile estrarre dei file di testo con i dati numerici, campione per campione, del voltaggio. Essendo una gran quantità di dati, solitamente questa operazione si compie in una finestra temporale determinata che si sceglie di analizzare (dove sarà presente un potenziale) e per gli elettrodi o i cluster di elettrodi dove è presente l'effetto che sto analizzando. È dunque sempre bene controllare tutti i passaggi che hanno portato alle medie intrasoggetto e alla *grand-average* e poi

osservare attentamente e discutere la grand average con gli altri sperimentatori. Ogni passaggio successivo, fino ad arrivare ai risultati, è infatti fortemente influenzato da questa scelta. Il segnale delle averaging intrasoggetto dovrà anch'esso essere estratto in quanto l'analisi principale consigliata per gli ERP (Luck, 2005) è l'ANOVA univariata a misure ripetute.

3.6 Localizzazione della sorgente

Questo tipo di analisi affronta la risoluzione del problema inverso. Fortunatamente, all'interno del volume del cranio, gli eventi elettrici non hanno una distribuzione casuale e caotica, cosa che impedirebbe qualsiasi tipo di approccio al problema, ma devono sottostare a vincoli di tipo neurofisiologico e neuroanatomico. In particolare, il fatto che l'origine del segnale EEG risieda nella sostanza grigia, e il fatto che, affinché un segnale possa essere registrato, siano necessarie scariche sincrone di diversi neuroni piramidali disposti parallelamente tra loro (cluster che nel loro insieme vanno a formare un dipolo), limita il numero delle soluzioni a tale problema, rendendo possibile la formulazione di algoritmi in grado di localizzare statisticamente l'origine del segnale. Affinché allo scalpo arrivi un campo elettrico rilevabile, la dimensione di tali cluster deve coprire almeno 40-200 mm² di superficie corticale (Hämäläinen, 1992). Questo dato è un limite intrinseco della tecnica elettroencefalografica che non consente di migliorare la risoluzione spaziale oltre a un certo livello.

I numerosi algoritmi che negli anni sono stati formulati possono essere ricondotti a due fondamentali approcci utilizzati per stimare la localizzazione del segnale elettroencefalografico: i metodi parametrici e i metodi di immagine.

I metodi parametrici, o Discrete Source Models, assumono che le sorgenti siano rappresentate da un numero limitato di dipoli di cui calcolano la localizzazione e il momento attraverso algoritmi di tipo non lineare.

I metodi di imaging, o Cortical Distributed Source Model, assumono che le sorgenti coincidano con le correnti presenti nei dendriti dei neuroni piramidali, che, tipicamente, decorrono perpendicolarmente alla superficie corticale. In questo caso il dipolo è assegnato a ciascuno dei migliaia di ipotetici piccoli gruppi di dendriti piramidali, e la sua direzione risulterà ortogonale rispetto al piano superficiale della circonvoluzione

o del solco in cui è contenuta. L'algoritmo per la risoluzione del problema è di tipo lineare poiché si tratta solamente di assegnare ad ogni dipolo una determinata intensità di corrente, mentre la direzione e il verso del vettore sono già noti. Normalmente i dipoli vengono distribuiti sulla superficie corticale di un modello medio di cranio adulto formulato dal MNI (Montreal Neurological Institute). La figura 6 riassume le principali differenze dei due approcci, e le loro importanti ripercussioni nelle interpretazioni delle analisi.

Nelle nostre analisi l'algoritmo scelto per la localizzazione della sorgente è sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography), il cui software, disponibile gratuitamente sulla rete e scaricato dal sito <http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>, è stato utilizzato per stimare la distribuzione corticale tridimensionale della densità di corrente delle ipotetiche sorgenti del segnale da noi registrato sullo scalpo. Tale algoritmo (Pascual Marqui, 2002) appartiene al gruppo dei modelli distribuiti e lineari. Come tutti gli algoritmi di questo gruppo, si hanno pochi errori per quanto riguarda la localizzazione, a discapito di una scarsa risoluzione spaziale. Come mostrato nella tabella, infatti, questi algoritmi per loro natura soffrono di una sottodeterminazione della risoluzione del problema a vantaggio appunto di una scarsissima probabilità di errore. Inoltre la standardizzazione, presente in questo particolare algoritmo, fa in modo che vi possa essere una corretta localizzazione anche in presenza di rumore di fondo di tipo biologico o dato dall'acquisizione. In questo senso sLORETA consiste in una forma migliorata del precedente algoritmo denominato semplicemente LORETA. Quest'ultimo, per quel che riguarda l'accuratezza nella localizzazione, ha ricevuto validazioni da studi che hanno combinato la localizzazione della sorgente di un segnale elettroencefalografico, con la localizzazione attraverso tecniche unanimemente riconosciute e validate quali l'fMRI (Mulert 2004, Vitacco 2002) e la PET (Dierks 2000, Pizzagalli 2004, Zumsteg 2005). Un'ulteriore validazione di LORETA è stata effettuata attraverso studi in cui il segnale è stato registrato anche con impianti di elettrodi profondi, studi principalmente riguardanti foci epilettici (Zumsteg 2006) e ERP cognitivi (Volpe 2007). Nella versione utilizzata di sLORETA l'algoritmo viene applicato sul modello di testa dell'MNI152. Lo spazio su cui vengono distribuite le sorgenti è ristretto alla sostanza grigia così come è stata illustrata nell'atlante di Talairach (Talairach 1988).

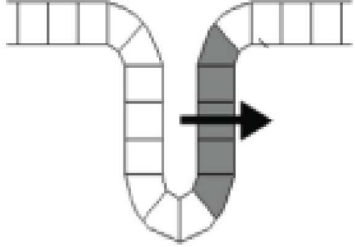
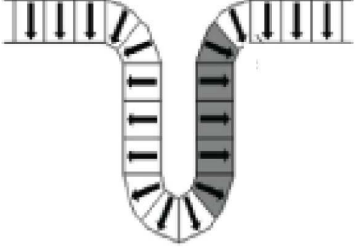
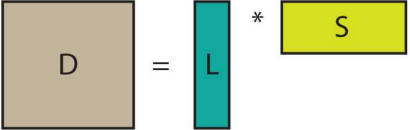
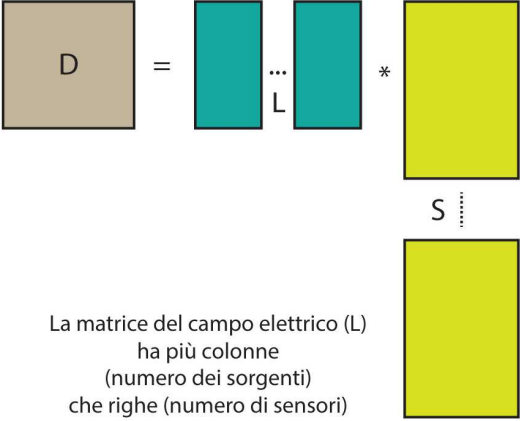
ANALISI "DISCRETA"	ANALISI "DISTRIBUITA"
ogni dipolo rappresenta un'estesa area corticale	ogni dipolo rappresenta una piccolissima area corticale corrispondente a pochi neuroni piramidali
	
numero di sorgenti < numero di sensori problema sovradeterminato	numero di sorgenti >> numero di sensori problema sovradeterminato
 <p data-bbox="368 1249 699 1328">La matrice del campo elettrico (L) ha più righe (numero dei sensori) che colonne (numero di sorgenti)</p>	 <p data-bbox="903 1234 1225 1339">La matrice del campo elettrico (L) ha più colonne (numero dei sorgenti) che righe (numero di sensori)</p>
<p>MATRICE D: matrice della registrazione dei dati: numero di sensori (colonne) per campioni (righe) MATRICE L: matrice del campo elettrico: numero di sensori (righe) per numero di sorgenti (colonne) MATRICE S: matrice della sorgente: numero di sorgenti (colonne) per numero di campioni (righe)</p>	

Figura 6. Modelli di localizzazione della sorgente

La posizione standard degli elettrodi rispetto al modello dell'MNI152 è stata ripresa da Jurcak 2007 e Oostenveld 2001. Il volume intracerebrale è stato suddiviso in 6239 voxel con una risoluzione spaziale di 5 mm. Le immagini di sLORETA, dunque, rappresentano l'attività elettrica standardizzata per ogni voxel di tale spazio neuroanatomico.

Nella finestra temporale corrispondente al potenziale di interesse abbiamo eseguito un'analisi con sLORETA che prevede:

- una trasformazione del segnale dei singoli soggetti (average di tutti i trial per ogni condizione) nella matrice corrispondente trasformata mediante l'algoritmo sLORETA. In questo modo passiamo dalla matrice D della registrazione del segnale, nella quale si ha per ogni elettrodo l'ampiezza del segnale dispiegata nel tempo, alla matrice S della sorgente in cui ho per ognuna delle 6239 sorgenti la densità di corrente dispiegata nel tempo (vedi figura 7).
- l'esecuzione di un paired t test attraverso il tool SnPM (Statistical non Parametric Mapping) del software sLORETA. Il segnale della matrice slor della finestra di interesse, tra 66 e 88 Time Frame (TF) dopo la comparsa dello stimolo, viene confrontato in tutti i soggetti tra le due condizioni attraverso la statistica Log of Ratio of Average o Log of F ratio. Questo tool restituisce un file .slor con i valori del Log per ogni voxel, che, immesso in s/eLORETA explorer, consente di visualizzare le aree dove il segnale delle due condizioni diverge maggiormente. Inoltre il tool di statistica restituisce anche un file in cui sono dettagliati i valori necessari per avere una significatività statistica con un p rispettivamente minore di 0.1, 0.05 e 0.01.
- la visualizzazione delle aree di attivazione in s/eLORETA viewer/explorer consente di capire se le aree di interesse hanno valori di attivazione statisticamente significativi, e fornisce le figure della corteccia in 3D, così come delle sezioni assiali, coronali e sagittali, per illustrare l'attivazione presente nel proprio lavoro.

4. MODULAZIONE DI UN POTENZIALE EVOCATO NEGATIVO (ERP) DURANTE L'OSSERVAZIONE DELL'ARTE ASTRATTA

4.1. Introduzione

Come ho approfondito nel capitolo 2, una recente teoria (Freedberg e Gallese 2007) ha ipotizzato che l'esperienza estetica di fronte a un'opera d'arte si fonderebbe sull'embodied simulation, meccanismo che comprende in sé la simulazione incarnata di azioni, emozioni e sensazioni esperite da un altro con cui sono in relazione. Uno dei meccanismi neurali che sottendono la simulazione incarnata corrisponde alle caratteristiche del Meccanismo Mirror (MM).

Nonostante sia solamente da una decina d'anni che ci si è approcciati allo studio dei correlati neurali dell'esperienza estetica, questa teoria già si discosta dalla prima che era stata formulata (Zeki S., 1999) che si focalizzava sul processamento visivo dell'opera d'arte. Il merito di Zeki è stato quello di aprire alle Neuroscienze i problemi della filosofia estetica: perché qualcosa, come un'opera d'arte, è ritenuta bella? Cosa è in grado di evocare l'esperienza estetica del bello? Vi è un correlato neurobiologico di questa esperienza? Come accennato, la ricerca di Zeki si focalizza sul sistema visivo, mettendo in evidenza come l'artista sia in grado di "assecondare" le funzioni alla base della visione.

La teoria dei colori, e la scoperta della complementarietà dei colori (coppie di colori che accostati danno un effetto di massimo contrasto acquistando forza cromatica e luminosità), ad esempio, è avvenuta senza sapere che effettivamente a livello delle nostre aree visive vi siano cellule che sono attivate da un colore (come il rosso) e inibite dal suo complementare (il verde). Gli artisti sarebbero dunque, a loro insaputa, dei profondi conoscitori del nostro cervello, le loro opere d'arte non sarebbero altro che la creazione di una realtà particolarmente congrua e adatta alle nostre funzioni visive. Zeki sottolinea come la principale funzione dei nostri sistemi percettivi sia simile alla principale funzione dell'arte, intendendo entrambi rappresentare gli aspetti costanti, ricorrenti, essenziali, e durevoli, della realtà, traendo poi da questa rappresentazione una conoscenza.

Altre ricerche hanno focalizzato lo studio dell'esperienza estetica non tanto sui processi percettivi, quanto sui processi cognitivi di ordine superiore propri di questa

esperienza, come il giudizio estetico (Jacobsen et al 2006, Cupchik et al 2009), e i meccanismi di ricompensa (Vartanian and Goel, 2004; Lacey et al., 2011).

Da quanto esposto nel capitolo 2 risulta chiaro che la teoria di Freedberg e Gallese non contraddice queste linee di ricerca, piuttosto si focalizza su un livello diverso dell'esperienza che si ha di fronte a un'opera d'arte e che va oltre lo studio del semplice processamento visivo. L'embodied simulation, infatti, si basa sulle ricerche intorno al sistema sensorimotorio. Nonostante l'attivazione della corteccia visiva sia fondamentale nella percezione, è probabile che il "potere delle immagini" (Freedberg 1989) non sia riconducibile né a un mero processo visivo, né a un processo cognitivo di ordine superiore. Per spiegare il fenomeno che avviene quando si è "rapiti" da un'opera d'arte è necessario riferirsi non a processi riflessivi o inferenziali, ma ad attivazioni preriflessive e automatiche (Freedberg and Gallese, 2007; Di Dio and Gallese 2009; Gallese and Di Dio 2012).

Tali attivazioni, come abbiamo visto, possono essere ricondotte alle ricerche degli ultimi anni sulla percezione visiva, le quali hanno mostrato che, effettivamente, tale processo non coinvolga solamente le aree visive, ma in molti casi richieda anche un'attivazione delle aree sensorimotorie (Rizzolatti et al. 2002). In altre parole, dunque, noi non percepiamo e poi agiamo, piuttosto l'azione di per sé contribuisce al processo percettivo. I cosiddetti neuroni visuo-motori, neuroni cioè che si attivano sia durante l'esecuzione di azioni, sia durante la percezione di stimoli visivi correlati in vario modo con quelle azioni, sono l'esempio più lampante di come queste due funzioni possano essere intrinsecamente legate. Alcune classi note di neuroni visuomotori, le cui funzioni ho già analizzato in dettaglio, sono i neuroni canonici (Rizzolatti et al. 1988; Murata et al. 1997; Binkofski et al. 1999, Grèzes et al. 2003; Raos et al. 2006), e i neuroni specchio (Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996), la presenza dei quali è stata dimostrata per entrambi anche nell'uomo (per una panoramica vedi Rizzolatti and Sinigaglia 2010; Gallese et al. 2011). Inoltre, un meccanismo simile a quello dei neuroni mirror è coinvolto anche nella percezione delle emozioni e delle sensazioni altrui, le quali, dunque, attiveranno alcuni neuroni coinvolti nell'esperienza di quelle stesse emozioni e sensazioni in prima persona (per una panoramica vedi de Vignemont and Singer 2006; Gallese et al. 2011).

La teoria dell'embodied simulation è stata formulata (Gallese 2003, 2005; Gallese and Sinigaglia 2011) proprio a partire da questa vasta serie di studi riguardanti i neuroni canonici e il meccanismo specchio, i quali hanno messo in evidenza come parte dei circuiti neuronali che consentono la comprensione dell'altro (cognizione sociale) si attivino a livello corticale in maniera totalmente automatica e preriflessiva. Un unico meccanismo, l'embodied simulation, costituirebbe quindi il livello di base delle nostre interazioni sociali, attraverso la mappatura delle azioni altrui sul proprio repertorio di rappresentazioni motorie, così come delle emozioni e delle sensazioni altrui sul proprio repertorio di rappresentazioni visceromotorie e somatosensoriali.

La rilevanza dell'embodied simulation per la percezione delle opere d'arte è un'ipotesi che è stata proposta solo di recente. Come abbiamo visto nel caso di un'opera d'arte (Freedberg and Gallese 2007), l'embodied simulation verrebbe attivata da due diversi tipi di elementi in essa contenuta. Il primo è dato dal contenuto rappresentazionale dell'opera stessa, che può evocare, in diversa misura azioni, emozioni, e sensazioni esperite da altri che vi siano rappresentati. Una dimostrazione sperimentale in tal senso è riscontrabile nel lavoro di Di Dio et al. (2007), dove è stato visto che l'osservazione di statue dell'età classica e rinascimentali, in cui è dato particolare risalto all'attività muscolare e dunque agli atti motori potenziali di una determinata figura, porta all'attivazione delle aree motorie dell'osservatore, aree in cui risiedono i neuroni motori con funzione mirror.

Tuttavia, se l'esperienza estetica si limitasse alla simulazione incarnata innescata dal contenuto rappresentazionale di un'opera, la teoria non sarebbe in grado di dare conto dell'esperienza estetica suscitata dall'arte astratta. Il secondo elemento per cui si è ipotizzato un'attivazione del meccanismo dell'embodied simulation si riscontra anche nell'arte non figurativa, o in quella figurativa dove risultino particolarmente evidenti i segni degli strumenti usati dall'artista. In questo caso il coinvolgimento empatico dell'osservatore deriverebbe dalla simulazione del programma motorio corrispondente al gesto che ha portato alla traccia. La prevalenza degli aspetti formali su quelli figurativi risulta così comunque in grado di offrire un'esperienza estetica non meno diretta e potente rispetto a quella dell'arte figurativa. Il meccanismo di fondo consisterebbe in ogni caso nella simulazione incarnata, ciò che cambia è quello che viene simulato.

Invero un'esperienza estetica non è intrinsecamente legata alla visione di un'opera d'arte. Questo meccanismo potrebbe essere innescato anche da altri stimoli visivi, non pensati a priori come opere d'arte. Tuttavia, così come Zeki e Ramachandran hanno ipotizzato un'abilità inconsapevole dell'artista nell'attivare la corteccia visiva dell'osservatore, si può anche ipotizzare un'analoga abilità nell'attivare i circuiti sensorimotori di chi contempla la sua opera d'arte. Un recente lavoro di EEG ha dimostrato una relazione diretta tra l'osservazione di immagini statiche e l'attivazione del sistema motorio corticale (Proverbio et al. 2009). Questi autori hanno mostrato che, durante la presentazione di foto che rappresentavano azioni umane con diversi gradi di dinamismo, la maggiore attivazione corticale si presentava quando i partecipanti osservavano le azioni più dinamiche. L'analisi della localizzazione della sorgente ha mostrato che l'osservazione delle immagini più dinamiche era accompagnata dall'attivazione di una serie di regioni corticali dove avviene la rappresentazione del movimento e dell'azione, e, più specificamente in V5/MT (Middle temporal visual area), EBA (Extrastriate Body Area), STS (Superior Temporal Sulcus), le aree motorie e premotorie. Nonostante questo studio non affronti direttamente la questione del meccanismo neurale alla base della percezione dell'arte, questi risultati suggeriscono che, anche in assenza di movimento esplicito, il movimento implicitamente evocato da immagini statiche è sufficiente ad attivare i circuiti motori corticali che sarebbero reclutati durante l'esecuzione del movimento a cui l'immagine allude.

Altri studi hanno mostrato una maggiore attivazione della corteccia motoria durante l'osservazione di lettere scritte manualmente rispetto all'osservazione di lettere stampate (Longcamp et al., 2003; Longcamp et al., 2006; Longcamp et al., 2011). Tale attivazione corrisponde a una simulazione motoria dei movimenti che portano a un segno grafico statico e che è parte fondamentale del processo percettivo attivato dall'osservazione di lettere scritte a mano.

È dunque evidente che è un meccanismo di simulazione motoria è presente non solo quando si guardano immagini statiche che evocano azioni (Proverbio et al. 2009), ma anche quando, a partire da una conseguenza grafica di un movimento (lettera scritta a mano), il meccanismo di simulazione motoria permette una ricostruzione "a posteriori" dell'azione eseguita dall'agente (Longcamp et al., 2003; Longcamp et al., 2006; Longcamp et al., 2011).

In linea con questi studi abbiamo quindi ipotizzato che l'osservazione di tracce, anche prive di significato (a differenza delle tracce costituite da lettere scritte a mano), compiute attraverso gesti manuali, siano in grado di attivare la rappresentazione motoria corticale dello stesso gesto. Per verificare questa ipotesi abbiamo eseguito un esperimento EEG presentando ai partecipanti immagini di 3 opere d'arte astratte che presentano tracce evidenti di alcune pennellate. Gli stimoli consistono in tre dipinti in bianco e nero di Franz Kline, un artista appartenente al movimento dell'Espressionismo Astratto della scuola di New York degli anni '40 '50 e '60 del ventesimo secolo, insieme, tra gli altri, a Jackson Pollock e Willem de Kooning. Abbiamo scelto di esaminare il coinvolgimento della corteccia sensorimotoria durante la fruizione di questi dipinti appartenenti alla corrente dell'"Action Painting" nel quale vi è un'esplicita intenzionalità dell'artista nel lasciare una traccia del proprio gesto. I dipinti che sono stati scelti come stimoli per l'esperimento sono caratterizzati da uno scarso numero di pennellate, permettendo in questo modo una più semplice costruzione di immagini di controllo affidabili.

L'esperimento qui descritto si prefigge di verificare sperimentalmente la seconda modalità di accedere all'esperienza estetica, descritta nella teoria di Freedberg e Gallese, cercando di dimostrare la presenza dell'embodied simulation nel caso della visione di questo genere arte astratta. Nel caso in cui le chiare pennellate dei quadri di Kline siano tracce evidenti degli atti motori che ha compiuto l'artista, ci aspettiamo che l'osservazione dei suoi quadri porti a un'attivazione delle aree motorie dell'osservatore maggiore rispetto all'osservazione degli stimoli di controllo. In un lavoro precedente (Umiltà et al. 2012), in cui la registrazione EEG era effettuata durante l'osservazione di quadri di Lucio Fontana, rappresentanti tagli nella tela, si è analizzata l'entità della desincronizzazione della frequenza alfa sensorimotoria (nota anche come ritmo μ) durante la presentazione dello stimolo: questo parametro, definito ERD (event-related sensory-motor alpha desynchronization), è da tempo riconosciuto come un indice di attivazione della corteccia motoria (Cochin et al.1998, Hari et al 1998, per una review Pineda 2005). Delle registrazioni effettuate durante l'osservazione dei quadri di Kline, invece, si è scelto di effettuare l'analisi dei potenziali evocati, o ERP (event related potential), e di eseguire la localizzazione della sorgente per individuare esattamente le

aree corticali attivate specificamente nella condizione Paintings rispetto alla condizione Modified.

4.2 Materiali e metodi

a. Partecipanti

L'esperimento è stato eseguito su 21 partecipanti adulti volontari, 11 di sesso femminile e 10 di sesso maschile, reclutati grazie a un annuncio pubblico. L'età dei partecipanti andava dai 21 ai 34 anni, con un'età media corrispondente a 28 e una deviazione standard uguale a +/- 4,07 anni.

Tutti i partecipanti a questo studio sono destrimani, come accertato dall'Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Quando è stato eseguito l'esperimento l'acuità visiva di ogni partecipante era nella norma, o corretta alla normalità; nessun partecipante era affetto da disturbi neurologici o psichiatrici né faceva uso di sostanze psicotrope.

La scolarità di ciascuno dei partecipanti arrivava fino al conseguimento del diploma di scuola superiore, mentre nessuno aveva eseguito studi specifici riguardanti l'arte o la storia dell'arte. Lo scopo dell'esperimento non è stato esplicitato ai partecipanti, i quali, dunque, non erano a conoscenza dell'oggetto specifico del nostro studio. Prima che l'esperimento fosse avviato, il disegno sperimentale è stato approvato dal comitato etico locale.

b. Stimoli

Il disegno sperimentale prevede due diversi gruppi di stimoli. Il primo (Paintings Condition) consiste in riproduzioni digitali di tre quadri astratti di Franz Kline. Si tratta di tre dipinti in bianco e nero i cui titoli sono rispettivamente: 1953 Suspended, 1954 Painting Number 2 e 1953 Painting Number 7 (vedi Figura 7A). Queste immagini sono state scaricate da un sito internet open source. Il secondo gruppo (Modified Stimuli Condition) comprende tre versioni modificate degli stessi dipinti, costruite utilizzando un programma di grafica (Adobe Photoshop®), con cui sono state rimosse le componenti dinamiche presenti nei dipinti originali (vedi Figura 7B). Con componenti dinamiche alludo a quelle componenti del dipinto che consentono di attribuire un particolare segno grafico alla conseguenza di un'azione eseguita dall'artista. È possibile risalire a una

pennellata, infatti, quando il segno grafico mantiene una certa disomogeneità di colore e di tratto, o sulla tela rimane una traccia in rilievo come gocce di colore cadute dal pennello. Sono questi gli elementi, qui definiti “dinamici”, che sono stati eliminati dalle immagini di controllo, mantenendo solamente l’orientamento, le dimensioni e lo spessore dei tratti del dipinto originale. Gli stimoli di controllo, dunque, sono stati disegnati con l’intento di rimuovere le conseguenze visibili del gesto dell’artista presenti nel dipinto originale.

c. Paradigma sperimentale

Durante l’esperimento i partecipanti si trovavano in una stanza illuminata soffusamente, seduti su una sedia confortevole di fronte a un monitor di 17 pollici di grandezza. La distanza tra lo schermo e gli occhi dei partecipanti era di 70 cm. Ai partecipanti è stato richiesto esplicitamente di cercare di limitare il più possibile i movimenti degli occhi, l’ammiccamento, e, in generale, i movimenti del corpo, appoggiando comodamente le braccia sul tavolo posto di fronte a loro. In questo modo è possibile ridurre al minimo gli artefatti che accompagnano i movimenti degli occhi e del corpo. L’indicazione data ai partecipanti era di fissare il centro dello schermo.

L’intero esperimento comprendeva due sessioni sperimentali. Prima vi era una sessione di registrazione del segnale EEG, della durata di circa 15 minuti. In seguito era prevista una sessione comportamentale in cui il partecipante dava un punteggio a diversi parametri inerenti allo stimolo (vedi oltre). La durata totale dell’esperimento era di circa 20 minuti.

Durante la sessione di registrazione venivano mostrati gli stimoli precedentemente descritti sul monitor posto di fronte al partecipante. Ciascun trial iniziava con la presentazione di uno schermo nero per un tempo che poteva variare da 4,5 a 5 secondi (rest). Questo era seguito dalla comparsa di una croce di fissazione al centro dello schermo per una durata che poteva variare dai 450 ai 500 ms. In seguito avveniva la presentazione dello stimolo per un secondo (figura 8) Nel 50% dei trial lo stimolo era seguito dalla presentazione di un pallino verde o rosso al centro dello schermo (trial attentivi). Il soggetto era tenuto a verbalizzare il colore del pallino che appariva di volta in volta, in modo che la sua attenzione si mantenesse elevata. I tempi di risposta non sono stati utilizzati per nessuna analisi. I sei stimoli (3 Paintings e 3 Modified) sono stati

presentati in modo randomizzato 15 volte ciascuno. Un totale di 90 trial venivano dunque presentati a ogni soggetto durante la sessione di presentazione.

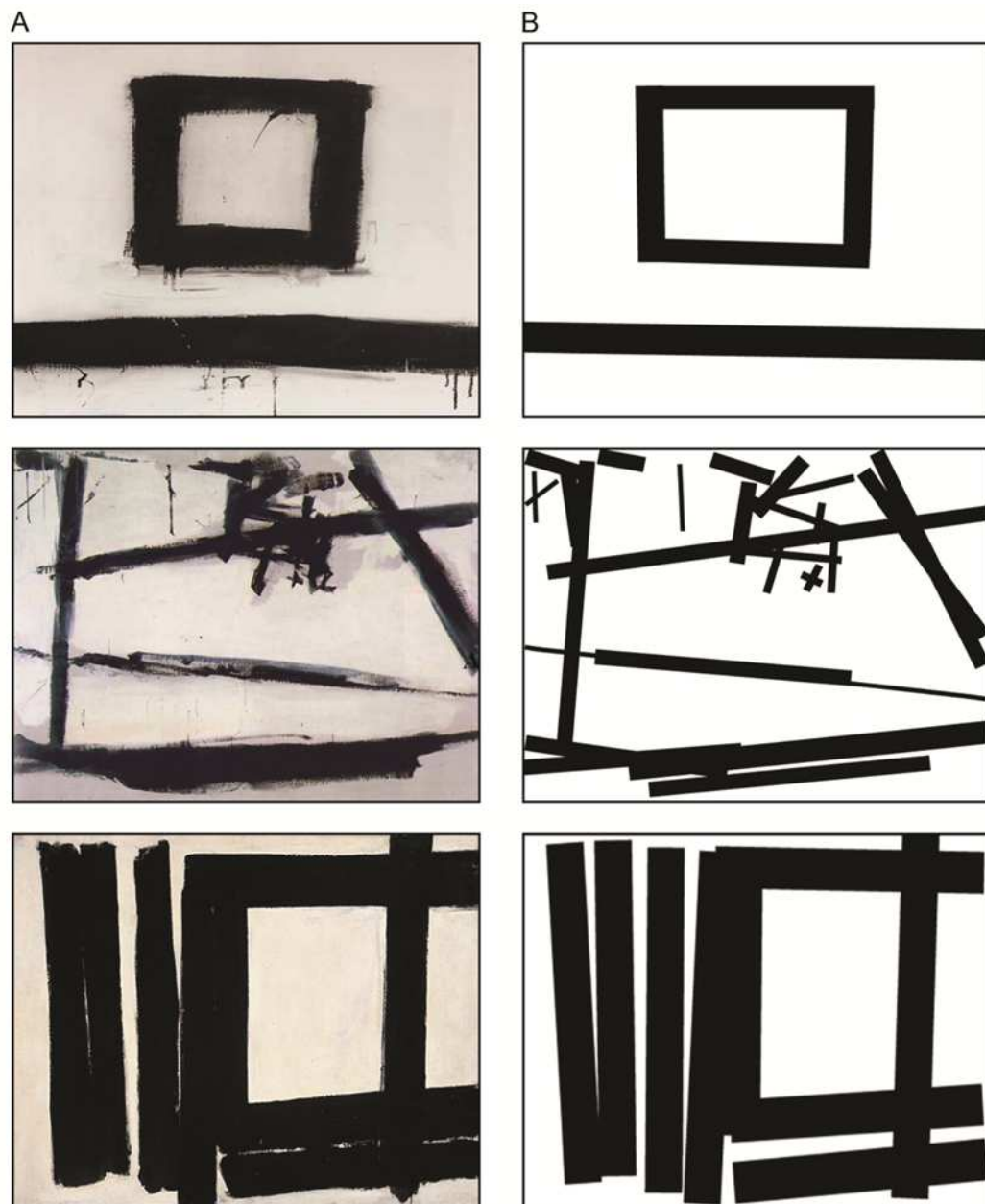


Figura 7. Stimoli utilizzati nello studio. (A) Painting Stimuli, dall'alto in basso: 1953 *Suspended*; 1954 *Painting number 2*, and 1952 *Painting Number 7*. (B) Modified Stimuli costruiti rimuovendo le componenti dinamiche dai tre stimoli originali

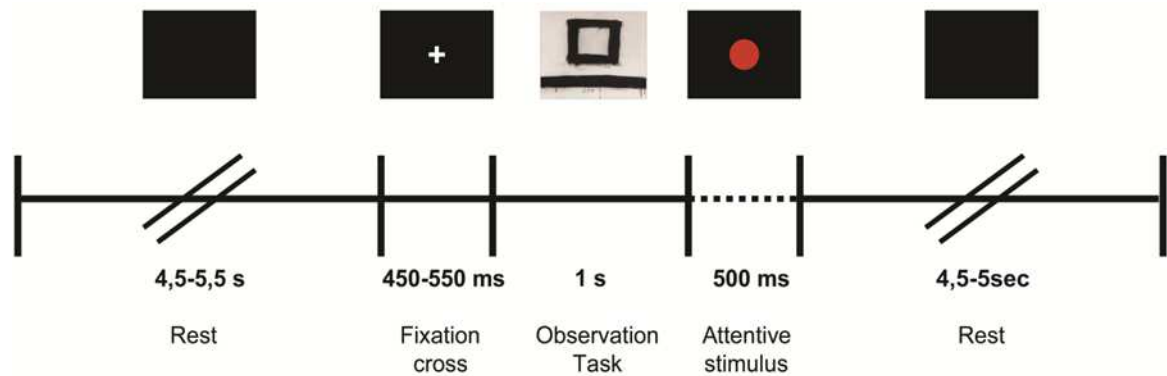


Figura 8. Disegno sperimentale.

Una volta completata la sessione di registrazione con l'EEG, ai partecipanti veniva chiesto di compilare un questionario relativo alle immagini appena osservate (appartenenti o al gruppo dei dipinti astratti o al gruppo delle immagini modificate). La natura artistica o meno delle immagini non è mai stata esplicitata ai partecipanti, né durante la sessione di registrazione, né durante la sessione comportamentale. In questa sessione le immagini venivano nuovamente mostrate ai partecipanti con un ordine di presentazione randomizzato. Per ognuna delle 6 immagini i partecipanti dovevano valutare:

- 1) il giudizio estetico ("Quanto ti piace quest'immagine?") il cui punteggio della risposta poteva variare da -10 a + 10.
- 2) la quantità di movimento ("Quanto movimento percepisci in questa immagine?") il cui punteggio della risposta poteva variare da 0 a +10.

d. Setup di acquisizione del segnale EEG

Il segnale elettrico dello scalpo è stato acquisito con un sistema ad alta densità (© EGI, 128-channel Sensor Net) dotato di 128 elettrodi e altrettanti canali di acquisizione. La registrazione digitalizzata del segnale è stata effettuata tramite il software Net Station 4.3, fornito anch'esso dall'EGI, utilizzando una frequenza di campionamento di 250 Hz e un filtro passa banda compreso tra 0.3-100 Hz. L'impedenza degli elettrodi è stata mantenuta sotto i 50 KΩ. Il segnale elettroencefalografico grezzo è stato acquisito utilizzando l'elettrodo in Cz (vertex) come referencia. Durante il successivo processamento offline, i dati sono stati computati utilizzando come referencia la media del segnale proveniente dai due elettrodi presenti in regione mastoidea (definita linked-mastoid reference). Gli stimoli sono stati inviati da un altro computer

attraverso il software E-prime 2.0. Oltre a presentare gli stimoli, E-prime mandava al computer di acquisizione le etichette relative agli eventi, in corrispondenza dell'inizio di ciascun evento: schermo nero, croce di fissazione, presentazione dello stimolo sperimentale, eventuale stimolo attentivo. Gli stimoli sperimentali sono stati etichettati in maniera diversa a seconda della condizione a cui appartenevano (Paintings o Modified). Lo sperimentatore era seduto di fronte al monitor del computer di acquisizione, monitorando i movimenti dei partecipanti grazie a una videocamera sincronizzata con il segnale EEG. Quando i partecipanti si muovevano, il trial veniva scartato automaticamente da ulteriori analisi.

e. Analisi dei dati EEG

Il processamento dei dati ha comportato i seguenti passaggi:

- applicazione di un ulteriore filtro passabanda 1-30 Hz
- cambiamento della referenza, da Cz alla linked mastoid reference (media del segnale proveniente dagli elettrodi 57 e 100). Questa referenza è considerata affidabile soprattutto per analisi focalizzate sul segnale proveniente dalle aree centrali della corteccia (Yao et al., 2007), quali le aree sensitive primarie e le aree motorie e premotorie.
- segmentazione dell'intero tracciato in epoche della durata di 1200 ms, corrispondenti ai single trial e comprendenti i 200 ms finali di croce di fissazione (baseline) più l'intero secondo della presentazione dello stimolo (Painting o Modified).
- identificazione automatica degli artefatti dati dall'ammicciamento, dai movimenti oculari, e dalla contrazione muscolare da movimento, utilizzando un algoritmo in grado di individuare i canali dove il voltaggio massimo meno il voltaggio minimo sia maggiore di un valore che è possibile impostare. In particolare le seguenti differenze di voltaggio sono state attribuite a questi particolari artefatti:
 - $V_{max} - V_{min} > 200 \mu V$, artefatto muscolare
 - $V_{max} - V_{min} > 140 \mu V$, artefatti da ammicciamento
 - $V_{max} - V_{min} > 55 \mu V$, artefatti da movimento degli occhi
- identificazione manuale degli artefatti residui attraverso un'attenta ispezione visiva di tutti i segmenti, effettuata in successione da due diversi sperimentatori. In questo modo era possibile individuare anche gli artefatti che sfuggono all'applicazione automatica dell'algoritmo, tra cui, ad esempio, gli artefatti da attività cardiocircolatoria. Dopo

l'ispezione manuale dei tracciati, due soggetti, che avevano un numero di trial privi di artefatti inferiore al 50% del numero totale di trial, sono stati scartati. Tra i rimanenti partecipanti, il numero medio di trial senza artefatti utilizzabili per le analisi statistiche era 32.7 (ES \pm 1.6; 72,6%) per la condizione Paintings e 32.9 (SE \pm 1.9, 73,1%) la condizione Modified. È stato poi condotto un T-test per confrontare tra le due condizioni il numero di segmenti senza artefatti disponibile per le analisi statistiche. Non è emersa alcuna differenza significativa tra le due condizioni ($p > 0.5$).

-dopo una prima identificazione degli artefatti è stato applicato il tool "bad channel replacement" in modo da reintegrare i canali esclusi senza inferire il nuovo segnale da un segnale distorto da artefatti.

- costruzione di un unico segnale medio, per ciascuna condizione: si ottiene così un segnale medio intrasoggetto in cui è già possibile individuare la presenza di potenziali evocati dall'osservazione dello stimolo. Il segnale, infatti, non oscilla più intorno allo zero, ma, se associato a una particolare processazione dello stimolo, facendo la media dei diversi trial, è di alcuni μ V di ampiezza.

-in base allo stesso principio si applica il tool per ottenere la Grand Average, che costruisce un unico segnale medio, per ogni condizione, a partire dalle singole medie intrasoggetto. La Grand Average non viene utilizzata per alcuna analisi statistica, ma serve per avere una prima idea di quali canali e quali finestre temporali siano interessate da una modulazione del segnale tra le condizioni.

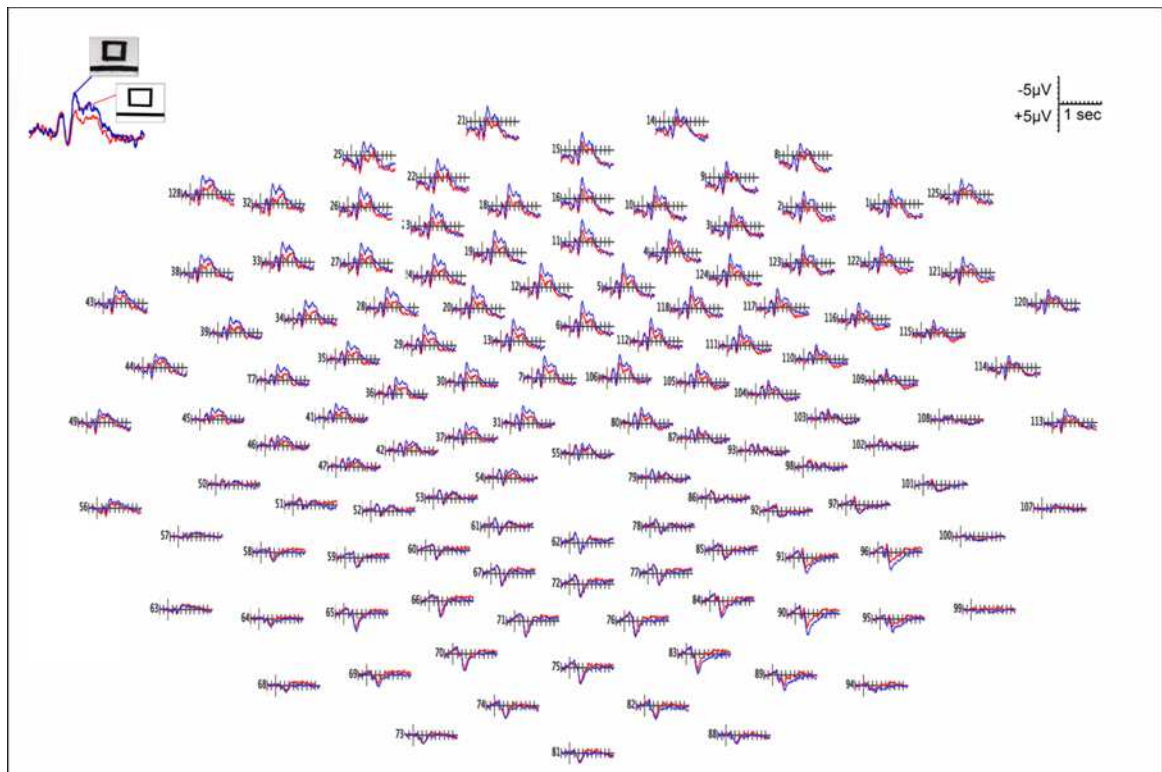


Figura 9. Grande-average ottenuta dalle medie intrasoggetto di 19 partecipanti. I colori corrispondono alle due diverse condizioni: Paintings (linea blu) e Modified stimuli (linea rossa).

Vi sono due diverse modalità di visualizzare il segnale medio della Grand Average: la prima è quella illustrata in figura 9, tecnicamente definita topoplot, la seconda è la cosiddetta “topomap” (figura 10) in cui il segnale viene visualizzato in maniera distribuita su tutto lo scalpo con dei colori, corrispondenti alla differenza di potenziale presente in quel punto rispetto alla referenza. La topomap consente una maggiore comprensione di come il segnale sia distribuito sullo scalpo e, inoltre, di come sia l’orientamento del dipolo risultante dall’integrazione dei microdipoli corrispondenti alle sorgenti corticali del segnale.

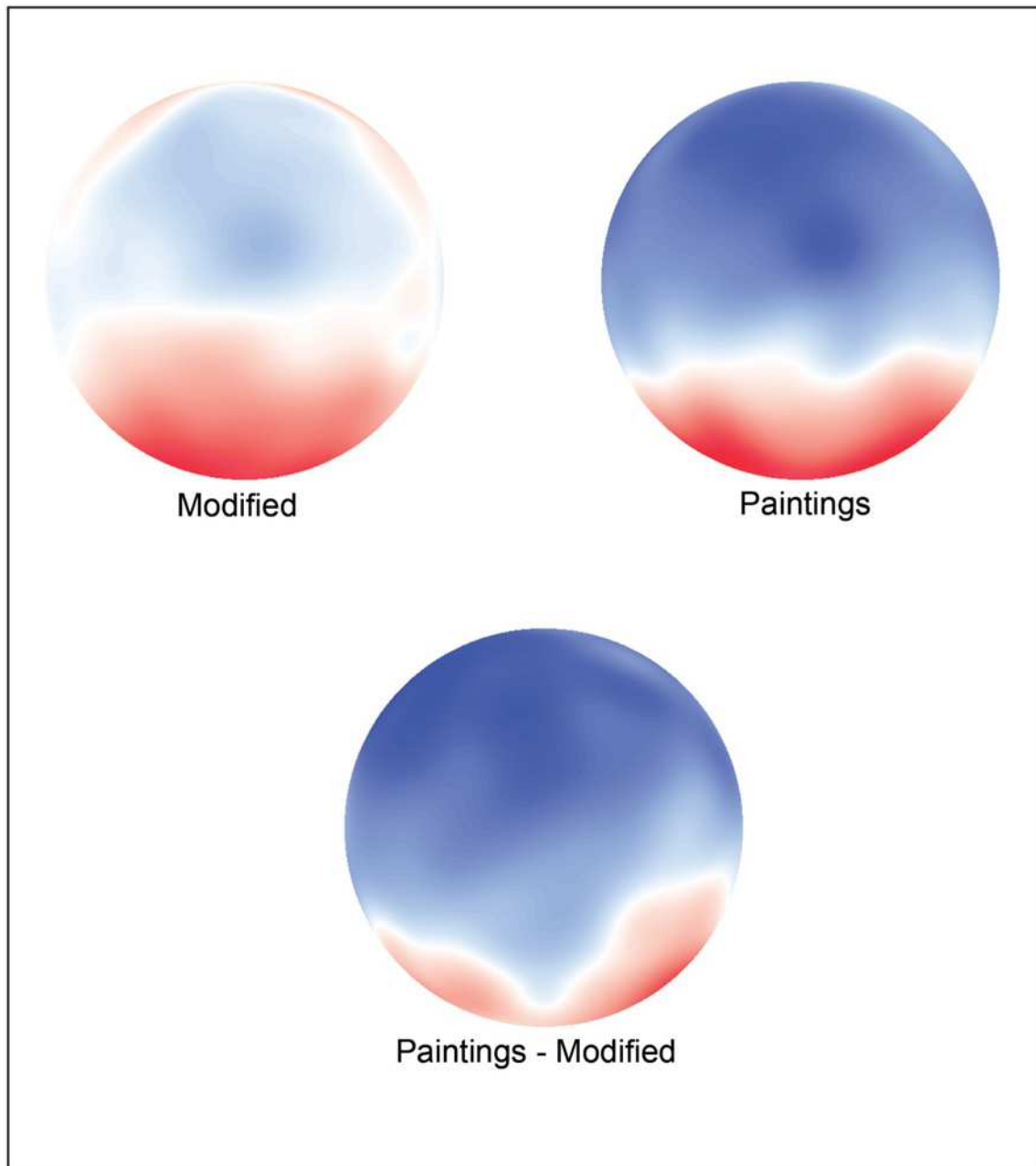


Figura 10. Topo maps della grand average (280-320 ms). Emerge chiaramente che in questa finestra temporale a livello centro frontale il segnale medio è più negativo nella condizione Painting.

f. Analisi statistiche

La visualizzazione della Grand Average consente un'individuazione intuitiva della finestra temporale in cui andare ad analizzare statisticamente le condizioni. Questa modalità di scelta della finestra temporale di analisi viene normalmente utilizzata e comunemente accettata. In questo studio abbiamo optato per una scelta della finestra temporale basata su un confronto statistico delle due condizioni sull'intera durata del segmento (confronto di tutti i 300 campioni) e su tutti i 128 elettrodi ($p \leq 0,01$). Come

emerge dalla figura 11 vi è un periodo, dopo i 240 ms dalla presentazione dello stimolo, in cui le condizioni sono statisticamente differenti in maniera stabile.

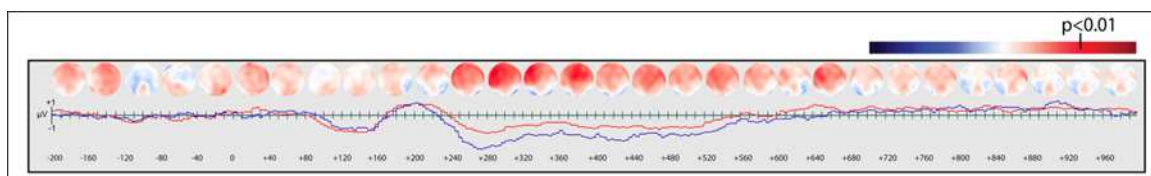


Figura 11. T-test applicato alle due condizioni (Paintings vs Modified stimuli). Il T-test è stato condotto su frammenti di 40 ms ciascuno per l'intera durata del segmento (da -200 a 1000 ms). Nella parte superiore della figura sono presentate le topo map con la distribuzione dei valori t. Il colore del valore t che corrisponde a una significatività pari a un $p < 0,01$ è indicato nella barra in alto a destra. Nella parte inferiore della figura si vede la modulazione del segnale della grand average nelle due diverse condizioni sperimentali a livello dell'elettrodo C3 (vedi figura 13) Linea blu = Paintings; linea rossa = Modified stimuli. Dopo 240 ms dalla presentazione dello stimolo vi è una finestra temporale in cui le condizioni sono statisticamente e stabilmente differenti.

Sulla base di questa prima analisi è stata selezionata una finestra temporale compresa tra i 260 e i 328 msec dopo la presentazione dello stimolo che è stata utilizzata per estrarre l'ampiezza media e la latenza del picco del potenziale. L'estrazione è stata condotta su sei diversi cluster di elettrodi (vedi figura 12): due cluster frontali, posizionati intorno a F3 (24-28-20) e F4 (124-118-117); due cluster centrali, posizionati intorno a C3 (36-41-42) e C4 (104-103-93); due cluster parietali, posizionati intorno a P3 (52-59-60) e P4 (85-91-92). All'interno di ciascun cluster si è calcolata la media delle misure classiche degli ERP: ampiezza media e latenza del picco.

Su queste misure sono state poi condotte due ANOVA a misure ripetute 3X2X2 per valutare eventuali differenze significative tra le condizioni relative al potenziale evocato identificato. Entrambe le ANOVA sono state eseguite mettendo a fattore intrasoggetto le seguenti variabili: la Regione Corticale (Frontale, Centrale, e Parietale), l'Emisfero (Sinistro o Destro) e la Condizione (Paintings o Modified). Il test di Newman-Keuls è stato poi eseguito su tutti gli effetti principali e le interazioni significative, in qualità di analisi post-hoc ($p < 0,05$).

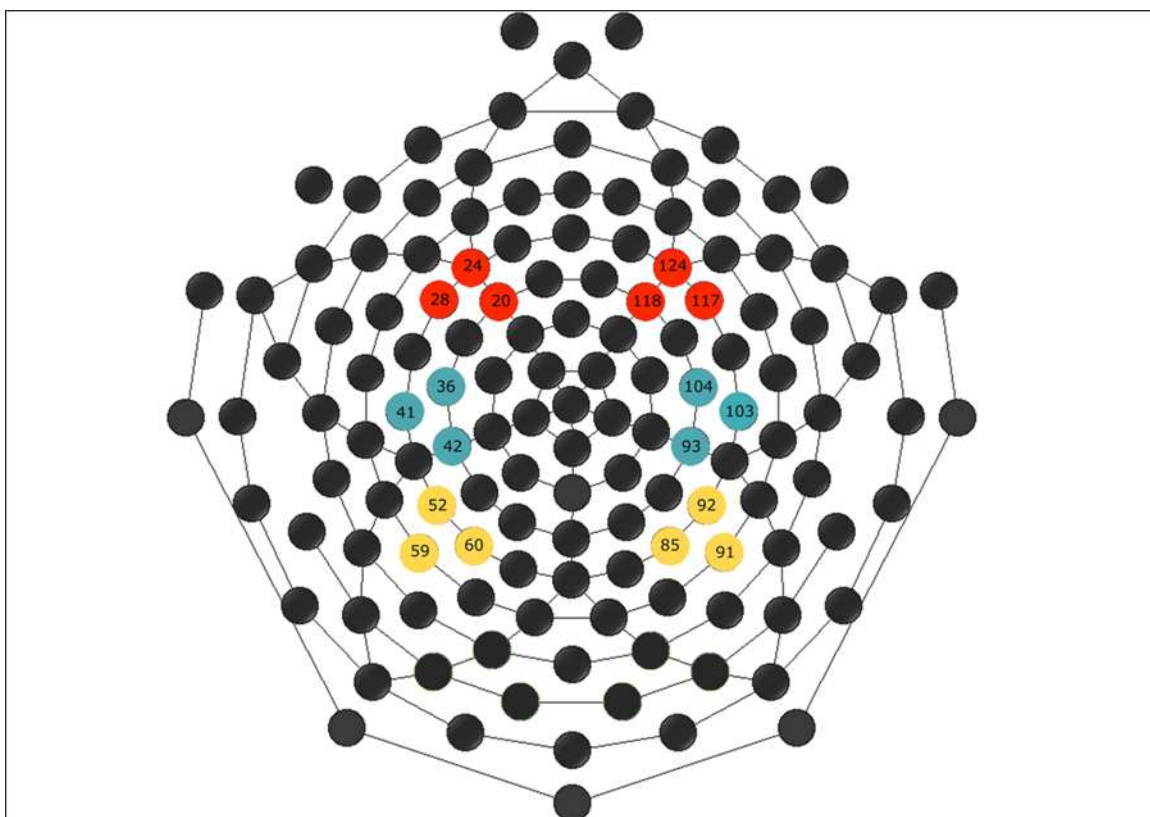


Figura 12. Clusters di elettrodi selezionati per condurre un'analisi classica dell'ERP. Sono stati selezionati sei cluster differenti, di tre elettrodi ciascuno: 2 frontali (rosso), due centrali (blu) e due parietali (giallo).

g. Localizzazione della sorgente

Nelle nostre analisi l'algoritmo scelto per la localizzazione della sorgente è sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography). Il software utilizzato per applicare tale algoritmo è disponibile gratuitamente sulla rete, ed è stato scaricato dal sito <http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>. Applicando tale algoritmo, è stato possibile stimare la distribuzione corticale tridimensionale della densità di corrente delle sorgenti del segnale da noi registrato sullo scalpo. s-LORETA (Pascual Marqui, 2002) appartiene al gruppo dei modelli distribuiti e lineari che, come si è visto, hanno pochi errori per quanto riguarda la localizzazione, a discapito di una scarsa risoluzione spaziale. Questi algoritmi, infatti, per loro natura, soffrono di una sottodeterminazione della risoluzione del problema inverso, a vantaggio appunto di una scarsissima probabilità di errore. Inoltre, la standardizzazione presente in questo particolare algoritmo, fa in modo che vi possa essere una corretta localizzazione, anche in presenza di rumore di fondo di tipo biologico o dato dall'acquisizione. Nella versione utilizzata di sLORETA l'algoritmo

viene applicato sul modello di testa dell'MNI152. Lo spazio su cui vengono distribuite le sorgenti è ristretto alla sostanza grigia così come è stata illustrata nell'atlante di Talairach (Talairach 1988). La posizione standard degli elettrodi rispetto al modello dell'MNI152 è stata ripresa da Jurcak 2007 e Oostenveld 2001. Il volume intracerebrale è stato suddiviso in 6239 voxel con una risoluzione spaziale di 5 mm. Le immagini di sLORETA, dunque, rappresentano l'attività elettrica standardizzata per ogni voxel di tale spazio neuroanatomico. s-LORETA è stato applicato sul segnale registrato in una finestra temporale (268-320 msec, dopo la comparsa dello stimolo) contenuta nella finestra temporale utilizzata per le analisi statistiche classiche degli ERP (260-328 msec dopo la comparsa dello stimolo). Tale analisi è stata eseguita applicando i seguenti passaggi:

- estrazione del segnale differenziale medio per ogni soggetto utilizzando Net Station: per ogni soggetto si è ottenuto dunque un tracciato di 1200 ms, corrispondente alla sottrazione della condizione di controllo (Modified) alla condizione sperimentale (Paintings).

- una trasformazione del segnale differenziale dei singoli soggetti nella matrice corrispondente mediante l'algoritmo sLORETA. In questo modo si passa dalla matrice della registrazione del segnale, nella quale ho per ogni elettrodo l'ampiezza del segnale dispiegata nel tempo, alla matrice della sorgente, in cui ho per ognuna delle 6239 sorgenti la densità di corrente dispiegata nel tempo.

- l'esecuzione di un paired t test attraverso il tool SnPM (Statistical non Parametric Mapping) del software sLORETA. Il segnale della matrice slor, compreso nella finestra di interesse, tra 268 e 320 msec dopo la comparsa dello stimolo, è stato confrontato in tutti i soggetti con il segnale presente in una finestra temporale della stessa ampiezza, da -64 a -12 msec prima della comparsa dello stimolo. Questa seconda finestra temporale è all'interno dei 200 msec di baseline. Va notato che i segnali sono confrontabili perché si tratta in entrambi i casi di finestre temporali estratte dal segnale differenziale Paintings - Modified. Nel caso della finestra temporale corrispondente alla baseline, dunque, si sta considerando un segnale derivante dalla sottrazione di due baseline, in cui il partecipante stava in entrambi i casi osservando uno schermo nero. Tale sottrazione dà dunque come segnale risultante un'ampiezza che oscilla intorno allo zero. Il confronto statistico della densità di corrente presente nella nostra finestra di interesse con la densità di corrente di una finestra in cui il segnale oscilla intorno allo

zero, ci dà indicazioni su quali siano le aree corticali in cui il segnale differenziale sia significativamente diverso da zero. Si stanno dunque individuando le aree corticali in cui il segnale della condizione Paintings sia significativamente diverso dal segnale della condizione Modified. Il tool di statistica restituisce un file .slor con i valori t per ogni voxel, che, immesso in s/eLORETA explorer, consente di visualizzare le aree dove il segnale delle due condizioni diverge maggiormente. Inoltre il tool di statistica restituisce anche un file in cui sono esplicitati i valori necessari per avere una significatività statistica con un p rispettivamente minore di 0.1, 0.05 e 0.01.

- La visualizzazione delle aree di attivazione in s/eLORETA viewer/explorer consente di capire se le aree di interesse hanno valori di attivazione statisticamente significativi e fornisce le figure della corteccia in 3D, così come delle sezioni assiali, coronali e sagittali, per illustrare l'attivazione presente nel proprio lavoro.

h. Analisi del questionario

I dati raccolti con il questionario sono stati analizzati come segue. Per ogni soggetto è stata calcolata la media dei punteggi riguardanti i tre stimoli della condizione Paintings e la media dei punteggi riguardanti i tre stimoli della condizione Modified, sia per i punteggi assegnati al giudizio estetico, sia per i punteggi assegnati alla quantità di movimento. Sono stati infine eseguiti due T-test per confrontare tra le due condizioni il giudizio estetico e la quantità di movimento percepita.

4.3. Risultati

a. Individuazione della finestra temporale

La figura 9 mostra la Grand Average del segnale in funzione della condizione: in blu è mostrata la media dei trial della condizione Paintings, in rosso la media dei trial della condizione Modified. Una deflessione in regione fronto-centrale, modulata tra le due condizioni, risulta evidente. La condizione Paintings è infatti accompagnata da una deflessione più ampia rispetto alla condizione Modified. La figura 13 mostra invece la Grand Average in corrispondenza di alcuni canali utilizzati per l'analisi degli ERP: F3 e F4 (canali 24 e 124), C3 e C4 (canali 36 e 104) e P3 e P4 (canali 52 e 92).

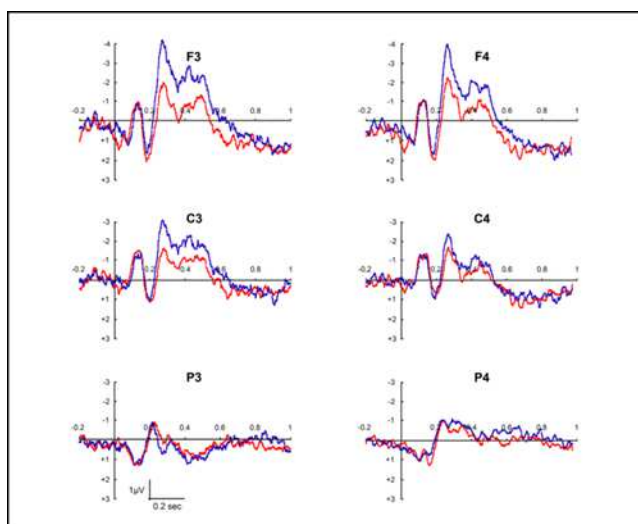


Figura 13. Segnale della Grand Average illustrato in alcuni canali di analisi. Sono mostrati due canali frontali (F3 e F4), due canali centrali (C3 e C4) e due canali parietali (P3 e P4). I diversi colori indicano il segnale relativo alle due diverse condizioni: Paintings in blu e Modified in rosso. Emerge il maggior effetto, specialmente negli elettrodi frontocentrali di sinistra, della condizione Paintings sulla componente negativa analizzata.

Come spiegato nei metodi, la scelta della finestra temporale in cui eseguire l'analisi statistica è stata fatta sulla base di un T-test. Tale analisi ha messo in luce come, 240 msec dopo la comparsa dello stimolo, le due condizioni differiscano significativamente ($p < 0,01$) e stabilmente per la durata di circa 250 msec. La finestra temporale scelta per l'analisi statistica dell'ampiezza media e della latenza è più ristretta rispetto all'intera durata della componente e, in sostanza, punta a prendere in esame il segnale intorno al picco di tale potenziale evocato negativo. L'analisi è stata infatti effettuata sul segnale presente tra i 260 e i 328 msec dopo la presentazione dello stimolo. La stessa finestra temporale è stata utilizzata sia per l'estrazione della latenza del picco, sia per l'estrazione dell'ampiezza media. Su queste due misure sono state condotte due ANOVA 3X2X2 mettendo a fattore Regione Corticale (Frontale, Centrale e Parietale), l'Emisfero (Sinistro, Destro) e la Condizione (Paintings, Modified).

b. Risultati dell'analisi sul potenziale evocato negativo (260-328 msec)

L'ANOVA condotta sull'ampiezza media ha mostrato un significativo effetto principale dei fattori Regione ($F(2, 36)=23.2$ $p < 0.001$) e Condizione ($F(1,18)=5.2$ $p < 0.05$.) La stessa analisi ha messo in luce due interazioni significative: Regione X Condizione ($F(2, 36)=24,1$ $p < 0.001$) e Emisfero X Condizione ($F(1, 18)=8,3$ $p < 0.01$). L'analisi post-hoc eseguita sul fattore principale Regione ha mostrato che l'ampiezza di tale potenziale a livello frontale è significativamente maggiore rispetto all'ampiezza presente a livello

Centrale e Parietale ($p < 0.05$) e anche l'ampiezza a livello Centrale si è rivelata significativamente maggiore rispetto all'ampiezza registrata a livello Parietale ($p < 0.05$). L'analisi post hoc condotta sull'effetto principale Condizione mostra che la condizione Paintings è associata a un'ampiezza media della componente negativa significativamente maggiore rispetto alla condizione Modified ($p < 0.05$). L'analisi post hoc dell'interazione Regione x Condizione (vedi Figura 14) ha rivelato un'ampiezza media significativamente maggiore con l'osservazione degli stimoli Paintings rispetto all'osservazione degli stimoli Modified solo a livello delle regioni Frontale ($p < 0.001$) e Centrale ($p < 0.005$), mentre in regione Parietale tale differenza tra le condizioni non si è rivelata significativa ($p > 0.05$). La medesima analisi post hoc mostra inoltre che sia nella condizione Paintings (tutti i $p < 0.001$) sia nella condizione Modified (tutti $p < 0.005$) vi è una differenza significativa di ampiezza media del potenziale tra le tre regioni, essendo sempre maggiore in regione Frontale, medio in regione Centrale e minore in regione Parietale. L'analisi post hoc dell'interazione Emisfero x Condizione ha mostrato che l'ampiezza media era significativamente maggiore nei cluster di sinistra rispetto ai cluster di destra nella condizione Paintings ($p < 0.01$).

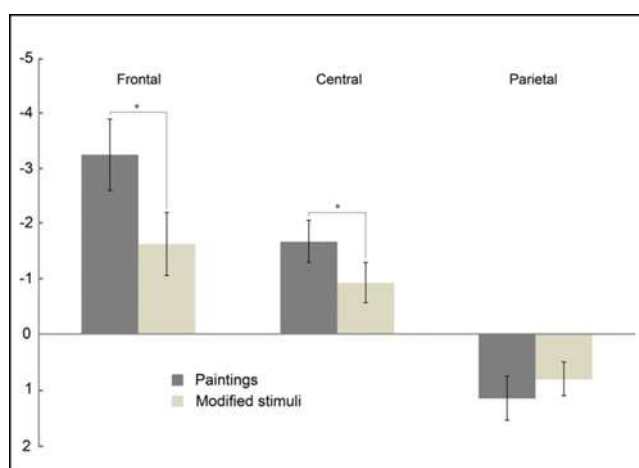


Figura 14. Modulazione del potenziale evocato, presente nella finestra temporale 260-328 msec dopo la presentazione dello stimolo, tra la condizione Painting e Modified. Le barre rappresentano l'interazione significativa Regione X Condizione emersa dall'ANOVA eseguita sull'ampiezza media (μV). Le condizioni Paintings (grigio scuro) e Modified (grigio chiaro) risultano significativamente diverse (*) a livello degli elettrodi frontali e centrali.

L'ANOVA eseguita sui valori della latenza del picco, relativi al medesimo potenziale evocato negativo (260-328), ha dato come risultato solamente un effetto principale della variabile Regione ($F(1, 36)=10,5$ $p<0.001$). L'analisi post-hoc dell'effetto principale Regione, in cui è stato applicato il test di Newman-Keuls, ha mostrato una maggiore latenza della componente a livello Parietale rispetto alle altre due regioni (tutti i $p<0.001$).

c. Localizzazione della sorgente

La Tabella 1 elenca le regioni corticali che hanno mostrato attivazioni significative ($p<0.01$). Tale significatività deriva dal confronto, attraverso un T-test, della densità di corrente nella finestra temporale 268-320 con la densità di corrente nella finestra -64 - 12 msec. Entrambe le densità di corrente sono state estratte, applicando l'algoritmo sLORETA, dal segnale differenziale Paintings – Modified. La prima finestra include il potenziale preso in esame, la seconda include la baseline. Il T-test mostra dove la differenza tra le due condizioni è significativamente diversa rispetto alla differenza delle baseline. Le attivazioni significative sono state divise in quattro gruppi sulla base del ruolo funzionale delle relative aree corticali. Il primo gruppo comprende le aree visive, il secondo gruppo include le aree appartenenti ai circuiti sensorimotori, il terzo comprende aree appartenenti alla regione prefrontale sinistra, il quarto comprende aree appartenenti alla regione orbitofrontale.

Region		x	y	Z	t value	k
VISUAL ACTIVATIONS						
Right Transverse Temporal Gyrus	Brodmann area 42	60	-10	10	6,61	3
Right Transverse Temporal Gyrus	Brodmann area 41	55	-15	10	6,50	1
Left Angular Gyrus	Brodmann area 39	-45	-75	35	5,83	1
Right Lingual Gyrus	Brodmann area 17	10	-90	0	5,77	1
Left Middle Temporal Gyrus	Brodmann area 21	-65	-50	-5	5,60	3
SENSORIMOTOR ACTIVATIONS						
Left Superior Parietal Lobule	Brodmann area 7	-25	-65	60	8,23	7
Right Inferior Parietal Lobule	Brodmann area 40	65	-25	30	7,02	4
Right Precentral Gyrus	Brodmann area 4	40	-25	65	6,99	6
Right Superior Temporal Gyrus	Brodmann area 22	60	-5	10	6,65	6
Right Precentral Gyrus	Brodmann area 6	60	0	10	6,63	7
Right Precentral Gyrus	Brodmann area 43	55	-10	10	6,62	3
Left Inferior Frontal Gyrus	Brodmann area 47	-25	30	-5	5,90	6
PREFRONTAL ACTIVATIONS						
Left Superior Frontal Gyrus	Brodmann area 9	-20	55	35	7,35	4
Left Medial Frontal Gyrus	Brodmann area 25	-5	25	-20	6,38	6
Left Superior Frontal Gyrus	Brodmann area 8	-20	30	50	6,34	5
Left Middle Frontal Gyrus	Brodmann area 8	-25	30	50	6,29	2
Left Inferior Frontal Gyrus	Brodmann area 47	-25	30	-5	5,90	6
Left Superior Frontal Gyrus	Brodmann area 10	-25	55	30	5,87	2
ORBITOFRONTAL AND CINGULATE ACTIVATIONS						
Left Middle Frontal Gyrus	Brodmann area 11	-35	55	-10	7,03	4
Right Orbital Gyrus	Brodmann area 11	5	45	-20	6,44	6
Right Medial Frontal Gyrus	Brodmann area 11	5	40	-15	6,43	7
Right Anterior Cingulate	Brodmann area 32	5	40	-10	6,22	2
Left Subcallosal Gyrus	Brodmann area 11	-10	25	-15	6,03	1
Right Superior Frontal Gyrus	Brodmann area 11	10	55	-25	6,02	3
Right Inferior Frontal Gyrus	Brodmann area 11	10	40	-20	5,98	1

Tabella 1. Attivazioni significative ($p < 0.01$) emerse dall'analisi della sorgente eseguita con sLORETA. Le coordinate si riferiscono al modello MNI e corrispondono al voxel che in quella regione ha l'attivazione massima. K si riferisce al numero di voxel con attivazioni significative per ogni regione corticale.

La figura 15 mostra le aree corticali che sono risultate significativamente attive dall'analisi della localizzazione della sorgente. Le sorgenti appartenenti ai circuiti sensori motori sono preponderanti e sono localizzate prevalentemente a livello dell'emisfero destro (linee tratteggiate). Di questa regione le aree che avevano i valori maggiori di t erano: BA 40 (pannello E), BA 4 (pannello A, E e F), BA 22 (pannello E) e BA 6 (pannello A e E). A livello dell'emisfero sinistro è stata identificata una sorgente sensorimotoria

statisticamente significativa corrispondente a BA 7 (pannelli B e F). Nella regione prefrontale sinistra (linea continua) sono risultate attive alcune aree del giro frontale mediale (BA25), del giro frontale superiore (BA8, BA9 e BA 10) e del giro frontale medio (pannelli B, D e E). La regione orbitofrontale (linea punteggiata) è risultata attiva bilateralmente a livello di BA 11 e a livello dell'area BA 32 di destra (pannelli B, C e D).

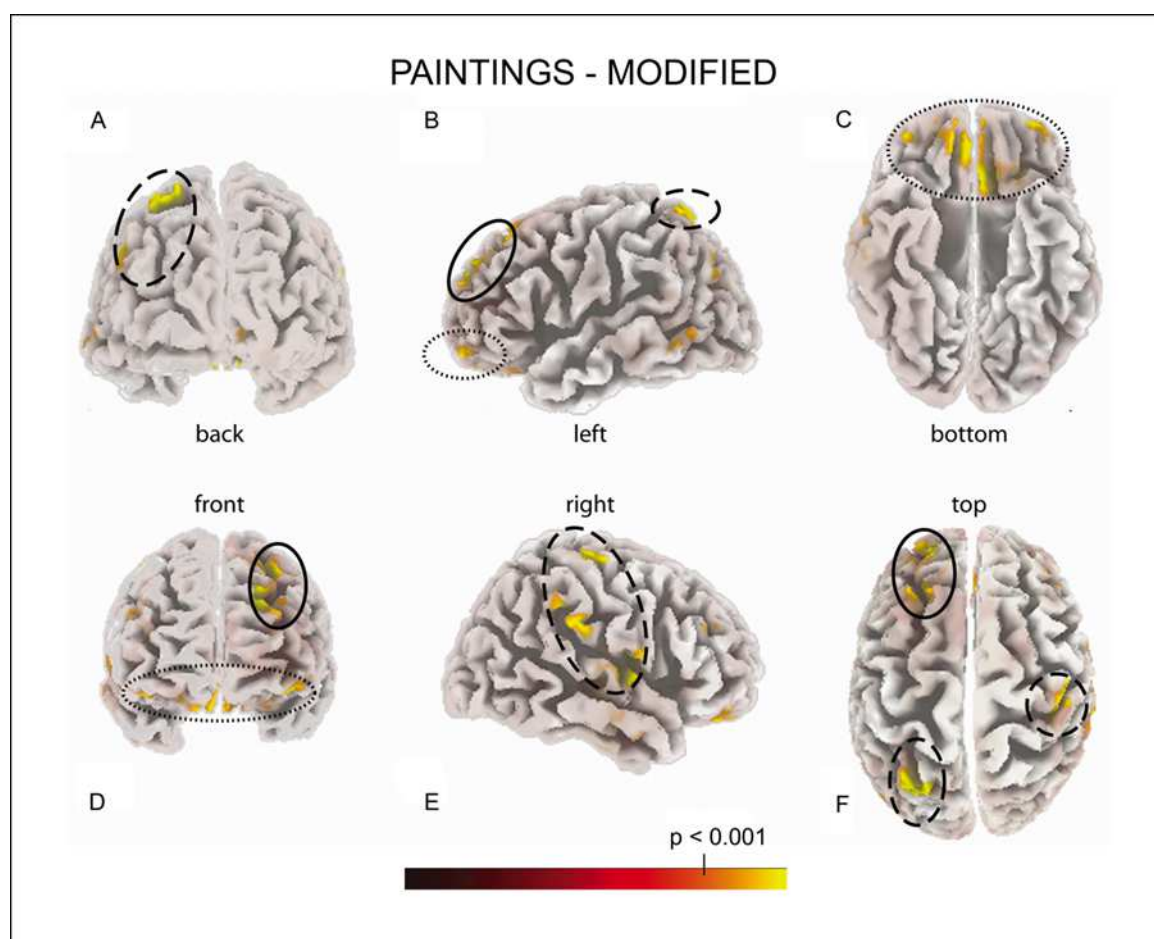


Figura 15. Analisi della sorgente del potenziale negativo presente 240 ms dopo la presentazione dello stimolo. La soluzione inversa eseguita con l'algoritmo sLORETA è stata applicata sul segnale differenziale Paintings – Modified. In evidenza alcune regioni corticali, comprendenti aree che svolgono lo stesso ruolo funzionale: aree sensorimotorie (linea tratteggiata); aree prefrontali di sinistra (linea continua); aree orbitofrontali (linea punteggiata).

Analisi del questionario

La media dei tre punteggi relativi alla quantità di movimento percepita assegnati ai 3 stimoli della condizione Paintings e la media dei tre punteggi assegnati ai 3 stimoli della condizione Modified sono state confrontate con un T-test (Paintings vs. Modified stimoli, $p < = 0.05$, vedi figura 16). I risultati hanno mostrato che il punteggio medio assegnato alla condizione Paintings era significativamente maggiore del punteggio medio

assegnato alla condizione Modified ($p < 0.01$). Allo stesso modo, sempre con un T-test, la media dei punteggi relativi al giudizio estetico assegnati ai 3 stimoli della condizione Paintings è stata confrontata con la media dei punteggi assegnati alla condizione Modified. Anche in questo caso i risultati hanno mostrato che il punteggio medio era significativamente maggiore nel caso della condizione Paintings rispetto alla condizione Modified ($p < 0.001$).

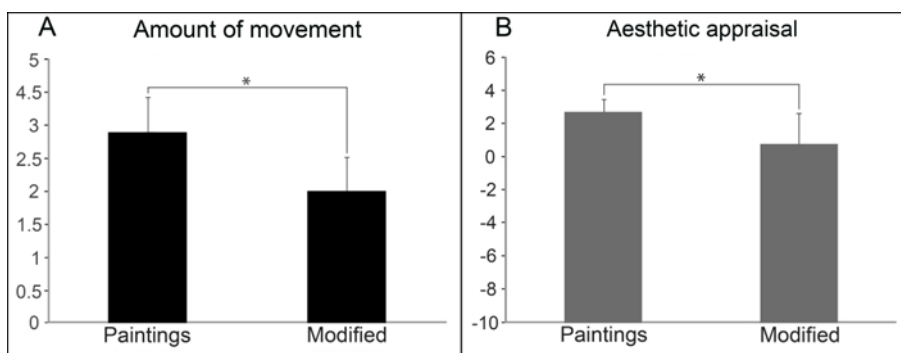


Figura 16. Risultati dei T-test eseguiti sui punteggi assegnati al questionario. I punteggi relativi alla quantità di movimento e al giudizio estetico sono risultati in entrambi i casi significativamente maggiori nella condizione Paintings ($p < 0,01$).

4.4 Discussione

Questo studio è stato ideato con l'intento di indagare se l'osservazione di dipinti astratti, in cui risulti particolarmente evidente la traccia del gesto coinvolto nell'atto creativo, implichi una maggiore attivazione della corteccia motoria rispetto all'osservazione di immagini con caratteristiche visive simili, ma prive di tali componenti dinamiche. Abbiamo quindi cercato di stabilire se il movimento implicito presente nelle immagini di questi dipinti astratti, in particolare il movimento a cui rimanda l'osservazione di una serie di pennellate, sia in grado di attivare i circuiti motori corticali reclutati dall'artista durante l'esecuzione del dipinto.

L'idea è che questo tipo di arte astratta si caratterizzi per l'abilità dell'artista di enfatizzare gli elementi visivi in grado di attivare i circuiti sensorimotori dell'osservatore. In linea di massima, infatti, non solo le immagini appartenenti all'arte astratta, ma qualsiasi segno visivo che costituisca la conseguenza di un gesto motorio è in grado di innescare la rappresentazione di quel gesto a livello della corteccia sensorimotoria dell'osservatore. Questo genere di arte astratta si potrebbe caratterizzare però per una

particolare capacità, propria dell'artista, e non per forza di cose consapevole, di enfatizzare quegli elementi dinamici responsabili dell'attivazione della corteccia sensorimotoria dell'osservatore. In ultima analisi, la rappresentazione corticale degli atti motori che hanno prodotto elementi visivi, quali le pennellate, sarebbe particolarmente efficace quando si osserva un'opera d'arte e su di essa potrebbe fondarsi una particolare valenza estetica dell'opera.

Per verificare questa ipotesi abbiamo registrato il segnale elettroencefalografico durante l'osservazione passiva di immagini digitalizzate di tre diversi dipinti di Franz Kline (Paintings stimoli) e di tre immagini di controllo (Modified stimoli). Le immagini di controllo sono state costruite in modo da ridurre al minimo le componenti dinamiche delle tracce dell'artista, lasciando però inalterato il pattern grafico. Ai partecipanti non veniva assolutamente comunicata la rilevanza artistica degli stimoli Paintings: spiegando lo svolgimento del paradigma sperimentale, gli sperimentatori nominavano tutti gli stimoli semplicemente come immagini.

I risultati dell'analisi eseguita sull'ampiezza media mostrano chiaramente che, a livello della finestra temporale presa in esame, l'osservazione degli stimoli Paintings è accompagnata da un'attivazione corticale significativamente maggiore rispetto all'osservazione degli stimoli Modified. Questa differenza consiste in una deflessione negativa che si verifica tra i 260 e i 328 ms dopo la presentazione dello stimolo prevalentemente a livello delle derivazioni frontali e centrali dello scalpo. Un potenziale negativo analogo (sugli elettrodi centrali, presente intorno ai 200 ms dopo l'osservazione dello stimolo) è stato rilevato in un lavoro basato sull'analisi degli ERP che confrontava le condizioni di esecuzione e osservazione di movimenti non finalizzati delle dita (Babiloni et al., 2003). Tale potenziale negativo si presentava nella condizione di osservazione. Gli autori hanno ipotizzato che potesse corrispondere all'MRP (Motor Related Potential), un potenziale motorio di segno negativo, rintracciato nella condizione di esecuzione del movimento (Babiloni et al., 1999; Rossi et al., 2000). L'affinità di questi risultati con quelli emersi dal nostro studio costituisce un supporto all'idea che la differenza nell'ampiezza media rilevata a livello delle derivazioni frontali e centrali possa essere in parte ricondotta a una particolare attivazione motoria che si verifica durante l'osservazione degli stimoli Paintings. La maggior ampiezza del

potenziale negativo potrebbe dunque essere dovuta alla rappresentazione di quel gesto la cui conseguenza, la pennellata, è ciò che hanno osservato i partecipanti.

La maggior parte dei lavori ERP incentrati sullo studio delle funzioni della corteccia motoria utilizzano, come marker elettrofisiologico di attivazione motoria, un potenziale anticipatorio, definito LRP (lateralized readiness potential), che precede l'esecuzione del movimento (Masaki et al., 2004; Bender et al., 2006). La presenza di questa componente negativa è stata anche dimostrata durante l'osservazione di azioni finalizzate, come l'afferramento, tradizionalmente utilizzate per lo studio del meccanismo mirror (Kilner et al., 2004; Fontana et al., 2012; Goslin et al., 2012). Una condizione necessaria affinché si verifichi la presenza di tale potenziale durante l'osservazione motoria è che al partecipante venga dato un segnale che lo renda in grado di prevedere quando si sta per verificare l'azione osservata. Nello studio di Babiloni, infatti, che non prevedeva nessun segnale anticipatorio, tale potenziale non è stato rilevato, nonostante le condizioni di esecuzione e di osservazione fossero strettamente motorie.

Nel presente studio non solo non c'era alcun segnale anticipatorio ma non vi era nemmeno alcuna condizione esplicitamente motoria. Non è dunque possibile un confronto diretto di questo lavoro con quelli che hanno studiato l'attivazione del sistema motorio corticale attraverso l'analisi dell'LRP.

Un lavoro recente basato sull'analisi dei microstati (Ortigue et al 2010) prevedeva la presentazione di video in cui appariva una mano che eseguiva un'azione di afferramento con diverse modalità (afferramento di una tazza per bere o per trasportare) e in diversi contesti (contesto riferibile all'uso piuttosto che contesto riferibile al trasporto), elementi cioè che potevano suggerire una diversa intenzionalità dell'agente. All'interno del segnale elettroencefalografico è stato individuato uno specifico microstato, tra i 200 e i 300 ms dopo la presentazione dello stimolo, che veniva modulato dal tipo di afferramento, codificando dunque l'intenzione dell'azione. Tale finestra temporale è confrontabile con quella utilizzata per il nostro studio.

Nel presente lavoro l'ipotesi che la maggior ampiezza del potenziale durante l'osservazione degli stimoli Paintings sia ascrivibile a una maggiore attivazione sensorimotoria è stata poi confermata dalla localizzazione della sorgente eseguita in una finestra temporale – più ristretta – ma collocata all'interno della finestra temporale

utilizzata per l'analisi dell'ampiezza media. I risultati di questa analisi consistono in diverse aree di attivazione che abbiamo suddiviso in 4 gruppi sulla base delle proprietà funzionali di ciascuna area: attivazioni di natura visiva, attivazioni di natura sensorimotoria, attivazioni prefrontali e attivazioni orbitofrontali. Poiché la discussione delle attivazioni di natura visiva va al di là dello scopo di questo lavoro, esaminerò le possibili cause del coinvolgimento delle altre tre regioni corticali.

L'identificazione di un'attivazione sensorimotoria durante l'osservazione di tracce – lasciate dal movimento implicato nella produzione del dipinto astratto – offre un chiaro esempio della teoria della simulazione incarnata (Gallese 2003; Gallese and Sinigaglia 2011). Secondo tale teoria, l'attivazione della stessa area corticale durante l'esecuzione e l'osservazione delle medesime azioni, così come durante l'esperienza in prima e in terza persona di emozioni e sensazioni, è il substrato neurofisiologico fondamentale che consente una comprensione diretta e preriﬂessiva delle azioni, emozioni e sensazioni altrui. Questa teoria, estesa al caso particolare della fruizione dell'arte (Freedberg and Gallese 2007), postula lo stabilirsi di una relazione empatica tra l'osservatore e l'opera d'arte, basata sull'attivazione del meccanismo mirror e dei neuroni canonici.

Alcuni recenti studi di fMRI danno sostegno all'ipotesi di un ruolo cruciale della simulazione incarnata nella percezione dell'arte: due di questi usavano come stimoli sculture selezionate tra i capolavori dell'età classica e del rinascimento (Di Dio et al., 2007; Di Dio et al., 2011) e mostravano l'attivazione del lobulo parietale inferiore e della corteccia premotoria, aree appartenenti ai circuiti sensorimotori, e in cui si trovano anche i neuroni canonici e i neuroni mirror. Questi risultati sono stati attribuiti dagli autori alle proprietà dinamiche intrinseche e al senso dell'azione che le sculture evocano nell'osservatore. L'attivazione della corteccia sensorimotoria emersa nel nostro studio potrebbe corrispondere alla simulazione incarnata del gesto che esegue l'artista. In questo caso il meccanismo di simulazione sarebbe innescato dalle componenti dinamiche implicitamente contenute nelle tracce del gesto lasciate dall'artista sul dipinto. La rimozione di questi elementi (stimoli Modified) causa una significativa riduzione dell'attività sensorimotoria. Un recente studio comportamentale (Taylor et al., 2012), utilizzando un paradigma cognitivo, ha anch'esso messo in evidenza il verificarsi della simulazione incarnata durante l'osservazione di dipinti astratti. Gli autori dimostrano che i tempi di reazione diminuiscono significativamente quando il

movimento è compatibile con la direzione delle pennellate osservate, nonostante il dipinto sia irrilevante per il compito richiesto.

Nel loro studio di fMRI Kawabata e Zeki (2004), del resto, avevano già trovato l'attivazione delle aree motorie durante l'osservazione di dipinti a diverso contenuto: paesaggi, ritratti, nature morte e dipinti astratti. Questi autori tuttavia non si riferiscono alla simulazione incarnata nell'interpretazione dei loro risultati: essi suggeriscono che la percezione di stimoli visivi carichi di significato emotivo coinvolga il sistema motorio per la pianificazione di azioni volte a raggiungere stimoli positivi o a evitare stimoli negativi.

La prima dimostrazione elettroencefalografica di un coinvolgimento motorio durante la fruizione dell'arte astratta proviene da uno studio in cui la registrazione EEG era eseguita durante l'osservazione di quadri di Lucio Fontana, rappresentanti tagli nella tela (Umiltà et al., 2012). In questo caso gli autori hanno utilizzato come parametro di attivazione motoria la desincronizzazione della frequenza alfa sensorimotoria (nota anche come ritmo μ) durante la presentazione dello stimolo: questo parametro, definito ERD (event-related sensory-motor alpha desynchronization), è da tempo riconosciuto come un indice di attivazione della corteccia motoria (Cochin et al. 1998, Hari et al. 1998, per una review Pineda, 2005).

I nostri dati evidenziano che l'attivazione sensorimotoria è prevalentemente localizzata nell'emisfero destro. Gli studi precedenti che hanno mostrato un'attivazione sensorimotoria associata a un'esperienza estetica, non hanno riportato risultati coerenti rispetto alla lateralizzazione. I due studi di fMRI sopracitati (Kawabata and Zeki, 2004; Di Dio et al., 2007) riportano un'attivazione sensorimotoria prevalentemente a sinistra, mentre in un altro caso (Calvo Merino et al., 2008) è la corteccia sensorimotoria di destra a essere coinvolta.

Un recente studio neuropsicologico (Bromberger et al. 2011) ha dimostrato che lesioni a livello dell'emisfero destro hanno effetti sull'"Assessment of Art Attribute" (Chatterjee et al., 2010), uno strumento neuropsicologico che riguarda la valutazione delle opere d'arte secondo dodici attributi, sei di ordine formale-percettivo e sei di ordine concettuale-rappresentazionale, con lo scopo di suddividere e quantificare stile e contenuto di un'opera d'arte. Questi autori riferiscono che i pazienti con lesioni a livello delle aree di Brodmann 6 e 44 di destra sono caratterizzati, rispetto alla popolazione di controllo, da alterazioni nella valutazione della profondità (uno dei sei attributi formali-

percettivi), della vitalità e del livello di astrazione (due dei sei contenuti concettuali-rappresentazionali), un dato che mette in evidenza come le aree motorie di destra contribuiscano alla percezione delle opere d'arte e che è altamente coerente con i risultati del nostro studio.

Calvo Merino e colleghi (2010b) hanno ipotizzato che l'emisfero sinistro sia maggiormente coinvolto quando, durante l'acquisizione, viene richiesto un giudizio esplicito relativo all'opera osservata, mentre, se la valutazione viene fatta in una sessione successiva, ci sarebbe una prevalente attivazione delle aree di destra.

Un'altra possibilità è che la lateralizzazione emisferica dipenda da una prevalente codifica del "what" dell'azione piuttosto che del "why". La codifica del what attiverebbe le aree controlaterali alla mano dominante dell'osservatore, e dunque, in studi effettuati su destrimani, recluterebbe prevalentemente le aree motorie di sinistra. La codifica del why nell'uomo, invece, come evidenziato dallo studio di Iacoboni e colleghi (2005), attiva le aree premotorie di destra. Nel nostro caso, dunque, gli stimoli Paintings rispetto ai Modified, potrebbero avere una maggior efficacia nell'evocare l'intenzionalità che ha portato a quella traccia, più che l'atto motorio di per sé.

Un terzo circuito funzionale che è risultato essere parte della sorgente del nostro potenziale è quello costituito dalla corteccia orbitofrontale mediale e cingolata anteriore, corrispondenti alle aree di Brodmann 11 e 32. Tali aree corticali partecipano al processamento degli stimoli che rappresentano una ricompensa (Kringelbach 2005). L'attivazione di queste aree in risposta alla presentazione di opere d'arte sembra esser in linea con i risultati di altri studi riguardanti la percezione di opere d'arte (O'Doherty et al. 2003; Kawabata & Zeki, 2004; Vartanian & Goel, 2004; Di Dio et al., 2007; Lacey et al., 2011). L'interpretazione data da questi autori circa l'attività dei circuiti di reward riscontrata nei loro studi ha a che vedere con la valenza emotiva delle opere d'arte, le quali, che siano associate a emozioni positive o negative, hanno comunque in sé un valore di ricompensa. Un interessante studio (Brown et al., 2011) ha realizzato una metanalisi che includeva 93 pubblicazioni di neuroimaging riguardanti il processamento di stimoli a valenza estetica, appartenenti e non appartenenti all'arte, e veicolati da diverse modalità sensoriali. Brown e collaboratori hanno riscontrato che la corteccia orbitofrontale mediale (BA 11) e la corteccia cingolata anteriore (BA 32) sono aree sempre attive durante il processamento di stimoli a valenza estetica.

La quarta regione corticale identificata come parte integrante della sorgente del nostro potenziale è rappresentata dalle aree prefrontali dell'emisfero sinistro, BA 8, BA 9, BA 10. L'attività di queste aree è stata riscontrata in altri studi che hanno indagato le risposte corticali all'osservazione di opere d'arte (Cela-Conde et al., 2004; Jacobsen et al., 2006) e viene comunemente associata al compito di dover esprimere esplicitamente un giudizio estetico relativo agli stimoli osservati (Cela-Conde et al., 2011). Jacobsen e Höfel hanno studiato l'andamento temporale dei processi cognitivi implicati nell'apprezzamento estetico attraverso due studi di elettroencefalografia (Jacobsen and Höfel 2003; Höfel & Jacobsen 2007). Presentando una serie di composizioni geometriche astratte di diversa complessità e simmetria, e richiedendo sempre l'espressione esplicita di un giudizio estetico relativo alle immagini, gli autori hanno riscontrato un processamento secondo un modello in due stadi. Nel primo stadio che ha luogo all'incirca dopo 300 ms dalla presentazione delle immagini, si formerebbe una prima impressione relativa allo stimolo. Questo processo sarebbe associato alla comparsa di un'attività frontomediana anteriore corrispondente con tutta probabilità al processo valutativo che consente di avere un'immediata impressione di ciò che ci appare davanti. L'attività della regione prefrontale sinistra riscontrata nel nostro studio avviene proprio in questa finestra temporale dove, anche se non esplicitamente richiesto ai soggetti nel compito sperimentale, ci potrebbe essere un primo livello di giudizio estetico. Il secondo stadio di formazione del giudizio estetico dimostrato dagli studi di Höfel si verifica più tardivamente, dopo 600 msec circa dalla comparsa dello stimolo, e sembra essere maggiormente correlato con i processi valutativi di categorizzazione. Un altro studio (Lengger et al., 2007) ha inoltre dimostrato che l'osservazione di opere d'arte prive di informazioni stilistiche è associata a una maggiore attivazione a livello della regione prefrontale di sinistra (BA 8, BA6, BA 37 e BA 45) rispetto all'osservazione delle stesse opere corredate di un cartellino identificativo. Gli autori proponevano due possibili interpretazioni: da un lato, quando le informazioni stilistiche non erano disponibili, i partecipanti potevano aver avuto difficoltà nel classificare gli stimoli osservati cercando di recuperare concetti relativi alle immagini osservate a livello dei sistemi di memoria di cui la corteccia prefrontale fa parte; l'altra interpretazione era maggiormente orientata a un processamento verbale interno dello stimolo favorito dalla

manca di etichettatura verbale esterna, interpretazione che darebbe anche conto della lateralizzazione a sinistra.

Il nostro paradigma sperimentale durante la registrazione elettroencefalografica prevedeva l'osservazione passiva degli stimoli senza che ai partecipanti fosse richiesto di esprimere alcun giudizio relativo alle immagini osservate. La ragione di questa scelta era correlata con l'intento, alla base del nostro studio, di testare un'eventuale attivazione involontaria e spontanea del sistema motorio corticale in risposta alla presentazione di dipinti astratti. Nonostante non fosse parte del loro compito, dunque, i partecipanti formavano delle prime impressioni relative allo stimolo specialmente quando venivano presentati gli stimoli Paintings, probabilmente perché li riconoscevano automaticamente come appartenenti alla categoria delle opere d'arte.

Uno dei principali scopi del nostro studio era di individuare le regioni corticali attivate dalla percezione di opere appartenenti all'arte astratta. In particolare eravamo interessati a rilevare le aree corticali specificamente attivate dalla percezione di pennellate (viste come conseguenza di un atto motorio) rispetto all'osservazione di un identico pattern grafico privo di quelle componenti dinamiche, come la disomogeneità e il gradiente del tratto, che rendono una pennellata riconoscibile come tale, costituendone la sua specificità.

I risultati dell'analisi sui dati del paradigma comportamentale ci hanno mostrato che le componenti dinamiche proprie degli stimoli Paintings sono legate all'esperienza estetica dei partecipanti. Gli stimoli Paintings, infatti, ricevevano in media un punteggio relativo all'apprezzamento estetico significativamente maggiore rispetto agli stimoli Modified. Allo stesso tempo, alle immagini Paintings veniva assegnato un punteggio relativo alla quantità di movimento percepito significativamente maggiore rispetto alle immagini Modified, confermando così in maniera implicita l'efficacia del disegno sperimentale volto a privare gli stimoli di controllo (Modified) del dinamismo intrinseco negli stimoli Paintings. A nostro parere, dunque, le componenti dinamiche proprie di un dipinto, come le pennellate dei dipinti di Kline, sono responsabili dell'attivazione delle aree sensorimotorie riscontrata nella localizzazione della sorgente. Ipotizziamo inoltre, ma non è stato specificamente possibile verificarlo in questo studio per ragioni di risoluzione spaziale, che le aree motorie attive coincidano con quelle che si attivano

durante la rappresentazione del gesto che esegue l'artista per produrre quegli stessi segni percepiti dall'osservatore.

I limiti di questo lavoro sono di tre ordini. Per prima cosa l'interpretazione dei risultati non è univoca. Dal nostro punto di vista l'attivazione sensorimotoria della condizione Paintings è direttamente associata con la presenza delle componenti dinamiche in questa categoria di stimoli, mentre l'attivazione dei circuiti di reward e di categorizzazione dello stimolo sarebbero una conseguenza dell'identificazione dei dipinti come tali. In secondo luogo il nostro studio si è limitato a presentare i dipinti di un solo artista, cosa che certamente, non consente di trarre conclusioni definitive rispetto all'arte astratta in generale. Il disegno sperimentale è stato così pensato per costituire un solido punto di partenza per ulteriori studi che rappresentino diversi artisti e stili. Infine l'utilizzo di un ristretto numero di stimoli per ogni condizione potrebbe limitare ulteriormente la generalizzazione dei nostri risultati: nonostante tale scelta sia stata dettata dall'esigenza di diminuire il più possibile le variabili di ordine cognitivo, ci rendiamo conto che essa non consente un'estensione della lettura dei risultati.

CONCLUSIONI

Esperienza estetica e osservazione di opere d'arte sono circostanze che possono convergere, anche se non sempre questo avviene necessariamente. Come sottolinea la Dissanayake (2010) gli studi di neuroestetica eseguiti fino ad oggi, con qualche rara eccezione, si sono occupati prevalentemente di arte, probabilmente per ragioni di ordine culturale, che tendono a far attribuire all'arte, e in particolar modo all'arte occidentale, il vertice dell'esperienza estetica. Anche il lavoro descritto in questa tesi si è occupato del rapporto esistente tra arte ed esperienza estetica. Tuttavia non si è partiti con l'intento di ricercare nell'arte il correlato neurale dell'esperienza estetica, quanto, piuttosto, con l'idea di osservare se un'opera d'arte sia in grado di evocare un particolare processamento percettivo, in cui potrebbe risiedere parte della sua valenza estetica. Lo studio qui presentato aveva quindi l'obiettivo specifico di capire quali fossero i correlati neurali associati alla percezione di opere d'arte astratta dove trasparisse particolarmente l'intenzionalità dell'atto creativo dell'artista. A questo scopo, sono state scelte tre opere di Franz Kline in cui era decisamente evidente la traccia del gesto che aveva portato al suo compimento. La scelta di ridurre al minimo il numero di stimoli presentati, seppur discutibile, è stata dettata proprio dall'intento di focalizzarsi sul livello percettivo, riducendo il più possibile le variabili di ordine cognitivo che una grande varietà di stimoli avrebbero introdotto.

I nostri risultati mostrano che l'osservazione dei dipinti astratti di Franz Kline è accompagnata dall'attivazione delle aree motorie e premotorie, così come dall'attivazione delle aree associate alla ricompensa (orbitofrontale), e alla categorizzazione cognitiva dello stimolo. L'attivazione sensorimotoria evocata dall'osservazione di questi dipinti astratti è un'evidenza sperimentale fondamentale del diretto coinvolgimento del sistema motorio corticale nella loro percezione. Questi risultati supportano l'ipotesi che la simulazione incarnata del gesto dell'artista abbia un ruolo nella percezione di alcune opere d'arte. Le attivazioni orbitofrontali e prefrontali sinistre sarebbero invece correlate, a nostro parere, con le dimensioni emozionali e cognitive dell'esperienza estetica.

BIBLIOGRAFIA

- Alajouanine, T.(1948). Aphasia and artistic realization. *Brain*, 71: 229–241.
- Allen, G., (1880). Aesthetic evolution in man. *Mind*, 5: 445–464
- Augustin, M.D., Defranceschi B., Fuchs H.K., Carbon C.C., Hutzler F. (2011). The neural time course of art perception: an ERP study on the processing of style versus content in art. *Neuropsychologia*, 49: 2071-81.
- Augustine, J.R. (1996). Circuitry and functional aspect of the insular lobe in primates including humans. *Brain Research Reviews*, 22: 229–244.
- Babiloni, C., Carducci, F., Cincotti, F., Rossini, P.M., Neuper, C., Pfurtscheller, G., Babiloni, F. (1999). Human movement-related potentials vs desynchronization of EEG alpha rhythm: a high-resolution EEG study. *Neuroimage*, 10(6):658-65.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Babiloni, F., Carducci, .F, Cincotti, F., Moretti, D.V., Rossini, P.M. (2003). Transient human cortical responses during the observation of simple finger movements: a high-resolution EEG study. *Human Brain Mapping*, 20: 148-57.
- Bender, S., Becker, D., Oelkers-Ax, R., Weisbrod, M. (2006). Cortical motor areas are activated early in a characteristic sequence during post-movement processing. *Neuroimage*, 1:333-51.
- Berlyne, D.E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Berti, A., Rizzolatti, G. (1992). Visual processing without awareness: Evidence from unilateral neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4: 345–351.
- Berti, A., Frassinetti, F. (2000). When far becomes near: remapping of space by tool use. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3):415-20.
- Binkofski, F., Buccino, G., Stephan, K.M., Rizzolatti, G., Seitz, R.J., and Freund, H.J. (1999). A parieto-premotor network for object manipulation: evidence from neuroimaging. *Experimental Brain Research*, 128: 210–213.
- Brochier, T., Umiltà, M.A. (2007). Cortical control of grasp in non-human primates. *Current Opinion in Neurobiology*, 17:637-43.
- Bromberger, B., Sternschein, R., Widick, P., Smith, W. 2nd., and Chatterjee, A. (2011). The right hemisphere in esthetic perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5:109.
- Brown, S., & Dissanayake, E. (2009). The arts are more than aesthetics: Neuroaesthetics as narrow aesthetics. In M. Skov & O. Vartanian (Eds.), *Neuroaesthetics* (pp. 43–57). Amityville, NY: Baywood
- Brown, S., Gao, X., Tisdelle, L., Eickhoff, S.B. and Liotti, M. (2011). Naturalizing aesthetics: brain areas for aesthetic appraisal across sensory modalities. *Neuroimage*, 58:250-8.
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C.A., Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an FMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(1):114-26.
- Burke, E. (1757). *A philosophical enquiry into the origin of our ideas of the sublime and the beautiful*. London: Dodsley

- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P., Casile, A. (2009). Mirror neurons differentially encode the peripersonal and extrapersonal space of monkeys. *Science*, 17;324(5925):403-6.
- Calder, A.J., Keane, J., Manes, F., Antoun, N. & Young, A. W. (2000). Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature Neuroscience*, 3: 1077–1078.
- Calvo-Merino, B., Jola, C., Glaser, D.E., Haggard, P. (2008). Towards a sensorimotor aesthetics of performing art. *Conscious Cognition*, 17:911–922.
- Calvo-Merino, B., Ehrenberg, S., Leung, D., Haggard, P. (2010a). Experts see it all: configural effects in action observation. *Psychological Research*, 74:400-6.
- Calvo-Merino, B., Urgesi, C., Orgs, G., Aglioti, S.M., Haggard, P. (2010b). Extrastriate body area underlies aesthetic evaluation of body stimuli. *Exp Brain Research*, 204(3):447-56.
- Caminiti, R., Ferraina, S., Johnson, P.B. (1996). The sources of visual information to the primate frontal lobe: a novel role for the superior parietal lobule. *Cerebral Cortex*, 6(3):319-28.
- Cattaneo, L., Caruana, F., Jezzini, A., Rizzolatti G. (2009). Representation of goal and movements without overt motor behavior in the human motor cortex: a transcranial magnetic stimulation study. *Journal of Neuroscience*, 9;29(36):11134-8.
- Cavanagh, P. (2005). The artist as neuroscientist. *Nature*, 434: 301-307.
- Cela-Conde, C.J., Ayala, F.J., Munar, E., Maestú, F., Nadal, M., Capó, M.A., del Río, D., López-Ibor, J.J., Ortiz, T., Mirasso, C., Marty, G. (2009). Sex-related similarities and differences in the neural correlates of beauty. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 10;106(10):3847-52.
- Cela-Conde, C.J., Marty, G., Maestú, F., Ortiz, T., Munar, E., Fernández, A., Roca, M., Rosselló, J., Quesney, F., (2004). Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 20;101(16):6321-5.
- Cela-Conde, C.J., Agnati, L., Huston, J.P., Mora, F., Nadal, M. (2011). The neural foundations of aesthetic appreciation. *Progress in Neurobiology*, 94(1):39-48.
- Changeux J.P. (1994). Art and neuroscience. *Leonardo*, 27:189--201.
- Chatterjee, A., Widick, P., Sternschein, R., Smith, WBII, and Bromberger, B. (2010). The assessment of art attributes. *Emp. Stud. A*. 28:207-222.
- Clay, F. (1908). The origin of the aesthetic emotion. *Sammelbände der Internationalen Musikgesellschaft*, 9, 282–290.
- Cochin, S., Barthélémy, C., Lejeune, B., Roux, S., & Martineau, J. (1998). Perception of motion and qEEG activity in human adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 107: 287–295.
- Colby, C.L., Duhamel, J.R., Goldberg, M.E. (1993). Ventral intraparietal area of the macaque: anatomical location and visual response properties. *Journal of Neurophysiology*, 69:902–914
- Conway, B.R., Livingstone, M.S. (2007). Perspectives on science and art. *Curr Opin Neurobiol*. 17(4):476-82.
- Cowey, A., Small, M., Ellis, S. (1994). Left visuo-spatial neglect can be worse in far than near space. *Neuropsychologia*, 32: 1059-1066.

- Cowey, A., Small, M., Ellis, S. (1999). No abrupt change in visual hemineglect from near to far space. *Neuropsychologia*, 37: 1-6.
- Craig, A.D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current opinion in Neurobiology*, 13: 500–505.
- Critchley, H.D., Wiens, S., Rotshtein, P., Ohman, A., Dolan, R.J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 7: 189–195.
- Critchley, H.D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O’Doherty, J., Mathias, C.J., et al. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage*, 24: 751–762.
- Cupchik, G.C., Vartanian, O., Crawley, A., Mikulis, D.J. (2009). Viewing artworks: contributions of cognitive control and perceptual facilitation to aesthetic experience. *Brain Cognition*, 70(1):84-91.
- Darwin, C. (1874). *The descent of man, selection in relation to sex*. Amherst, NY: Prometheus Books.
- Damasio, A.R. (1999). How the brain creates the mind. *Scientific American*, 281(6):112-7.
- Dawkins, R. (1982). *The extended phenotype*. Oxford: Oxford University Press
- de Vignemont, F., and Singer, T. (2006). The Emphatic Brain: How, When, and Why? *Trends in Cognitive Sciences*, 10:435-441.
- Di Dio, C., Macaluso, E., Rizzolatti, G. (2007). The golden beauty: brain response to classical and renaissance sculptures. *PLoS One*. 21;2(11):e1201.
- Di Dio, C., & Gallese, V. (2009). Neuroesthetics: A Review. *Current Opinion in Neurobiology*, 19: 682-687.
- Di Dio, C., Canessa, N., Cappa, S.F., Rizzolatti, G. (2011). Specificity of esthetic experience for artworks: an FMRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5:139.
- Dierks, T., Jelic, V., Pascual-Marqui, R.D., Wahlund, L.O., Julin, P., Linden, D.E.J., Maurer, K., Winblad, B., Nordberg A. (2000). Spatial pattern of cerebral glucose metabolism (PET) correlates with localization of intracerebral EEG-generators in Alzheimer's disease. *Clinical Neurophysiology*, 111: 1817-1824.
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91:176-80.
- Dissanayake, E. (2008) The arts after darwin: does art have an origin and adaptive function? In Zijlmans, K.. & van Damme, W. (2008). *World Art Studies: Exploring Concepts and Approaches*, pp. 241-263. Amsterdam: Valiz.
- Dupont, S., Boullieret, V., Hasboun, D., Semah, F., Baulac, M. (2003). Functional anatomy of the insula: new insights from imaging. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 25:113–119.
- Fechner, G.T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Härtel.
- Ferrari, P.F., Visalberghi, E., Paukner, A., Fogassi, L., Ruggiero, A., Suomi, S.J. (2006). Neonatal imitation in rhesus macaques. *PLoS Biology*, 4(9):e302
- Foerster, O. (1936). *Motorische Felder und Bahnen. Sensible corticale Felder*. In: O. Bumke and O. Foerster (Eds.), *Handbuch der Neurologie*. Vol. 6.6. Springer, Berlin, pp.1-448.

- Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Luppino, G., Matelli, M., Rizzolatti, G. (1996). Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of Neurophysiology*, 76:141–157.
- Fogassi, L., Gallese, V., Buccino, G., Craighero, L., Fadiga, L., Rizzolatti, G. (2001). Cortical mechanism for the visual guidance of hand grasping movements in the monkey: A reversible inactivation study. *Brain*, 124:571-86.
- Fogassi, L., Ferrari, P.F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 29:662-7.
- Fontana, A.P., Kilner, J.M., Rodrigues, E.C., Joffily, M., Nighoghossian, N., Vargas, C.D., Sirigu, A. (2012). Role of the parietal cortex in predicting incoming actions. *Neuroimage* 59:556-64.
- Freedberg, D. (1989). *The Power of Images. Studies in the History and Theory of Response*. Chicago University Press.
- Freedberg, D., Gallese, V. (2007). Motion, emotion and empathy in esthetic experience. *Trends in Cognitive Science*, 11(5):197-203.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119:593-609.
- Gallese, V. (2001). The 'shared manifold' hypothesis: from mirror neurons to empathy. *Journal of Consciousness Studies*, 8: 33–50.
- Gallese, V. (2003). The manifold nature of interpersonal relations: the quest for a common mechanism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 29;358(1431):517-28.
- Gallese V. (2005). Embodied simulation: from neurons to phenomenal experience. *Phenomenol. Cogn. Sci.* 4, 23–48
- Gallese, V. (2007). The "conscious" dorsal stream: Embodied simulation and its role in space and action conscious awareness. *Psyche*, 13: 39, 47
- Gallese V. (2010). Corpo e azione nell'esperienza estetica. Una prospettiva neuroscientifica. Post-fazione in: Ugo Morelli. *Mente e bellezza. Arte, creatività e innovazione*. Umberto Allemandi Editore, Torino 2010
- Gallese, V., Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in Cognitive Science*, 15:512-9.
- Gallese, V., Gernsbacher, M.A., Heyes, C., Hickock, G., and Iacoboni, M. (2011). Mirror neuron Forum. *Perspectives on Psychological Science*, 6: 369-347.
- Gallese, V., Di Dio, C. (2012). "Neuroesthetics. The body in aesthetic experience". In Ramachandran V, ed. *Encyclopedia of Human Behavior*. 2nd Edition. SaN Diego (CA): Academic Press.
- Galletti, C., Fattori, P., Battaglini, P.P., Shipp, S., Zeki S. (1996). Functional demarcation of a border between areas V6 and V6A in the superior parietal gyrus of the macaque monkey. *European Journal of Neuroscience*, 8(1):30-52.
- Gazzola, V., van der Worp, H., Mulder, T., Wicker, B., Rizzolatti, G., Keysers, C. (2007). Aphasics born without hands mirror the goal of hand actions with their feet. *Current Biology*, 17;17(14):1235-40.

- Gazzola, V., Keysers, C. (2009). The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cerebral Cortex*, 19(6):1239-55.
- Gentilucci, M., Fogassi, L., Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R., Rizzolatti, G. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: I. Somatotopy and the control of proximal movements. *Experimental Brain Research*, 7:475–490.
- Goldman, A. (1989). Interpretation psychologized. *Mind and Language*, 4: 161–185.
- Goldman, A., Gallese, V. (2000). Reply to Schulkin. *Trends in Cognitive Science*, 4(7):255-256.
- Gombrich, E. H. (1957). *Art and illusion. A study in the psychology of pictorial representation*. New York: Pantheon.
- Gombrich, E. H. (2000). Concerning ‘The Science of Art’’. *Journal of Consciousness Studies* 7, 8/9: 17.
- Goodale, M.A., Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, 15(1):20-5.
- Goodale, M.A. (2005). Action insight: the role of the dorsal stream in the perception of grasping. *Neuron*. 4;47(3):328-9.
- Gordon, R. (1986). Folk psychology as simulation. *Mind and Language*, 1: 158–171.
- Goslin, J., Dixon, T., Fischer, M.H., Cangelosi, A., Ellis, R. (2012). Electrophysiological examination of embodiment in vision. *Psychological Science*, 23(2):152-7.
- Gourevitch, M. (1967). An aphasiac who expresses himself through drawing. *Encephale*. 56(1):52-68.
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., and Passingham, R.E. (2003). Objects automatically potentiate action: an fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, 17: 2735-2740.
- Halligan, P.W., Marshall, J.C. (1991). Spatial compression in visual neglect: a case study. *Cortex*, 27(4):623-9.
- Hämäläinen, M.S (1992). *Brain Magnetoencephalography: a tool for functional brain imaging*. Topography Winter, 5(2):95-102.
- Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 8;95(25):15061-5.
- Hekkert, P. & van Wieringen, P. C. W. (1990). Complexity and prototypicality as determinants of the appraisal of cubist paintings. *British Journal of Psychology*, 81: 483–495.
- Hinde R., Perret-Clermont A.N., Stevenson-Hinde J. (1985). *Social relationships and cognitive development*. Oxford University Press.
- Höfel, L., Jacobsen, T. (2007). Electrophysiological indices of processing aesthetics: Spontaneous or intentional processes? *International Journal of Psychophysiology*, 65(1):20-31.
- Hurley, S. L. (1998). *Consciousness in action*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
- Hutchison, W. D., Davis, K. D., Lozano, A. M., Taskev, R. R. & Dostrovsky, J. O. (1999). Pain related neurons in the human cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, 2: 403–405.

- Hyman, J. (2010). Art and Neuroscience. In *Beyond Mimeses and Convention. Representations in Art and Science*. Boston Studies in the Philosophy of Science, edited by R. Frigg and M. C. Hunter, 245–61. Dordrecht: Springer. Irvin, Sherri.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J.C., Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, 3(3):e79.
- Jabbi, M., Bastiaansen, J., Keysers, C. (2008). A common anterior insula representation of disgust observation, experience and imagination shows divergent functional connectivity pathways. *PLoS One* 13, 3(8):e2939.
- Jacobsen, T., Höfel, L. (2002). Aesthetic judgments of novel graphic patterns: analyses of individual judgments. *Perceptual and Motor Skills*, 95(3 Pt 1):755-66.
- Jacobsen, T., Höfel L. (2003). Descriptive and evaluative judgment processes: behavioral and electrophysiological indices of processing symmetry and aesthetics. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3:289-299.
- Jacobsen, T., Schubotz, R.I., Höfel, L., Cramon, D.Y. (2006). Brain correlates of aesthetic judgment of beauty. *Neuroimage*, 1;29(1):276-85.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17:187–245.
- Jurcak, V., Tsuzuki, D., Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: their validity as relative head-surface-based positioning systems. *Neuroimage*, 15:1600-11.
- Kant, I. (1790). *Critique of judgment*. London: Macmillan and Co..
- Kawabata, H., & Zeki, S. (2004). Neural Correlates of Beauty. *Journal of Neurophysiology* 91: 1699–1705.
- Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J.L., Fogassi, L., Gallese, V. (2004). A touching sight: SII/PV activation during the observation and experience of touch. *Neuron*, 22;42(2):335-46.
- Kilner, J.M., Vargas, C., Duval, S., Blakemore, S.J., Sirigu, A. (2004). Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nature Neuroscience*, 7:1299-301.
- Kirk, U., Skov, M., Christensen, M.S., Nygaard N. (2009). Brain correlates of aesthetic expertise: a parametric fMRI study. *Brain Cognition*, 69: 306-15.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science* 2, 297(5582):846-8.
- Kringelbach, M.L. (2005). The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nature Reviews in Neuroscience*, 6:691-702.
- Lacey, S., Hagtvedt, H., Patrick, V.M., Anderson, A., Stilla, R., Deshpande, G., Hu, X., Sato, J.R., Reddy, S., Sathian, K. (2011). Art for reward's sake: Visual art recruits the ventral striatum. *Neuroimage*, 55:420-433.
- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*, 95:489-508.
- Lengger, P.G., Fischmeister, F.P., Leder, H., and Bauer, H. (2007). Functional neuroanatomy of the perception of modern art: A DC-EEG study on the influence of stylistic information on aesthetic experience. *Brain Research*, 1158: 93-102.

- Liu, A., Miller, B.L. (2008). Visual art and the brain. *Handbook of Clinical Neurology*, 88:471-88.
- Livingstone, M.S. and Hubel, D.H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7: 3416-3468.
- Locher, P.J. (2003). An empirical investigation of the visual rightness theory of picture perception. *Acta Psychol (Amst)*, 114: 147-64.
- Longcamp, M., Anton, J.-L., Roth, M., & Velay, J.-L. (2003). Visual presentation of single letters activates a premotor area involved in writing. *NeuroImage*, 19:1492-1500.
- Longcamp, M., Tanskanen, T., & Hari, R. (2006). The imprint of action: Motor cortex involvement in visual perception of handwritten letters. *Neuroimage*, 33:681-688.
- Longcamp, M., Hlushchuk, Y., Hari, R. (2011). What differs in visual recognition of handwritten vs. printed letters? An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 32: 1250-9.
- Luck, S. (2005). *An Introduction To The Event-Related Potential Technique*. Paperback.
- Luria, A. R., Tsvetkova, L. S., & Futer, D. S. (1965). Aphasia in a composer (V. G. Shebalin). *Journal of the Neurological Sciences*, 2: 288–292.
- Marshall W.H. and Talbot S. A. (1942). Recent evidence for neural mechanism in vision leading to a general theory of sensory acuity. In H. Kluver (ed.), *Visual Mechanism*. Lancaster, Pa.: Cattell, pp 117-164
- Marshall, J.C., Halligan, P.W. (1988). Blindsight and insight in visuo-spatial neglect. *Nature* 22-29;336(6201):766-7.
- Martindale, C. (2007). Recent Trends in the Psychological Study of Aesthetics, Creativity, and the Arts. *Empirical Studies of the Arts* 25(2):121 - 141
- Masaki, H., Wild-Wall, N., Sangals, J., Sommer, W. (2004). The functional locus of the lateralized readiness potential. *Psychophysiology*, 41:220-30.
- Meltzoff, A.N. & Moore, M.K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science* 198: 75–78.
- Merlau Ponty (1945), *Phenomenologie de la perception*. Gallimard, Paris.
- Mesulam, M.M., Mufson, E.J. (1982). Insula of the Old World monkey (III): Efferent cortical output and comments on function. *Journal of Comparative Neurology*. 212: 38–52.
- Mesulam, M.M., Mufson, E.J. (1985). The insula of Reil in man and monkey. *Cerebral cortex*, 4: 179–226
- Miall, D. S. (1977). Aesthetic unity and the role of the brain. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 35: 57–67.
- Milner, D., Goodale, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford University Press, Oxford
- Moore, A. (2002). The biochemistry of beauty. The science and pseudo-science of beautiful skin. *EMBO Rep*. 3(8):714-7.
- Mulert, C., Jäger, L., Schmitt, R., Bussfeld, P., Pogarell, O., Möller, H.J., Juckel, G., Hegerla, U. (2004). Integration of fMRI and simultaneous EEG: towards a comprehensive understanding of localization and time-course of brain activity in target detection. *NeuroImage*, 22: 83-94.

- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., and Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78: 2226-2230.
- Nadal, M., Pearce, M.T. (2011). The Copenhagen Neuroaesthetics Conference: prospects and pitfalls for an emerging field. *Brain Cognition*, 76(1):172-83.
- O'Doherty, J., Winston, J., Critchley, H., Perrett, D., Burt, D.M., Dolan, R.J. (2003). Beauty in a smile: the role of medial orbitofrontal cortex in facial attractiveness. *Neuropsychologia*, 41:147-55.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97-113.
- Oostenveld, R., Praamstra, P. (2001). The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clinical Neurophysiology*, 112:713-719.
- Ortigue, S., Sinigaglia, C., Rizzolatti, G., Grafton, S.T. (2010). Understanding actions of others: the electrodynamics of the left and right hemispheres. A high-density EEG neuroimaging study. *PLoS One* 5:e12160.
- Pascual-Marqui, R.D. (2002). Standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (sLORETA): Technical Details, Methods Findings. *Expert review of Clinical Pharmacology*, 24: 5-12.
- Perrett, D.I., Harries, M.H., Bevan, R., Thomas, S., Benson, P.J., Mistlin, A.J., Chitty, A.J., Hietanen, J.K., Ortega, J.E. (1989). Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and actions. *Journal of Experimental Biology*, 46:87-113.
- Pineda, J.A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” an “hearing” into “doing”. *Brain Research Reviews*, 50:57-68.
- Pizzagalli, D.A., Oakes, T.R., Fox, A.S., Chung, M.K., Larson, C.L., Abercrombie, H.C., Schaefer, S.M., Benca, R.M., Davidson, R.J. (2004). Functional but not structural subgenual prefrontal cortex abnormalities in melancholia. *Molecular Psychiatry*, 9: 393-405.
- Price, U. (1810). *Essays on the picturesque, as compared with the sublime and the beautiful; and, on the use of studying pictures, for the purpose of improving real landscape* (Vol. 1). London: J. Mawaman.
- Proust, M. (1954). *Alla ricerca del tempo perduto*. Torino, Einaudi, 1991.
- Proverbio, A.M., Riva, F., Zani, A. (2009). Observation of static pictures of dynamic actions enhances the activity of movement-related brain areas. *PLoS One* 4, 5389.
- Ramachandran, V. S., Hirstein, W. (1999). The science of art: a neurological. Theory of aesthetic experience. *Journal of Consciousness Studies*, 6: 15–51.
- Raos, V., Umiltá, M.A., Murata, A., Fogassi, L., and Gallese, V. (2006). Functional properties of grasping-related neurons in the ventral premotor area F5 of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, 95:709-29.
- Rizzolatti, G., Matelli, M., Pavesi, G. (1983). Deficits in attention and movement following the removal of postarcuate (area 6) and prearcuate (area 8) cortex in macaque monkeys. *Brain*, 106 (Pt 3):655-73.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., Matelli, M., (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental Brain Research* 71(3):491-507.

- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3: 131-4.
- Rizzolatti, G., Luppino, G., Matelli, M. (1998). The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalography of Clinical Neurophysiology*, 106(4):283-96
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion of Neurobiology*, 12(2):149-54.
- Rizzolatti, G., Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Experimental Brain Research*, 153(2):146-57.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2010). The Functional Role of the Parieto-Frontal Mirror Circuit: Interpretations and Misinterpretations. *Nature Review of Neuroscience*, 11:264-74.
- Rochat, M.J., Caruana, F., Jezzini, A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Gallese, V., Rizzolatti, G., Umiltà, M.A. (2010). Responses of mirror neurons in area F5 to hand and tool grasping observation. *Experimental Brain Research*, 204(4):605-16.
- Rosch, E. (1975). "Universal and Cultural Specifics in Human Categorization" in *Cross-Cultural Perspectives on Learning*. R.W. Brishin, S. Bochner, and W.J. Lonner, eds. New York: Halsted Press
- Rossi, S., Pasqualetti, P., Rossini, P.M., Feige, B., Ulivelli, M., Glocker, F.X., Battistini, N., Lucking, C.H., Kristeva-Feige, R. (2000). Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on movement-related cortical activity in humans. *Cerebral Cortex*, 10:802-808.
- Rozzi, S., Calzavara, R., Belmalih, A., Borra, E., Gregoriou, G.G., Matelli, M., Luppino, G. (2006). Cortical connections of the inferior parietal cortical convexity of the macaque monkey. *Cerebral Cortex*, 16(10):1389-417.
- Shelton, P.A., Bowers, D., Heilman, K.M. (1990). Peripersonal and vertical neglect. *Brain*, 113 (Pt 1):191-205.
- Snyder, A.W., Mulcahy, E., Taylor, J.L., Mitchell, D.J., Sachdev, P., Gandevia, S.C. (2003). Savant-like skills exposed in normal people by suppressing the left fronto-temporal lobe. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2: 149-58
- Snyder, A.W. & Thomas, M. (1997). Autistic artists give clues to cognition. *Perception*, 26: 93-96.
- Stern, D. N. (1985). *The interpersonal world of the infant*. London: Karnac Books.
- Talairach, J., Tournoux, P. (1988). *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. New York: Thieme Medical Publishers.
- Taylor, J.E., Witt, J.K., Grimaldi, P.J. (2012). Uncovering the connection between artist and audience: Viewing painted brushstrokes evokes corresponding action representations in the observer. *Cognition*, 125:26-36.
- Umiltà, M.A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., Rizzolatti, G. (2001). I know what you are doing. a neurophysiological study. *Neuron*, 19;31(1):155-65.
- Umiltà, M.A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, A., Gallese V., Rizzolatti G. (2008). When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America*, 12:105(6):2209-13.

- Umiltà, M.A., Berchio, C., Sestito, M., Freedberg, D., Gallese, V. (2012). Abstract art and cortical motor activation: an EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6:311.
- Ungerleider, L.G., Mishkin, M. (1982). Two visual systems. In: Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW (eds) *Analysis of visual behavior*. MIT Press, Cambridge, MA, pp 549–586.
- Vartanian, O., Goel, V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *Neuroreport*, 9;15(5):893-7.
- Vogt, S., Magnussen, S. (2007). Expertise in pictorial perception: eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen. *Perception*, 36:91-100.
- Volpe, U., Mucci, A., Bucci, P., Merlotti, E., Galderisi, S. and Maj, M. (2007). The cortical generators of P3a and P3b: A LORETA study. *Brain Research Bulletin*, 73:220-230.
- Von Helmholtz, H. (1867). *Manuale di Fisiologia Ottica*.
- Vitacco, D., Brandeis, D., Pascual-Marqui, R., Martin, E. (2002). Correspondence of event-related potential tomography and functional magnetic resonance imaging during language processing. *Human Brain Mapping*, 17: 4-12.
- Wicke, B., Keysers C., Plailly, J., Royet, J.P., Gallese, V., Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron* 40: 655–664
- Winston, A.S. & Cupchik, G.C. (1992). The evaluation of high art and popular art by naive and experienced viewers. *Visual Arts Research*, 18:1–14.
- Webb, D. (1769). *Observations on the correspondence between poetry and music*. Dublin: J. Williams.
- Yao, D., Wang, L., Arendt-Nielsen, L., Chen, A.C. (2007). The effect of reference choices on the spatio-temporal analysis of brain evoked potentials: the use of infinite reference. *Computers Biology and Medicine* 37:1529-38.
- Zaidel, D.W. (2005). *Neuropsychology of art: Neurological, cognitive, and evolutionary perspectives*. Hove, England: Psychology Press.
- Zaimov, K. Kitov, D., Kolev, N. (1969). Aphasia in a painter. Essay on the analysis of certain elements of the work of the Bulgarian painter Z.B., before and after hemiplegic aphasia. Several comparisons with the Vierge case. *Encephale*, 58:277-417.
- Zeki, S.M. (1976). The functional organization of projections from striate to prestriate visual cortex in the rhesus monkey. *Cold Spring Harbor Symposia Quantitative Biology*, 40:591-600.
- Zeki, S. (1983). Colour coding in the cerebral cortex: the responses of wavelength-selective and colour-coded cells in monkey visual cortex to changes in wavelength composition. *Neuroscience*, 9:767-81.
- Zeki, S., Lamb, M. (1994). The neurology of kinetic art. *Brain*, 117 (Pt 3):607-36.
- Zeki, S. (1999). Art and the Brain. *Journal of Consciousness Studies* 6:76–96.
- Zumsteg, D., Wennberg, R.A., Treyer, V., Buck, A., Wieser, H.G. (2005). H2(15)O or 13NH3 PET and Electromagnetic Tomography (LORETA) During Partial Status Epilepticus. *Neurology*, 65:1657-1660.
- Zumsteg, D., Lozano, A.M., Wennberg, R.A. (2006). Depth Electrode Recorded Cerebral Responses with Deep Brain Stimulation of the Anterior Thalamus for Epilepsy. *Clinical Neurophysiology*, 117:1602-1609.