

Cinzia Di Dio Emiliano Macaluso Giacomo Rizzolatti

La bellezza aurea. Risposta cerebrale alle sculture classiche e rinascimentali*

1. *Introduzione*

Una delle questioni più dibattute in estetica è se la bellezza possa essere definita da parametri oggettivi o se dipenda interamente da fattori soggettivi. La prima prospettiva richiama la visione “oggettivista” di Platone sulla percezione estetica, secondo cui la bellezza risiede nella pro-

prietà di un oggetto che produce un’esperienza piacevole in ogni osservatore in grado di apprezzarla. Quest’argomento potrebbe essere parafrasato in termini biologici affermando che gli esseri umani sono dotati di meccanismi specifici della propria specie che risuonano in risposta a certi parametri presenti nelle opere d’arte. L’argomento alternativo è che la valutazione artistica è

interamente soggettiva, e determinata dall'esperienza e da valori personali.¹

Nonostante sia comunemente riconosciuta l'idea che criteri soggettivi giochino un ruolo importante nelle esperienze estetiche di ciascuno,² è anche ragionevole riconoscere l'idea che esistano dei principi specifici con base biologica che possono facilitare la percezione del bello. In fondo, i nuovi artisti imparano a rappresentare prima i principi canonici del bello, quali la simmetria e la proporzione, e solo dopo a modificare eventualmente queste regole per rappresentare la loro visione globale del mondo.³

In questo studio, abbiamo analizzato l'effetto estetico dei parametri oggettivi nelle opere d'arte, studiando le attivazioni del cervello (fMRI) in osservatori naïf (non esperti in critica d'arte) che hanno osservato alcune immagini di sculture scelte tra capolavori dell'arte classica e rinascimentale, comunemente riconosciuti nella cultura occidentale come una rappresentazione normativa della bel-

lezza. Una caratteristica che ha delineato questo studio, distinguendolo da altri che pure avevano tentato di chiarire i correlati neurali della percezione estetica,⁴ è stato l'uso di due gruppi di stimoli, identici sotto ogni aspetto tranne uno: la proporzione. Più specificatamente, un parametro che sembra rappresentare la bellezza ideale, ossia la proporzione aurea (1:0.618),⁵ è stato modificato per creare un valore estetico degradato degli stessi stimoli in modo controllato (fig. 1). La manipolazione degli stimoli è stata molto contenuta e in nessun caso le sculture modificate sono state giudicate come rappresentazioni deformate del corpo umano (come accertato durante la valutazione post-scanning). Un'altra caratteristica di questo studio è che gli stimoli sono stati presentati in condizioni sperimentali diverse, con diverse istruzioni date ai partecipanti. Nella prima condizione – osservazione (O) – i volontari dovevano osservare le sculture come se fossero in un museo, senza alcuna richiesta esplicita di giudizio delle im-

magini. Dicendo loro semplicemente “buona visione” prima di mostrare loro l’immagine, e non richiedendo che i partecipanti svolgessero alcun compito esplicito, miravamo a evocare una risposta cerebrale alle opere d’arte quanto più spontanea e scevra da fattori spuri. Nella seconda condizione – giudizio estetico (AJ) – e nella terza condizione – giudizio di proporzione (PJ) – i volontari dovevano giudicare gli stimoli rispettivamente sulla base di criteri estetici e di proporzione. In entrambe le condizioni, quindi, i partecipanti erano coinvolti in una valutazione esplicita degli stimoli. Mentre la condizione di giudizio estetico ci ha permesso di determinare le attivazioni cerebrali in risposta alla valutazione soggettiva degli stimoli di ciascun volontario, la condizione di giudizio di proporzione è stata introdotta per osservare le attivazioni del cervello durante un compito di valutazione esplicita della proporzione. Per esaminare entrambi i valori estetici, “oggettivi” e “soggettivi”, sono stati condotti due tipi di

analisi. Nella prima, mirata a stabilire le risposte neurali ai parametri oggettivi di bellezza, abbiamo messo a confronto le attivazioni cerebrali durante la presentazione di sculture canoniche con le loro controparti modificate. La ragione sottostante questo confronto è che le proporzioni canoniche intrinseche alle opere originali dovrebbero stimolare una maggiore attività in aree che mediano il piacere e, in particolare, l’insula, la regione corticale che notoriamente è coinvolta nelle *sensazioni* emozionali.⁶ Inoltre, ci aspettavamo che questo aumento di segnale fosse maggiore durante la sessione di osservazione, quando la risposta cerebrale alle opere non era influenzata da richieste cognitive associate, ad esempio, da compiti di valutazione esplicita.

Il secondo tipo di analisi, invece, era mirato a valutare le risposte cerebrali relative all’apprezzamento soggettivo esplicito, espresso da ciascun volontario, confrontando le attivazioni cerebrali ottenute durante la presentazione de-

gli stimoli giudicati esteticamente piacevoli e quella degli stimoli giudicati esteticamente non piacevoli. In quest'analisi, ci aspettavamo che le immagini ritenute belle avrebbero prodotto, nelle aree coinvolte nella valutazione soggettiva degli stimoli, un'attivazione maggiore rispetto a quelle ritenute brutte. In questo caso, tuttavia, non abbiamo avanzato alcuna previsione specifica a causa delle divergenze di evidenze esistenti in questo ambito.

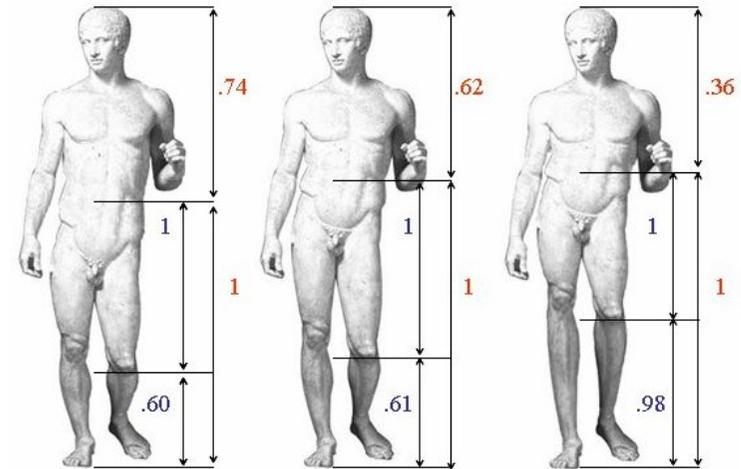


Fig. 1 - Esempio di stimoli canonici e modificati. L'immagine originale (Doryphoros by Polykleitos) è mostrata al centro della figura. Questa scultura obbedisce alla proporzione canonica (proporzione aurea = 1:1.618). Due versioni modificate della stessa scultura sono presentate alla sua sinistra e destra. L'immagine di sinistra è stata modificata creando una relazione gambe corte: tronco lungo (relazione = 1 : 0.74); la figura sulla destra creando la relazione opposta (relazione = 1 : 0.36). Tutte le immagini sono state usate nel test comportamentale. L'immagine centrale (giudicata bella nel 100% dei casi) e quella di sinistra (giudicata brutta nel 64% dei casi) sono state utilizzate nello studio fMRI.

2. Materiali e metodi

2.1 Partecipanti

Hanno preso parte allo studio quattordici volontari sani destrimani (8 maschi, 6 femmine; età media 24.5, in un range di 12 anni). I volontari possedevano almeno un diploma di scuola media superiore e nessuno aveva esperienza nella teoria dell'arte. Dopo aver ricevuto una spiegazione della procedura sperimentale, i partecipanti hanno dato il loro consenso informato a partecipare. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico indipendente della Fondazione Santa Lucia (Istituto Scientifico per Ospedalizzazione di Ricerca e Sanità).

2.2 Stimoli

Secondo un metodo specifico, sono state selezionate 15 immagini bidimensionali di sculture classiche e rinascimentali.⁷ Tutte le immagini originali rispondevano al cri-

terio di proporzione canonica definito dalla relazione 1:1.618 tra parti del corpo; tra le 15 immagini modificate, 7 presentavano una modifica “tronco lungo-gambe corte” (raggio = 1:1.47 - 1:1.59), mentre le rimanenti 8 immagini presentavano il pattern opposto di modifica (raggio = 1:1.64 - 1:1.82). 22 sculture rappresentavano corpi maschili e 10 rappresentavano corpi femminili.

2.3 Paradigma

Gli stimoli sono stati proposti in tre condizioni sperimentali: osservazione (O), giudizio estetico (AJ), e giudizio di proporzione (PJ). Ciascun partecipante è stato sottoposto a 6 cicli fMRI, ripetendo ciascuna condizione due volte. L'ordine di presentazione delle condizioni era fisso per tutti i partecipanti: prima l'osservazione, poi il giudizio estetico, ed infine il giudizio di proporzione. Lo scopo di mantenere come prima la condizione di osservazione era di misurare la risposta cerebrale spontanea al tipo di sti-

molo presentato. (canonico e modificato). Per essere certi che i volontari non fossero influenzati nel loro giudizio estetico dalla valutazione esplicita delle proporzioni, la condizione di giudizio estetico ha sempre preceduto quella di proporzione.

All'interno di ciascun ciclo fMRI, abbiamo proposto 30 stimoli (15 canonici e 15 modificati) in ordine casuale, senza mai ripetere la stessa immagine nello stesso ciclo. Un punto interrogativo sollecitava i partecipanti a rispondere alle immagini dopo 4s di intervallo fisso che seguiva la presentazione di ciascuna immagine. La risposta veniva data attraverso una pulsantiera posizionata all'interno dello scanner.

2.4 *Compito*

I partecipanti erano sdraiati all'interno dello scanner in un ambiente lievemente illuminato. Gli stimoli erano presentati su uno sfondo nero ed erano mostrati su uno

schermo visibile attraverso uno specchietto montato sulla parte inferiore della bobina. All'inizio di ciascun ciclo, un'istruzione di 5s informava il volontario della condizione che stava per sopraggiungere. In ciascun trial, un punto di fissazione al centro dello schermo per 500 ms anticipava l'arrivo dello stimolo, il quale appariva al centro dello schermo per 2s.⁸ Lo stimolo era seguito da un intervallo di 4s, dopo di che veniva presentato un punto interrogativo (400ms) che sollecitava il partecipante a rispondere allo stimolo (vedi sotto). Il punto interrogativo era seguito da un intervallo variabile di durata compresa tra i 2 e 5s, con distribuzione uniforme.

Durante la condizione di osservazione (O), i volontari dovevano osservare le immagini come se fossero in un museo e, quando appariva il punto interrogativo, dovevano indicare se avessero prestato attenzione o meno alle immagini. Durante le condizioni di giudizio estetico e di proporzione, i volontari dovevano decidere, rispettiva-

mente, se l'immagine fosse più o meno esteticamente piacevole (AJ) o se la trovassero proporzionata (PJ). Tutte e tre le condizioni richiedevano quindi una risposta motoria (premere un pulsante). Usando il dito indice o medio della mano destra, i partecipanti rispondevano sì o no, in base alle istruzioni presentate all'inizio di ciascun ciclo. Nello specifico, prima della condizione di osservazione, i partecipanti rispondevano "sì" per indicare che avevano prestato attenzione alle immagini, oppure "no" per indicare che non avevano prestato attenzione alle immagini. La domanda "hai prestato attenzione?" è stata introdotta per assicurarci che i partecipanti effettivamente guardassero gli stimoli durante la scansione e per equiparare la risposta motoria che sarebbe stata richiesta nei compiti di giudizio a seguito della valutazione esplicita (AJ e PJ). Durante la condizione AJ, i partecipanti dovevano scegliere "sì" se avevano apprezzato esteticamente le immagini, oppure "no" nel caso contrario. In fine, la condizione PJ

richiedeva ai partecipanti di indicare esplicitamente se avessero trovato l'immagine proporzionata (sì) oppure non proporzionata (no)

I volontari sono stati sottoposti a 6 cicli di scansione consecutivi, ciascuno della durata di 5,6 min. Ogni ciclo fMRI consisteva di 30 trials, all'interno dei quali ogni scultura era presentata una sola volta.

2.5 Acquisizione delle immagini

Le immagini funzionali sono state acquisite con uno scanner MRI Magnetom Vision (Siemens, Erlangen, Germania) operante a 3 Tesla. I contrasti dipendenti dal livello di ossigenazione del sangue (BOLD) sono stati ottenuti usando immagini echo-planari T2* (EPI). L'acquisizione di 32 fette trasversali con un tempo effettivo di ripetizione di 2,08 s ha consentito la copertura di tutta la corteccia cerebrale. La risoluzione in-plane era 3 x 3 mm.

2.6 *Analisi dei dati*

Sono state condotte due diverse tipologie di analisi fMRI. La prima, basata sullo stimolo bellezza “oggettiva”, ha considerato solo il tipo di immagine: con proporzioni canoniche (C) o modificate (M). La seconda, incentrata sullo stimolo bellezza “soggettiva”, ha invece categorizzato ciascuna immagine di scultura secondo le risposte comportamentali registrate durante le condizioni di giudizio estetico (AJ). Per quest’analisi, abbiamo incluso solo le immagini che sono state giudicate consistentemente belle (B) o brutte (U) in entrambe le sessioni che richiedevano il giudizio estetico esplicito.

I dati fMRI sono stati processati con SPM2.⁹ I primi quattro volumi di ciascuna sessione di scanning sono stati scartati per consentire la stabilizzazione della magnetizzazione longitudinale. Per ciascun volontario, i restanti 162 volumi sono stati riallineati al primo volume e il tempo di acquisizione è stato corretto usando la fetta centrale

come riferimento.¹⁰ Per permettere l’analisi inter-soggetto le immagini sono state normalizzate allo spazio standard Montreal Neurological Institute (MNI),¹¹ usando la media delle 162 immagini funzionali. Tutte le immagini sono state smussate usando un kernel gaussiano isotropico (10 mm).

L’inferenza statistica si è basata su un approccio di effetti casuali.¹² Questo processo ha richiesto due passaggi. Innanzi tutto, per ciascun soggetto i dati sono stati fittati (quadrato minimo) a ogni voxel usando una combinazione lineare degli effetti di interesse. Gli effetti di interesse erano il tempo di fissazione, il tempo di presentazione delle sculture (C & M; o B & U), e i tempi di presentazione del punto interrogativo che anticipava le risposte esplicite. Tutti i tipi di evento sono stati convoluti con le risposte emodinamiche standard di SPM2 (HRF). I contrasti lineari sono stati usati per determinare gli effetti comuni (C+M vs. baseline) e gli effetti differenziali associati con la

presentazione delle sculture (C-M e M-C; o B-U e U-B), separatamente per ciascuna delle tre condizioni (O, AJ e PJ). Per ogni volontario, questa procedura ha condotto alla creazione di sei immagini di contrasto, ossia di tre contrasti “C+M vs. baseline” e tre contrasti “C-M vs. baseline” – uno per ciascuna condizione.

Queste immagini di contrasto sono state successivamente analizzate in un secondo passaggio, che ha compreso tre ANOVA¹³ separate. Una ha considerato il pattern generale di attivazioni “C+M vs. baseline”, modellato per ciascuna condizione; una ha considerato la “bellezza oggettiva” (C vs. M), modellato per ciascuna condizione; e una che ha considerato la bellezza “soggettiva” (B vs. U), modellato per ciascuna condizione.¹⁴ Infine, per ognuna delle tre ANOVA, sono state usate delle combinazioni lineari per confrontare questi effetti, usando questa volta una varianza tra soggetti. Abbiamo utilizzato una correzione per l’assunzione della non-sfericità che tenesse conto di pos-

sibili differenze nel termine di errore relativo alle misure ripetute.¹⁵

Sono stati analizzati i seguenti contrasti: primo, tra gli effetti comuni, ANOVA (C+M vs. baseline) facendo la media tra le tre condizioni sperimentali (O, AJ, PJ). Per questo, le mappe di SPM sono state corrette a un $P = 0,05$ (a livello di voxel). Le altre due ANOVA hanno valutato gli effetti specifici di ciascun tipo di stimolo (“oggettivo”: C-M, M-C; o “soggettivo”: B-U, U-B). Abbiamo stimato gli effetti principali degli stimoli tra le tre condizioni sperimentali (O, AJ, PJ); e per le interazioni tra stimolo e condizione. Altri contrasti hanno esplorato gli effetti semplici separatamente per le diverse condizioni (per es. B-U, durante AJ). Per tutti questi effetti specifici, abbiamo usato un P -corretto = 0,05 a livello di cluster (dimensione del cluster stimata con un livello di voxel P -non corretto = 0.001, estensione di soglia = 10 voxels).

Inoltre, poiché la nostra ipotesi a priori considerava il possibile coinvolgimento dell'insula nell'apprezzamento estetico, abbiamo usato una correzione di volume¹⁶ per valutare l'effetto della bellezza "oggettiva" (C-M; entro e tra condizioni O, AJ, e PJ) specificatamente in quella regione. Abbiamo ottenuto il volume di indagine da Mario Livio,¹⁷ centrando una sfera alle coordinate MNI $x, y, z = 30, 18, 18$, con un raggio di 10mm.

3. Risultati e discussione

3.1 Dati comportamentali fMRI

La valutazione degli stimoli da parte dei volontari, espressa nella condizione di giudizio estetico, ha mostrato che le immagini canoniche sono state, per gran parte, valutate positivamente (76%, $sd = 0.18$), mentre le immagini modificate sono state generalmente valutate negativamente (63%, $sd = 0.25$). Questi dati sono in accordo con quelli ottenuti da un test preliminare, condotto per la selezione degli stimoli da utilizzare nello studio di fMRI. I risultati di tale test avevano già mostrato la rilevanza della proporzione nella valutazione estetica (perlomeno in questo contesto sperimentale) e che il 77% della varianza totale nel giudizio estetico (grandezza dell'effetto, $Età^2$ parziale)¹⁸ era dovuto alla violazione delle proporzioni canoniche.

3. 2 *Gli effetti generali nell'osservazione delle sculture*

L'analisi MRI è stata in primo luogo condotta valutando l'effetto generale dell'osservazione delle sculture confrontando le immagini canoniche (C) con quelle modificate (M) (insieme, C+M) verso il baseline, mediando le attivazioni registrate durante le tre le condizioni sperimentali (O, AJ, PJ; P -corretto <0.05).

Come mostrato nella Fig. 2, sono state trovate delle attivazioni nelle aree visive occipitali e temporali, inclusi i giri fusiforme e linguale. Inoltre, sono state osservate delle attivazioni nel lobulo parietale inferiore (IPL) bilateralmente, nel complesso SMA/pre-SMA, nella premotoria ventrale e nella porzione posteriore del giro frontale inferiore (IFG). Un aumento di segnale è stato inoltre osservato nell'insula e nell'ippocampo. La maggior parte delle attivazioni erano bilaterali, anche se più marcate nell'emisfero destro. Questi risultati sono riassunti nella Tabella 1.

Tra le attivazioni visive, oltre alla corteccia visiva primaria, è stato osservato un aumento di segnale nel complesso occipitale laterale (LOC) e nel lobo temporale inferiore (aree sensibili alla forma), così come nel complesso MT/MST (aree mediotemporali). Quest'ultimo risultato, nonostante possa sembrare sorprendente, considerando che il complesso MT/MST è coinvolto nell'analisi del movimento,¹⁹ è tuttavia coerente con dati precedenti che mostrano che l'attivazione di queste aree può essere provocata da immagini statiche che implicano movimento.²⁰ Interessante è anche l'attivazione del lobulo parietale inferiore (IPL) e soprattutto della corteccia premotoria. Queste aree sono note per divenire attive durante l'osservazione delle azioni compiute da altri.²¹ È probabile che la loro attivazione sia dipesa dalle proprietà dinamiche intrinseche delle sculture utilizzate in questo studio e dal senso di azione che hanno evocato nell'osservatore.²²

3.3 *Sculture canoniche vs. Sculture modificate: bellezza "oggettiva"*

La comparazione diretta delle immagini canoniche con quelle modificate tra le tre condizioni sperimentali ha rivelato un aumento di segnale per gli stimoli canonici: nella corteccia occipitale destra, esteso a includere il giro linguale; nel precuneo bilaterale; nel giro cingolato posteriore; e nella profondità del solco frontale inferiore destro, esteso alla convessità adiacente del giro frontale medio (P -corretto < 0.05 ; Figura 3a; vedi anche Tabella 2a). Il complesso occipitale laterale (LOC)²³ e le aree visive temporali sono note per rispondere alla presentazione di parti del corpo o anche all'intero corpo umano.²⁴

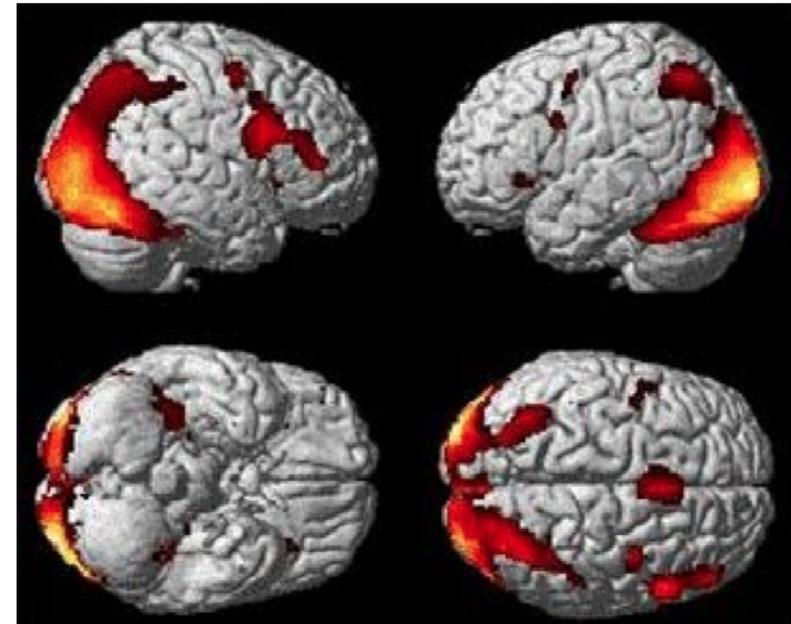


Fig. 2 - Attivazioni cerebrali delle sculture canoniche e modificate vs. rest. L'analisi è stata condotta facendo la media tra le tre condizioni sperimentali (osservazione, giudizio estetico, giudizio di proporzione). Le mappe statistiche sono rese su un modello del cervello MNI (P -corretto < 0.05).

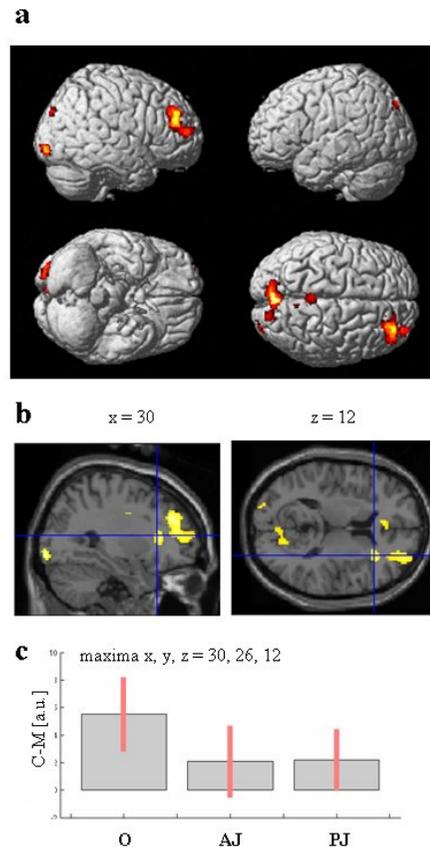
L'aumento di segnale all'interno di queste aree può dunque essere dovuto a una maggiore rappresentazione della struttura dei corpi canonici relativamente a quelli non proporzionati. L'attivazione delle aree parietali mediali e del lobo prefrontale, d'altra parte, potrebbe essere legata a funzioni mnemoniche,²⁵ possibilmente provocata dal recupero di configurazioni motorie plausibili, meglio rappresentate dal materiale proporzionato.

L'ipotesi centrale sulla quale si basa il presente studio è che il confronto degli stimoli canonici vs. stimoli modificati produrrebbe un aumento di segnale a livello insulare. Di conseguenza, abbiamo applicato una correzione volumetrica (volume di interesse) all'interno dell'analisi dell'effetto principale (C-M) usando le coordinate anatomiche riportate nello studio di A. Damasio, T.J. Grabowski *et alii*²⁶ sulla sensazione emozionale.²⁷ I risultati hanno rivelato un incremento significativo di segnale nel settore anteriore della corteccia insulare destra, esteso

alla regione opercolare (maxima x, y, z = 30, 26, 12; fig. 3b, $P < 0.05$, corretto per volume di interesse).

Questo effetto era particolarmente forte durante la condizione di osservazione ($P < 0.02$, corretto per tutto il volume cerebrale, Tabella 2b; $P = 0.005$, corretto per volume di interesse), ossia nella condizione nella quale i volontari erano in un contesto meramente osservativo (come se fossero in un museo; vedi fig. 3c). L'aumento di segnale nelle condizioni AJ e PJ, d'altro canto, era virtualmente lo stesso.

L'interpretazione più plausibile per questi risultati sta nel diverso carico cognitivo richiesto tra la prima condizione (O) e le altre due (AJ, PJ). In queste ultime, infatti, la richiesta esplicita di giudicare gli stimoli ha diretto le risorse attenzionali dei volontari verso un carico cognitivo di valutazione di alto ordine diminuendo in questo modo la risposta neurale naturale dell'insula.



a. Effetto principale delle sculture canoniche vs. quelle modificate tra le condizioni reso su un modello cerebrale MNI.

b. Visione parasagittale e coronale che mostra le attivazioni della regione insulare destra nell'effetto principale.

c. Profilo dell'attività dell'insula destra. Per ciascuna condizione (O, AJ, PJ) il grafico del segnale mostra la differenza tra le sculture canoniche (C) meno quelle modificate (M) in unità arbitrarie (a.u.), +/- 10% intervalli di confidenza (P -corretto < 0.05).

Fig. 3 - Attivazioni cerebrali nel confronto canonico vs. modificato.

Questi dati sono in apparente contrasto con alcuni risultati precedenti, dove la simmetria era stata impiegata come parametro oggettivo di valutazione estetica.²⁸ In quello studio, in realtà gli autori trovavano un'attivazione significativa nell'insula anteriore nel confronto tra il giudizio estetico e la condizione di controllo, così come tra la condizione di giudizio di simmetria e la condizione di controllo. Tuttavia, gli autori hanno ritenuto che le aree attivate in modo simile da entrambi i compiti di giudizio estetico e di simmetria non fossero puramente aree di valutazione estetica. Conseguentemente, hanno escluso queste aree comuni dall'analisi che ha confrontato direttamente le attivazioni cerebrali tra gli stimoli giudicati belli e quelli giudicati brutti. Tuttavia, in questo modo gli autori hanno anche omesso l'attivazione insulare che era stata provocata dai parametri oggettivi (simmetria) intrinseci agli stimoli e coinvolti nella mediazione del senso estetico.

Ci si chiede ora quali meccanismi durante l'osservazione delle sculture canoniche possano essere responsabili dell'attivazione insulare. Da un punto di vista citoarchitettonico, il settore anteriore dell'insula è formato da un'organizzazione granulare/disgranulare ed è caratterizzato da connessioni estese con strutture limbiche e con centri coinvolti nelle funzioni autonome.²⁹ Dal punto di vista funzionale, si pensa che l'insula anteriore medi le sensazioni associate con specifici stati emozionali.³⁰ Ora, considerando il pattern di attività descritta nell'effetto principale (C+M vs. baseline), ci sono due possibilità concorrenti che potrebbero spiegare l'attivazione insulare. Una è che nel complesso laterale occipitale (LOC) e nella corteccia parietale vi siano neuroni *specificamente* sensibili alle immagini di corpi canonici e che abbiano un accesso privilegiato all'insula. In alternativa, si potrebbe semplicemente supporre che le sculture canoniche de-

terminino un'attivazione più forte dei neuroni corticali che inviano il loro output all'insula.

Un'altra spiegazione possibile, basata sia sull'effetto principale che su quello semplice dell'analisi che ha raffrontato direttamente gli stimoli canonici e quelli modificati (C-M), è che l'insula sia stata attivata non tanto dagli aspetti visivi più semplici degli stimoli (ad es. la forma o la dinamicità intrinseca), quanto da informazioni di alto ordine elaborate dalle aree prefrontali BA45 e BA46. Alcuni studi sui primati³¹ hanno mostrato che l'area 45 integra informazioni sulla forma dell'oggetto, senza le informazioni relative all'azione. Mentre l'area 45 sinistra nell'uomo svolge funzioni legate al linguaggio, è plausibile supporre che l'area 45 di destra, attivata selettivamente nel nostro esperimento, possa essere coinvolta anche nell'integrazione delle informazioni sulla forma con quelle motorie sull'azione.

Sotto questa luce, gli stimoli canonici potrebbero essere stati codificati in quest'area in modo più efficiente rispetto a quelli modificati, determinando quindi un'attivazione più forte dell'insula. In questo contesto, anche il ruolo funzionale dell'area prefrontale BA46 potrebbe essere importante nel confrontare le informazioni della memoria (ad es., la configurazione canonica di un corpo) con informazioni online degli stimoli osservati durante l'esperimento.

Per riassumere, noi proponiamo che la sensazione emozionale positiva evocata nell'osservatore delle immagini canoniche sia stata determinata da una codifica preferenziale di queste immagini, e per quanto riguarda quelle modificate, da varie aree corticali e dall'attivazione *congiunta* dell'insula anteriore.

3.4. *Sculture giudicate esteticamente piacevoli vs. Sculture giudicate esteticamente non piacevoli: bellezza soggettiva*

All'interno di quest'ulteriore analisi, abbiamo esplorato i substrati neuronali associati all'apprezzamento soggettivo delle sculture espresso da ciascun partecipante durante la condizione di giudizio estetico (AJ, 2 cicli). I dati comportamentali hanno mostrato che il 49% e il 38% degli stimoli è stato giudicato in modo coerente, rispettivamente, esteticamente piacevole (B) ed esteticamente non piacevole (U) in entrambi i cicli della condizione AJ, mentre il 13% è stato considerato in modo incoerente. Solo gli stimoli giudicati in modo coerente sono stati inclusi in quest'analisi.

Le immagini giudicate esteticamente piacevoli hanno attivato selettivamente l'amigdala di destra. Questo effetto è stato osservato per la condizione di giudizio estetico, co-

me dimostrato dall'interazione stimolo x condizione (maxima: $x, y, z = 32, 2, -28$; $P\text{-corretto} < 0.03$; Figg. 4 a-b). L'amigdala è una struttura nucleare complessa. È interconnessa con diversi centri cerebrali corticali e sottocorticali e serve una varietà di ruoli funzionali. Tuttavia, una sua funzione fondamentale è quella di attribuire a stimoli neutri un valore emozionale positivo o negativo attraverso l'apprendimento associativo.³²

Per molto tempo, i vari studi sull'amigdala si sono concentrati sul condizionamento negativo degli stimoli. Tuttavia, ricerche più recenti suggeriscono che essa abbia un ruolo anche nella codifica delle emozioni positive, sia negli animali³³ sia nell'uomo.³⁴ Questa proprietà porrebbe l'amigdala come candidato principale per la conservazione di memorie emozionali implicite che possono conseguentemente essere recuperate e usate. Da questa prospettiva, gli stimoli giudicati esteticamente piacevoli potrebbero essere stati giudicati tali, non sulla base dei loro

parametri oggettivi, ma perché sono stati associati a memorie caricate di un valore emozionale positivo. L'individualità delle memorie di ciascuno di noi potrebbe quindi, in parte, spiegare la varianza rilevata nel giudizio soggettivo ascritto alle immagini osservate.

Infine, abbiamo confrontato gli stimoli giudicati esteticamente non piacevoli (U) con quelli giudicati esteticamente piacevoli (B). Come mostrato nella fig. 4c, l'unica area attivata è la regione a cavallo del solco centrale (cortecce somatomotorie; $P\text{-corretto} < 0.05$; vedi anche Tabella 3a). La fig. 4d mostra la variazione di segnale in questa regione, rivelando un effetto particolarmente forte di U rispetto a B durante la condizione di giudizio estetico esplicito. Questa selettività è stata confermata dall'interazione significativa stimolo x condizione, come mostrato nella Tabella 3.

Questi dati sono in accordo con risultati precedenti ottenuti da Kawabata e Zeki, che hanno mostrato che la valu-

tazione estetica negativa data a diverse categorie di dipinti (panorami, pitture astratte, ritratti, ecc.) ha determinato l'attivazione della regione somatomotoria.³⁵ Vi è inoltre evidenza da altri studi che gli stimoli emozionali negativi possono determinare l'attivazione unilaterale o bilaterale di questa regione.³⁶

L'attivazione della regione somatomotoria durante il compito di giudizio estetico sembrerebbe alquanto sorprendente data l'assenza di movimento effettivo. Tuttavia, quest'attivazione potrebbe trovare una spiegazione se si considerasse il pattern di attivazioni (*deattivazioni*) della corteccia orbitofrontale riportate in Kawabata e Zeki³⁷ e trovate anche in questo lavoro in una analisi post hoc.³⁸ Seppure negli ultimi anni si sia dedicata molta attenzione al ruolo della corteccia orbitofrontale in relazione ai processi di gratificazione,³⁹ ci sono delle evidenze riportate da studi sulle lesioni cerebrali che mostrano che danni alla corteccia orbitofrontale causano l'insorgere di una

serie di comportamenti, dall'irascibilità estrema al carattere aggressivo, dal comportamento antisociale all'euforia, l'iperattività locomotoria e la disinibizione sessuale.⁴⁰ Se si ammettesse che la diminuzione di attivazione nella corteccia orbito frontale determina effetti simili, seppure a livello diverso, a quelli di una lesione, si potrebbe considerare l'attivazione motoria in risposta agli stimoli con valore negativo come una sorta di liberazione sottosoglia del comportamento motorio appropriato.

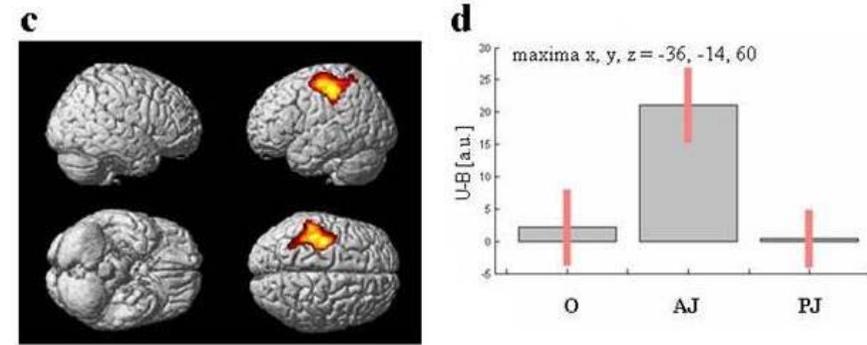
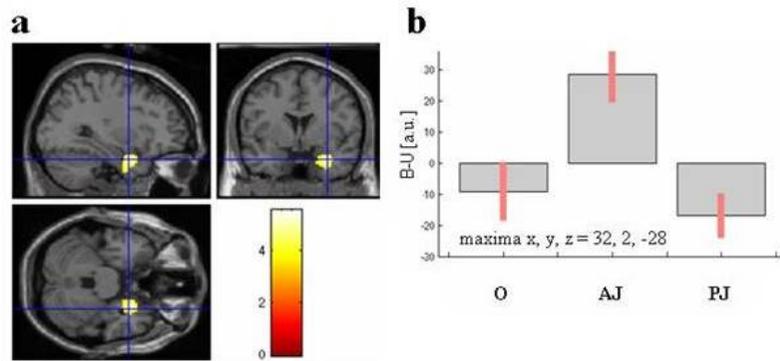


Fig. 4 – Attivazioni cerebrali nel confronto tra stimoli giudicati cevoli.

a. Sezioni parasagittale, coronale e transassiale che mostrano l'attivazione dell'amigdala destra nell'interazione stimolo (estetica-mente piacevole vs. esteticamente non piacevole) x condizione (os-servazione; giudizio estetico; giudizio di proporzione).

b. Profilo di attività dell'amigdala destra. Per ciascuna condizione (O=osservazione, AJ=giudizio estetico, PJ=giudizio di proporzione) il grafico del segnale mostra la differenza tra le sculture giudicate este-ticamente piacevoli vs. esteticamente non piacevoli in unità arbitrarie (a.u), +/- 10% intervalli di confidenza.

“eticamente piacevoli” vs. stimoli giudicati “eticamente non pia-

c. Mappe statistiche parametriche rese su un modello cerebrale MNI che mostra l'attività nella corteccia somatomotoria sinistra nel con-fronto tra gli stimoli giudicati esteticamente NON piacevoli vs. esteti-camente piacevoli mediata tra le tre condizioni.

d. Profilo dell'attività (eticamente non piacevole vs. esteticamente piacevole) della corteccia motoria sinistra. Per ciascuna condizione (O, AJ, PJ) il grafico del segnale mostra la differenza tra le sculture giudicate non piacevoli (U) e quelle giudicate esteticamente piacevoli (B) in unità arbitrarie (a.u), +/- 10% intervalli di confidenza (P -corretto < 0.05).

Considerazioni finali

La domanda principale che ci siamo posti in questo studio è se esiste una bellezza oggettiva, ossia se i parametri oggettivi intrinseci alle opere d'arte sono in grado di evocare un pattern neurale specifico che determina nell'osservatore il senso della bellezza. A questa domanda i nostri risultati hanno dato una risposta positiva. La presenza di un parametro specifico (la proporzione aurea) negli stimoli che abbiamo presentato ha determinato delle attivazioni cerebrali diverse da quelle evocate dagli stimoli in cui questo parametro era stato violato. La chiave del cambiamento tra la percezione di una scultura da "brutta" a "bella" sembra essere l'attivazione *congiunta* di popolazioni di neuroni corticali che rispondono alle proprietà fisiche degli stimoli e di neuroni situati nell'insula anteriore. L'insula media le sensazioni emozionali. Sarebbe tuttavia riduttivo pensare che il senso di bellezza sia

dovuto alla sola attivazione di questa struttura. L'insula viene anche attivata dagli stimoli non artistici; tuttavia, la sensazione che questi stimoli producono nell'osservatore differisce qualitativamente da quella evocata dalle opere d'arte. La nostra idea è che questa specifica qualità – il senso del bello nell'arte – derivi dall'attivazione congiunta di popolazioni neuronali corticali che rispondono a caratteristiche specifiche presenti nelle opere d'arte e di neuroni situati in centri di controllo emozionale.

Si dice spesso che la bellezza determinata in modo oggettivo non esiste perché vi sono profonde differenze di natura soggettiva nella valutazione di ciò che è considerato bello oppure no. Sebbene non si possa negare che il senso del bello sia mediato anche da elementi individuali, è anche poco plausibile sostenere che la bellezza non abbia un substrato biologico e che sia soltanto un concetto determinato dalle convenzioni e dall'esperienza. Come scrisse Gombrich,⁴¹ gli elementi di un'immagine che determina-

no l'esperienza estetica sono "insiti nel nostro patrimonio biologico", anche se non siamo in grado di dare loro una spiegazione conscia.⁴²

A sostegno di questa tesi, sono rilevanti anche i risultati del nostro esperimento che concernono ciò che abbiamo definito bellezza *soggettiva*. Nella condizione in cui era richiesto ai volontari di indicare esplicitamente quali sculture piacessero loro, abbiamo osservato un forte incremento dell'attività dell'amigdala, una struttura che risponde alle informazioni cariche di contenuto emozionale. Quindi, anziché permettere al loro sistema nervoso di "risuonare" in risposta agli stimoli osservati (condizione di osservazione), quando i volontari giudicavano gli stimoli secondo criteri idiosincratici personali (condizione di giudizio estetico esplicito) è stata attivata quella struttura, l'amigdala, che segnala quali stimoli hanno prodotto esperienze piacevoli nel passato.

In conclusione, sia i fattori oggettivi sia quelli soggettivi intervengono nel determinare l'apprezzamento di un'opera d'arte. La storia dell'arte è permeata dalla tensione continua tra i valori oggettivi e i giudizi soggettivi. Questa tensione è più profonda quando gli artisti scoprono nuovi parametri estetici che possono attrarre per varie ragioni, siano esse legate al nostro patrimonio biologico o più semplicemente alla moda e alla novità. Tuttavia, la domanda principale rimane: una volta passata la moda e il senso di novità, potranno mai le opere di questi artisti entrare in modo permanente nel patrimonio del genere umano senza la risonanza indotta dalla presenza di un qualche parametro biologico in grado di evocarla?

TABELLA 1. Attività cerebrale che riflette gli effetti comuni delle Immagini Canoniche e Modificate vs. baseline tra le condizioni (osservazione; giudizio estetico; giudizio di proporzione).

BRAIN STRUCTURE	SPHERE	MAXIMA x y z	Z	p. corr (vx)
Occipital Lobe				
Inferior occipital gyrus (LO)	L	-45 -84 -6	Inf	0.000
	R	38 -88 -10	Inf	0.000
Middle occipital gyrus	L	-32 -96 -6	Inf	0.000
	R	28 -92 0	Inf	0.000
	R	30 -92 -2	Inf	0.000
Parietal Lobe				
Supramarginal gyrus	R	64 -20 38	5.08	0.006
Frontal Lobe				
Middle frontal gyrus	R	38 0 54	5.49	0.001
	R	38 -2 54	4.89	0.015
	R	38 0 52	4.65	0.041
Inferior frontal gyrus	R	50 14 24	7.32	0.000
	R	52 14 24	5.36	0.002
	R	45 40 8	5.33	0.002
	R	50 34 18	5.25	0.003
	R	48 35 14	5.24	0.003

BRAIN STRUCTURE	SPHERE	MAXIMA x y z	Z	p. corr (vx)
Precentral gyrus	R	50 10 12	6.21	0.005
	R	54 8 42	4.84	0.019
Precentral gyrus	L	-56 2 42	4.58	0.036
	L	-50 8 30	4.62	0.047
	L	-52 6 26	4.56	0.05
Supplementary motor area	-	0 10 52	6.36	0.000
Supplementary motor area	R	4 16 48	5.16	0.005
	R	2 16 50	6.01	0.000
	R	14 8 58	5.21	0.004
Subcortical/insula				
Ippocampus	R	24 -32 -6	5.49	0.001
	R	22 -32 -6	5.35	0.002
Ippocampus	L	-22 -32 -6	6.14	0.000
			4.92	0.013
Insula	R	36 20 -6	5.05	0.008
Insula	L	-34 24 -4	5.58	0.001
Cerebellum				
Cerebellum 4-5	R	32 -34 -28	4.81	0.021

TABELLA 2. Attività cerebrale che riflette l'effetto principale (a) e l'effetto semplice (b) delle Immagini canoniche vs. Immagini Modificate

BRAIN STRUCTURE	SPHERE	MAXIMA x y z	Z	p. corr cluster level
a Main Effect (C-M)				
Medial parietal lobe/Precuneus	R	12, -52, 46	3.79	0.04
	L	-2, -42, 58	3.21	
Posterior cingulum	R	8, -52, 30	3.33	
Inferior occipital gyrus	R	30, -94, -8	3.75	0.0001
Lingual gyrus	R	16, -66, -6	3.56	
Cuneus	L	-4, -78, 30	3.55	
Inferior frontal gyrus	R	44, 42, 20	3.65	0.03
Middle frontal gyrus	R	30, 40, 30	3.65	
b Simple Effect Observation (C-M)				
Anterior insula/frontal operculum	R	36, 22, 16	3.86	0.016
Middle frontal gyrus	R	38, 36, 20	3.62	
Superior frontal gyrus	R	18, 44, 26	3.31	

TABELLA 3. Attività cerebrale che riflette l'effetto principale (a) e l'interazione (b) delle immagini giudicate "esteticamente piacevoli" vs. immagini giudicate "esteticamente non piacevoli"

BRAIN STRUCTURE	SPHERE	MAXIMA x y z	Z	p. corr cluster level
a. Main Effect				
Precentral gyrus	L	-36, -14, 60	4.68	0.0001
Postcentral gyrus	L	-38, -28, 52	4.34	
b Interaction (Stimulus by Condition)				
Precentral gyrus	L	-36, -12, 58	4.35	0.003
Postcentral gyrus	L	-40, -34, 56	3.88	
Inferior parietal lobule	L	-50, -26, 40	3.82	
	L	-52, -32, 52	3.34	

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano G. Berlucchi, V. Gallese e D. Freedberg per i commenti sul manoscritto, G. Buccino per il supporto metodologico, K.D. Albano per l'aiuto che mi ha dato nella elaborazione degli stimoli, S. Gazzitano per l'assistenza nell'acquisizione delle immagini MRI.

* Il testo originale, *The Golden Beauty. Brain Response to Classical and Renaissance Sculptures*, è apparso per la prima volta in "PLoS ONE", 2, 11, 2007.

NOTE

¹ W. Tatarkiewicz, *History of Aesthetics*, Mouton, The Hague 1970 [trad. it. *Storia dell'estetica*, 3 voll., Einaudi, Torino 1980] e R. Reber, N. Schwarz, P. Winkielman, *Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience?*, "Personality and Social Psychology Review", n. 8, November 2004, pp. 364-382.

²C.W. Valentine, *The experimental psychology of beauty*, Methuen, London 1962.

³D. Bayles, T. Orland, *Art and Fear. Observations on the perils (and rewards) of artmaking*, Image Continuum Press Edition, Santa Cruz 2001.

⁴C.J. Cela-Conde, G. Marty, F. Maestú, T. Ortiz, E. Munar *et alii*, *Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception*, "Psychology", n. 101, April 2004, pp. 6321-6325; H. Kawabata, S. Zeki, *Neural Correlates of Beauty*, "Journal of Neurophysiology", n. 91, April 2004, pp. 1699-1705; O. Vartanian, V. Goel, *Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings*, "Neuroreport", n. 15, April 2004, pp. 893-897; T. Jacobsen, R.I. Schubots,

L. Hovel, D.V. v. Cramon, *Brain Correlates of aesthetic judgment of beauty*, "NeuroImage", n. 29, January 2006, pp. 276-285.

⁵ Vedi anche: H.E. Huntley, *The divine proportion. A study in mathematical beauty*, Dover Publications, New York 1970 e M. Livio, *The Golden Ratio. The story of Phi, the extraordinary number of nature, art and beauty*, Headline Book Publishing, London 2002.

⁶A. Damasio, *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt Brace, New York 1999; A. Damasio, T.J. Grabowski, A. Bechara, H. Damasio, L.L. Ponto *et alii.*, *Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions*, "Nature Neuroscience", n. 3, October 2000, pp. 1049–1056; A.D. Craig, *Interoception: the sense of the physiological condition of the body*, "Current opinion in Neurobiology", n. 13, August 2003, pp. 500-505; H.D. Critchley, S. Wiens, P. Rotshtein, A. Ohman, R.J. Dolan, *Neural systems supporting interoceptive awareness*, "Nature Neuroscience", n. 7, February 2004, pp. 189-195; H.D. Critchley, P. Rotshtein, Y. Nagai, J. O'Doherty, C.J. Mathias, et al., *Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions*, "NeuroImage", n. 24, February 2005, pp. 751-762.

⁷ Vedi "Supporting Information" nel testo originale di questo lavoro:

<<http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0001201>>.

⁸Vedi anche: C.J. Cela-Conde, G. Marty, F. Maestú, T. Ortiz, E. Munar et al., *Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception*, cit. e P. Winkielman, J.T. Cacioppo, *Mind at ease puts a smile on the face: Psychophysiological evidence that processing facilitation leads to positive affect*, "Journal of Personality and Social Psychology", n. 81, December 2001, pp. 989–1000.

⁹Per un approfondimento in merito cfr. <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk>.

¹⁰R. N. A. Henson, C. Buechel, O. Josephs and K. Friston, *The slice-timing problem in event-related fMRI*. "NeuroImage", n. 9, 1999, p. 125.

¹¹D.L. Collins, P. Neelin, T.M. Peters, A.C. Evans, *Automatic 3D intersubject registration of MR volumetric data in standardized Talairach space*, "Journal of Computer Assisted Tomography", n. 18, March-April 1994, pp. 192-205.

¹²A.P. Holmes, K.J. Friston, *Generalisability, random effects and population inference*, "NeuroImage", n. 7, May 1998, p. 754.

¹³ ANOVA, cioè "analisi della varianza".

¹⁴ In altre parole, dai regressori (esplicatori di varianza) creati al primo livello (analisi soggetto per soggetto), vengono portati al

secondo livello (analisi di gruppo) solo i regressori di interesse. All'interno di ciascun modello statistico (in questo caso tre modelli statistici analizzati con tre analisi della varianza separate - ANOVA) si inseriscono i regressori di cui si vuole confrontare direttamente l'attivazione.

¹⁵K.J. Friston, *Bayesian estimation of dynamical systems: an application to fMRI*, "NeuroImage", n. 16, June 2002, pp. 513-530.

¹⁶K.J. Worsley, S. Marrett, P. Neelin, A.C. Vandal, K.J. Friston, et al., *A unified statistical approach for determining significant signals in images of cerebral activation*, "Human Brain Mapping", n. 4, January 1996, pp. 58-83.

¹⁷M. Livio, *The Golden Ratio. The story of Phi, the extraordinary number of nature, art and beauty*, cit. Vedi anche: H.D. Critchley, S. Wiens, P. Rotshtein, A. Ohman, R.J. Dolan, *Neural systems supporting interoceptive awareness*, cit. e H.D. Critchley, P. Rotshtein, Y. Nagai, J. O'Doherty, C.J. Mathias *et alii*, *Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions*, cit.

¹⁸Si tratta di una misura statistica indice dell'effect size, ovvero di quanta parte della varianza totale è ascritta alla nostra variabile indipendente o, detto in altri termini, alla nostra manipolazione. Numeri

dell'ordine del 40% sono già abbastanza soddisfacenti. Il 77% della varianza totale spiegata da un solo fattore è un ottimo numero.

¹⁹J.D. Watson, R. Myers, R.S.J. Frackowiak, J.V. Hajnal, R.P. Woods *et alii*, *Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging*, "Cerebral Cortex", n. 3, March-April 1993, pp. 79-94; P. Dupont, G.A. Orban, B. De Bruyn, A. Verbruggen, L. Mortelmans, *Many areas in the human brain respond to visual motion*, "Journal of Neurophysiology", n. 72, September 1994, pp. 1420-24; G.A. Orban, P. Dupont, B. De Bruyn, R. Vogels, R. Vandenberghe *et alii*, *A motion area in human visual cortex*, "Proceedings of the National Academy of Science", n. 92, February 1995, pp. 993-997.

²⁰Z. Kourtzi, N. Kanwisher, *Activation in Human MT/MST by Static Images with Implied Motion*, "Journal of Cognitive Neuroscience", n. 12, January 2000, pp. 48-55.

²¹G. Rizzolatti, L. Craighero, *The Mirror Neuron System*, "Annual Review of Neuroscience", n. 27, 2004, pp. 169-192.

²²D. Freedberg, V. Gallese, *Motion, emotion and empathy in esthetic experience*, "Trends in Cognitive Sciences", n. 11, May 2007, pp. 197-203.

²³ R. Malach, J.B. Reppas, R.R. Benson, K.K. Kwong, H. Jiang *et alii*, *Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex*, "Neurobiology", n. 92, August 1995, pp. 8135-8139; K. Grill-Spector, Z. Kourtzi, N. Kanwisher, *The lateral occipital cortex and its role in object recognition*, "Vision research", n. 41, May 2001, pp. 1409-1422.

²⁴ P.E. Downing, Y. Jiang, M. Shuman, N. Kanwisher, *A cortical area selective for visual processing of the human body*, "Science", n. 293, September 2001, pp. 2470-2473; S.V. Astafiev, C.M. Stanley, G.L. Shulman, M. Corbetta, *Extrastriate body area in human occipital cortex responds to the performance of motor actions*, "Nature Neuroscience", n. 7, May 2005, pp. 542-548.

²⁵ T. Shallice, P. Fletcher, C.D. Frith, P. Grasby, R.S.J. Frackowiak *et alii*, *Brain regions associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory*, "Nature", n. 368, April 1994, pp. 633-635; E. Tulving, S. Kapur, H.J. Varkovitsch, F.I.M. Craik, R. Harbib *et alii*, *Neuroanatomical correlates of retrieval in episodic memory: auditory sentence recognition*, "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America", n. 91, March 1994, pp. 2012-5. Per una rassegna, vedi: A.E. Cavanna, M.R. Trimble, *The*

precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates, "Brain", n. 129, March 2006, pp. 1-20.

²⁶ A. Damasio, T.J. Grabowski, A. Bechara, H. Damasio, L.L. Ponto *et alii*, *Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions*, cit.

²⁷ Vedi anche: H.D. Critchley, S. Wiens, P. Rotshtein, A. Ohman, R.J. Dolan, *Neural systems supporting interoceptive awareness*, cit.; H.D. Critchley, P. Rotshtein, Y. Nagai, J. O'Doherty, C.J. Mathias *et alii*, *Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions*, cit.

²⁸ T. Jacobsen, R.I. Schubots, L. Hofel, D.V. v. Cramon, *Brain Correlates of aesthetic judgment of beauty*, cit.

²⁹ M.M. Mesulam, E.J. Mufson, *Insula of the Old World monkey (III): Efferent cortical output and comments on function*, "The Journal of Comparative Neurology", n. 212, November 1982, pp. 38 -52; M.M. Mesulam, E.J. Mufson, *The insula of Reil in man and monkey, Architectonics, Connectivity and Function*, "Cerebral Cortex", vol. 4, 1985, pp. 179-226; S. Dupont, V. Bouilleret, D. Hasboun, F. Semah, M. Baulac, *Functional anatomy of the insula: new insights from imaging*, "Surgical and Radiologic Anatomy", n. 25, May 2003, pp. 113-119.

³⁰J.R. Augustine, *Circuitry and functional aspect of the insular lobe in primates including humans*, "Brain Research Review", n. 22, October 1996, pp. 229-244; A. Damasio, *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, cit.; A.D. Craig, *Interoception: the sense of the physiological condition of the body*, cit.; H.D. Critchley, S. Wiens, P. Rotshtein, A. Ohman, R.J. Dolan, *Neural systems supporting interoceptive awareness*, cit.; H.D. Critchley, P. Rotshtein, Y. Nagai, J. O'Doherty, C.J. Mathias *et alii*, *Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions*, cit.

³¹K. Nelissen, G. Luppino, W. Vanduffel, G. Rizzolatti, G. Orban, *Observing others: Multiple action representation in the frontal lobe*, "Science", n. 310, October 2005, pp. 332-336.

³²Ad es. J.E. LeDoux, *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*, Simon and Schuster, New York 1996; P. Rotshtein, R. Malach, U. Hadar, M. Graif, T. Hendler, *Feeling or features: different sensitivity to emotion in high-order visual cortex and amygdala*, "Neuron", n. 32, November 2001, pp. 747-757; E.A. Phelps, J.E. LeDoux, *Contribution of the Amygdala to Emotion Processing: From Animal Models to Human Behaviour*, "Neuron", n. 48, October 2005, pp. 175-187; J.J. Paton, M.A. Belova, S.E. Morri-

son, C.D. Salzman, *The primates amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning*, "Nature", n. 439, February 2006, pp. 865-870.

³³ *Ibid.*

³⁴ Ad es. E.A. Phelps, J.E. LeDoux, *Contribution of the Amygdala to Emotion Processing*, cit.

³⁵H. Kawabata, S. Zeki, *Neural Correlates of Beauty*, cit.

³⁶In merito alla prima, vedi J.L. Armony, R.J. Dolan, *Modulation of spatial attention by fear conditioned stimuli: an event-related fMRI study*, "Neuropsychologia", n. 40, July 2002, pp. 817-826; sulla seconda: H. Zald, *The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli*, "Brain Research. Brain Research Reviews", n. 41, January 2003, pp. 88-123 e D.D. Dougherty, S.L. Rauch, T. Deckersbach, C. Marci, R. Loh *et al.*, *Ventromedial prefrontal cortex and amygdala dysfunction during an anger induction PET study in patients with depression with anger attacks*, "Archives of General Psychiatry", n. 61, August 2004, pp. 795-804.

³⁷H. Kawabata, S. Zeki, *Neural Correlates of Beauty*, cit.

³⁸Cfr. Supporting Information Text S1 and Figure S1 nel testo originale di questo lavoro:

<<http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0001201>>.

³⁹Per una rassegna, vedi E.T. Rolls, *The orbitofrontal cortex and reward*, "Cerebral Cortex", n. 10, January 2000, pp. 284–294 e M.L. Kringelbach, *The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience*, "Nature Reviews Neuroscience", n. 6, September 2005, pp. 691-702.

⁴⁰Ad es. K. Kleist, *Bericht über die Gehirnpatologie und ihrer Bedeutung für Neurologie und Psychiatrie*, "Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie", n. 158, December 1937, pp. 159-193. Per una rassegna, vedi F. Boller, J.Grafman, *Handbook of Neuropsychology*, Elsevier, Amsterdam 2001.

⁴¹E.H. Gombrich, *Tributes. Interpreters of our cultural tradition*, Phaidon Press, Oxford 1984 [trad. it. *Custodi della memoria. Tributo ad interpreti della nostra tradizione culturale*, Feltrinelli, Milano 1985].

⁴² Vedi anche V.S. Ramachandran, *A Brief Tour of Human Consciousness*, Pearson Education, New York 2004.